

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Koagulace a flokulace disperzních odpadních vod v ČOV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Bakalant: Tereza Štíplová

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Štíplová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Coagulace a flokulace disperzních odpadních vod v ČOV

Název anglicky

Coagulation and flocculation of dispersed wastewater in WWTPs

Cíle práce

Bakalářská práce se zabývá zpracováním odpadních disperzních vod z čistírny odpadních vod z chemických závodů Synthomer a.s., procesem koagulace a flokulace. Práce analyzuje chod a chemické látky obsažené v odpadních disperzních vodách v ČOV, její hlavní roli v procesu přeměny z odpadních vod na vody přečištěné. Hodnotí stávající a navrhuje další možná opatření optimalizaci procesu čištění odpadních vod nastavením provozních parametrů se zaměřením na pění, které vychází z ČOV.

Metodika

V teoretické části bakalářské práce budou řešeršně zpracovány poznatky, legislativní podmínky a seznámení s danou problematikou. Teoretická část bude věnovaná popisu ČOV a technologie čistírny odpadních vod, včetně charakteristiky a zpracování kalů.

Praktická část bude věnována popisu vybrané ČOV v chemických závodech Synthomer a.s., vlastním odběrem vzorků z podnikové čistírny odpadních vod, kde se budou sledovat emisní limity. Analýza vzorků bude probíhat v podnikové chemické laboratoři, vytvořením zmenšeného modelu vybrané ČOV. Veškeré výsledky laboratorních rozborů pro tuto bakalářskou práci budou získány vlastní analýzou. Závěrem práce bude shrnutí a vyhodnocení výsledků a provozu ČOV.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

ČOV, flokulace, koagulace, odpadní disperzní vody, Sokolovsko, odpadní kaly, mechanické čištění odpadních vod, biologické čištění odpadních vod

Doporučené zdroje informací

ČSN 75 7300: 2007. Jakost vod – Chemický a fyzikální rozbor – Všeobecné ustanovení a pokyny. Praha: Český normalizační institut, 2007. 18 s.

HORÁKOVÁ, M. – GRÜNWARD, A. – LISCHKE, P. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. PRAHA: SNTL, 1989.

Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Sbírka zákonů, 2003, č. 24, s. 898 – 952.

PITTER, P. – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Aplikovaná a technická hydrobiologie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-7080-521-8.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Sbírka zákonů, 2001,

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2023

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2023

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením paní Ing. Terezy Hnátkové, Ph.D. a že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala. Další informace mi poskytla Ing. Michaela Provazníková a Ing. Michaela Vadovičová.“

V Karlových Varech dne 17.02.2022

Poděkování:

Děkuji své vedoucí paní Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D., za odborné vedení a konzultantskou činnost při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Ing. Michaelle Provazníkové a panu Ing. Jakobovi Šiškovi, Ph. D, za poskytnutí informací a své rodině za neskonalou trpělivost.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá zpracováním odpadních disperzních vod z chemických závodů Synthomer a.s. v podnikové čistírně odpadních vod, procesem koagulace a flokulace. Práce analyzuje chod podnikové ČOV, její fungování při specifických podmínkách, vliv chemických látek obsažených v odpadních disperzních vodách na chod B-ČOV a její hlavní roli v procesu koagulace a flokulace. Hodnotí stávající a navrhuje další možná opatření optimalizaci procesu čištění odpadních vod nastavením provozních parametrů se zaměřením na pění, ke kterému dochází v důsledku zvýšeného nástřiku předčištěných odpadních vod.

Klíčová slova:

ČOV, flokulace, koagulace, odpadní disperzní vody, Sokolovsko, odpadní kaly, odpěňovače

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	12
3. POPIS SPOLEČNOSTI	13
3.1 Historie společnosti	13
4. REŠERŠE A POPIS PROVOZU	14
4.1 Rozdělení podniku na jednotlivé výrobní části	14
4.1.1 Provoz výroby monomerů	14
4.1.2 Provoz výroby disperzí	15
4.1.3 Provoz energetiky	16
4.2 Produkce odpadních vod v areálu podniku	16
4.2.1 Jednotka na shromažďování a zpracování/likvidaci procesních odplynů a technologických kapalných odpadních látek vznikajících při výrobě	18
4.3 Čistírna odpadních vod	19
4.3.1 Čerpací stanice	20
4.3.2 Jednotka koagulace a flokulace	20
4.3.3 Hrubé předčištění	22
4.3.4 Biologické čištění odpadních vod	22
4.3.5 Zpracování kalů	22
4.3.6 Sedimentační nádrže	22
4.3.7 Havarijní nádrže	24
4.3.8 Vychlazovací a dočišťovací rybníky	24
4.4 Teorie koagulace, flokulace, separace a zpracování kalů	24
4.4.1 Koagulace	24
4.4.2 Flokulace	30
4.4.3 Separace vysráženého a vyvločkováného kalu	32
4.4.4 Zpracování separovaného kalu	33
4.4.5 Odvodnění / zahuštění kalu	34
4.4.6 Likvidace kalu – sušení / pálení	36
5. METODIKA/EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
5.1 Popis metodiky pro laboratorní testování koagulace a flokulace	39
5.1.1 Parametry hodnocení testů	39
5.1.2 Použité zařízení / laboratorní vybavení	40
5.1.3 Použité chemikálie	36
5.1.4 Postup laboratorního testování	38
5.2 Princip pro laboratorní testování odpěňovačů	41

5.2.1	Parametry hodnocení testů.....	41
5.2.2	Použité zařízení / laboratorní vybavení.....	41
5.2.3	Použité chemikálie.....	41
5.2.4	Postup Laboratorního testování.....	42
6.	ZPRACOVÁNÍ A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	43
6.1	Poznatky z testování koagulace a flokulace.....	43
6.2	Poznatky z odpěňování.....	49
7.	DISKUZE.....	51
8.	ZÁVĚR.....	51
9.	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	53
9.1	Literatura.....	53
9.2	Internetové zdroje.....	55
9.3	Legislativní zdroje.....	55
9.4	Ostatní zdroje.....	55
10.	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- ČOV čistírna odpadních vod
- CO₂ oxid uhličitý
- ODV odpadní disperzní vody
- FeCl₃ Chlorid železitý
- Ca(OH)₂ Hydroxid vápenatý
- Fe(OH)₃ Hydroxid železitý
- CaCl₂ Chlorid vápenatý
- B-ČOV Biologická čistírna odpadních vod
- NaCl Chlorid sodný
- OV Odpadní vody
- KA 1 a KA 3 Výrobní provozu monomerů
- CV centrální velín
- VL Výrobní linka
- R1 – R5 Reaktory výrobních linek
- AF Antifoamer

1. ÚVOD

Voda je pro lidstvo, zvířata, rostliny i pro jiné organismy velmi významná a hlavně nenahraditelná, z velké části ji, ale nespotřebuje. Největší část použité vody odtéká jako voda odpadní. Tyto vody se liší svým znečištěním a složením. Povolení vypouštění odpadních vod do vod podzemních nebo povrchových, podle druhu znečištění a povolenými (připustnými hodnotami stanoví vodní zákon 254/2001 Sb. V dnešní době se vyvíjejí nové a nové metody pro úpravu vody.

Základní technologií pro úpravu vody, zejména z povrchových zdrojů, je koagulace a flokulace (Ústav pro hydrodynamiku, 2019). V posledních letech se průmyslová odpadní voda upravuje pomocí koagulace a flokulace. Koagulace je proces zahrnující přídavky koagulantu, které způsobují "srážení". Téma bakalářské práce "Koagulace a flokulace odpadních disperzních vod v ČOV" bylo zvoleno především s ohledem na aktuálně řešenou problematiku.

Firma Synthomer a.s. v Sokolově disponuje možností výroby přes 50 různých typů disperzí na sedmi výrobních linkách. Produkce je vždy přizpůsobena poptávce na trhu, tzn. že fluktuace vyráběných produktů může být vysoká. Abychom, v případě přechodu výroby jednoho produktu na jiný typ, předcházeli kontaminaci a mikrobiálnímu napadení produktů, je nutné výrobní linky disperzí pravidelně čistit a dezinfikovat. Právě proces čištění a dezinfekce je hlavním zdrojem tvorby odpadních vod. Denně je provozem disperzí produkováno zhruba 25 m³ odpadních vod s obsahem disperzních podílů. Takto vzniklá odpadní voda byla do roku 2021 likvidována na jednotkách shromažďování a zpracování/likvidaci procesních odplynů a technologických kapalných odpadních látek technologií termické oxidace. Zjednodušeně, do roku 2021 byla odpadní voda „odpařována“, což je energeticky velmi náročné, ekonomicky nevýhodné a zatěžující životní prostředí vzhledem k tvorbě skleníkových plynů. V roce 2021 byla v areálu podnikové čistírny odpadních vod instalována nová jednotka založená na principu koagulace a flokulace pro možnost zpracování odpadních vod z provozu disperzí. Po zahájení provozu jednotky koagulace a flokulace se pravidelně potýkáme s problémy zpracování vod, které jsou způsobeny častou změnou složení odpadních disperzních vod a změnou obsahu sušiny. Dále jsou řešeny problémy i při zpracování kalů, kdy kal v lisu tuhne. Z těchto důvodů byl zahájen výzkum v této oblasti s cílem vytipovat problematické typy disperzí a s cílem optimalizovat podmínky chodu jednotek při změně vstupních podmínek.

Z pohledu provozu jednotek je důležité umět predikovat možné komplikace a přizpůsobit tomu složení odpadních vod či podmínky jejich zpracování.

2. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalářská práce se zabývá zmapováním odpadních vod vznikajících v provozu disperzí Synthomer a.s. a jejich zpracováním technologií koagulace a flokulace, vývojem metodiky pro laboratorní testování a následně vytipovává problematické typy disperzí či jejich příměsi, které mohou při přečerpání odpadních vod do jednotky koagulace a flokulace v podnikové ČOV negativně ovlivňovat jejich zpracování, především proces lisování kalu. Bakalářská práce ověřuje vliv nástřiku zpracovaných disperzních vod technologií koagulace a flokulace na chod podnikové B-ČOV, případně navrhuje optimální podmínky. Práce analyzuje proces zpracování koagulace a flokulace, její hlavní roli v procesu přeměny z odpadních vod na vody přečištěné. Hodnotí stávající a navrhuje další možná opatření optimalizaci procesu čištění odpadních vod nastavením provozních parametrů se zaměřením na pění, ke kterému dochází v důsledku zvýšeného nástřiku předčištěných odpadních vod.

3. POPIS SPOLEČNOSTI

Společnost Synthomer je celosvětová firma zabývající se chemickým průmyslem, jejíž historie sahá až do roku 1863. Má mnoho poboček po celém světě, jednou z nich je i sokolovský výrobní závod viz obr. č. 1. Společnost Synthomer a.s. je jedním ze stabilních zaměstnavatelů na Sokolovsku, v současnosti zaměstnává zhruba 330 osob.

Synthomer a.s. se řadí do skupiny důležitých středoevropských výrobců a exportérů z oblasti kyseliny akrylové, jejích esterů a akrylátových polymerů.

Mezi nejvyšší priority sledované ve všech aktivitách společnosti jsou bezpečnost a ochrana zdraví, bezpečný provoz zařízení a ochrana životního prostředí.



Obrázek č. 1: Společnost Synthomer a.s. (www.mapy.cz upravila Štíplová, 2023)

3.1 Historie společnosti

Společnost byla založena v roce 1917 rakouským Spolkem pro chemickou a hutní výrobu. Nosným výrobním programem byla výroba karbidu vápničku a dusíkatého vápna. V období mezi 1. a 2. světovou válkou byl výrobní program rozšířen o výrobu acetylenu, boraxu, peroxidu vodíku a alkalických chlorečnanů. V průběhu 2. světové války byl provoz továrny značně omezen. Po 2. světové válce byly vybudovány výrobní formamidu, kyseliny mravenčí, mravenčanu vápenatého a síranu amonného, bílého korundu a mikrokorundu.

Na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let 20. století došlo ve společnosti k radikální změně výrobního programu. Společnost opustila provoz těžkých elektrochemických a elektrotermických technologií – v období 1980–1986 byly odstaveny výroby karbidu vápničku, vápna, dusíkatého vápna a acetylenu – a do provozu byl uveden komplex I. a II. etapy akrylového programu (výrobní jednotka japonské technologie fy Mitsubishi Petrochemicals Co. Ltd. na výrobu kyseliny akrylové a jejích esterů). Pro zhodnocení těchto produktů byla uvedena do provozu nová výrobní akrylátových disperzí.

V období 1990–1994 byly odstaveny výroby formamidu, kyseliny mravenčí, mravenčanu vápenatého, síranu amonného a alkalických chlorečnanů. Do provozu byla uvedena III. etapa akrylového programu (druhá výrobní kyseliny akrylové a jejích esterů) a nová výrobní peroxidu vodíku.

V období 1998–2002 byla rozšířena výroba disperzí o dvě nové polymerační linky. Celkem čítá sokolovská výrobní disperzí 7 výrobních linek.

V roce 1999 byla společnost odkoupena společností Eastman Chemical Copany a obchodní jméno firmy bylo změněno na Eastman Sokolov. Byly odčleněny či prodány výroby, které nespádaly do výrobního portfolia společnosti (technické plyny, bílý korund, peroxidy vodíku a Persteril)

V roce 2004 byl většinový podíl akcií společnosti Eastman odprodán firmě Resolution Specialty Materials, LCC. S účinností od 01. 01. 2005 je nový název společnosti RSM Chemacryl, a.s., člen Hexion Specialty Chemicals – Group.

- Od 30. 12. 2005 se mění jméno společnosti na Hexion Specialty Chemicals, a.s.
- Od 08. 11. 2010 se mění jméno společnosti na Momentive Specialty Chemicals, a.s.
- Od 16. 01. 2015 se mění jméno společnosti na Hexion a.s.
- Od 01. 05. 2017 se mění jméno společnosti na Synthomer a.s.

4. REŠERŠE A POPIS PROVOZU

4.1 Rozdělení podniku na jednotlivé výrobní části

Výrobní závod je rozdělen na tři základní technologické celky, na provoz výroby monomerů (výroba kyseliny akrylové a jejích esterů), provoz výroby disperzí a provoz energetiky. Součástí každého provozu je i skladové hospodářství, kde je zajištěno skladování a přečerpávání surovin i produktů a expedice produktů.

Produkty provozu monomerů jsou využívány jako suroviny pro výrobu disperzí, což podnik díky snížení nákladů za přepravu činí konkurenceschopným.

V následujících kapitolách jsou shrnuty technologie výrob jednotlivých produktů s popisem vzniku odpadních vod určených k dalšímu zpracování.

4.1.1 Provoz výroby monomerů

Provoz výroby monomerů je z pohledu technologie rozdělen na výrobu kyseliny akrylové a výrobu jejích esterů. Provoz monomerů se skládá ze dvou výroben – KA1 a KA3. Každá výrobní zahrnuje výrobní jednotku kyseliny akrylové, jednotku na výrobu lehkých (metyl a etyl akrylát) a těžkých esterů (butyl a 2-ethylhexyl akrylát). Obě výroby disponují jednotkou určenou ke shromažďování a zpracování (spalování) procesních odplynů a technologických kapalných zbytků – odpadní vody a destilační zbytky – vznikající při výrobě.

Výroba technické kyseliny akrylové a jejích esterů – výroba KA 1

Kyselina akrylové je vyráběna katalytickou oxidací propylenu. Následně je kyselina akrylová používána jako hlavní surovina společně s příslušným alkoholem pro návaznou vlastní výrobu esterů kyseliny akrylové.

Know-how bylo zakoupeno od japonské firmy MITSUBISHI PETROCHEMICALS CO. Ltd. Jednotka výroby kyseliny akrylové je rozdělena a reakční část, kde dochází k přeměně propylenu v oxidačních reaktorech na akrolein a následně kyselinu akrylovou, a separační část, která slouží k oddělení vedlejších produktů od kyseliny akrylové a k jejímu přečištění až na kvalitu 99,9 hm%.

Princip výroby esterů kyseliny akrylové je založen na rovnovážné katalytické esterifikační reakci kyseliny akrylové a příslušného alkoholu. Katalýza pro lehké estery je heterogenní a pro těžké estery homogenní.

Technologické parametry a udržování stabilních podmínek výrobní jednotky kyseliny akrylové a obou výrobních jednotek esterů kyseliny akrylové je řízeno automaticky z centrálního velína (CV).

Výroba technické kyseliny akrylové a jejích esterů – výroba KA 3

Princip výroby kyseliny akrylové a jejích esterů je obdobou výroby KA1, výrobní zařízení včetně know-how je taktéž zakoupeno od japonské firmy MITSUBISHI PETROCHEMICALS CO. Ltd. Ve výrobní jednotce KA 3 je vyráběna kyselina akrylová ve dvou kvalitách – technická kyselina akrylová a polymerační kyselina akrylová o vyšší čistotě. Dalšími produkty výroby KA3 jsou metyl a butyl akrylát.

4.1.2 Provoz výroby disperzí

Provoz disperzí tvoří sedm linek o různé velikosti viz tabulka 1.

Linka č.	Rok uvedení do provozu	Velikost operace (t)	Vyráběný sortiment
1	1985	13	Středně-objemové disperze
2	1985	13	Středně-objemové disperze
3	1985	6	PSA disperze
4	1985	6	Maloobjemové disperze
5	1985	6	Roztokové polymery
6	1998	22	Velko-objemové disperze
7	2002	21,5	Velko-objemové disperze

Tabulka 1: Velikost linek

Kyselina akrylová a estery kyseliny akrylové, voda a příslušná aditiva jsou základní surovinou pro výrobu disperzí. Podíl vody v disperzích je cca 40-50 %. Disperze je tvořena polymerními částicemi, které se po odpaření spojí a vytvoří film. Výroba disperzí se uskutečňuje v míchaném chlazeném reaktoru za obvyklého tlaku. Technologický proces výroby je diskontinuální (nesouvislý, přerušovaný) a skládá se: z přípravy emulze nebo směsi monomerů (, roztoků iniciátorů, polymerace (exotermní radikálová reakce), chlazení, úpravy parametrů výrobku a uložení do skladu. Řízení technologického procesu a zařízení je koncentrované na centrální velín, do kterého jsou soustředěny všechny důležité a rozhodující údaje o průběhu výroby.

V současnosti provoz disperzí v Sokolově vyrábí cca 56 typů disperzí. Produkty vyráběné v Synthomeru nachází uplatnění především v oblasti stavebnictví, průmyslu barev a laků, papíru, kůže, textilu a dalších.

4.1.3 Provoz energetiky

Povoz energetiky zajišťuje energii pro chod chemických výroben a všech činností v areálu Synthomer. Energetika v sokolovském závodě přešla letošní rok ze spotřeby uhlí na spotřebu zemního plynu.

4.2 Produkce odpadních vod v areálu podniku

Odpadní vody jsou v areálu podniku produkovány výrobními i nevýrobními objekty.

Výrobní objekt monomerů/provoz monomerů produkuje následující typy odpadních vod:

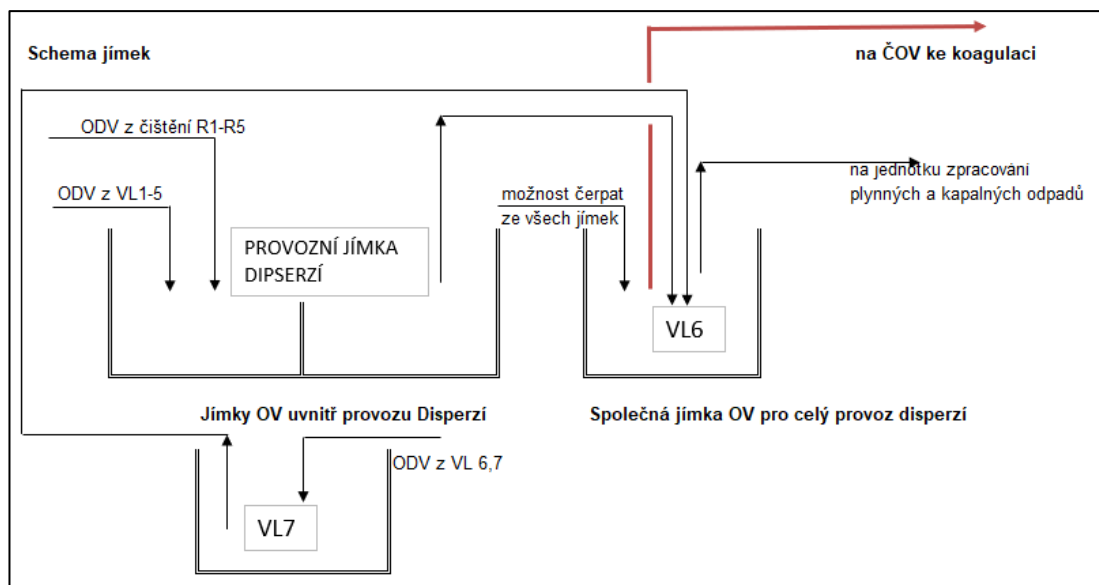
- Procesní odpadní vody
- Oplachové odpadní vody
- Dešťové vody

Procesní odpadní vody vznikají jako vedlejší produkt výroby kyseliny akrylové a jejích esterů. Reakční vodu je nutno od produktu separovat pomocí extrakce či azeotropické destilace. Takto oddělená voda obsahuje cca 4 hm.% rozpuštěných organických látek, které nejsou jednoduše biologicky odbouratelné.

