



Separace hydrolyzátů reaktivních barviv z vodných systémů

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil

Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing

Autor práce: **Eliška Janušková**

Vedoucí práce: Ing. Jana Šašková, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering ■

Separation of hydrolysed reactive dyes from water systems

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil

Study branch: 3107R007 – Textile marketing - textile marketing

Author: **Eliška Janušková**

Supervisor: Ing. Jana Šašková, Ph.D.





Zadání bakalářské práce

Separace hydrolyzátů reaktivních barviv z vodných systémů

Jméno a příjmení: **Eliška Janušková**
Osobní číslo: T15000480
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní marketing
Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerši k dané problematice
- 2) Na základě nových poznatků v oboru navrhněte postup vedoucí k co nejeftivnějšímu odstranění hydrolyzátu barviva po barvení reaktivními barviv. Použijte různá sorpční média a metodiky, případně jejich kombinace (např. aktivní uhlí, nanovláknenný filtr, ozon).
- 3) Výsledky vyhodnoťte, diskutujte možnost praktického využití včetně ekologických a ekonomických dopadů navržené technologie.

Jméno a příjmení: **Eliška Janušková**
Osobní číslo: T15000480

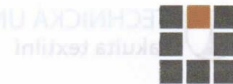


Jméno a příjmení: **Eliška Janušková**
Osobní číslo: T15000480

V Liberci, 24. ledna 2019

Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:

30 – 40 stran
tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

Christie, R.M.: Environmental aspects of textile dyeing, Woodhead Publishing, 2007
Clark, M.: Handbook of textile and industrial dyeing, Woodhead Publishing, 2011

Vedoucí práce:

Ing. Jana Šašková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

16. října 2018


Předpokládaný termín odevzdání:

18. dubna 2019


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

V Liberci 24. ledna 2019




doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

26. 3. 2019

Eliška Janušková



PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří Ing. Janě Šaškové, Ph.D za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Dále mé poděkování patří Ing. Lence Mikuláškové a jejímu manželovi za pomoc při zpracování a odborné rady.

V neposlední řadě chci poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

Anotace

Cílem této bakalářské práce, bylo navrhnout co nejefektivnější postup čištění odpadních vod po barvení reaktivními barvivy. V teoretické části této bakalářské práce je objasněna problematika týkající se barvení celulóзовých vláken pomocí reaktivních barviv. Dále jsou zde popsány metody separace pomocí ozonizace a nanovláčenného filtru. V experimentální části práce byly zvoleny dva postupy odstranění hydrolyzátu barviva z odpadních vod, které byly otestovány za různých podmínek. Jedním z postupů čištění bylo použití práškového a granulovaného aktivního uhlí. Druhým způsobem bylo použití ionizačního prostředku. Pro určení nejefektivnějšího postupu čištění odpadních vod byly vytvořeny 3 roztoky hydrolyzátu barviv (modř, oranž, červen) o různých koncentracích a poté bylo provedeno jejich následné čištění pomocí zvolených způsobů. Byly zaznamenány změny koncentrací barviva v lázni, dále bylo kvantifikováno množství absorbovaného barviva. Nakonec byly zaznamenány poměry dávek pro aktivní uhlí a ionex. Výsledky výzkumu ukázaly, že nejvýhodnější variantou pro čištění odpadních vod je ionizační prostředek. Aktivní uhlí při praní sedimentovalo do textilního materiálu, což snižovalo jeho účinnost a další jeho nevýhodou byla nutnost filtrace, což prodlužovalo celý proces čištění. V závěru práce byl zhodnocen ekonomický a ekologický dopad pro firmu, která by přistoupila na tuto metodu separace.

Klíčová slova: Separace, Reaktivní barviva, Ionizační prostředek, Ozonizace, Aktivní uhlí, Bavlněný materiál, Nanovláčenný filtr, Sekvestrační prostředek, Čištění odpadních vod.