Oplachové vody jsou v provozu monomerů využívány pro čištění zařízení, nádob i podlah. Stejně jako procesní vody obsahují malé množství rozpuštěných organických látek. Procesní vody i vody používané pro čištění jsou svedeny do stanovených provozních jímek/zásobníků.

Dešťové vody jsou srážky, které jsou z výrobního objektu stahovány z vrchních pater a jímek do samostatné nádoby. Tyto vody jsou analyzovány v podnikové laboratoři a dle výsledků se rozhoduje o jejich likvidaci.

Výrobní objekt disperzí/provoz disperzí produkuje odpadní vody především při procesu vysokotlakého čištění výrobního zařízení. Veškeré odpadní vody jsou potrubím či kanálky svedeny do společné jímky odpadních vod. Odpadní vody obsahují minoritní množství polymerních částic, sušina se pohybuje v rozmezí od 0,3 do 15 %. Na obr. č. 2: Schématické znázornění shromažďování a přečerpávání odpadních disperzních vod, je schematicky znázorněno ukládání a přečerpávání odpadních disperzních vod (ODV) k dalšímu zpracování. Oplachové vody využívané pro čištění nádob (reaktorů, emulzních, dochlazovacích a homogenizačních nádob), filtrů, oplachů podlah jsou z výrobních linek (VL) 1-5 svedeny do provozní jímky disperzí, z výrobních linek 6, 7 do jímky VL7, z těchto jímek jsou odpadní vody obsahující tuhé polymerní částice přečerpávány do jímky VL6, což je společná jímka odpadních vod pro celý provoz disperzí. Na základě znečištění a sušiny je odpadní voda z VL6 přečerpávána k dalšímu zpracování na ČOV, případně do jednotky zpracování/likvidaci plyných a kapalných odpadních látek.



Obrázek 2: Schématické znázornění shromažďování a přečerpávání odpadních disperzních vod

Provoz energetiky se na produkci odpadních vod podílí především z hlediska nutnosti proplachů pískových filtrů, které jsou součástí chemické úpravy vody, kdy jsou kontinuálně odváděny odpadní vody a při vzniku odluhů a odkalů ze zařízení.

Mezi nevýrobní objekty jsou řazeny především budovy. Nevýrobní objekty jsou zdrojem splaškových vod a odpadních vod vznikajících při likvidaci vzorků z laboratoří.

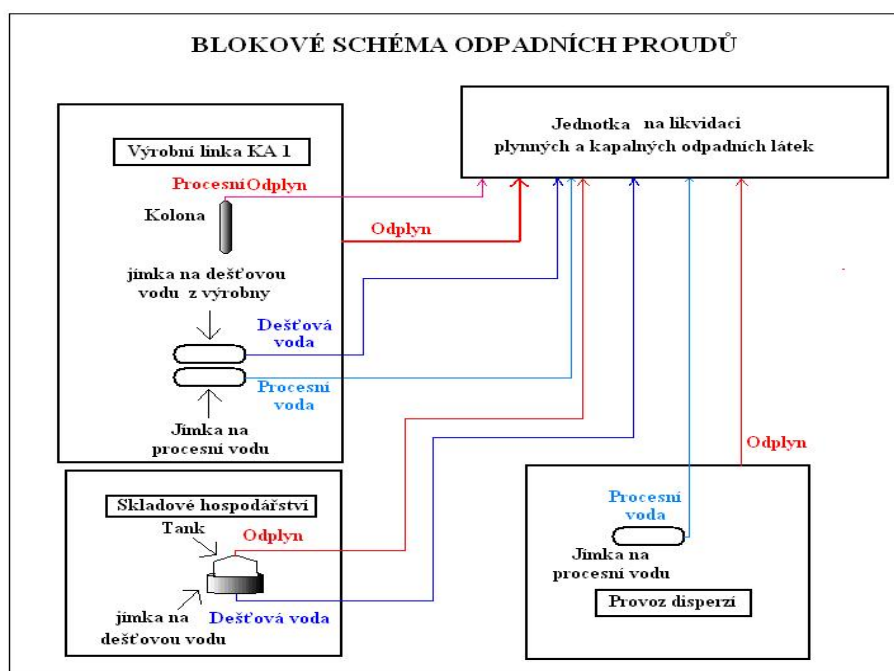
Odpadní vody vznikající ve výrobním procesu monomerů jsou likvidovány v jednotce na shromažďování a zpracování/likvidaci procesních odplynů a technologických kapalných odpadních látek, viz kapitola 5.2.1. Odpadní vody z provozu disperzí, energetiky a nevýrobních objektů jsou zpracovávány v podnikové ČOV. ODV jsou zpracovávány v jednotce koagulace a flokulace, která je součástí podnikové ČOV.

4.2.1 Jednotka na shromažďování a zpracování/likvidaci procesních odplynů a technologických kapalných odpadních látek vznikajících při výrobě

Zpracování kapalných a plyných odpadů z výroben KA1 a KA3 je založeno na termické oxidaci procesních odplynů a par ze stripování kapalin. Každá výrobní má vlastní jednotku skládající se ze dvou pecí, alkalické vypírky a výduchu.

Procesní vody a destilační zbytky se čerpají do pece speciálními injektory, v nichž dochází k jejich atomizaci vzduchem na jemný aerosol. Organické látky vyhoří na oxid uhličitý a vodní páru. Odpadní teplo je využíváno na přehřívání kapalin vstupujících do procesu. Nerozpustné soli, které vznikají při termické likvidaci kapalných odpadů jsou jímány do vody, čímž vznikají alkalické zasolené vody, které jsou následně čerpány na ČOV a dále zpracovávány jako mechanicky znečištěné vody. Režim jednotky termické oxidace je trvale monitorován.

Tímto způsobem je zajištěna likvidace většiny odpadních vod vznikajících jednak při vlastní výrobě kyseliny akrylové a jejích esterů, veškerých kontaminovaných procesních a dešťových vod a zároveň všech plyných látek přiváděných odplynovým systémem, který je napojen na všechny aparáty ve výrobní jednotce a na všechna skladovací zařízení, viz obr. č. 3: Blokové schéma odpadních proudů.



Obrázek 3: Blokové schéma odpadních proudů

Odpadní vody produkované ve společnosti Synthomer a.s., které nejsou přímo dopravovány do jednotky na shromažďování a zpracování/likvidaci procesních odplynů a technologických kapalných odpadních látek, jsou čištěny v objektech podnikové čistírny odpadních vod. Princip zpracování je popsán v kapitolách níže.

4.3 Čistírna odpadních vod

Čistírna odpadních vod je mechanicko-chemicko-biologické zařízení na čištění odpadních vod (Sojka,2013). Podniková čistírna odpadních vod (dále jen ČOV) slouží k čištění odpadních vod vznikajících v areálu podniku. Dle druhu znečištění se odpadní vody dělí na – splaškové vody z použité pitné vody a sociálních zařízení, mechanicky znečištěné vody obsahující pevné částičky z provozu, dešťové a chladicí vody a vody podzemní.

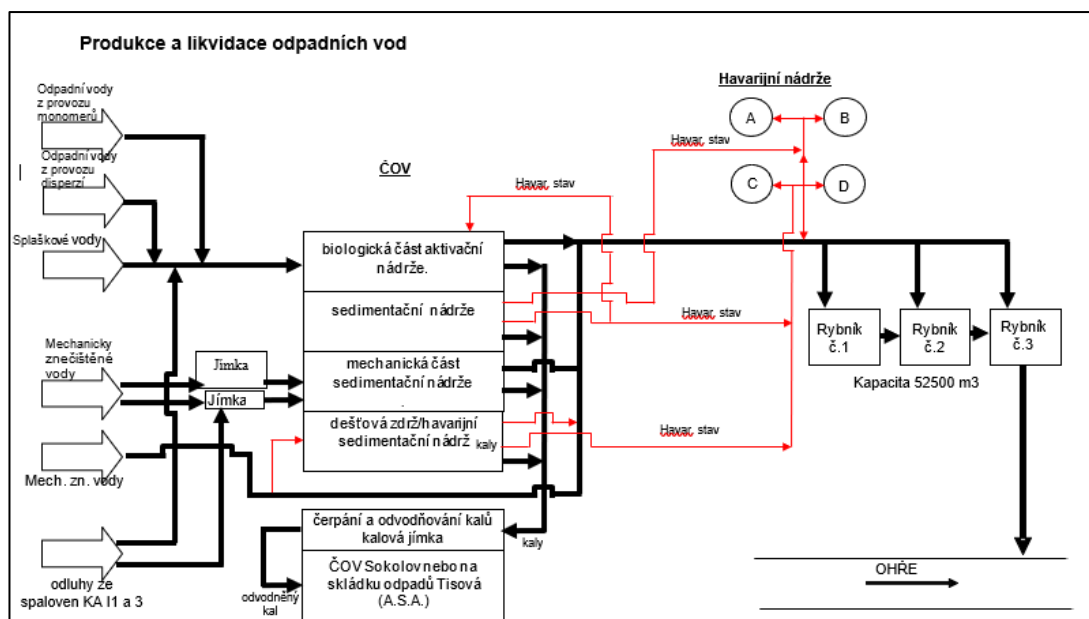
Čištění probíhá na aerobní úrovni, kdy obsažené organické látky jsou odstraňovány pomocí směsné kultury mikroorganismů za přítomnosti kyslíku a usazováním mechanických nečistot. Tyto nečistoty jsou dále odsávány a míchány s biologickým kalem. Součástí čistírny odpadních vod je soustava tří vychlazovacích rybníků, které jsou opatřeny výústí pro vypouštění vyčištěných odpadních vod z areálu podniku do řeky Ohře.

Čistírna odpadních vod se skládá z několika důležitých technologických celků, zjednodušené schéma znázorněno na obr. č. 4: Produkce a likvidace odpadních vod v ČOV.

- čerpací stanice splaškových vod
- jednotka koagulace a flokulace
- hrubé předčištění
- biologické čištění odpadních vod
- kalová jímka
- sedimentační nádrže
- čerpací stanice dešťových vod a dešťová zdrž
- havarijní nádrže
- stoka včetně měřicího Parschalova žlabu
- vychlazovací a dočišťovací rybníky

Druhy odpadních vod na přítoku do ČOV

- Splaškové vody z použité pitné vody (např. WC, soc. zařízení), procesní odpadní vody z provozu monomerů (z esterových jednotek)
- Dešťové a chladicí vody jsou směsí dešťových vod, vod z průtočného chlazení, odluhů z chladících věž, podzemních vod (z čerpaných kontrolních vrtů...)
- Mechanicky znečištěné vody obsahující pevné částičky z provozu Energetiky, např. kal z čiření z provozu Energetiky, nebo odluhy z provozů monomerů.
- Odpadní vody z provozu disperzí



Obrázek 4: Produkce a likvidace odpadních vod v ČOV

4.3.1 Čerpací stanice

Čerpací stanice se využívají k překonání výškového rozdílu při dopravě odpadních vod do tlakové kanalizace. Stanice jsou opatřeny čerpadly, která čerpají pouze odpadní vody bez větších nečistot, z důvodů zanešení čerpadel (Sojka, 2013).

Přečerpávací stanice splaškových vod

Splaškové vody jsou přiváděné kanalizačním potrubím do přečerpávacích stanic. V přečerpávacích stanicích je splašková voda přivedena potrubím ke dvěma šnekovým čerpadlům. Spuštění čerpadel závisí na výšce hladiny v přečerpávací stanici nátokové jímky. Tato čerpadla jsou schopna dopravovat splaškovou vodu s mechanickými nečistotami do rozměru 60 mm (Synthomer, 2008).

Čerpací stanice dešťových vod

Čerpací stanice dešťových vod slouží k překonání výškového rozdílu dešťových a chladících vod, kde jsou dále svedeny do biologických dočišťovacích rybníků. Dále slouží jako pohotovostní kapacita pro havarijní případy znečištění odpadních vod

Mechanicky znečištěné vody z provozů Energetiky a monomerů a odpadní vody z provozu disperzí jsou do podnikové čistírny odpadních vod přečerpávány oddělenými nadzemními potrubními rozvody. Mechanicky znečištěné vody jsou dopravovány k dalšímu zpracování do sedimentačních nádrží s mostovými shrabovými/odsavači, disperzní odpadní vody do jednotky koagulace a flokulace (Synthomer, 2008).

4.3.2 Jednotka koagulace a flokulace

Obsah sušiny odpadních disperzních vod je upravován na hodnoty v rozmezí 2-4 % ve společné jímce VL6, odkud jsou ODV pomocí vřetenového čerpadla dopravovány do prostoru ČOV do vyhrazené zásobní nádrže.

Ze zásobní nádrže se čerpají odpadní disperzní vody čerpadlem střídavě do dvou koagulačních nádrží. Do plněné nádrže se během čerpání dávkuje koagulační činidlo, 40% roztok $FeCl_3$, který má korozivní účinky. Roztok koagulantu se vstříkuje

dávkovacím čerpadlem do statického směšovače společně s ODV. Zde dochází k prudkému promísení chemikálie s odpadní vodou.

Těsně před vstupem do koagulační nádrže se hadicovým čerpadlem přivede do proudu neutralizační látka – 10% roztok vápenného mléka, který slouží k potlačení korozivní povahy ODV a úpravě pH na hodnotu 8. Zde začíná tvorba zárodků vloček. Dosažení požadovaného pH vod v nádrži se kontroluje obsluhou a případně upraví další dávkou vápenného mléka. Během plnění, úpravy pH a vyprazdňování je obsah nádrže neustále šetrně míchán pomaluběžným míchadlem.

Takto upravená odpadní voda je připravena k další fázi procesu – flokulaci.

V navrhované lince tento proces probíhá v míchaném průtočném reaktoru, do kterého je čerpán zkoagulovaný kal čerpadlem a dávkován roztok flokulantu pomocí čerpadla. Flokulant je ředěn přímo v čerpadle proplachovou vodou před vstupem do míchané nádoby.

Takto připravený „vyvločkovaný“ kal postupuje do šnekového lisu.

Proces zpracování vod s přebytečným biologickým kalem probíhá na odvodňovacím zařízení obdobným způsobem. Z kalové jímky se čerpá odpadní voda odstředivým čerpadlem do koagulačních nádrží. U vod s biologickým kalem neprobíhá fáze koagulace. Z koagulační nádrže se čerpají řízeně odpadní vody čerpadlem do průtočného reaktoru. Dodávku roztoku flokulantu, stejného typu jako u oplachových vod, zajišťuje čerpadlo (Synthomer, 2008).

Šnekový lis

Šnekový lis je určen pro filtrování kalu od vodné části (Vysoká škola báňská, 2008). Po koagulaci a flokulaci vyvločkovaný/sražený kal postupuje čerpadlem do šnekového lisu. Pevné částice jsou rotací zachycovány na síto a vytváří filtrační koláč, ze kterého jeho činností vzniká výsledný koláč vylisovaného a odvodněného kalu, viz obr. č. 5: Vylisovaný Filtrát odkapává do filtrátové vany pod sítem, poté se následně přečistí společně se splaškovými vodami v aktivační nádrži B-ČOV. Vyfiltrovaný kal putuje do výpadové šachty. Kal je pak odvážen a dále likvidován (Synthomer, 2020).



Obrázek 5: Vylisovaný kal ze šnekového lisu

4.3.3 Hrubé předčištění

Jednou z částí ČOV je hrubé předčištění, které slouží k odstranění především hrubých nečistot, např. listů a písku, z přitékající odpadní vody. Nečistoty jsou odstraňovány pomocí strojně stíraných česlí, což je technologické zařízení využívané k zachycení plovoucích nečistot. Těžší částice se usazují v lapácích šterku a písku (Sojka, 2013). Tyto nečistoty jsou následně odváženy na valník a písek do kalové jímky (Synthomer, 2008).

4.3.4 Biologické čištění odpadních vod

Zařízení slouží k biologickému aerobnímu čištění splaškových odpadních vod, kdy obsažené organické látky jsou odstraňovány pomocí směsné kultury mikroorganismů za přítomnosti kyslíku (Sojka, 2013).

Biologické čištění

Odpadní voda zbavená hrubých nečistot vstupuje do části biologického čištění. Biologické čištění funguje na principu aerobního čištění odpadních vod, kdy jsou rozpuštěné organické látky odstraňovány pomocí směsné kultury mikroorganismů (aktivovaný kal) za přítomnosti kyslíku. Kontinuita procesu je zajištěna recirkulací aktivovaného kalu z dosazovacích nádrží do aktivace. Důležitá je také teplota vody, která do čistírenského procesu vstupuje. Když poklesne pod 12 stupňů Celsia, stává se celý proces komplikovanější (Sojka, 2013). Voda přitéká potrubím mezi obě aktivační nádrže. Každá aktivační nádrž je poblíž středu vybavena povrchovým aerátorem, který zajišťuje kyslíkový přínos v aktivaci. Kyslíkový přínos je řízen změnou ponoru oběžného kola aerátoru či směrem jeho otáčení. Nastavení kyslíkového přínosu se provádí na základě výsledků stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku v aktivaci, jehož hodnota se má pohybovat na hodnotě min. 2 mg/l. Za každou aktivační nádrž následují dvě dosazovací nádrže. Zde dochází k zachycování biologického kalu z aktivací, který je odváděn do zásobní nádrže a přeřadu vyčištěné vody. Z nich jsou vody vedeny potrubím pro odvod chladících a dešťových vod. Biologický kal je ze zásobních nádrží přečerpáván zpět do aktivací a přebytečný kal do kalové jímky. Množství odebraného přebytečného kalu se řídí výsledkem stanovení obsahu kalové sušiny v aktivační směsi, která se má pohybovat v rozmezí 3–5 g/l. Odebírání přebytečného kalu se provádí diskontinuálně (Synthomer, 2020).

4.3.5 Zpracování kalů

Kalové jímka slouží ke shromažďování kalů z jednotlivých částí ČOV, jejich zahušťování a odvodňování k jejich konečné likvidaci mimo areál ČOV.

Do kalové jímky jsou přiváděny kaly z lapáků písku z hrubého předčištění, přebytečný kal z biologické části čistírny, a kal z usazovacích nádrží (Sojka, 2013).

Usazování kalů v kalové jímce zabraňuje provzdušňovací dmychadlo.

Zahušťovací nádrže

Z kalové jímky je kal čerpán do zahušťovacích nádrží. V zahušťovacích nádržích dojde k usazení zahuštěného kalu a odsazení vody, která se samospádem odpustí do splaškové kanalizace (Synthomer, 2020).

Zpracování usazeného zahuštěného kalu je uvedeno v kapitole 5.3.2.

4.3.6 Sedimentační nádrže

Součástí čistírny odpadních vod je pět sedimentačních nádrží. Sedimentační nádrže se dělí na sedimentační nádrže s mostovými shrabovými a sedimentační nádrže s mostovými odsavači.

Sedimentační nádrže s mostovými shrabováký

Nádrže slouží jako zásobárna znečištěné vody z procesu koagulace a flokulace. Slouží k likvidaci odpadních vod nebo dočištění nebo také k zachycení vody při podezření na havarijní znečištění a její další distribuci do havarijních nádrží.

Sedimentační nádrže s mostovými odsavači

Nádrže slouží k sedimentaci a odčerpávání těžkých kalů z mechanicky znečištěných vod. Voda vstupuje do nádrží přes vodorovné rozváděcí trubky s otvory a usměrňovacími štíty. Tyto rozváděcí trubky zajišťují rozdělení přítoku do celého profilu nádrží k vytvoření optimálních podmínek pro sedimentaci kalu. Usazený kal je podle potřeby periodicky odčerpáván mostovými odsavači do sběrných žlabů a odtud veden potrubím do kalové jámky. Odsazená voda je odváděna z přepadových žlabů sedimentačních nádrží potrubími, ze kterých odtéká společným odtokem do odpadní stoky (Synthomer, 2020).



Obrázek 6: Sedimentační zdrž s mostovými shrabováký

Dešťová zdrž s mostovým shrabovákem

Dešťová zdrž se používá jako sedimentační a havarijní, v případě přívalového deště. Odsazená voda pak přepadá přes přelivnou hranu do stoky.

4.3.7 Havarijní nádrže

Zařízení slouží k zachycování vod vznikajících při likvidaci nebo kontaminaci závadnými látkami. Jeho kapacita postačí na zachycení vody po dobu minimálně čtyř dnů.

Havarijní nádrž

Mechanicky znečištěná voda je čerpána v případě havárie nejprve do první a druhé sedimentační nádrže. Nepostačí-li jejich kapacita k zadržení havarijně znečištěné vody, je odtud vedena stokou do havarijní nádrže. Zachycenou vodu je možno míchat pomocí čerpadla. Po analyzování a případných úpravách odčerpávat pomocí čerpadla, případně napouštět do cisternového automobilu CAS nebo odvádět do biologických dočišťovacích rybníků.

4.3.8 Vychlazovací a dočišťovací rybníky

Biologické dočišťovací rybníky slouží k dočištění odpadní vody, která prošla čistírnou, a k vyrovnání její teploty blízko teplotě vody v řece.

Rybníky jsou vybaveny vtokovými objekty, výtokovými objekty a spojnými objekty mezi nimi. Bezpečnostní přelivy zajišťující vyrovnání hladin před vlastním zatopením hráze, jsou zbudovány na úrovni cca 5leté vody, hráze pak na úrovni cca 20leté vody. Celková plocha rybníků je 4,2 ha s kapacitou 52 500 m³. Na prvním ze tří dočišťovacích rybníků se nachází automatický vzorkovač, na druhém pak elektrický aerátor k lepšímu provzdušnění (Synthomer, 2020).

4.4 Teorie koagulace, flokulace, separace a zpracování kalů

Voda je zdrojem pro mnoho průmyslových odvětví. Průmyslová odpadní voda vždy prochází určitou formou čištění. Vlastnosti odpadní vody závisí na výrobních procesech a druzích použitých vstupních surovin. obsah nerozpuštěných látek v průmyslových odpadních vodách bývá 300-400 mg/l s pH v neutrální oblasti a chemickou spotřebou kyslíku 2000 – 3000 mg/l. Současná produkce silně znečištěných vod podporuje výzkum k vývoji, optimalizaci a neustálému zlepšování technik způsobných k odstranění znečišťujících látek. Mezi zavedené metody čištění odpadních vod lze řadit procesy jako chemické srážení, chemická oxidace či redukce, filtrace, iontová výměna nebo membránové technologie. Tyto procesy nelze např. použít pro odstraňování kovů, jejich náklady na provoz jsou poměrně vysoké a navíc mohou tvořit toxické kaly, které je nutno dále zpracovat. Výběr technologie čištění odpadních vod závisí na kvalitě odpadní vody, velikosti organických látek obsažených ve vodách, složení odpadních vod a předpisech pro jejich vypouštění zpět do rezervoáru.

K odstranění nerozpuštěných látek spolu s nežádoucími nebo toxickými látkami z odpadních vod je využíván proces koagulace. Tento proces zpracování je výhodný pro svou jednoduchost, účinnost a nízkou spotřebu energie. Při čištění odpadních vod se nejčastěji používají koagulanty na bázi železa a hliníku pro jejich široký rozsah použití. K jejich nevýhodám patří možné zbarvení odpadních vod, tvorba kalů se zbytky těžkých kovů, které mohou být potenciálně toxické pro ekosystémy. Proces koagulace a flokulace je především používán jako krok předčištění průmyslových vod před následnými procesy čištění v ČOV. Koagulace a flokulace hraje klíčovou roli při odstranění organického zatížení vod (Rathilal a kol, 2021).

4.4.1 Koagulace

Proces koagulace se využívá pro odstranění rozpuštěných a suspendovaných/dispergovaných částic v odpadních vodách. Rozpuštěné i

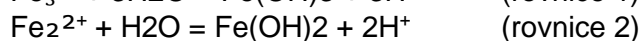
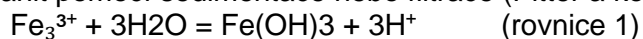
suspendované/dispergované částice v OV významně snižují kvalitu vody, její zbarvení a turbiditu (zákal). K separaci rozpuštěných a suspendovaných/dispergovaných částic se používá právě proces koagulace a flokulace vzhledem k jednoduchosti procesu a k nízkým investičním/provozním nákladům (Synthomer, 2008). I přes jednoduchost procesu je u atypických odpadních vod, či odpadních vod s velmi proměnlivým složením dispergovaných částic problém najít optimální provozní podmínky.

Odpadní voda z provozu disperzí se vyznačuje obsahem sušiny od 0,5 do 15 %, přičemž složení disperzní části v OV je dle vyráběných typů disperzí velmi proměnlivé a může obsahovat v různé míře aditiva (biocidy, emulgátory, odpěňovače atd.), která se při výrobě disperzí využívají.

Chemická koagulace je proces shlukování dispergovaných částic ve větší agregáty poutané adhezními (mezimolekulovými) povrchovými silami, při kterém je do OV dávkován koagulant (Jiang, 2015). Koagulant je chemická látka na bázi železa nebo hliníku, nejčastěji FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ nebo polyaluminium chlorid. (Vurm a Bystrianský, 2013) (Lee a kol., 2014).

Principem koagulace je shlukování koloidních a makromolekulárních organických částic do větších celků tak, aby byly schopny dosáhnout separovatelné podoby (Vurm a Bystrianský, 2013). Tyto látky se přirozeně nacházejí ve vodě, případně jsou složkou umělého znečištění. Koloidy jsou tedy částice menší než přibližně 10-5 mm.

Koagulace spočívá v dávkování solí železa nebo hliníku, které hydrolyzou přechází na hydroxid železitý nebo hlinitý (Duan a Gregory, 2003), viz rovnice 1 a 2. Kladně nabitě částice koagulují/reagují s částicemi nečistot koloidní povahy, nesoucí záporný náboj, vytvářejí tak separovatelné vločkovité suspenze, které je možné z OV odstranit pomocí sedimentace nebo filtrace (Pitter a kol., 1983).



Pro koagulaci se můžou použít i koagulantu přírodního charakteru, např. feromagnetit, hlinitá sůl, vaječné skořápky nebo jejich hybridy, oproti chemickým koagulantů nejsou přírodní koagulanty zdraví škodlivé, jsou biodegradabilní a neprodukují upravenou vodu s vysokým pH. Studie zabývající se testováním přírodních koagulantů a jejich vzájemnou kombinací jako alternativa ke konvenčním koagulantům (železo, hliník) shrnuje výstupy ve čtyřech kategoriích – vliv morfologie koagulantů, vliv dávkování koagulantů, vliv doby usazování a kinetiku koagulace na proces čištění OV. Studie porovnává koagulanty a jejich kombinaci s cílem získat přírodní, ekonomicky výhodná koagulační činidla pro čištění průmyslových odpadních vod. Testy byly prováděny pomocí sklenicové zkoušky, jejíž metodika je shrnuta a porovnána s metodikou vyvinutou v rámci této bakalářské práce v kapitole Diskuse. Výsledky testů byly hodnoceny na základě výsledného zákalu, barvy a obsahu celkových nerozpuštěných látek v přečištěných vodách.

Testy koagulantů pro jednotlivé typy byly prováděny s různým přídatkem činidla (10-60 mg/l) s cílem najít optimální dávku. Jako optimální byl vyhodnocen přídatek 10-20 mg/l koagulačních činidel, což potvrzuje i výsledky z jiných studií, kdy zvýšený přídatek koagulačních činidel zvyšuje účinnost koagulace až do dosažení nasycení systému, následně se účinnost začne snižovat. Předávkování koagulačním činidlem vede ke snížení účinnosti přečištění vod, což se projeví výrazným snížením v odstranění kontaminantů z vod, tedy zvýšeným zákalem či barvou.

Po stanovení optimální dávky koagulačního činidla byl posuzován vliv doby usazování (10-60 min) pro všechny typy testovaných koagulantů. Ideální čas z testů vychází kolem 30 min, s čase se však velikost vloček opět zmenšovala, což se projevilo zvýšením hodnot zákalu. Z hlediska kinetiky je rychlost odstraňování znečišťujících látek z vod závislá na mnoha faktorech jako je teplota, dávkování a samotné složení odpadních vod. Bylo zjištěno, že zavedení feromagnetitu do koagulantů vedlo k lepšímu aglomeračnímu výkonu než je tomu u konvenčních koagulantů. Z výsledků lze říct, že pro přídavek jednoho typu koagulantu je příznivější kinetický model druhého řádu, zatímco pro kombinované dávkování koagulantů kinetická rovnice prvního řádu (Rathilal a kol., 2021).

Rychlost separace, sedimentace částic koloidních suspenzí, a emulzí závisí na jejich velikosti – viz tab. č. 2: Velikost částic a doba usazování.

Velikost částic v μm	Doba usazování na 1 m
100	125 sekund
10	108 minut
1	180 hodin
0,1	755 dní
0,01	213 let

Tabulka 2: Velikost částic a doba usazování (Bratby, 2016)

Vysrážením, koagulací, vyvločkováním a flokulací dosáhneme zvětšení velikosti částic a zrychlení sedimentace.

Stabilizace

Koloidní suspenze / emulze mohou být stabilizovány následujícími mechanismy :

- Elektrostaticky
pro minerální i organické částice, při pH 5-8 většinou se záporným povrchovým nábojem, který lze změřit jako Zeta potenciál; čím zápornější je Zeta potenciál, tím větší jsou odpudivé síly, a tím stabilnější je suspenze / emulze; emulze / suspenze jsou většinou stabilizovány anionaktivními emulgátory a karboxylovými skupinami nesoucí záporný náboj (El-taweel a kol., 2023)
- Mechanismem elektrické dvojvrstvy v dynamické rovnováze
u emulzí /suspenzí je el. dvojvrstva vytvářena anionaktivními skupinami emulgátorů, karboxylů a ionty rozpuštěnými ve vodě (residua z iniciátorů, pufrů, soli z emulgátorů) (Coca a kol., 1983).
- Stérickou stabilizací (absorpcí polymerů na částicích)
u emulzí / suspenzí většinou neionogenní emulgátory, případně ochranné koloidy (např. PVA, HEC, PVP)(Bratby, 2016).

Destabilizace

K destabilizaci suspenzí/emulzí a podpoře flokulace se používají koagulanty, většinou hydrolyzující kovové soli , organické polymery (polyelektrolyty). Destabilizace může nastat následujícími mechanismy :

- Kompresí elektrické dvojvrstvy (elektrolyty, např. NaCl) (Tuček a kol., 1988).
- Neutralizací povrchového náboje

- Reakcí koagulantu s opačným nábojem vznikají vícemocné kationty (např. Al, Fe); polyelektrolyty redukují negativní náboj Zeta potenciál, koagulace nastává při mírně záporném Zeta potenciálu; předávkování koagulantu způsobí pozitivní nabití částic a opětovnou redispergaci (Bratby, 2016).
- Úpravou pH – např. u emulzí / disperzí stabilizovaných karboxylovou skupinou a anionaktivními skupinami emulgátorů dojde při použití minerální kyseliny k převodu těchto skupin na kyselou formu a následné destabilizaci koloidní soustavy. Kyseliny jsou obvykle efektivnější než soli Al, Fe, ale kyselá voda musí být po separaci polymeru neutralizována (Binniea a Kimber, 2013). Naopak výhodou solí Al, Fe je, že jejich hydroxidy podporují aglomeraci sražených částic do snáze odstranitelných vloček (Coca a kol., 1983).

- Heterokoagulaci
vzájemnou koagulací částic s opačným nábojem
- Absorpcí a mezičásticovým přemostěním (polymery, Ca²⁺)
Dochází k adsorpci polimeru na koloidní částice.
Značný vliv na průběh koagulace, zejména na její ortokineticke stádium, má intenzita a doba míchání. Při optimálních hodnotách rychlostního gradientu (20-100s⁻¹) i odvozených Campových číslech dochází k agregaci částic, kdežto při překročení přípustné meze gradientu (Campova čísla) se rozbíjejí již vzniklé vločky a jejich separace je pak mnohem obtížnější (Pitter a kol., 1983).

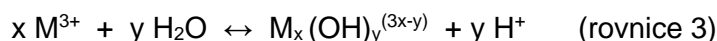
TYPY KOAGULANTŮ DESTABILIZACE

Pro koagulaci se používají různé typy koagulantů, jejich výběr závisí především na upravované vodě, technologickém postupu a na požadované jakosti upravované vody. Nejčastěji se pro jejich univerzálnost použití využívají pro koagulaci hydrolyzující kovové soli železa a hliníku (Lee a kol., 2014). Další možností je využití polyelektrolytů (Tuček a kol., 1988).

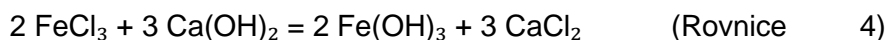
Hydrolyzující kovové soli Al, Fe jako koagulanty

Při koagulaci se ze základních koagulantů používá 1% roztok chloridu železitého, síranu hlinitého, síranu železnatého nebo hlinitanu sodného (Pitter a kol., 1983). Méně stálé jsou roztoky chloridu železitého, které podléhají i při poměrně nízké hodnotě pH pomalé hydrolyze, čímž se snižuje koncentrace účinné složky v roztoku koagulantu (Bratby, 2016). Je tedy potřeba připravovat koncentrovanější roztoky, které se pak ředí vždy až těsně před vlastním pokusem.

Ve vodném prostředí dochází k hydrolyze kovových solí, obecně lze reakci vyjádřit pomocí rovnice 3 :



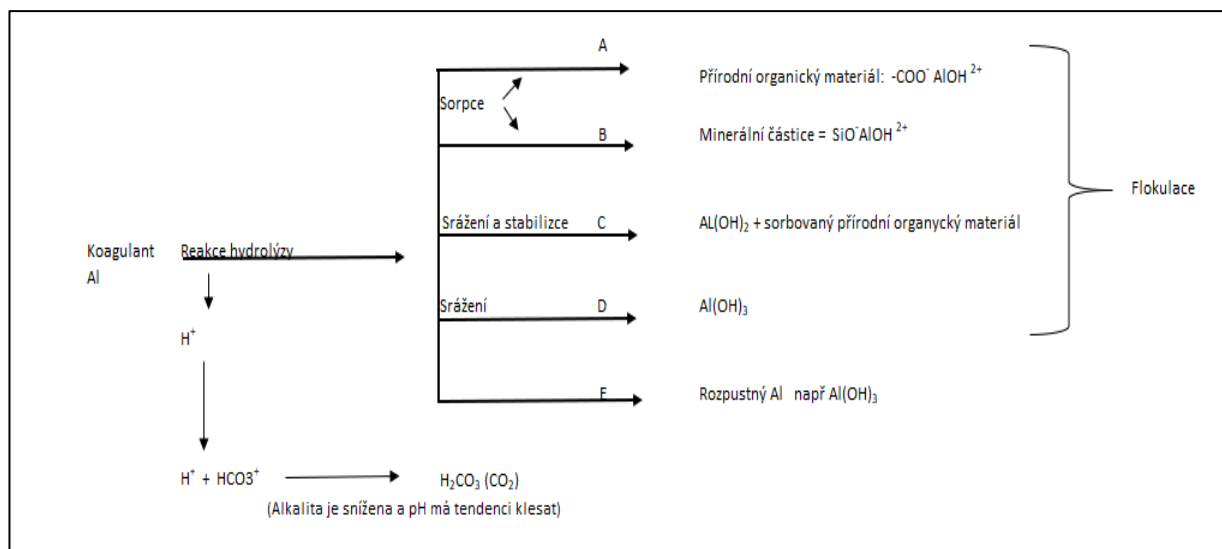
Při hydrolyze solí dochází k tvorbě nerozpustných rosolovitých hydroxidů podporujících flokulaci (Duan a Gregory, 2003). Minimální rozpustnosti při 25° C jsou při pH 6,3 pro Al(OH)₃ a při pH 8 pro Fe(OH)₃ (Pitter a kol., 1983). Tyto hodnoty jsou rovněž optimální pro koagulaci, která je na pH značně citlivá, čím nižší je koncentrace koagulantu tím větší je citlivost na pH. Kontinuální měření a úprava pH je pro koagulaci zásadní. Kromě pH závisí hydrolyza na teplotě a iontové složení vody. Pro neutralizaci se běžně používají alkálie, např. Ca(OH)₂, Na₂CO₃ nebo NaOH. Neutralizace probíhá dle rovnice 4 (Bratby, 2016).



Další výhodou koagulantů na bázi Fe a Al je jejich dostupnost na trhu a poměrně nízká cena, jsou tedy často využívány v průmyslovém měřítku (Lema a Suarez, 2017).

Působení koagulantů na bázi hydrolyzujících kovových solí

Při přidávku koagulantu do vody s kalem/ částicemi mohou nastat následné možnosti s tvorbou vloček (shluku částic) viz obr. č. 7: Popis možností tvorby vloček v OV po přidávku koagulantu.



Obrázek 7: Popis možností tvorby vloček v OV po přidavku koagulantu

Vysvětlivky k obrázku č.7:

- Možnost A, B je reakce hydroxidu kovu s vazebním místem částice, koagulace neutralizací povrchového náboje (záporného); dávkování koagulantu podle koncentrace částic, hustoty povrchového náboje; důležité je pH
- Možnost C, D - v závislosti na podmínkách (hustotě náboje, míchání,...) dochází při přebytku kovových solí nebo paralelně s možnostmi A, B ke srážení kovových hydroxidů, případně rozpuštěných produktů hydrolyzy solí kovů; částice kalu absorbují na hydroxidech kovů, při přebytku koagulantu klesá koncentrace částic kalu na hydroxidech, nedostatek negativně nabitých částic na pozitivně nabitých částicích hydroxidů způsobí destabilizaci suspenze /emulze a formaci vloček kovového hydroxidu a nasorbovaného kalu (při daném pH rozdílnosti v počátečním povrchovém náboji hydroxidů vysvětlují vyšší spotřebu Fe solí ve srovnání se solemi Al); při nízkém pH může být proces vratný a k tvorbě vloček nedochází (nemožnost odstranění kalu)
- Možnost E je tvorba rozpustných produktů hydrolyzy kovových solí; pro dané dávkování koagulantu závisí tvorba hydroxidů především na pH (minimální rozpustnost $Al(OH)_3$ při pH ~ 6, $Fe(OH)_3$ při pH ~ 8), dále na reakční době, teplotě a dalších faktorech.

Polyelektrolyty jako koagulanty

- Jedná se o anionaktivní / kationaktivní / neionogenní polymery. Jejich účinnost ovlivňuje iontový charakter, polární povaha vazeb v molekule, geometrie a molekulová hmotnost.
- Nejsou tak efektivní jako soli Al^{3+} , Fe^{3+} , ale jsou efektivní alternativou v případě přímé filtrace (bez sedimentace / flotace), kdy produkují malé agregáty s vysokou hustotou; převážně kationaktivní (neutralizují povrchový náboj). Polyaminy mohou při vyšším pH hydrolyzovat za tvorby OH^- stávají se tak neionogenní např:
 - Polyaminy
 - Polykvartérní polymery
 - polyDADMAC (polydiallyldimethylamoniumchlorid)
 - epiDMA – epichlorhydrindimethylamin (Bratby, 2016).

Kombinace koagulantů

Např. komerčně dostupné směsi předhydrolyzovaných Al solí s kationaktivním polyelektrolytem jsou výhodnější v lepší manipulaci s omezeným množstvím kalu, menší spotřeba louhu, vyšší účinnost, možnost přímé filtrace.

Interpretace výsledků koagulace

Koagulaci ovlivňuje mnoho faktorů, proto je laboratorní simulace a procesní optimalizace zásadní pro dané podmínky. Základní faktory jsou : dávka koagulantu, zásaditost, pH, koncentrace a charakter kalu, tvorba hydroxidu kovu (povrchová charakteristika a rozpustnost).