Annotation

The aim of this bachelor thesis was to design the most effective wastewater treatment process after reactive dyeing. The theoretical part of this bachelor thesis explains the problem of dyeing cellulose fibers using reactive dyes. There are also described methods of separation by ozonization and nanofibrous filter. In the experimental part, two procedures for the removal of dye hydrolyzate from wastewater, which were tested under various conditions, were chosen. One method of purification was the use of pulverized and granulated activated carbon. The second way was to use the ionizing agent. To determine the most efficient

wastewater treatment process, 3 solutions of dye hydrolysates (blue, orange, red) of different concentrations were formed and then purified by selected methods. Changes in dye concentrations in the bath were noted, and the amount of dye absorbed was quantified. Finally, dose ratios for activated carbon and ionizer were recorded. The results of the research have shown that best variant for wastewater treatment is the ionizer. The activated carbon in the wash sedimented into the textile material, which reduced its efficiency and another disadvantage was the need for filtration, which prolonged the entire cleaning process. At the end of the thesis, the economic and ecological impact of the company on this method of separation was evaluated.

Key words: Separation, Reactive dyes, Ionizing agent, Activated Charcoal, Cotton material, Nano fibrous filter, Sequestering agent, Water purification.

Obsah

Úvod.....	9
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	11
1. TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1. Celulózová vlákna.....	12
1.2. Barvivo.....	13
1.3. Aktivní uhlí	16
1.3.1. Užití aktivního uhlí při čištění odpadních vod v praxi.....	16
1.3.2. Reaktivace a recyklace.....	17
1.4. Ozonizace.....	17
1.4.1. Historie.....	17
1.4.2. Ozon.....	18
1.4.3. Výroba.....	18
1.5. Nanofiltrace.....	18
1.5.1. Experiment pro porovnání ozonizace a NF.....	19
1.6. Závěrečné zhodnocení jednotlivých metod.....	20
1.6.1. Aktivní uhlí	20
1.6.2. Ozonizace.....	20
1.6.3. Nanofiltrace.....	21
1.7. Další možnosti separace.....	21
1.7.1. Ionex.....	21
1.8. Metody hodnocení.....	22
1.8.1. Spektrofotometrie.....	22
1.8.2. Chromatografie	23
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
2.1. Popis.....	25
2.1.1. Materiály	25
2.2. Experiment pro dva typy aktivního uhlí (Granulát X Prášek)	28
2.2.1. Vizuální hodnocení	28
2.2.2. Objektivní hodnocení.....	29
2.2.3. Vizuální hodnocení práškového uhlí.....	31
2.3. Ionizační prostředek Tulsion A23Cl	32
2.3.1. Úvodní experiment.....	32

2.3.2.	Ionizační prostředek Tulsion A23Cl při změně prostředí	33
2.3.3.	Iontoměnič použitý v práci lázni.....	37
3.	DISKUSE A VÝSLEDKY	40
3.1.	Ekonomické a ekologické dopady	40
3.1.1.	Evropské právní předpisy týkající se barvení	40
3.1.2.	Aplikace barviva šetrného k životnímu prostředí	40
3.1.3.	Snižování znečištění a minimalizace odpadu po textilním barvení	41
3.1.4.	Ekonomický vliv	42
3.2.	Aktivní uhlí	44
3.3.	Iontoměnič.....	44
4.	Závěr	46
	Seznam obrázků	47
	Seznam tabulek	48
5.	Seznam použité literatury	49

Úvod

Kromě toho, že je voda důležitým elementem potřebným pro život na naší planetě, je také nepostradatelná v mnoha výrobních procesech lidské činnosti a pro činnosti všech živých organismů. Vyskytuje se ve všech složkách životního prostředí, využívá se k výrobě energie, v dopravě a v průmyslu.

V průmyslové výrobě mimo jiné slouží jako rozpouštědlo a dochází ke zhoršení jejích vlastností. Během těchto výrobních procesů však většinou dochází k vážnému znečištění, ba i závažné kontaminaci použité vody toxickými látkami a tato voda nemůže být bez následné úpravy a opětovného vyčištění vypuštěna zpět do životního prostředí. Jedním z takových výrobních procesů je i barvení textilií reaktivními barvivy.

V textilním průmyslu se vody používá v chemických úpravnických procesech při předúpravě, barvení a finálních úpravách. Množství spotřebované vody při těchto procesech je obrovským celosvětovým tématem. Odpadní vody, pokud jsou vypouštěny do přírody, mohou ovlivnit ekosystém a to má vliv nejen na přírodu, ale i na člověka. Takto dochází k tvorbě odpadních vod různého složení a jakosti. Tyto odpadní vody pak obsahují různé látky, jako např. látky toxické nebo biologicky těžko odbouratelné a karcinogeny. Odpadní vody proto představují vážný ekologický problém a z toho důvodu se snažíme o jejich úpravu a recyklaci.