4.4.2 Flokulace

Účel flokulace spočívá v podpoře interakce částic, formaci agregátů, které mohou být efektivně odstraněny v následném procesu separace (sedimentace / flotace / filtrace). Předcházet musí destabilizace suspenze / emulze koagulací (Prakash a kol., 2014). Flokulace je na rozdíl od koagulace fyzikální proces (koagulace je proces chemický). Proces flokulace vyžaduje jednak potřebný čas zdržení na „vyzrávání“ vloček za současného promíchávání objemu, ve kterém k tvorbě a narůstání vloček dochází. Počet kolizí částic je úměrný jejich koncentraci. Kolizi částic a destabilizaci suspenze / emulze způsobuje relativní pohyb částic a následné mechanismy:

- Brownův pohyb
nevýznamný v systémech s významným mícháním a prouděním (Tuček a kol., 1988).
- Rychlostní gradient laminárního proudění
významný pro větší částice a vyšší smykové rychlosti
- Rozdílné usazovací rychlosti
významné pro větší částice lišící se velikostí a měrnou hmotností
- Turbulentní pohyb
Hodnota rychlosti míchání není ve všech místech míchaného objemu stejná

Procesu vločkování (tvorba větších shluků agregovaných částic) napomáhá přidavek organických polymerů, které mají vysokou molekulovou hmotnost. K vzájemným vazbám mezi polymery a pevnými nečistotami v OV dochází díky odlišnému elektrickému náboji polymerního řetězce a okolních nečistot. Tyto polymery jsou nazývány flokulanty nebo pomocné koagulanty (Bolto a Gregory, 2007).

Flokulanty (pomocné koagulanty)

Flokulanty se přidávají na konci flokulace, podporují zvětšení vloček a spojování částic do aglomerátů (Radoiu a kol., 2004).

Flokulanty můžeme dělit na kationaktivní, anionaktivní, neionogenní.

- Kationaktivní flokulanty se vyrábí kopolymerací akrylamidu s amoniovými deriváty akrylamidu. Vyskytují se ve formě prášků nebo emulzí. Kationaktivní flokulanty jsou vhodné pro nízké pH odpadních vod. Dostupné jsou kopolymery akrylamidu s DMAEM (dimethylaminoethylmetakrylát) nebo kopolymery akrylamidu s DADMAC (Witecki a kol., 2022).
- Neionogenní flokulanty se používají pro zlepšení odvodnění. Neovlivňují pH (nevyžadují adjustaci pH pro efektivní použití). Můžou se vyskytovat ve formě prášků nebo emulzí. Dostupnými jsou např. polyakrylamidy (Fečko, 2001).
- Anionaktivní flokulanty vznikají částečnou hydrolyzou nebo kopolymerací s kyselinou akrylovou. Vznikají polymery rozpustné ve vodě s aniontovým charakterem (Khazaie a kol., 2022). Anionaktivní polyelektrolyty mohou při

nižším pH hydrolyzovat za tvorby H^+ a stávají se neionogenní, jsou nezávislé na pH. Dostupné jsou polyakryláty a kopolymery akrylamidu s akryláty (Tuček a kol., 1988).

Neznamená to však, že by anionaktivní / kationaktivní polymery nemohly být efektivně použity jako flokulanty při nízkém / vysokém pH (Zhou a Franks, 2006). Optimální volba by měla být vždy laboratorně odzkoušena (Bratby, 2016).

Koagulace a flokulace – shrnutí

Proces koagulace vyžaduje intenzivní míchání k rozmíchání koagulantu, podpoře kolizí částic způsobující rozbití koloidní stability systému a v závislosti na typu suspenze / emulze čas k ustálení a neutralizaci povrchového náboje částic.

Proces flokulace vyžaduje pomalé míchání, které jemně spojí koagulované částice do větších vloček, flokulant podporuje vytváření a spojení vloček do sítě. $10-100\text{ s}^{-1}$.

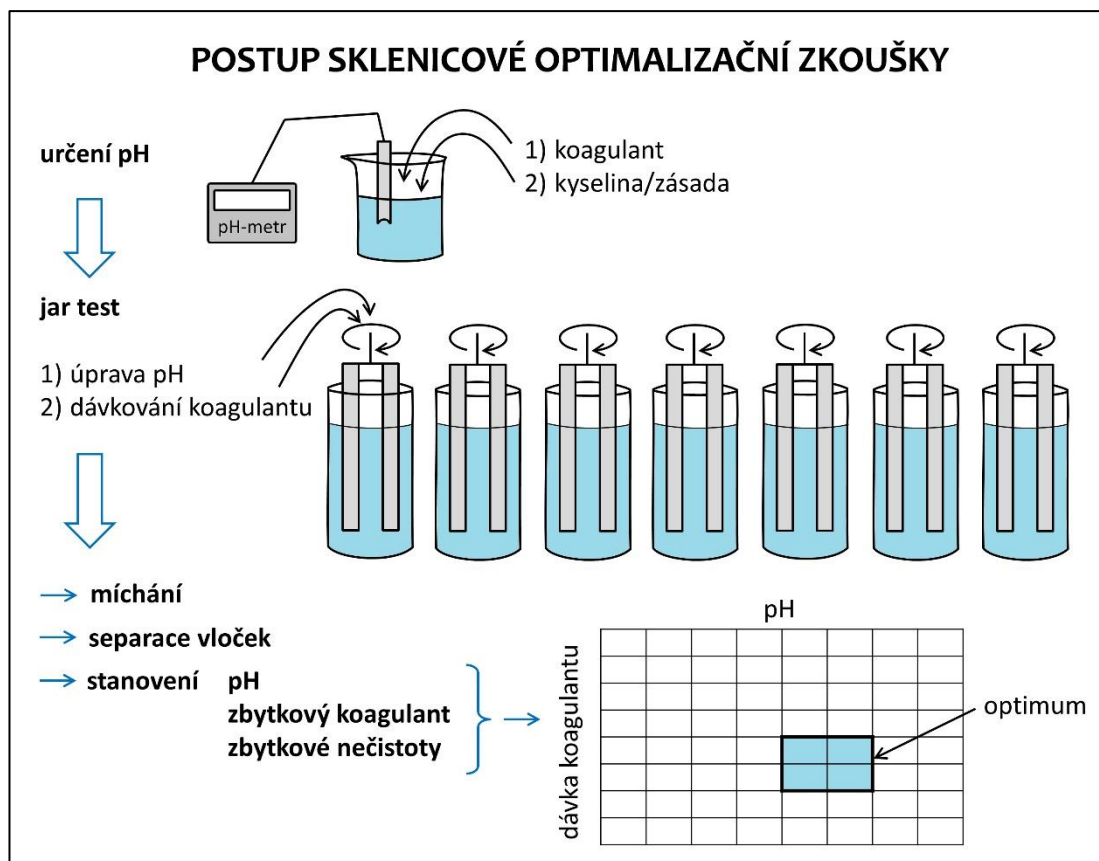
Vliv teploty na koagulaci a flokulaci

Obecně rychlost tvorby vloček a odstranění primárních částic klesá s klesající teplotou (zvláště u zředěných suspenzí). S klesající teplotou klesá rychlost hydrolyzy kovových solí a snižuje se rozpustnost hydroxidů kovů.

Monitorování procesu koagulace a flokulace

Pro monitorování a optimalizace procesu koagulace a flokulace, můžeme využít měření/zkoušky jako:

- elektrokinetická měření :
 - elektroforetická pohyblivost (Zeta potenciál)
- měření zákalu
- sklenicová optimalizační zkouška – pro laboratorní testování (slouží ke stanovení optimální dávky koagulačního činidla a reakčního pH), viz obr. č. 8: Schéma sklenicové optimalizační zkoušky a jejího vyhodnocení.
- optimalizace intenzity míchání – míchání je zásadní pro separaci
- test agregace – slouží k vyhodnocení stavu a vývoje agregátů v průběhu testu (Pivokonský a kol., 2019).



Obrázek 8: Schéma sklenicové optimalizační zkoušky a jejího vyhodnocení (Načeradská a kol., 2019)

Podmínky	Koagulace	Flokulace
Povaha pevné látky	Početné jemné částice	Izolované velké vločky
Aplikované chemikálie	Nízkomolekulární činidla neutralizující náboj	Vysokomolekulární pojiva částic
Vyžadovaná energie	Rychlé promíchávání	Pomalé míchání
Monitorování	Nezbytné je měření pH Doporučeno: Zeta potenciál, zákal	

Tabulka 3: Shrnutí podmínek pro koagulaci a flokulaci

4.4.3 Separace vysráženého a vyvločkováného kalu

Po koagulaci a flokulaci následuje separační krok odstranění vysráženého a vyvločkováného kalu z odpadní vody. Dle charakteru kalu se obvykle jedná o sedimentaci, flotaci a v některých případech přímou filtraci (Sun a kol., 2019). Sedimentace a flotace umožní snazší a efektivnější následnou filtraci nebo odstředění kalu. Každý z těchto technologických kroků vyžaduje pro svou maximální účinnost vločky/agregáty se zcela rozdílnými vlastnostmi, které závisí na intenzitě míchání.

Sedimentace

Sedimentace je proces založený na usazování částic s vyšší specifickou hmotností než kapalina v gravitačním poli.

Teorie rozlišuje více typů sedimentace, např. :

- A. oddělené částice o nízké koncentraci bez flokulace a mezičásticových efektů
- B. nízké koncentrace s koalescencí a flokulací částic
- C. zónové usazování při vyšších koncentracích a interakcích, zóny s rozdílnou rychlostí usazování

A) oddělené částice o nízké koncentraci bez flokulace a mezičásticových efektů

Rychlost usazování ovlivňuje velikost, tvar, a měrná hmotnost částic a rovněž vlastnosti kapaliny (teplota, viskozita, měrná hmotnost). Hnací sílu sedimentace F můžeme vyjádřit :

$$F = g \cdot (\rho_c - \rho_k) \cdot V$$

g – gravitační konstanta (Rovnice 5)
 V – objem částic
 ρ_c / ρ_k - měrná hmotnost částic / kapaliny

(Synthomer, 2020)

B) nízké koncentrace s koalescencí a flokulací částic

U flokulace záleží na tvaru a velikosti vloček. Optimální podmínky flokulace je vhodné určit laboratorním / poloprovozním testem.

Rychlost průtoku vody při sedimentaci musí být redukována na hodnotu umožňující sedimentaci částic gravitační silou v době zdržení odpadní vody v usazovací nádrži. Usazovací plocha sedimentačních nádrží musí být dostatečně velká k redukci stoupající rychlosti vody. Pro ideální usazovák platí :

$$v_t \geq Q / A$$

(Rovnice 6) v_t - rychlost usazování částic
 Q – průtok / přítok
 A – průřez usazováku

(Synthomer, 2020)

C) zónové usazování při vyšších koncentracích a interakcích, zóny s rozdílnou rychlostí usazování

Rychlost usazování je menší u koncentrovaných suspenzí než u méně koncentrovaných. Dochází ke vzájemné interakci částic, zvláště pokud jsou usazovací rychlosti rozdílné v důsledku nestejně velikosti, tvaru, měrné hmotnosti částic. Výpočty jsou složité, v tomto případě je vhodné experimentální měření. Rychlost usazování rovněž ovlivňuje proudění kapaliny zvláště vzestupné, jak bylo uvedeno výše.

Filtrace

Likvidace kalů je jednou z hlavních problémů při čištění odpadních vod a v některých případech mohou náklady na ni tvořit i více než polovinu celkových nákladů na čištění. Filtrace je využívána k zahušťování kalu, gravitačně nebo centrifugací. Zahušťování kalu je používáno k redukci hydraulického zatížení kalového hospodářství. Gravitační a mechanické způsoby významně snižují obsah vody v kalu, čímž se snižuje i objem kalu, který musí být v systému zpracován. Filtrace, zadržuje vodnatý kal na pórovité vrstvě kalového koláče, která propouští jen kapalinu, v relativně rychlém čase oproti sedimentaci. (Pitter a kol., 1983). Kal se vyfiltruje a následně se kal přesune do přístroje, kde se dosuší.

4.4.4 Zpracování separovaného kalu

Separovaný kal ze sedimentace obsahuje dle charakteru max do 10 % sušiny a vyžaduje další zpracování např. odvodnění nebo zahuštění na obsah vody < 50-70%, zbytek vody je obvykle chemicky a fyzikálně vázán.

Chemická stabilizace / úprava kalu

Chemická stabilizace připravuje kal pro lepší a ekonomičtější odvodnění (Bindzar, 2009) filtrací nebo odstředěním, úpravou pH, dle typu kalu stabilizace / flokulace tak, aby částice byly co největší za pomoci Al a Fe soli bez vápna nebo s vápnem, flokulanty všech typů. Nevýhodou anorganických koagulantů/flokulantů jsou korozivní vlastnosti, skladování, manipulace, dávkování a údržba zařízení. Organické polymery mají výhodu ve snadné manipulaci skladování, efektivitě (nezvyšují množství odpadu), jsou však dražší. Často rozhoduje cena, vhodná je laboratorní / poloprovozní optimalizace.

4.4.5 Odvodnění / zahuštění kalu

Při biologickém čištění se tvoří biologický kal, při čištění v aktivaci přebytečný aktivovaný kal a při čištění na biologických filtrech přebytečný kal z biologických filtrů. Tyto kaly se oddělují od vyčištěných vod v sekundárních (dosazovacích) nádržích. Biologické kaly se obvykle přečerpávají z dosazovacích nádrží do nádrží primárních a zpracovávají se společně s primárním kalem jako tzv. kal smíšený. Ve smíšeném kalu převládá kal primární. Surovým kalem se rozumí buď samotný kal primární, nebo kal smíšený. Zpracovává se obvykle anaerobním procesem, methanizací. Vzniká anaerobně stabilizovaný kal (Pitter a kol., 1983).

Po koagulaci odpadají železité nebo hlinité kaly. Kaly po koagulaci se skládají převážně z hydratovaných oxidů Fe_3 nebo Al_3 . Koagulační kaly v usazovacích nádržích obsahují asi 1 až 5% sušiny a jejich BSK (biologická spotřeba kyslíku) značně kolísá (asi do 30 do 1 000 mg/l) (Pitter a kol., 1983). Při odvodnění kalu můžeme použít 3 metody:

- A. Vakuový – pasový / bubnový filtr (vakuová filtrace)
- B. Tlakový filtr (tlaková filtrace)
- C. Odstředivka

A. Vakuová filtrace

K vakuové filtraci potřebujeme pasový nebo bubnový filtr. Horizontální rotační bubnový filtr s filtračním sítím / tkaninou, $\frac{1}{4}$ ponořená do kalu (Binnie a Kimber, 2013). Ve vnitřní části aplikace vakua a odvod vody, kalový koláč je seškrabován kontinuálně v boční části před ponořením do kalu, případně odstraněn střídáním vakua/přetlaku; účinnost 12–54 kg/m².h, vlhkost koláče se pohybuje okolo 80–84 % pro aktivovaný kal a 60–68 % pro dobře zpracovaný primární kal; výhodou této metody je malý prostor (Moo-Young a Tucker, 2002).

B. Tlaková filtrace

Pro tlakovou filtraci potřebujeme tlakový filtr. Nejběžnější je listový nebo deskový filtr. Dále potřebujeme síto / tkanina podobně jako u vakuového filtru, přetlak však vytváří kalové čerpadlo. Filtrace probíhá pod tlakem 600–1400 kPa. Po dosažení maximálního tlaku dojde k přerušení / otevření a odstranění filtračního koláče. Výhodou tlakové filtrace jsou menší náklady na chemikálie oproti vakuové filtraci a také rychlost. Nevýhodou je přetržitý provoz, vysoké náklady na provoz a údržbu.

C. Odstředivka

Odstředivka je rotační zařízení, funguje na principu separace odstředivou silou a sedimentací (Lyčková a kol., 2009). Existují různé typy odstředivek např. Horizontální s kónickým válcem a celistvým rotorem, bubnové nebo diskové. Odstředivka zachytí 85–95 % sušiny. Problém nastává u proměnlivých faktorech kalu např. hustoty a vlastností kalu, při teplotě nebo při použitých chemikáliích (Binnie a Kimber, 2013). Pro úspěšné odstředění rozhodují dva faktory, suchost kalového koláče a výtěžek sušiny viz tab. č. 4: Vliv provozních parametrů na suchost koláče a výtěžek sušiny.

Parametr	↑ suchost koláče	↑ výtěžek sušiny
Rychlost rotoru	↑	↑
Objem odsávané kapaliny	↓	↑
Rychlost odvodu sušiny	↓	↓
Rychlost dávkování	↑	↓
Hustota kalu	↓	↑
Použití flokulantů	-	+
Teplota	↑	↑

Tabulka 4: Vliv provozních parametrů na suchost koláče a výtěžek sušiny

Pro tyto 3 metody odvodnění kalu platí výhody i nevýhody, které jsou shrnuty v tab. č. 5: Srovnání technologií zahuštění/odvodnění kalu.

Technologie	Výhody	Nevýhody
Odstředivky	<ul style="list-style-type: none"> -malý prostor, snadná instalace -nejvhodnější pro kontinuální provoz -dobré zachycení pevných obtížně filtrovatelných látek -efektivní pro aktivovaný kal -minimální nároky na obsluhu -minimální problémy se zápachem -možné vysoké a poměrně efektivní zahuštění kalu 	<ul style="list-style-type: none"> -relativně vyšší spotřeba energií -relativně vyšší investiční náklady -náročnější údržba - hluk, vibrace - nízká koncentrace pevných látek ve srovnání s ostatními metodami
Rotující vakuový bubnový filtr	<ul style="list-style-type: none"> -nízké nároky na prostor -nízké investiční náklady -nízká spotřeba energií -dosažitelné vysoké zachycení sušiny 	<ul style="list-style-type: none"> -závislost / citlivost na charakteru flokulantu -vysoké nároky na obsluhu -možnost obtěžujícího zápachu -střední nároky na zaškolení
Tlaková filtrace	<ul style="list-style-type: none"> -malý prostor -vysoká účinnost odvodnění a nízká koncentrace pevných látek ve filtrátu -nízké náklady na chemikálie -dosažitelné vysoké koncentrace zahuštění a zachycení sušiny 	<ul style="list-style-type: none"> -přetržitý provoz -vysoké náklady na provoz a údržbu -omezená životnost filtračních pláten

Tabulka 5: Srovnání technologií zahuštění/odvodnění kalu

4.4.6 Likvidace kalu – sušení / pálení

Sušením vzduchem / tepelnou energií na loži lze snížit vlhkost kalu na cca 40–60 % vlhkosti. Pálením lze dosáhnout podstatné zredukování objemu kalu, detoxifikaci a využití energetického obsahu, tím následnému snížení nákladů na energie (regeneraci energií). Nevýhody závěrečné likvidace kalu lze spatřit v náročnější manipulaci a případných dopadech na životní prostředí.

Energetický obsah / výhřevnost odpadního kalu lze stanovit kalorimetricky. Pokud je známé základní (elementární) složení jako vlhkost, popel, C, H,S,N,O lze energetický obsah / výhřevnost vypočítat podle Dulongova vztahu :

$$\text{kJ / kg} = 337 \cdot \text{C} + 1419 \cdot (\text{H} - 1/8 \cdot \text{O}) + 93 \cdot \text{S} + 23 \cdot \text{N}$$

kde C,H,O,S,N jsou hmotová % jednotlivých prvků, a 1/8 O odpovídá vodíku ve vázané vodě v suchém spalitelném kalu.

5. METODIKA/EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této bakalářské práce je zaměřena na vývoj metodiky pro laboratorní testování odpadních disperzních vod, které jsou ve výrobním provozu zpracovávány technologií koagulace a flokulace, s cílem podpořit přenos informací z výzkumu do praxe a ukázat na nutnost optimalizace podmínek koagulace (flokulace) při jakékoli změně procesních parametrů. Jak vyplývá z teoretické části účinnost koagulace je ovlivněna řadou parametrů, především složením a koncentrací znečišťujících látek (v tomto případě disperze), použitým typem koagulačního činidla a jeho dávkou, teplotou a pH vody, intenzitou a dobou míchání. Optimalizace takového systému, který disponuje spousty proměnnými, je velmi obtížná.

Jak bylo zmíněno výše v teoretické části výrobní disperzí je schopna vyrobit přes 52 různých typů produktů na sedmi výrobních linkách. Složení odpadních disperzních vod je tedy značně proměnlivé a je nutno neustále reagovat na množství sušiny v odpadních vodách a sledovat jejich možné složení. Denně je produkováno cca 20 m³ odpadních disperzních vod, které je potřeba zpracovat.

Z pohledu provozu jednotek koagulace a flokulace je důležité umět predikovat možné komplikace a přizpůsobit tomu složení odpadních vod či podmínky jejich zpracování. Komplikace v jednotce koagulace a flokulace nastávají především ve fázi zpracování kalu, v některých případech se kal velmi lepí a tuhne, proto je nutné vytipovat disperze, které mohou tyto problémy způsobovat a zaměřit se na optimalizaci jejich zpracování.

Dále je experimentální část této práce zaměřena na otestování vhodného typu odpěňovače, který by byl způsobilý k použití v podnikové B-ČOV k potlačení pění v aktivačních nádržích. Přečištěné odpadní vody technologií koagulace a flokulace mají větší tendenci k pění než původní odpadní disperzní vody, po smíchání se splaškovými vodami a nátoku do aktivačních nádrží B-ČOV může docházet k nežádoucímu pění obsahu aktivačních nádrží, což je nutné řešit.

Testovaný materiál

Pro laboratorní testy byly odebírány vzorky odpadních disperzních vod. Vzorky byly odebírány od července 2022 do ledna 2023 (každý měsíc minimálně 2x až 3x), aby byla co nejvíce pokryta variabilita procesu. Vzorky byly uchovávány při laboratorní teplotě a ve většině případů zpracovány bezprostředně po jejich odběru. V tabulce č. 6 je uvedeno pravděpodobné zastoupení typů disperzí v odpadních vodách, které byly podrobeny testům, a datum odběru vzorku.

Testované odpadní disperzní vody:

Složení odpadních vod s pravděpodobným zastoupením uvedených typů disperzí	Datum odběru
LEB 20	01.07.2022
3851,4805,7793, 1699, 2040, 7703	08.07.2022
AL3851,PXA1699,A1819,AL4805,AD2040,A427M,AL4701,AL4804	12.07.2022
RAE4625,A1819,AD2040,AT4803,A6494	22.07.2022
A1819,A7703,A315,A4804,AL3851	29.07.2022
PXA1699,Al4805,A7793,AUG3861,AUG3851	09.08.2022

Nespecifikováno	19.08.2022
Nespecifikováno	23.08.2022
Nespecifikováno	20.09.2022
3851,2610,1819, 4804, 6494	27.09.2022
PA1819, PA7703, RL4701, PA6494, P4804S	06.10.2022
PL3851, PD2040, PA315, PA6474, EX239, EX309	13.10.2022
PL3851, PA7703, PL4805, PA315,PA6474,PA6192, P4804S	31.10.2022
PA1819, PL3851, PL4805, PA7799, PA427M, PXA1624	14.11.202
DISPERZNÍ VODA Z ODSTÁVKY	24.11.2022
DISPERZNÍ VODA Z ODSTÁVKY	2.12.2022
PA1819, PXA1699, PA7703, PA427M, PA6474	13.12.2022
PA1819, PA7703, PA4277, PA6192	06.01.2023
PA7703, PA427M, P4804S, PL4801, PA1699	19.01.2023
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	26.01.2023
PA1819, PD2610, PL4801, PL4805, PA7793, RD1425, PUG3852	21.02.2023

Tabulka 6: Složení a datum odběru vzorku

Pojmy

Odpadní disperzní vody= jsou vody odebírané z provozní jímky a používané pro testování

Přečištěné vody= výstupní analyzované vody po fázi koagulace, flokulace a filtrace

Odběr a příprava vzorku pro laboratorní testování

Odpadní disperzní vody byly nejčastěji odebírány z provozní jímky výroby disperzí, či z provozní jímky VL6. Před samotným odběrem vzorku odpadních vod byl obsah provozní jímky důkladně promíchán, aby došlo k homogenizaci obsahu jímky. Vzorek odpadních vod byl odebírán cca ze středu jímky pomocí odběrné nálevky v množství 5L do čistých kanystrů. Každý kanystr určený pro odběr vzorku byl označen datem odběru odpadních vod a typem disperzí, které mohou být v minoritním množství v odpadních vodách obsaženy. Vzorek byl skladován při pokojových podmínkách, podle potřeby byl dále vzorek naředěn destilovanou vodou na požadovanou sušinu. Úprava sušiny byla aplikována především pro vzorky, které obsahovaly nad 4 % pevných podílů.

Před samotným testováním byla ve vzorku stanovena sušina pomocí analyzátoru vlhkosti. Sušina je jedním z parametrů, na základě, kterého je řízen proces koagulace a flokulace. Metodika stanovení sušiny s ohledem na přístrojové variace byla navržena dle dostupných norem.

Postup měření sušiny

Před stanovením sušiny je vzorek intenzivně promíchán, aby došlo k jeho homogenizaci, jelikož u některých vzorků dochází k velmi rychlé sedimentaci.

Sušina byla stanovována pomocí analyzátoru vlhkosti typu HG 63, viz obr. č. 9: Analyzátor vlhkosti.

V Petriho misce, která se umísťuje do analyzátoru vlhkosti, bylo pomocí stříkačky naváženo 5 g vzorku. Vzorek byl rozprostřen po celé ploše misky, aby dno misky bylo rovnoměrně pokryto. Následně proběhlo samotné stanovení sušiny s přednastavenou metodou nárůstu teploty na 140 °C a automatickým časovačem do konstantní hmotnosti



Obrázek 9: Analyzátor vlhkosti

5.1 Popis metodiky pro laboratorní testování koagulace a flokulace

Metodika pro laboratorní testování koagulace a flokulace odpadních disperzních vod byla vyvinuta v návaznosti na reálné zpracování odpadních disperzních vod v podnikové čistírně odpadních vod. Laboratorní testy modelují průběh procesu tvorby suspenze a slouží k optimalizaci provozních parametrů. Metodika byla vyvíjena s ohledem na možnosti laboratorního vybavení a na designové podmínky stávající technologie, byly tedy využívány stejné chemikálie, navržena obdobná intenzita míchání, úprava pH a návaznosti jednotlivých kroků technologie tak, aby byla zachována podobnost modelového zařízení s provozem.

Na základě konkrétních požadavků provozu úpravny vod byly prováděny následující testy:

- Optimalizace dávky koagulačního činidla za určitých podmínek míchání odpovídající stávající technologii
- Optimalizace dávky pomocného flokulačního činidla
- Zhodnocení a kontrola dávek koagulačního činidla v návaznosti na obsah polymerních částic (hodnotu sušiny) a kvalitu přečištěné vody

5.1.1 Parametry hodnocení testů

Optimalizaci provozních podmínek při úpravě vody je nutné provádět při každé změně vstupní suroviny (odpadní disperzní vody), např. při změně pH, složení nebo CHSK.

Při laboratorním testování byly sledovány především následující parametry:

V průběhu testování

V průběhu laboratorních testů se monitoroval přídavek koagulačního, neutralizačního a flokulačního činidla v ml, sledoval se průběh koagulace, vzhled vznikající suspenze po přidavku koagulantu a narůstajících agregátů po přidavku flokulantu. Hlídalo se pH po kroku koagulace a neutralizace.

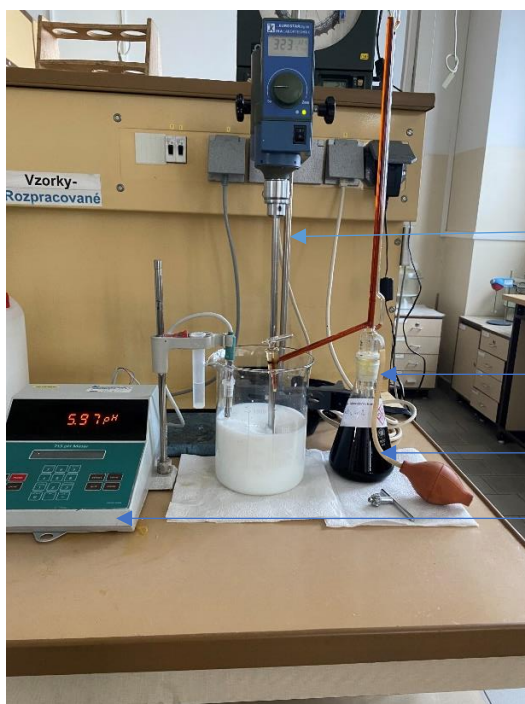
Po testování/v přečištěné odpadní vodě

Hlavní parametr pro hodnocení kvality přečištěné vody byla hodnota zákalu, která souvisí s množstvím nerozpuštěných látek. Zákal čím nižší je hodnota zákalu tím je nižší je obsah znečišťujících příměsí a vyšší účinnost koagulace na základě čehož je stanovována optimální dávka koagulačního činidla. Ze subjektivního hodnocení se porovnával vzhled vzniklých vloček při různých přídavicích flokulantu a charakter vznikajícího kalu.

5.1.2 Použité zařízení / laboratorní vybavení

K optimalizaci podmínek koagulace a flokulace bylo využito následující vybavení:

- pH metr
- mechanické míchadlo
- magnetické míchadlo
- váhy
- analytické váhy
- analyzátor vlhkosti (typ HG 63, výrobce Mettler Toledo),
- turbidimetr (Turb 430 IR)
- byreta automatická
- kádinky
- Erlenmayerova baňka
- stříkačky
- lžičky
- stříčka
- trychtýř pro filtraci
- uhelové síto 50 μm
- filtrační papír
- odměrný váleček
- plastová / skleněná tyčinka
- sklíčka / parafilm
- plastové lahve/vzorkovnice
- Petriho miska



Turbínové míchadlo

Erlenmayerova baňka

Koagulační činidlo

pH metr

Obrázek 10: Testovací aparatura

Aparatura pro testování je složena z kádinky, zásobníku na koagulační činidlo (Erlenmayerova baňka) s automatickou byretou pro možnost přesného dávkování koagulantu, míchadla s možností nastavení rychlosti otáček a pH metru. Veškeré testy probíhaly na stejné testovací aparatuře, aparatura byla využívána pro testování fáze koagulace a neutralizace OVD. Jako reakční nádoba byla zvolena 2 litrová kádinka kvůli zajištění rovnoměrné distribuce gradientu rychlosti.

5.1.3 Použité chemikálie

Pro testování byly využívány tyto chemikálie - koagulační činidlo, neutralizační činidlo pro předúpravu pH a pomocné agregační činidlo (flokulant). Roztoky koagulačního a neutralizačního činidla byly připravovány v provozu ČOV z chemikálií používaných na úpravně. Pouze roztok flokulačního činidla byl vždy před zahájením testů čerstvě připraven v laboratoři. Na provoz úpravny odpadních vod je toto činidlo dodáváno jako 50% roztok, v procesu je flokulant naředěn na koncentraci 0,3 %, což je dávka doporučovaná výrobcem. Koncentrace dávkovaných činidel by měla zaručovat jejich stabilitu a přesnost dávkování.

Koagulační činidlo

40 % FeCl₃

Neutralizační činidlo

10 % Ca(OH)₂

Flokulant

50 % flokulant SOKOFLOK EM 840HIB

Další použité chemikálie (pouze pro oplach a čištění vybavení)

ethanol 96 %, destilovaná voda

Příprava 0,3% roztoku flokulantu

Postup přípravy čerstvého roztoku flokulačního činidla je shrnutý v následujících odstavcích:

Pro přípravu roztoku o hmotnostní koncentraci 0,3 % bylo naváženo 0,6 g 50% roztoku flokulantu a 100 g destilované vody. Potřebné množství flokulantu i destilované vody bylo odváženo na analytických vahách.

Destilovaná voda společně s magnetickým míchadlem byla předložena do kádinky a umístěna na magnetickou míchačku s možností ohřevu. Za stálého míchání bylo postupně po kapkách přidáváno navážené množství flokulantu, tak aby došlo k řádnému rozpuštění/promíchání a homogenizaci roztoku. Při rychlém nadávkování flokulantu nebylo možné roztok dobře promíchat/homogenizovat.

Míchadlo a stanovení intenzity míchání v průběhu testování

Jako míchadlo pro laboratorní testování byl využit typ turbínového kovového míchadla, viz obr. č. 11, které je v laboratorním měřítku využíváno pro přípravu vodných roztoků disperzí. Míchadlo bylo uchyceno do elektronického hřídelového míchadla s digitálním ukazatelem s možností nastavení počtu otáček rotoru.



Obrázek 11: Turbínové míchadlo

Jelikož hodnoty gradientů rychlosti na úpravně odpadních vod nelze jednoduše stanovit a přenést do laboratorního měřítka, byl zajištěn následující sled míchání a aplikovány doporučené gradienty rychlosti:

- homogenizační míchání ($G = 300 - 500 \text{ s}^{-1}$ doba zdržení 30-60 s)
- rychlé agregační míchání ($G = 100 - 200 \text{ s}^{-1}$, doba zdržení dle provozu)

5.1.4 Postup laboratorního testování

Rozhodujícími parametry, které ovlivňují průběh destabilizace a následnou agregaci znečišťujících látek v odpadních disperzních vodách a tím i celou účinnost koagulace, jsou reakční pH a dávka koagulačního činidla. V praxi je často aplikovaným postupem stanovení optimálního množství koagulantu dávkování odstupňovaných dávek činidla bez kontroly hodnoty pH, tento postup byl zvolen i při laboratorním testování popsaném níže. Záznamy testů byly uváděny do tabulky, která je součástí přílohy

Metodika pro zaručení možnosti reprodukovatelnosti testů je popsána v následujících bodech:

1. Do reakční nádoby (= dvoulitrová kádinka) byl předložen litr vzorku. Zhruba do středu nádoby bylo umístěno mechanické míchadlo a zároveň byl do nádoby vložen pH metr pro možnost měření pH před a po přidavku činidel. Obsah nádoby byl míchán při otáčkách 200/minutu do ustálení vstupní hodnoty pH testovaných odpadních disperzních vod.
2. Do Erlenmayerovy baňky byl předložen roztok chloridu železitého a pomocí balonku byl tento roztok nadávkován do automatické byrety.
3. Před spuštěním dávky roztoku FeCl_3 do reakční nádoby, byly nastaveny otáčky na míchadle na rychlé homogenizační míchání (400 ot/min). Při zvýšených otáčkách bylo zahájeno dávkování koagulačního činidla. Intenzivní míchání probíhalo po dobu 30 - 60 s, následně se otáčky snížily na pomalejší agregační míchání (200 ot/min.). Tato fáze probíhala po dobu zhruba 15 minut.
4. Koagulant byl dávkován kontinuálně v předem definovaném množství nebo do tvorby znatelné sraženiny.
5. Po nadávkování stanoveného množství FeCl_3 bylo zaznamenáno pH.
6. Následoval neutralizační krok, kdy byl stříkačkou dávkován 10 % roztok $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do reakční nádoby do dosažení pH směsi 7,5-8,5 za stálého míchání (hodnota pH po neutralizaci reflektuje provozní podmínky na ČOV). Příklad vzhledu vzniklých agregátů po přidavku roztoku chloridu železitého a hydroxidu vápenatého je patrný z obr. č. 12: Přídavek koagulačního činidla a vápenného mléka.
7. Po fázi neutralizace bylo zastaveno míchání pomocí mechanického míchadla, pH metr i míchadlo bylo vyjmuto z nádoby.
8. Po kroku neutralizace následuje fáze flokulace, kdy byl pomocí stříkačky flokulant postupně dávkován do reakční nádoby za stálého ručního míchání tyčinkou. Velikost dávky flokulantu se odvíjela od velikosti vytvořených agregátů. Vhodná velikost shluklých agregátů pro krok následné filtrace byla hodnocena subjektivně na základě zkušeností z provozu. V této fázi nebylo měřeno pH.
9. Zflokulovaná směs se nechala minimálně 10 minut odstát v nádobě, kdy docházelo k usazování částic/kalu.
10. Po fázi usazování kalu následoval krok filtrace, kde byly zflokulované vody přefiltrovány přes uhelové síto o velikosti ok 50 μm . viz obr. Příklad vzhledu vzniklých agregátů po přidavku flokulantu a zbylý kal po odfiltrování přečištěné vody je patrný z obr. č. 13: Přídavek flokulantu a následná filtrace přes uhel. Přečištěná voda byla odebírána do vzorkovnic a následně analyzována. Kvalita přečištěné vody byl hodnocena na základě měřené turbidity/zákalu. Ke stanovení zákalu byl využíván turbidimetr, viz popis měření zákalu.
11. Z pevné fáze uchycené na uhelové síto byla přebytečná voda vymačkána a následně byl subjektivně hodnocen charakter kalu.



Obrázek 12: Přídavek koagulačního činidla a vápenného mléka



Obrázek 13: Přídavek flokulantu a následná filtrace přes uhelon

Popis měření zákalu

Hlavním parametrem pro hodnocení kvality přečištěné vody byl zákal, charakterizující znečištěné látky. Pro možnost porovnání účinnosti koagulace/ kvality přečištěné vody byla hodnota zákalu stanovena na 20 NTU (pro porovnání pitná voda má mezní povolenou hodnotu zákalu 5 NTU). Zákal se měřil pomocí turbidimetru (Turb 430 IR), který je na obr. č. 14: Turbidimetr.

Postup

Do kyvety, která byla před použitím třikrát vymyta destilovanou vodou a měřeným vzorkem poté se nalilo potřebné množství filtrátu, tak aby byla naplněna po okraj. Kyveta s filtrátem se před vložením do turbidimetru otřela mikrotenovým hadříkem, tak aby byla zbavena nečistot, otisků prstů a kapek pro zajištění nejspolehlivějšího výsledku. Měření bylo dvakrát opakováno. Při změně vzorku byla kyveta opět vypláchnuta, aby nedocházelo k ovlivnění měření dalšího vzorku.



Obrázek 14: Turbidimetr

5.2 Princip pro laboratorní testování odpěňovačů

Laboratorní testování odpěňovačů v definovaných vzorcích probíhalo dle zavedené metodiky. V provozu monomerů i disperzí se často setkáváme s problematikou pění procesních kapalin, což je řešeno testováním a návrhem vhodného typu odpěňovače. Laboratorní testy modelují provozní podmínky tvorby pěny a slouží právě k optimalizaci a návrhu odpěňovače vhodného pro daný systém, v našem případě pro biologickou čistírnu odpadních vod. Nejprve byla porovnána pěnivost odpadních disperzních vod a přečištěných vod a následně byly testovány pouze přečištěné odpadní vody.

Výběr vhodného odpěňovače byl diskutován přímo s výrobcí odpěňovačů. Důraz při výběru odpěňovače byl kladen především na biodegradabilitu a velikost doporučené dávky. Dále byla posuzována cena a dostupnost. V současnosti se na ČOV používají typy Agitan 120 a BYK 093, které jsou provozně odzkoušené

Cílem testování odpěňovačů je ověřit účinnost všech vybraných odpěňovačů v laboratorním měřítku, porovnat vlastnosti a doporučit vhodné typy.

5.2.1 Parametry hodnocení testů

V průběhu testování odpěňovačů se hlídal přídavek odpěňovače do předem napěněné přečištěné vody. Dále se monitorovala tvorba a objem pěny v předem daných časových intervalech.

5.2.2 Použité zařízení / laboratorní vybavení

- odměrný válec
- aerační kamínek
- stříkačka
- analytické váhy
- laboratorní čerpadlo
- laboratorní nádobí (kádinky, lžičky, tyčinky)

Laboratorní čerpadlo bylo před použitím zkalibrováno. Nastavení čerpadla se během testování neměnilo. Aerační kamínek byl před zahájením testů propláchnut v destilované vodě.

5.2.3 Použité chemikálie

Typy odpěňovačů, které byly vybrány pro testování, včetně porovnání jejich vlastností jsou uvedeny v tab. č. 7: Porovnání vlastností odpěňovačů. Tabulka uvádí komerční název odpěňovačů, doporučené množství pro daný typ, obsah aktivní složky a viskozitu.

Název	Doporučená dávka, ppm	Aktivní složka, %	Viskozita, mPa.S
Agitan 108	50-200	29	500
Agitan 109	100-200	50	3000
Agitan 301	100-200	100	medium
Agitan 361	100-200	100	medium
Agitan DF 6686 W	50-200	27	700
Fennodefo 5000	5-50	99	90
Agitan 120	1000-10000	25	3000

Tabulka 7: Porovnání vlastností odpěňovačů

Pro testování byly vybrány přečištěné vody z pokusu PA1819, PXA1699, PA7703, PA427M, PA6474 odebíraného 13.02.2022. Byl vybrán na základě malého množství přídavku koagulantu, flokulantu a nízké hodnoty zákalu (3,39 NTU).

Příprava odpěňovačů

Odpěňovače byly pro laboratorní testy používány v koncentrované formě, jelikož při ředění měly tendence se rozsazovat a aktivní složka ulpívala na stěnách nádoby, ve které byl roztok odpěňovače připravován. Dle doporučení výrobce byla dávka odpěňovače v ml přepočtena na 100% aktivní složky tak, aby koncentrace odpěňovače v testované kapalině odpovídala hodnotě 100 ppm.