Textilní firmy, které se specializují na barvířství a tiskařství, produkuje obarvenou vodu, která obsahuje zbytky reaktivních barviv a chemikálií potřebné pro procesy, proto je nutné se zaměřit na odbourání těchto látek před vypuštěním zpět nebo její možná následná využitelnost. Současná legislativa nedovoluje vypouštět odpadní vody bez úpravy zpět do přírody. Firmy proto investují do různých systémů zaměřených na čištění odpadních vod. Čištění odpadních vod je složitý proces, neboť mohou být ve vodě obsaženy látky i z předchozích operací. Látky obsažené ve vodě jsou například: odšlichtovací činidla, prací a bělicí prostředky a již zmiňovaná barviva.

Vzhledem ke stále rostoucímu znečišťování zdrojů vody a zároveň k nedostatku vody způsobené změnou klimatu stoupá význam metod, které umožňují čištění odpadních vod a jejich opakované použití. Pro úpravu a čištění odpadních vod jsou vhodné mechanické, chemické, fyzikální, i biologické metody. Hodnotí se barva vody, přítomnost chemických látek a organické znečištění, pro které existují různé metody detekce, jako např. TOC (celkový organický uhlík) a ChSK (Chemická spotřeba kyslíku).

V posledních letech došlo k velmi rychlému rozvoji tzv. tlakových membránových procesů, ke kterým patří mikrofiltrace, ultrafiltrace a nanofiltrace. Tyto metody jsou stále více vyhledávány, neboť jejich nesmírnou výhodou je jejich účinnost separace bez využití dalších chemikálií, což nevede k druhotné kontaminaci. Dalšími přednostmi těchto procesů bývá nízká spotřeba energie, cena membrán, nižší nároky na zastavěnou plochu a minimální nároky na obsluhu.

Tato práce je zaměřena na inovativní možnosti odstraňování barviva z odpadních vod. V teoretické části bylo poukázáno na již hojně využívané metody separace jako je ozonizace, nanofiltrace (NF) a využití aktivního uhlí. Ve výzkumné části bylo využito pokusů s aktivním uhlím a použití metody iontoměniče.

Protože dochází k celosvětové snaze o nápravu životního prostředí, proto je potřeba nalézt metody, které budou nákladově a energeticky úsporné.

Seznam použitých zkratek a symbolů

A – Absorbance

cN/tex – (centiNewton/tex) jednotky tažnosti

ChSK – Chemická spotřeba kyslíku

g – gram

g/l – gram/litr

km – kilometr

m – metr

min – minuta

ml – mililitr

mm – milimetr

NF – nanofiltrace

nm – nanometr

RB – reaktivní barviva

RFT - right-first-time

T – Transmittance

tex – jednotky jemnosti

TLC – Chromatografie na tenké vrstvě

TOC – Celkový organický kyslík

% - procento

°C – stupeň Celsia

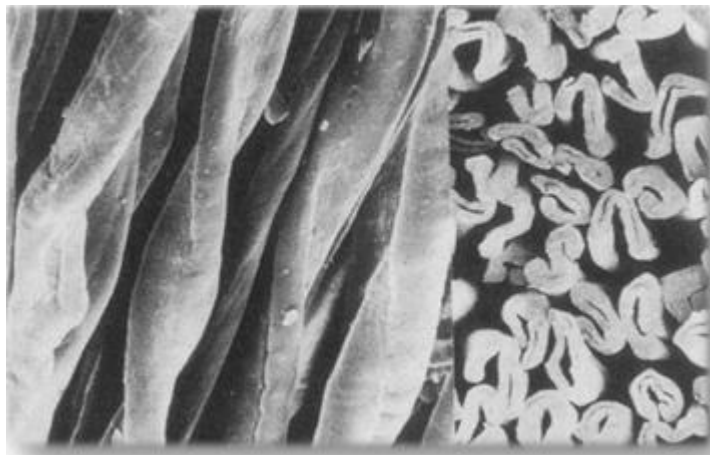
1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1. Celulózová vlákna