Př. Agitan 108 obsahuje 29% aktivní složky a jeho hustota je 0,990 g/cm³

Aby koncentrace odpěňovače odpovídala hodnotě 100 ppm, je potřeba do 100 ml kapaliny (přečištěné vody) nadávkovat –

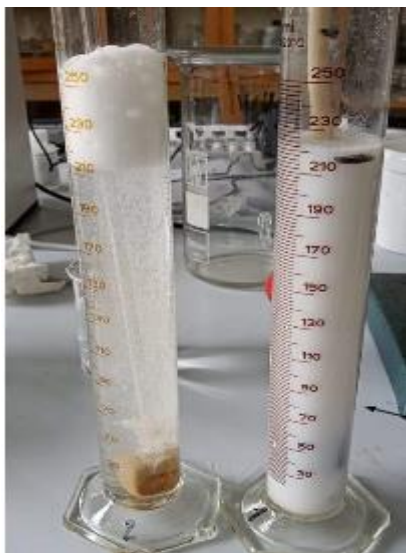
$100 \text{ ppm} / 1\ 000\ 000 * 100 \text{ g} / (29/100) = 0,035 \text{ g odpěňovače} = 0,035 / 0,99 = 0,035 \text{ ml odpěňovače.}$

5.2.4 Postup Laboratorního testování

1.krok: porovnání pěnivosti ODV a přečištěných vod, viz obr. č. 15.

Do dvou odměrných válců o objemu 250 ml bylo předloženo 200 ml testované kapaliny (1x ODV a 1x přečištěné vody). Do válců byly vloženy stejné aerační kamínky, kterými byl pomocí laboratorních čerpadel vháněn vzduch do kapaliny (simulace aerátoru v aktivačních nádržích) v množství 100 ml/h. Výška pěny byla odečítána v ml. Hodnoty výšky pěny byly zaznamenávány v čase 1, 5 a 10 minut.

2.krok: testování účinku vybraných odpěňovačů v přečištěných vodách



Obrázek 15: Pěnění přečištěných vod

Do odměrného válce o objemu 200 ml bylo předloženo 100 ml přečištěné vody a vložen aerační kamínek, kterým byl pomocí laboratorního čerpadla vháněn vzduch do kapaliny (simulace aerátoru v aktivačních nádržích) v množství 1 l/h. Kapalina byla napěněna vždy na objem 60 ml pěny nad hladinou. Při tomto množství byl zaznamenán čas 0 a byl jednorázově nadávkován odpěňovač, aby koncentrace odpěňovače odpovídala hodnotě 100 ppm. Množství dávkovaného odpěňovače bylo přepočteno na ml a na 100% aktivní složky, viz příloha 2. Následně byly spuštěny stopky a do připravené tabulky zaznamenáván čas a objem pěny nad hladinou.

6. ZPRACOVÁNÍ A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

6.1 Poznatky z testování koagulace a flokulace

Zpracování dat ze všech provedených testů je uvedeno v příloze č. 1. Veškerá data sledovaná před, v průběhu a po testování byla zaznamenávána do tabulky. Výsledky testů je výhodnější znázorňovat formou grafů, které pro přehlednost popisují závislost zbytkové koncentrace znečišťujících látek (zákalu) v přečištěných vodách na dávce koagulačního činidla při dané sušině ODV. Optimální je taková dávka koagulačního činidla, v našem případě chloridu železitého, při které dochází k účinné koagulaci disperzních částic a je dosaženo maximálního snížení hodnoty zákalu. V okolí této dávky se účinnost koagulace již významně nemění. Z ekonomického hlediska je výhodné použít minimální účinnou dávku koagulantu. Dávka koagulantu by vždy měla být volena tak, aby při malé změně vstupních podmínek nedošlo k významnému navýšení hodnoty zákalu. Do grafů bylo zaneseno i množství použitého flokulantu pro jednotlivé testy, aby mohl být posouzen vliv fáze koagulace na dávku flokulantu.

V tab. č. 8: Rozsah pH a sušiny, je uveden rozsah pH a sušiny u testovaných vzorků.

	Sušina, %	pH
Odpadní disperzní vody	0,32 – 9,1	4,89- 8,4

Tabulka 8: Rozsah pH a sušiny

Z tab. č. 8 je patrné, že hodnota sušiny v odpadních disperzních vodách se pohybuje ve velmi širokém rozmezí. Tato hodnota je závislá především na výrobním procesu, tedy na počtu výrobních linek, které jsou v chodu, na plánu výroby a na nutnosti likvidace kontaminovaných produktů. V případě častějšího čištění a v době odstavení zařízení je sušina ODV nižší. pH se u testovaných vod pohybovalo v rozmezí 4,89-8,4, kolem neutrální oblasti a rozmezí hodnot není příliš široké. Vliv vstupního pH na průběh laboratorních testů tedy nebyl posuzován a lze ho zanedbat.

V první fázi laboratorního testování byla hodnocena navržená metodika a optimalizován postup laboratorního testování. V této fázi testování nebyl měřen zákal přečištěných vod. Dále byla ověřena reprodukovatelnost výsledků.

Pro reprodukovatelnost navržené metodiky byl vzorek PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S odebraný 26.01.2023 laboratorně testován dvakrát dne 07.02.2023. Z dat uvedených v tab. č. 9: Test 07.02.2023 je patrné, že reprodukovatelnost pokusů je velmi dobrá vzhledem k velmi podobným hodnotám v použití $\text{Ca}(\text{OH})_2$, flokulantu a změřené hodnotě zákalu.

Název	Sušina	pH	FeCl_3	COH_2	Flok.	Zákal (NTU)
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,1	2	7	25	11,4
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,3	1,9	5,5	30	12

Tabulka 9: Test 07.02.2023

V další fázi pokusů již byla testována optimální dávka koagulačního činidla v závislosti na naměřené sušině a výsledné hodnotě zákalu přečištěných vod. V případě, že sušina přesáhla hodnot nad 4% byly vzorky ředěny pomocí destilované vody, aby se výsledná sušina pohybovala v rozmezí od 2 – 4%. Z praktického hlediska je toto rozmezí sušiny nejvhodnější pro další fázi zpracování odpadních vod, tedy fázi filtrace. Pro možnost stanovení optimální dávky koagulačního činidla byly jeho přídatky navrženy tak, aby byla pokryta co nejširší oblast testování. Přídavek FeCl_3 se odvíjel od hodnoty stanové sušiny. Nejčastěji byl přídavek koagulantu pro testování volen v rozmezí - hodnota sušiny +/- 1 - 2 ml. V případě, že sušina ODV byla stanovena na 3%, byl přídavek koagulantu např. 2, 3 a 4 ml. Pokud byla sušina ODV nižší (kolem 0,5 – 2%) byl přídavek koagulantu měněn po půl mililitru. Jak je patrné z tab. č. 8: Rozsah pH a sušiny, výše rozmezí sušiny testovaných vod je velmi široké, proto nelze stanovit jednu hodnotu pro přídavek koagulantu, který by fungoval v celém rozmezí sušiny, ale je třeba navrhnout kalibrační křivku pro přídavek koagulantu v závislosti na sušině ODV tak, aby byla data z laboratorního testování jednoduše přenositelná do praxe.

Shrnutí koagulace a flokulace

Tabulka s laboratorními testy koagulace a flokulace viz příloha č. 1: Laboratorní testování koagulace a flokulace. Pro přehlednost a snazší zpracování výsledků byly testy rozděleny na 4 skupiny:

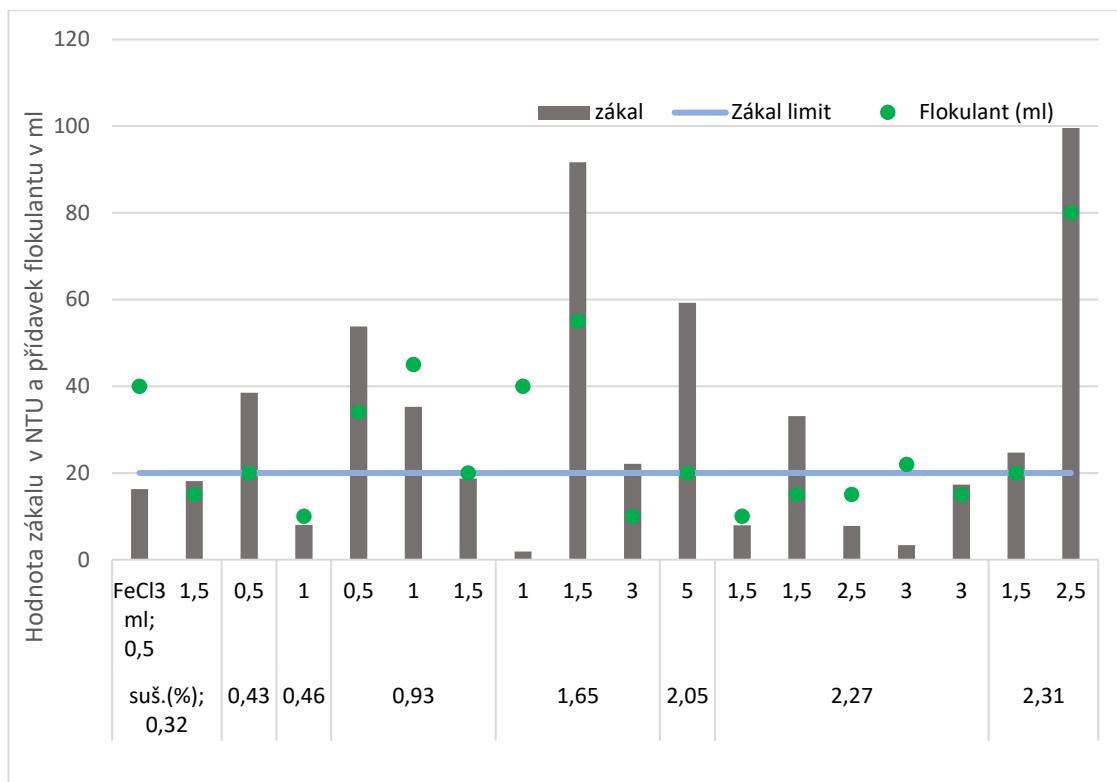
- Pokusy ODV se sušinou v rozmezí 0,3 – 2,3 %
- Pokusy ODV se sušinou v rozmezí 2,5 – 3,5 %
- Pokusy ODV se sušinou v rozmezí 3,5 – 5,15 %
- Pokusy ODV se sušinou v rozmezí 5,15 – 9,1 %

Výsledky a shrnutí jednotlivých pokusů rozdělených do skupin je uvedeno v tabulkách 10 – 13 a grafech 1 – 4. V tabulkách je slovně popsáno pozorování z jednotlivých fází testování (po přídavku FeCl_3 , po přídavku flokulantu, po filtraci) a uvedeno rozmezí sušiny a pH. V grafech je na ose x uvedena sušina ODV a přídavek koagulačního činidla, na osu y byla vynesena hodnota zákalu a přídavek flokulantu, modrou čarou je naznačena limitní hodnota zákalu, která byla pro možnost vyhodnocení účinnosti koagulace stanovena na 20 NTU.

U vzorků se sušinou v rozmezí 0,31 až 2,31 % se vločky tvořily hned po přídavku koagulačního činidla, problém nastal až při ždímání/filtraci kalu. Kal byl příliš řídký a společně s filtrátem procházel přes filtrační plachetku, což pro proces není žádoucí. Tvorba vloček po přídavku flokulantu byla bez problémů. pH odpadních disperzních vod s nižší sušinou se pohybuje spíše v kyselejší oblasti.

Sušina	0,31 – 2,31 %
pH	4,89 – 6,56
Tvorba vloček/agregátů po přídavku FeCl_3	Vločky se tvořily hned po přídavku FeCl_3
Problémy	Kal nešel pořádně "vyždímat"
Tvorba vloček po přídavku flokulantu	Vznik velkých vloček

Tabulka 10: Sušina 0,31-2,31%



Graf 1: K tab. č. 10: Sušina 0,32%- 2,31%

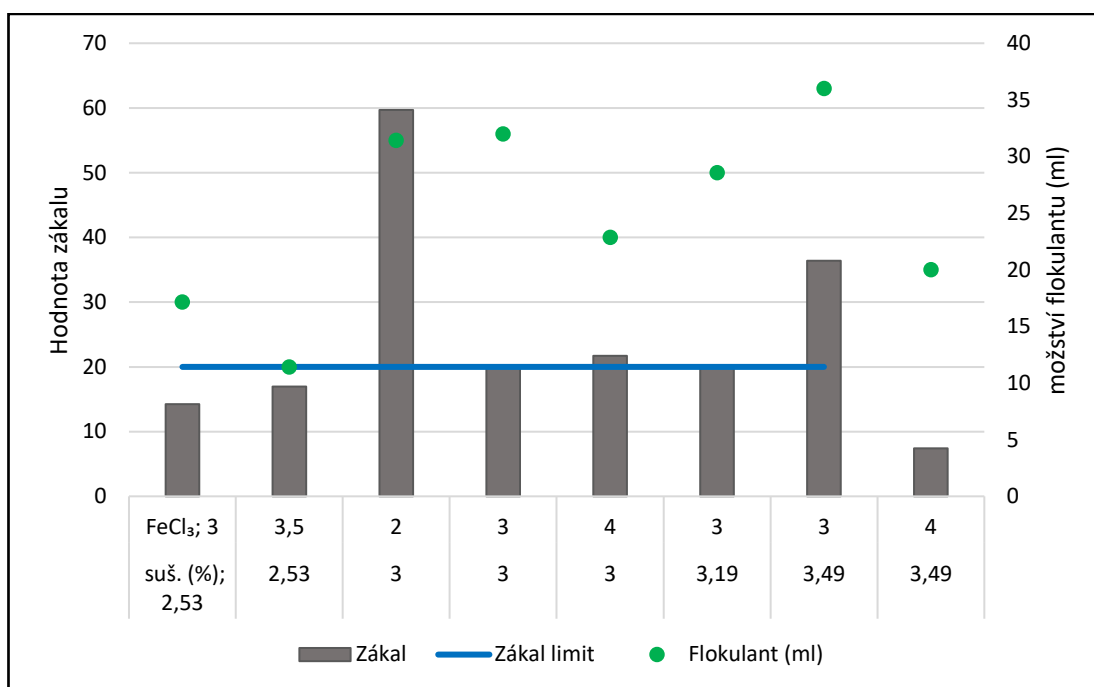
Z grafu č. 1 je patrné, že ideální účinnost koagulace, vyjádřená hodnotou zákalu, pro ODV s nižší sušinou se pohybuje v rozmezí přidavku FeCl₃ = sušina + 0,5 ml, tzn. např. při sušině ODV 0,93 je optimální přidavek FeCl₃ 0,93+0,5, což se rovná 1,43 ml. Nižší přidavky koagulačního činidla se projevují zvýšenou dávkou flokulantu i vyšší hodnotou zákalu, stejně to platí i v případě podstatně vyššího přidavku FeCl₃, kdy dochází k předávkování koagulačním i flokulačním činidlem, což se opět projeví zvýšenou koncentrací nerozpuštěných látek v přečištěných vodách. Pokud se hodnota zákalu při různých dávkách koagulantu příliš nemění, pohybujeme se v oblasti optimálního přidavku FeCl₃. Této hypotéze zcela nevyhovuje pokus se sušinou 2,31 a přidavkem koagulantu 2,5 ml, v tomto případě mohlo dojít k chybné analýze či špatné přípravě chemikálií, tento pokus bude zopakován.

Z grafu 1, je patrné, že nejlépe vyšlo testování vzorku "Disperzní vody z odstávky", odebíraného 24.11.2022. Měl nejnižší hodnotu zákalu, přidavku flokulantu i koagulantu.

U vzorků se sušinou od 2,5 do 3,5 % byla dobře viditelná sraženina po přidavku FeCl_3 , po přidavku flokulantu se tvořily viditelné vločky. Tento rozsah sušiny je doporučován jako optimální pro následné zpracování kalu procesem filtrace. Hodnota pH ODV se pohybovala v poměrně úzkém rozmezí.

Sušina	2,5 – 3,5 %
pH	6,19 – 7,16
Tvorba vloček/agregátů po přidavku FeCl_3	Sraženina dobře patrná
Problémy	Žádné, Vločky se tvořily hned po přidavku FeCl_3
Tvorba vloček po přidavku flokulantu	Vznik vloček

Tabulka 11: Sušina 2,5 %- 3,5%



Graf 2: K tab. č. 11: Sušina 2,5%-3,5%

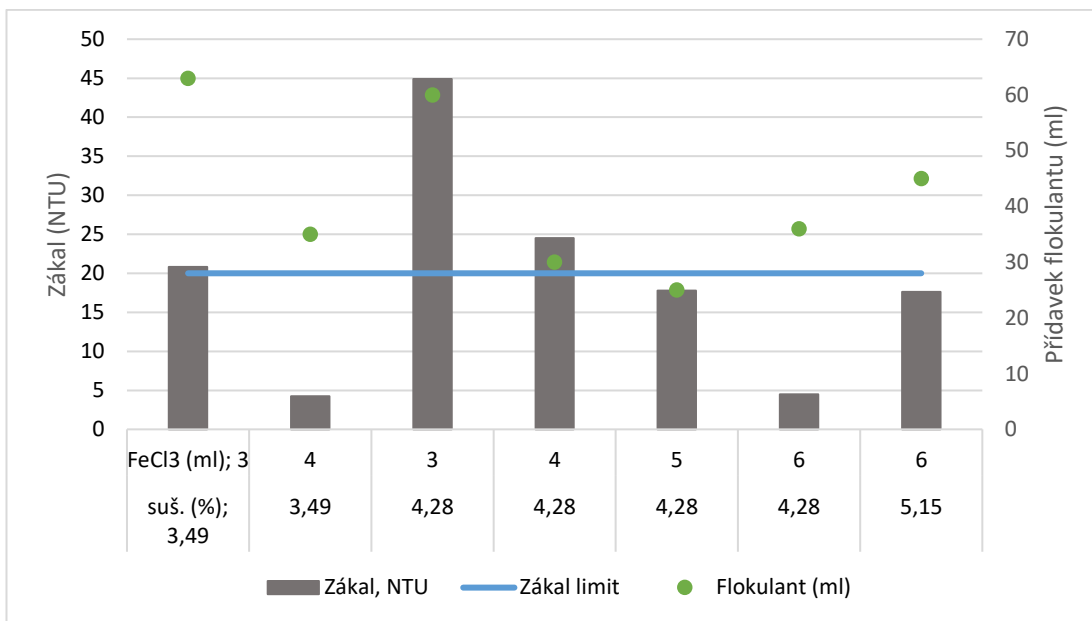
Stejně jako v předchozím případě je z grafu č. 2 patrné, že ideální účinnost koagulace, vyjádřená hodnotou zákalu, pro ODV se sušinou 2,5 – 3,5 % se pohybuje v rozmezí přidavku FeCl_3 = sušina + 0,5 ml, tzn. např. při sušině ODV 3,5% je optimální přidavek FeCl_3 4 ml. Nižší přidavky koagulačního činidla se projevují zvýšenou dávkou flokulantu i vyšší hodnotou zákalu, stejně by to platilo i v případě podstatně vyššího přidavku FeCl_3 , kdy dochází k předávkování koagulačním i flokulačním činidlem, což se opět projeví zvýšenou koncentrací nerozpuštěných látek v přečištěných vodách. Pokud se hodnota zákalu při různých dávkách koagulantu příliš nemění, pohybujeme se v oblasti optimálního přidavku FeCl_3 , což je např. patrné z pokusu ODV se sušinou 2,53% a přidavkem koagulačního činidla 3 a 3,5 ml.

Z grafu č. 2. se nejlépe testoval vzorek z 24.11.2022, kvůli přidavku koagulantu (4 ml), flokulantu (35ml) a hodnotě zákalu (4,24 NTU), které jsou nejnižší z celé testované skupiny sušin.

U vzorků ODV s hodnotou sušiny mezi 3,5 %-5,15 %, se po přidavku koagulantu tvořily drobné jemné vločky, po přidavku flokulantu se tvořily shluky vloček. Rozmezí pH ODV se pohybuje kolem neutrální oblasti.

Sušina	3,5 % – 5,15 %
pH	6,4 – 7,99
Tvorba vloček/agregátů po přidavku FeCl ₃	Vznik jemných a drobných vloček, patrná sraženina
Problémy	Žádné
Tvorba vloček po přidavku flokulantu	Vznik vloček

Tabulka 12: Sušina 3,5 %-5,15%



Graf 3: K tab. č. 12: Sušina 3,5%-5,15%

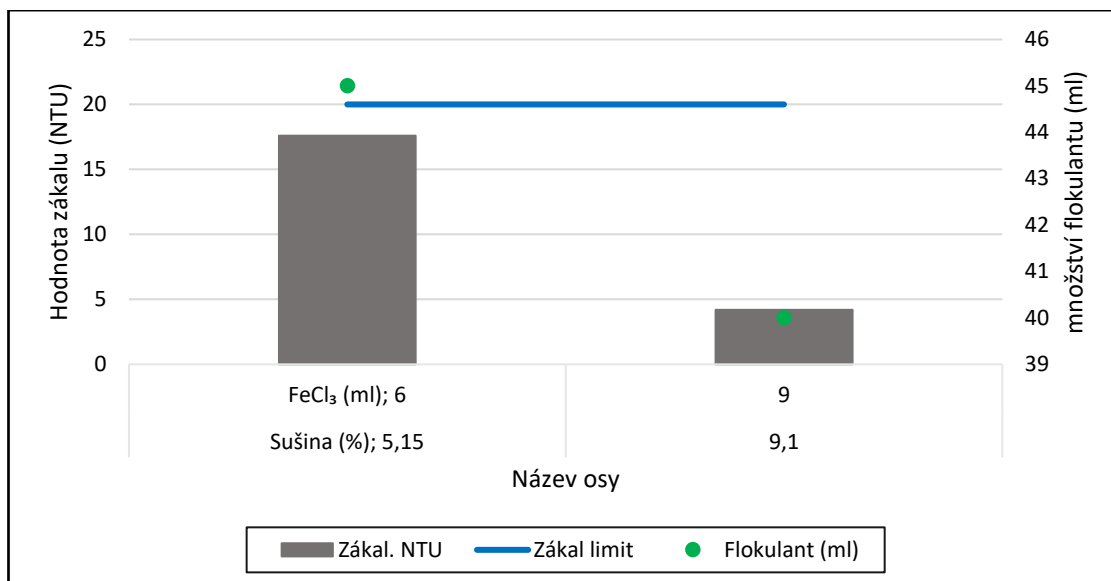
I v tomto případě, viz graf č.3., lze aplikovat stejné zhodnocení a vyjádření optimálního množství přidavku FeCl₃ jako v předchozích případech. Optimální množství koagulačního činidla lze vyjádřit jako hodnota sušiny + 0,5 ml. I spotřeba flokulačního činidla je v případě účinné koagulace nižší.

Nejlépe hodnoceným vzorkem, v grafu č. 3, který měl malou hodnotu zákalu a poměrně malé množství koagulantu i flokulantu je vzorek, který byl odebrán 24.11.2022. V tomto grafu u sušiny 4,28 je také vidět jak se mění hodnota zákalu při různém množství přidavku koagulantu.

Vzorky se sušinou v rozmezí 5,15 %-9,1 %, Tab. č. 10: Sušina 5,15%-9,1%, nastal problém až při vzorku odebraném 19.01.2023, kde nedocházelo ke tvorbě vloček po přidavku FeCl₃. Tvorba vloček nastala až po přidavku neutralizačního činidla.

Sušina	5,15 %- 9,1 %
pH	6,58- 7,99
Tvorba vloček/agregátů po přidavku FeCl ₃	Patrná sraženina
Problémy	U vzorku odebraného 19.01.2023 nedošlo při přidavku FeCl ₃ ke sražení. Ke tvorbě vloček došlo až po přidavku Ca(OH) ₂ .
Tvorba vloček po přidavku flokulantu	Vznik velkých vloček

Tabulka 13: Sušina 5,15 %- 9,1%



Graf 4: K tab. č.13: Sušina 5,15%-9,1%

Z grafu č. 4. je zřejmé že, lépe hodnocený vzorek je PA7703, PA427M, P4804S, PL4801, PA1699 se sušinou 9,1%, odebrán 19.01.2023, kvůli malému zákalu a přídavku flokulantu, i když fáze koagulace nebyla účinná a vzorek se vysrážel až po přidání neutralizačního činidla, stále má tento vzorek nižší hodnotu zákalu (4,2 NTU). Z hlediska zpracování vod s vysokou sušinou (nad 4%) nebyl ve fázi koagulace a flokulace zaznamenán významnější problém, ten nastal až ve fázi dalšího zpracování a to ve fázi filtrace, kdy se filtrační plachetka poměrně rychle ucpala vzniklým kalem a filtrace kapaliny probíhala velmi pomalu.

Obecné poznatky o přídavku flokulantu

Obecně platí, že přídavek flokulantu závisí na obsahu nerozpuštěných látek. Flokulant zůstává ve sraženině, pokud není ve velkém přebytku. Flokulant nepění.

Přídavek flokulantu (0,3% roztok EM 840HIB) se nejčastěji pohyboval pro směsi se sušinou 2–3 % od 15 do 45 ml/l – nutno ověřit na reálném zařízení.

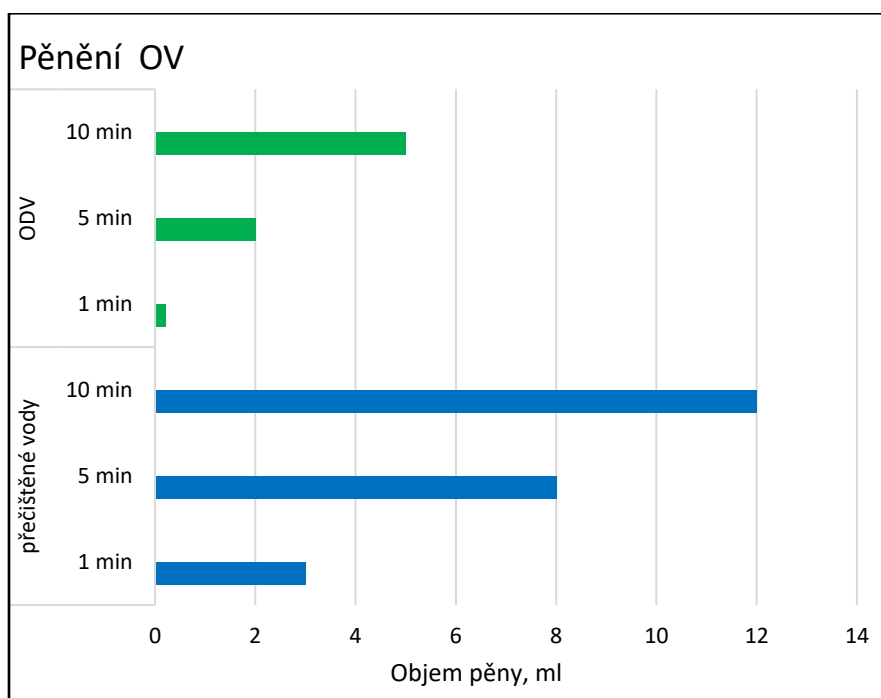
Množství potřebného flokulantu závisí na fázi koagulace. Při nedostatečné dávce FeCl₃ nastává zvýšená spotřeba flokulantu a horší filtrace. Při předávkování flokulantem se může flokulant dostat do odpadních vod, v aktivaci by mohlo dojít k vločkování aktivního kalu a snížení sedimentu. Expirovaný flokulant ztrácí značně svoji účinnost, doporučuje se používat vždy čerstvě připravený flokulant. Při rychlém dávkování se flokulant ve vodě špatně rozpouští.

6.2 Poznátky z odpěňování

V prvním kroku testování byla porovnávána pěnivost ODV a přečištěných vod. Vyšší pěnivost přečištěných vod byla pozorována již při filtraci a následné manipulaci se vzorky přečištěných vod. Stejná zkušenost byla zaznamenána i v čistírně odpadních vod. Po zahájení nástřiku přečištěných vod do B-ČOV, byla pozorována nadměrná tvorba pěny v aktivačních nádržích, proto bylo provedeno porovnání pěnivosti.

Typ OV	Doba pění, min	Objem pěny, ml
Přečištěné vody	1 min	20
	5 min	50
	10 min	60
ODV	1 min	3
	5 min	8
	10 min	12

Tabulka 14: Doba a pění vod



Graf 5: Porovnání pění vod

Z tabelovaných dat i z grafu je jasně patrná vyšší pěnivost přečištěných vod. Důvodem je patrně zakonzentrovaný obsah látek v přečištěných vodách, které se používají při výrobě disperzí (např. emulgátory, které podporují pěnivost kapalin), a nejsou procesem koagulace a flokulace z kapaliny odstraněny.

Data ze všech provedených testů s odpěňováním přečištěných vod jsou uvedena v příloze 2. Veškerá data sledovaná před a v průběhu testování byla zaznamenávána do tab. č. 15. Shrnutí a vyhodnocení testů odpěňovačů je uvedeno v tab. č. 14., která obsahuje typ testovaného odpěňovače (AF = antifoamer = odpěňovač), dávku AF předkládanou do testované kapaliny přepočítanou na 100% aktivní složky, velikost dávky odpěňovače potřebného k odpěnění přečištěných vod nastříkovaných do B-ČOV (množství AF na 1,5 m³/h), výslednou koncentraci AF v testované kapalině,

objem pěny testované kapaliny před zahájením dávkování odpěňovače (objem pěny v t=0 min), objem pěny po době 60 min a potřebu ředění odpěňovače. Optimální je taková dávka odpěňovače, při které dochází k účinnému odpěnění přečištěných odpadních vod a je dosaženo maximálního snížení hodnoty pěny po celou dobu testování. Z ekonomického hlediska je výhodné použít minimální účinnou dávku odpěňovače, proto byl u vhodných typů AF proveden opakovaný test s nižší dávkou odpěňovače. Vyhodnocení vhodnosti použití testovaného typu odpěňovače pro B-ČOV je uvedeno ve sloupci „použitelnost v B-ČOV“ tab. č. 14.

Odpěňovač	dávka 100% aktivní složky	množství AF na 1,5 m ³ /h	konc. AF	objem pěny v t=0 min	objem pěny v t=60 min	nutnost ředění	použitelnost v B-ČOV
	ml	ml/h	ppm	ml	ml	ANO/NE	
AGITAN DF 6686 W	0,039	591	100	60	4	ANO	✘
AGITAN 108	0,035	522	100	60	2	NE	✔
AGITAN 120	0,040	600	100	60	0	NE	✔
AGITAN 301	0,011	163	100	60	25	NE	✘
AGITAN 109	0,020	297	100	60	5	NE	!
AGITAN 361	0,011	163	100	60	2	NE	✔
Fennodefo 5000	0,011	158	100	60	2	NE	✔
Opakované testy s nižší dávkou AF							
AGITAN 120 (25ppm)	0,011	165	25	60	0	NE	
AGITAN 108 (25ppm)	0,011	165	25	60	0	NE	

Tabulka 15: Shrnutí a vyhodnocení testů odpěňovačů

Z testovaných odpěňovačů je pro použití v B-ČOV vhodný Agitan 120, Agitan 108, Agitan 361 a Fennodefo 5000. Odpěňovače Agitan 120 i 108 neztratily účinnost ani po celém dni od smíchání s přečištěnými vodami. Odpěňovače typu Agitan 301 a DF 6686 W nebyly pro další testy doporučeny z důvodu nižší účinnosti a horší manipulace. Agitan DF 6686 W byl velmi viskózní a nebylo možné ho kvantitativně převést do kapaliny ani v případě jeho naředění, navíc by jeho spotřeba pro dosažení stejné účinnosti jako např. Agitanu 361 byla zhruba 4x vyšší, což je ekonomicky nevýhodné. Agitan 301 nebyl doporučen z důvodu nejnižší účinnosti ve srovnání s ostatními testovanými odpěňovači.

Následně byl proveden opakovaný test s odpěňovači Agitan 120 a Agitan 108. Dávka těchto typů byla snížena na hodnoty odpovídající dávce Agitanu 361 a AF typu Fennodefo 5000, koncentrace odpěňovačů (Agitan 120 a 108) byla snížena na 25 ppm. I při této dávce oba typy odpěňovačů vykazují velmi dobrou účinnost. Agitan 120 je v Synthomeru již zaveden jako používaná surovina ve výrobně disperzí, proto se nabízí jako optimální možnost.

Při laboratorních testech bylo dále zjištěno, že při ředění odpěňovačů dochází k poměrně rychlému rozsazování. V případě nutnosti ředění, což je například nutné při návrhu vhodného čerpadla pro dopravu odpěňovače, je nutné roztok pravidelně promíchávat.

Optimální dávku odpěňovače doporučenou pro nástřik do aktivačních nádrží v B-ČOV je třeba potvrdit provozním testem, což již nebylo předmětem této bakalářské práce.

7. DISKUZE

Tato práce se zabývá především některými disperzní vodami v čistírně odpadních vod. Jak bylo uvedeno v rešeršní části, některé ODV nelze dobře zpracovat např. PA1819 nebo PXA1699, AI4805, A7793, AUG3861, AUG3851, v další fázi budou testované odpadní vody vždy s přidavkem pouze jednoho typu disperze, aby bylo možné zhodnotit konkrétně, který typ je problematický.

V studii o použití přírodních koagulantů pro čištění odpadních vod se testovali tři druhy : hlinitá sůl, feromagnetit a vaječné skořápky. Byl zkoumán zákal před koagulací a vliv dávkování koagulantů. Testy byly provedeny s 500 ml odpadní vody. Při testování se nadávkovalo 10 60 mg/l, pro nejlepší poměr dávky, sledovala se doba usazení při rychlém a pomalém míchání. Následná filtrace byla provedena přes filtrační papír (Rathilala a kol, 2021). Stejně jako v této studii se metodika pro tuto bakalářskou práci vyvíjela na základě přidavku koagulantu a gradientu rychlosti míchání. Vzhledem k obsahu odpadních disperzních vod je zbytečné měřit zákal disperzních vod před fází koagulace, z důvodů zabarvení. S tvrzením této studie, že předávkování koagulačním činidlem vede ke snížení účinnosti přečištěných vod, souhlasí i tato bakalářská práce

V navržené metodice laboratorních koagulačních a flokulačních testů pro optimalizaci úpravy vody je stěžejním testem sklenicová metoda. Pomocí této metody je možné stanovit optimální dávku koagulačního činidla, optimální pH a intenzitu a dobu míchání (Pivokonský a kol, 2019). Tato metoda nebyla použita pro výzkum bakalářské práce z důvodu náročnosti a chybějícího vybavení. Z této studie byla převzata jen doba a intenzita míchání.

Metodika této práce byla vyvinuta/přizpůsobena provozním podmínkám společnosti.

8. ZÁVĚR

Pro laboratorní testy byly odebírány vzorky odpadních disperzních vod. Vzorky byly odebírány od července 2022 do ledna 2023 aby byla co nejvíce pokryta variabilita procesu. V experimentální části byla vyvinuta metodika pro testování, která byla dále přizpůsobena provozním podmínkám.

Z provedených testů nelze jednoznačně stanovit jeden typ disperze, který by byl pro průběh zpracování ODV problematický i vzhledem k variabilitě typů disperzí obsažených v odpadních vodách. S ohledem na výsledný zákal, množství použitého flokulačního činidla, charakter kalu lze jako problematické označit odpadní disperzní vody obsahující typ PA1819, toto tvrzení je nutné potvrdit dalšími testy, kdy bude připraven modelový vzorek odpadních disperzních vod se sušinou 3% a obsahem pouze disperzního podílu typu PA1819. Testy budou provedeny dle výše uvedené metodiky pro laboratorní testování koagulace a flokulace. Další problém mohou způsobovat disperzní vody, které mají nízkou hodnotu sušiny. Vody s nízkou sušinou potřebují daleko méně koagulačního činidla. Když se tyto vody smíchají s vodami s vyšším obsahem sušiny nastává problém. V jednotce koagulace a flokulace se nadávkuje vyšší poměr koagulačního činidla, neutralizačního činidla a flokulantu a vody s nižším obsahem sušiny se předávkují. Tyto vody pak nejsou schopny "srážet", a ve šnekovém lisu se nevyfiltrují. Dále by mohlo dojít k tomu, že se flokulant vlivem předávkování dostane do aktivační nádrže, kde se může aktivovaný kal srážet. Proto by se měla více hlídat sušina na vstupu do jednotky koagulace a flokulace, případně tyto vody rozdělovat/nesmíchávat.

Z hlediska navržené metodiky lze všechny disperzní odpadní vody testovat stejně, avšak se musí brát zřetel na sledované parametry (obsah sušiny, pH ...)

Z této bakalářské práce vyplývá možnost použití odpěňovačů, které byly v této bakalářské práci testovány. Je, ale nutno tyto odpěňovače vyzkoušet reálně v provozu.

V této práci bylo cílem zjistit optimální přídavek koagulačního činidla pro bezproblémový chod B-ČOV. Dále vytipovat problémové disperze.

Ideální přídavek koagulačního činidla vyplynul z navržené metodiky. Přídavek FeCl_3 se odvíjí od hodnoty sušiny. Nejčastěji se přídavek FeCl_3 volil následovně: hodnota sušiny +/- 0,5 ml. Pokud tedy byla hodnota sušiny 3%, přídavek byl volen např. 2 ml, 3 ml, 4 ml. Pokud byla sušina odpadních disperzních vod nižší např. 0,5 – 2% byl přídavek koagulantu měněn po půl mililitru.

Součástí navržené metodiky bylo i zjistit optimální přídavek neutralizačního činidla tak aby hodnota pH dosáhla neutrálního pH 8. Z metodiky vyplynulo, že přídavek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ je v průměru čtyřikrát větší než hodnota sušiny, např. pokud je hodnota sušiny 3, přídavek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bude 12ml.

V návaznosti na přidavku koagulantu se odvíjí přídavek flokulantu. Vzhledem k velkému rozpětí hodnot sušiny, přídavek flokulantu byl přidáván do znatelně viditelné sraženiny. Pokud byla fáze koagulace účinná, zákal byl nízký a přídavek flokulantu byl nízký.

Problémovými disperzními vodami se podle testování zdáli vody, které obsahovali disperzi PA1819 a některou z PXA1699, AL4805, A7793, AUG3861, AUG3851. V další fázi budou testované odpadní vody vždy s přídavkem pouze jednoho typu disperze, aby bylo možné zhodnotit konkrétně, který typ je problematický.

Zásadním přínosem této práce je použitá metodika a její výsledky např. hodnota ideálního přídavku koagulantu, která přinese zjednodušení vstřikování koagulantu v provozu jednotky koagulace a flokulace. Přínosem jsou i druhy odpěňovačů, které jsou možné použít pro odpěnění vod.

9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

9.1 Literatura

BINDZAR, J., JANDA, V., JENÍČEK, P., RŮŽIČKOVÁ, I., STRNADOVÁ, N., 2009: Základy úpravy a čištění vod. VŠCHT Praha, Praha. 251 s.

BINNIE, Ch., KIMBER, M., 2013: Basic water treatment. ICE Publishing, London. 279 s.

BOLTO, B., GREGORY, J., 2007: Organic polyelectrolytes in water treatment. Water research Volume 41, Issue 11. P. 2301-2324.

BRATBY, J., 2006: Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. IWA Publishing, Londýn. 450 s.

BRATBY, J., 2016: Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. IWA Publishing, Londýn. 538 s. ISBN 9781780407494.

COCA, J., BUENO, J. L., SASTRE, H., 1983: Zeta-potential and the effect of coagullants on coal slurries. Journal of chemical engineering of Japan Volume 16. P. 335-338.

DUAN, J., GREGORY, J., 2003: Coagulation by hydrolysing metal salts. Advances in colloid and interface science Volume 100-102. P. 475-502.

FEČKO, P., 2001: Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů. VŠB- Technická univerzita Ostrava, Ostrava. 149 s.

JIANG, J. Q., 2015: The role of coagulation in water treatment. Current option in chemical engineering Volume 8. P. 36-44.

LEE, C.S., ROBINSON, J., CHONG, M. F., 2014: A review on application of flocculants in wastewater treatment. Process safety and environmental protection Volume 92, Issue 6. P. 489-508.

LEMA, J. M., SUAREZ, S., 2017: Innovative wastewater treatment & resource recovery technologies : impacts on energy, economy and environment. IWA Publishing, Londýn. 648 s.

LYČKOVÁ, B., FEČKO, P., KUČEROVÁ, R., 2009: Zpracování kalů. VŠB- Technická univerzita Ostrava, Ostrava. 87 s.

MOO-YOUNG, K. H., TUCKER, R. W., 2002: Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. Geotextile and geomembranes Volume 20, Issue 3. P. 191-212.

NAČERADSKÁ, J., PIVOKONSKÁ, L., PIVOKONSKÝ, M., 2019: On the importance of pH value in coagulation. Journal of Water Supply Volume 68, Issue 3. P. 222-230.

PITTER, P., TUČEK, F., CHUDOBA, J., ŽÁČEK, L., 1983: Laboratorní metody v technologii vody. SNTL-ALFA, Praha. 304 s.

PIVOKONSKÝ, M., PIVOKONSKÁ, L., VAŠATOVÁ, P., NAČERADSKÁ, J., 2019: Metodika laboratorních koagulačních/flokulačních testů pro optimalizaci úpravy vody.