Celulózová přírodní vlákna se dělí podle toho, z jaké části rostliny jsou získána. Mohou být ze semen (bavlna), listů (manila, sisal), kokosových ořechů, nebo ze stonků (len, konopí, juta a ramie). Jedním z nejdůležitějších vláken jsou vlákna bavlněná, neboť tvoří přibližně jednu třetinu celkové světové textilní produkce. Tato vlákna získáváme z povrchu semen bavlníků. Bavlna obsahuje 95% celulózy, jejíž obecný vzorec je $(C_6H_{10}O_5)_n$. Ve vláknech bavlny jsou obsaženy vosky, pektiny, organické kyseliny a anorganické látky.[8]

Jde o lineární polymer 1,4- β -D-glukózy spojený valenčními vazbami uhlíku atomu. Ze stran molekulového řetězce vystupují hydroxylové skupiny $-OH$.

Řez bavlněným vláknem pod mikroskopem připomíná tvar ‚fazole‘. Podélný pohled, který je pro bavlněné vlákno charakteristický, odpovídá spirálovité struktuře.



Obrázek 1- Podélný pohled a řez bavlnou

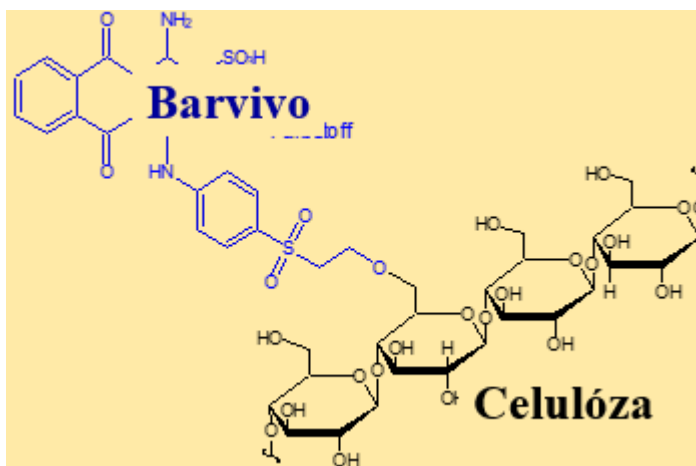
Vliv na kvalitu bavlněného vlákna má půda, kde jsou bavlníky pěstovány, dále klimatické a povětrnostní podmínky, zemědělské postupy a mnoho dalších faktorů. Délka vláken, která jsou při sklizni získána, se pohybuje od 3 do 63 mm. Kratší vlákna, která se pohybují pod délkou kratší než 12 mm, se vyřazují, protože nejsou vhodná pro další zpracování v textilním průmyslu. Podle místa pěstování se rozlišuje délka vláken, ale nejčastěji používanou délkou pro další zpracování je 20 až 32 mm. [8]

Pevnost bavlněných vláken v tahu odpovídá 5cN, v suchých podmínkách je odolnost vůči prasknutí mezi 25-45 cN/tex. V mokřích podmínkách jsou vlákna odolnější a to až o

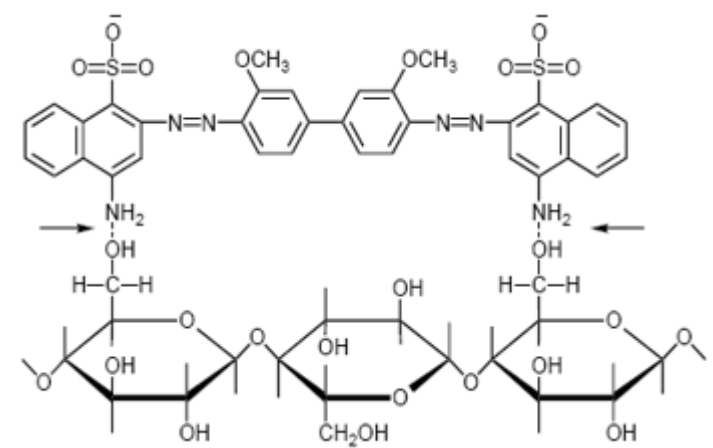
20%. Mezi další pozitivní vlastnosti bavlny můžeme zařadit odolnost vůči alkáliím a bělícím prostředkům. Nevýhoda je, že bavlněná vlákna nejsou odolná vůči kyselinám např. HCl a H₂SO₄ a oxidačním činidlům např. KMnO₄ a NaClO, tedy dochází k poškození struktury vlákna. [8]