PRAKASH, N. B., SOCKAN, V., JAYAKARAN, P., 2014: Waste water treatment by coagulation and flocculation. IJESIT Volume 3, Issue 2. P. 479-484.

RADOIU, M. T., MARTIN, D., CALINESCU, I., LOVU, H., 2004: Preparation of polyelectrolytes for wastewater treatment. Journal of hazardous materials Volume 106, Issue 1. P. 27-37.

RATHILAL, S., SIBIYA, N. P., TETTEH, E. K., 2021: Coagulation treatment of wastewater: kinetics and natural coagulant Evaluation. Molecules Volume 26, Issue 3. P. 693.

SOJKA, J., 2013: Čistírny odpadních vod. Grada Publishing, Praha. 96 s.

SUN, Y., ZHOU, S., CHIANG, P., SHAH, K. J., 2019: Evaluation and optimization of enhanced coagulation process: water and energy nexus. Water-Energy nexus Volume 2, Issue 1. P. 25-36.

TUČEK, F., CHUDOBA, J., KONÍČEK, Z., 1988: Základní procesy a výpočty v technologii vody. 2. přeprac. SNTL, Praha. 633 s.

ÚSTAV PRO HYDRODINAMIKU., 2019: Metodika laboratorních koagulačních/flokulačních testů pro optimalizaci úpravy vody. Ústav pro hydrodynamiku, Praha. 38 s.

WITECKI, K., POLOWCZYK, I., KOWALCZUK, P. B., 2022: Chemistry of wastewater circuits in mineral processing industry-A review. Journal of water process engineering Volume 45. P. 102509.

ZHOU, Y., FRANKS G. V., 2006: Flocculation mechanism induced by cationic polymers investigated by light scattering. Langmuir Volume 22, Issue 16. P. 6775-6786.

9.2 Internetové zdroje

EL-TAWEEL, R. M., MOHAMED, N., ALREFAEY, A. K., HUSIEN, S., ABDEL-AZIZ, A. B., SALIM, A. I., MOSTAFA, N, G., SAID, L. A., FAHIM, I. S., RADWAN, A. G., 2023: A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. Current Research in Green and Sustainable Chemistry Volume 6. P. 100355-100358.

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ, ©2008: Zpracování kalů: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů(online) [cit. 2023. 27.2], dostupné z <http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/info.html>.

9.3 Legislativní zdroje

Zákon 254/2001 Sb., Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.

9.4 Ostatní zdroje

SYNTHOMER, 2008: Likvidace oplachových vod. Synthomer a.s., Sokolov. 41 s. "nepublikováno". Dep.: Archiv Synthomer a.s.

SYNTHOMER, 2020: Čistírna odpadních vod. Synthomer a.s., Sokolov. 26 s. "nepublikováno". Dep.: Archiv Synthomer a.s.

SEZNAM a.s., 2023: Mapa z letadla 1:300, online: <https://mapy.cz/zakladni?x=12.6676791&y=50.1837146&z=16&base=ophoto>.

10. SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha 1:</i> Laboratorní měření koagulace a flokulace	57
<i>Příloha 2:</i> Laboratorní měření odpěňovačů	62
<i>Příloha 3:</i> Graf k tab. č. 13: Sušina 0,32%-2,31% Chyba! Záložka není definována.	

Příloha 1: Laboratorní měření koagulace a flokulace

Název disperze	Sušina (%)	pH disperze	Data testu	Datum odběru	FeCl ₃ (ml)	Ca(OH) ₂ (ml)	Flokulant (ml)	Poznámka
3851, 2610, 1819, 4804, 6494	0,48	6,05	27.09.2022	27.09.2022	1,5	6,5	10	kal trochu lepivý ale poměrně mazlavý, filtrát čistý Zákal=8 NTU
3851, 4805, 7793, 1699, 2040, 7703	1,7	5,96	08.07.2022	08.07.2022	1,2	4,5		Kal po filtraci podobný jílu
3851, 4805, 7793, 1699, 2040, 7703	1,7	6,04	08.07.2022	08.07.2022	2			po filtraci kal podobný modelíně
3851,2610, 1819, 4804, 6494	0,48	6,5	27.09.2022	08.07.2022	1,5	5	20	kal šel lépe vyždímat, ale je mazlavý, voda kalná zákal 38,5 NTU
3851,2610,1819, 4804, 6494	0,46	6,56	27.09.2022	08.07.2022	1	2,5	15	kal hodně mazlavý, nešlo to moc vyždímat, filtrát poměrně čistý, Zákal=18,1 NTU
A1819,A7703,A315,A4804,AL3851	2,03	6,47	05.08.2022	29.07.2022	2	8,5	35	kal trochu lepivý a mazlavý jako rozteklá čokolád, filtrát poměrně čistý (vzorek zředěný na nižší koncentraci sušiny)
A1819,A7703,A315,A4804,AL3851	4,26	6,44	29.07.2022	29.07.2022	4	16	70	filtrát poměrně čistý, kal lepivý mazlavý
A1819,A7703,A315,A4804,AL3851	4,57	6,4	29.07.2022	29.07.2022	2	8	80	filtrát zakalená, kal lepivý (přirovnání: jako tavený sýr) (vzorek s čpavkem, odebrán 19.07)
AL3851,PXA1699, A1819,AL4805,AD2040, A427M,AI4701,AI4804	2,04		21.07.2022	12.07.2022	1	5	20	filtrát hodně zakalený, kal hodně lepivý a mazlavý (vzorek zředěný na nižší koncentraci sušiny)
AL3851,PXA1699,A1819,AL4805,AD2040,A427M,AL4701,AL4804	2,11		22.07.2022	12.07.2022	2	7*	10	kal sušší, nelepivý a nemazlavý, filtrát zakalený (* předávkováno)

AL3851,PXA1699,A1819,AL4805,AD2040,A427M,AL4701,AL4804	2,45 (140° C)	6,17	21.07. 2022	12.07. .2022	2,5	9,5	20	kal nelepivý, mazlavý (přirovnání: měkkí modelína) (vzorek odebrán 21.06.2022)
AL3851,PXA1699,A1819,AL4805,AD2040,A427M,AL4701,AL4804	3,15 (105° C)	6,17	12.07. 2022	12.07. .2022	3	12	20	Kal hodně oranžový (asi předávkovaný FeCl ₃)
AL3851,PXA1699,A1819,AL4805,AD2040,A427M,AL4701,AL4804	3,15 (105° C)	6,18	12.07. 2022	12.07. .2022	1,5	6	30	světlé shluky
DISPERZNÍ VODA Z ODSTÁVKY	0,43	5,9	02.12. 2022	02.12. .2022	0,5	3	10	kal hodně lepivý a hodně mazlavý, nelze vyždímat Zákal= 7,92 NTU
DISPERZNÍ VODA Z ODSTÁVKY	0,43	6,3	02.12. 2022	02.12. .2022	1	5	10	kal lepivá a mazlavý
DISPERZNÍ VODA Z ODSTÁVKY	3,49	6,19	29.11. 2022	24.11. .2022	3	20	63	kal lepivý hodně mazlavý, filtrát poměrně čistý Zákal= 20,8 NTU
DISPERZNÍ VODA Z ODSTÁVKY	3,49	6,28	29.11. 2022	24.11. .2022	4	24	35	méně lepivý ve srovnání s 3 ml, docela mazlavý kal, filtrát čistý Zákal= 4,24
LEB20	2,68	8,36	01.07. 2022	01.07. .2022	2	6	1	filtrát velmi zakalený, v kalu bílé lepivé shluky
LEB20	2,68	8,4	01.07. 2022	01.07. .2022	1	15	3	
Nespecifikováno	1,54	7,58	23.08. 2022	23.08. .2022	1,5	4,5	35	krásně sražený, ale nelze vyždímat, kal hodně vodnatý, filtrát poměrně kalný
Nespecifikováno	2,53	6,13	20.09. 2022	20.09. .2022	3	7	30	krásně sraženo, kal lepivý a mazlavý, filtrát zakalený, černá barva Zákal=8,13NTU
Nespecifikováno	2,53	6,14	20.09. 2022	20.09. .2022	5	14	40	nelepivý, nemazlavý, filtrát zakalený (přirovnání: vodnatější modelína)
Nespecifikováno	2,53	6,31	23.09. 2022	23.08. .2022	3,5	12	20	zákal: 9,68 NTU
Nespecifikováno	2,67	7,35	19.08. 2022	19.08. .2022	5	18	150	kal nelze pořádně "vyždímat" (vzorek odebrán 15.08.)
Nespecifikováno	2,67	7,36	19.08. 2022	19.08. .2022	2,5	7	80	nelze pořádně srazit (vzorek odebrán 15.08.)

Nespecifikováno	2,67	7,41	23.08. 2022	23.08. .2022	5	12	40	krásně shluklé, filtrát čistý, kal pořádně nelze vyždímat, hodně lepivý (vzorek odebrán 15.08.)
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,05	07.02. 2023	26.01. .2023	2	7	25	kal lze krásně vyždímat, drolí se jako modelína, sušší, nemazlavý
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,13	02.02. 2023	26.01. .2023	1,5	6	15	kal jemný, lepivý šel dobře vyždímat Zákal=17,3 NTU
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,15	03.02. 2023	26.01. .2023	1	4	20	při promnutí lepkavý trochu mazlavý ale lze vyždímat Zákal=24,7 NTU
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,25	03.02. 2023	26.01. .2023	3	10, 5	80	nejde pořádně vyflokulovat Zákal=99,6 NTU
PA1819, PA412AF, PD2040, PA7703, P4804S	1,65	6,27	07.02. 2023	26.01. .2023	1,9	5,5	30	kal lze vyždímat, drolí se jako modelína, při rozdrolení trochu mazlavý
PA1819, PA7703, PA4277, PA6192	4,28	6,6	17.01. 2023	06.01. .2022	3	13	60	kal se trochu rozpadá na kuličky, ale je hodně mazlavý Zákal=44,9 NTU
PA1819, PA7703, PA4277, PA6192	4,28	6,62	06.01. 2023	06.01. .2022	4	16	30	Pěnová disperze, kal se rozpadá na kuličky, jde krásně vyždímat Zákal=24,5 NTU
PA1819, PA7703, PA4277, PA6192	4,28	6,81	06.01. 2023	06.01. .2022	5	20	25	zákal 17,8 NTU
PA1819, PA7703, PA4277, PA6192	4,28	6,82	17.01. 2023	06.01. .2022	6	34	36	Kal se rozpadá na kuličky, ale je mazlavý(ale méně než se 3 ml) Zákal=4,49 NTU
PA1819, PA7703, PL4701, PA6494, P4804S	2,27	4,89	01.11. 2022	06.10. .2022	2,5	7,5	40	nelepivý, nemazlavý kal, poměrně čistý filtrát, shluky se rozpadají na kuličky Zákal=1,91 NTU
PA1819, PA7703, PL4701, PA6494, P4804S	2,27	5,89	25.10. 2022	06.10. .2022	3	9,5	45	Zákal= 35,3 NTU
PA1819, PA7703, PL4701, PA6494, P4804S	2,27	6,68	14.10. 2022	06.10. .2022	1,5	5,5	34	kal lze dobře vyždímat, filtrát zakalený Zákal=53,8 NTU
PA1819, PA7703, PL4701, PA6494, P4804S	2,27	6,79	07.10. 2022	06.10. .2022	3	11	50	lepší kal, drolí se na kuličky, trochu mazlavý Zákal=102 NTU
PA1819, PA7703, PL4701, PA6494, P4804S	2,27	6,81	07.10. 2022	06.10. .2022	1,5	6	25	kal lze vyždímat, lehce se drolí na kuličky, filtrát čistý Zákal=6,71NTU/ 7,16 NTU
PA1819, PD2610, PL4801, PL4805, PA7793, RD1425, PUG3852	1,32	6,85	21.02. 2023	21.02. .2023	3	10, 5	20	při koagulaci nedošlo k vysrážení, vysráženo až u vápna při 9 ml, kal nelze vyždímat, kal mazlavý a trochu lepivý

PA1819, PD2610, PL4801, PL4805, PA7793, RD1425, PUG3852	1,32	6,87	21.02.2023	21.02.2023	2	7	20	při koagulaci nedošlo k vysrážení, filtrát čistý, kal nelze moc vyždímat, kal hodně lepivý a mazlavý
PA1819, PL3851, PL4805, PA7799, PA427M, PXA1624	0,32	5,28	22.11.2022	14.11.2022	0,5	2,5	10	kal nemazlavý ani nelepivý Zákál= 22,1 NTU
PA1819, PL3851, PL4805, PA7799, PA427M, PXA1624	0,32	6,2	22.11.2022	14.11.2022	1,5	4	20	kal nelepivý, nemazlavý ale sražený chlorid - předávkováno Zákál=59,3 NTU
PA1819, PL3851, PL4805, PA7799, PA427M, PXA1624	0,32	6,32	15.11.2022	14.11.2022	1	3,5	30	jen sražený chlorid, filtrát kalný
PA1819, PXA1699, PA7703, PA427M, PA6474	0,93	6,59	13.12.2022	13.12.2022	1	6	15	filtrát čistý, kal trochu lepivý a hodně mazlavý jde dobře vyždímat Zákál=33,1 NTU
PA1819, PXA1699, PA7703, PA427M, PA6474	0,93	6,71	13.12.2022	13.12.2022	0,5	4	15	filtrát čistý, kal nelepivý ale mazlavý nelze vyždímat Zákál= 7,82 NTU
PA1819, PXA1699, PA7703, PA427M, PA6474	0,93	6,66	20.12.2022	13.12.2022	1,5	6	22	kal nelepivý ale mazlavý, lze vyždímat Zákál= 3,39 NTU
PA7703, PA427M, P4804S, PL4801, PA1699	9,1	7,31	20.01.2023	19.01.2023	9	36	?	při koagulaci nedošlo k vysrážení, Zákál = 4,2 NTU
PA7703, PA427M, P4804S, PL4801, PA1699	3,42zř eděná	6,86	24.01.2023	19.01.2023	3,5	18	0	vysráženo až při 18ml Ca(OH) ₂ , kal hodně mazlavý, nelze pořádně vyždímat Zákál=6,35NTU
PA7703, PA427M, P4804S, PL4801, PA1699	4,26zř eděná	7,31	20.01.2023	19.01.2023	6	22	30	při koagulaci nedošlo k vysrážení, Zákál= 19,1 NTU
PL3851, PA7703, PL4805, Pa315, PA6474, PA6192, P4804S	3	6,43	08.11.2022	31.10.2022	4	11,5	40	Zákál= 12,4 NTU
PL3851, PA7703, PL4805, Pa315, PA6474, PA6192, P4804S	3	6,52	15.11.2022	31.10.2022	2	6,5	55	kal nelze vymačkat, stále obsahuje dost vody, nelepivý, filtrát čistý Zákál= 34,1 NTU
PL3851, PA7703, PL4805, Pa315, PA6474, PA6192, P4804S	3	6,54	08.11.2022	31.10.2022	3	9,5	56	Zákál =11,5 NTU
PL3851, PD2040, PA315, PA6474, EX239, EX309	2,31	6,8	01.11.2022	13.10.2022	2,5	6,5	55	kal nelepivý a nemazlavý, filtrát zakalený Zákál= 91,7 NTU
PL3851, PD2040, PA315, PA6474, EX239, EX309	2,31	7,05	25.10.2022	13.10.2022	3,5	10,5	130	patrný zákal, ani po přidavku 130 ml flokulantu se netvoří shluky
PL3851, PD2040, PA315, PA6474, EX239, EX309	2,31	7,08	14.10.2022	13.10.2022	3	10	60	kal se drolí

PL3851, PD2040, PA315, PA6474, EX239, EX309	2,31	7,1	25.10. 2022	13.10 .2022	1,5	5	20	Zákal= 18,7 NTU
PXA1699,AI4805,A7793,AUG38 61,AUG3851	2,02	7,19	09.08. 2022	09.08 .2022	3	10	35	kal hodně tekutý a mazlavý, nelze "vyždímat"
PXA1699,AI4805,A7793,AUG38 61,AUG3851	2,05	7,01	12.08. 2022	09.08 .2022	5	16	40	filtrát čistý, kal hodně mazlavý, ale nelepivý Zákal=16,3NTU (vzorek zředěný na nižší koncentraci sušiny)
PXA1699,AI4805,A7793,AUG38 61,AUG3851	3,19	7,04	09.08. 2022	09.08 .2022	5,5	19, 5	50	filtrát čistý, kal lepivý a mazlavý
PXA1699,AI4805,A7793,AUG38 61,AUG3851	3,19	7,16	12.08. 2022	09.08 .2022	3	8	50	kal nelze pořádně "vyždímat", nelepivý ale mazlavý Zákal=11,4NTU
RAE4625,A1819,AD2040,AT480 3,A6494	2,26	6,82	26.07. 2022	22.07 .2022	1,5	9	40	kal byl hodně mazlavý a lepivý, nešlo "vyždímat", filtrát zakalený (vzorek zředěný na nižší koncentraci sušiny)
RAE4625,A1819,AD2040,AT480 3,A6494	5,15	7,99	16.08. 2022	22.07 .2022	6	20	45	sušší ale nelepivé, trochu se kal drolí na kuličky Zákal=17,6NTU
RAE4625,A1819,AD2040,AT480 3,A6494	5,19	6,58	26.07. 2022	22.07 .2022	4,5	13, 5	45	kal hodně mazlavý a lepivý, filtrát poměrně čistá (vzorek odebrán 14.7)
RAE4625,A1819,AD2040,AT480 3,A6494	5,19	6,67	22.07. 2022	22.07 .2022	3	9	60	kal po filtraci se drolí na žmolky rozpadá se na malé kuličky, filtrát hodně zakalený
RAE4625,A1819,AD2040,AT480 3,A6494	5,19	6,8	26.07. 2022	22.07 .2022	6	18, 5	45	filtrát není tak zakalený, kal suší, drolivý na kuličky (vzorek odebrán 14.7)

Příloha 2: Laboratorní měření odpěňovačů

	objem WWD	Dávka 100% aktivní složky	Koncentrace	minuty																				
				0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	35	40	50	60
	ml	ml	ppm	Objem pěny nad hladinou WWD (ml)																				
AGITAN 108	100	0,035	100	60	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
AGITAN 109	100	0,02	100	60	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
AGITAN 301	100	0,011	100	60	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	5	8	10	15	20	24	25	25
AGITAN 361	100	0,011	100	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
AGITAN DF 6686 W	100	0,039	100	60	0	0	0	0	0	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Fennodefo 5000	100	0,011	100	60	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
AGITAN 120	100	0,04	100	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGITAN 120 (25ppm)	100	0,011	25	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGITAN 108 (25ppm)	100	0,011	25	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Seznam obrázků

- Obrázek č. 1: Společnost Synthomer a.s. (www.mapy.cz upravila Štíplová, 2023)
Obrázek 2: Schématické znázornění shromažďování a přečerpávání odpadních disperzních vod
Obrázek 3: Blokové schéma odpadních proudů
Obrázek 4: Produkce a likvidace odpadních vod v ČOV
Obrázek 5: Vylisovaný kal ze šnekového lisu
Obrázek 6: Sedimentační zdrž s mostovými shrabováký
Obrázek 7: Popis možností tvorby vloček v OV po přidavku koagulantu
Obrázek 8: Schéma sklenicové optimalizační zkoušky a jejího vyhodnocení (Načeradská a kol., 2019)
Obrázek 9: Analyzátor vlhkosti
Obrázek 10: Testovací aparatura
Obrázek 11: Turbínové míchadlo
Obrázek 12: Přídavek koagulačního činidla a vápenného mléka
Obrázek 13: Přídavek flokulantu a následná filtrace přes uhelón
Obrázek 14: Turbidimetr
Obrázek 15: Pěnění přečištěných vod

Seznam Tabulek

- Tabulka 1: Velikost linek
Tabulka 2: Velikost částic a doba usazování (Bratby, 2016)
Tabulka 3: Shrnutí podmínek pro koagulaci a flokulaci
Tabulka 4: Vliv provozních parametrů na suchost koláče a výtěžek sušiny
Tabulka 5: Srovnání technologií zahuštění/odvodnění kalu
Tabulka 6: Složení a datum odběru vzorku
Tabulka 7: Porovnání vlastností odpěňovačů
Tabulka 8: Rozsah pH a sušiny
Tabulka 9: Test 07.02.2023
Tabulka 10: Sušina 0,31-2,31%

Tabulka 11: Sušina 2,5 %- 3,5%

Tabulka 12: Sušina 3,5 %-5,15%

Tabulka 13: Sušina 5,15 %- 9,1%

Tabulka 14: Doba a pění vod

Tabulka 15: Shrnutí a vyhodnocení testů odpěňovačů