1.2. Barvivo

Reaktivní barviva jsou jedním z prostředků barvení celulóзовých vláken. Mezi další varianty barviv vhodných pro barvení celulózy řadíme barviva přímá a kypová. V této práci bude využíváno bavlněných materiálů, z toho důvodu budeme mluvit o bavlně jako o celulóзовých vláknech.[7] Obecně platí, že vyčerpání barviva je u celulóзовých vláken nižší, tudíž je více obarvena odpadní voda. Na zpracování bavlny byl kladen důraz na obsah kationtových zbytků, na které je vázáno aniontové reaktivní barvivo s vysokým vyčerpáním a minimálním využitím elektrolytu. RB jsou hojně vyhledávány pro jejich dobrou stálost při mokrých procesech a široký rozsah odstínů. [17]

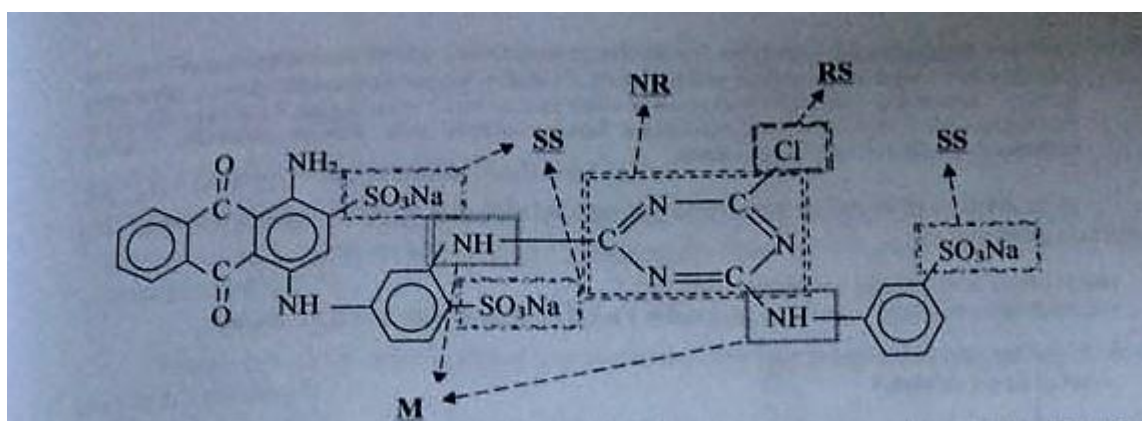


Obrázek 2 - Sloučení reaktivního barviva a celulózy [7]



Obrázek 3- Reakce barviva s celulórou pomocí vodíkových můstků [7]

Reaktivní barvivo reaguje s materiálem chemickou reakcí, přesněji kovalentní vazbou tzn., jedná se o sdílení jednoho nebo více elektronů mezi dvěma prvky. Jde o reakce probíhající mezi molekulou barviva a ionizovanou hydroxyskupinou. Složení reaktivního barviva: CH – M – R – X, kde S – solubilizační skupiny, CH – chromogenový systém, M – můstek, R – nosič reaktivních atomů, X – reaktivní atom.[1]

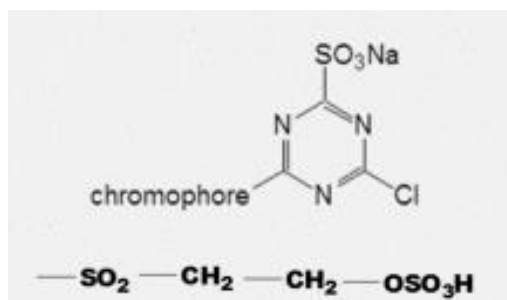


Obrázek 4- Vyznačení základních částí Ostazinové modře H-BR (C.I. Reactive Blue 5) [7]

Tato vazba vzniká v alkalickém prostředí, kde dochází k odštěpení hydroxylové skupiny celulózy a navázání barviva přes kyslík sulfonylové skupiny barviva. [7]

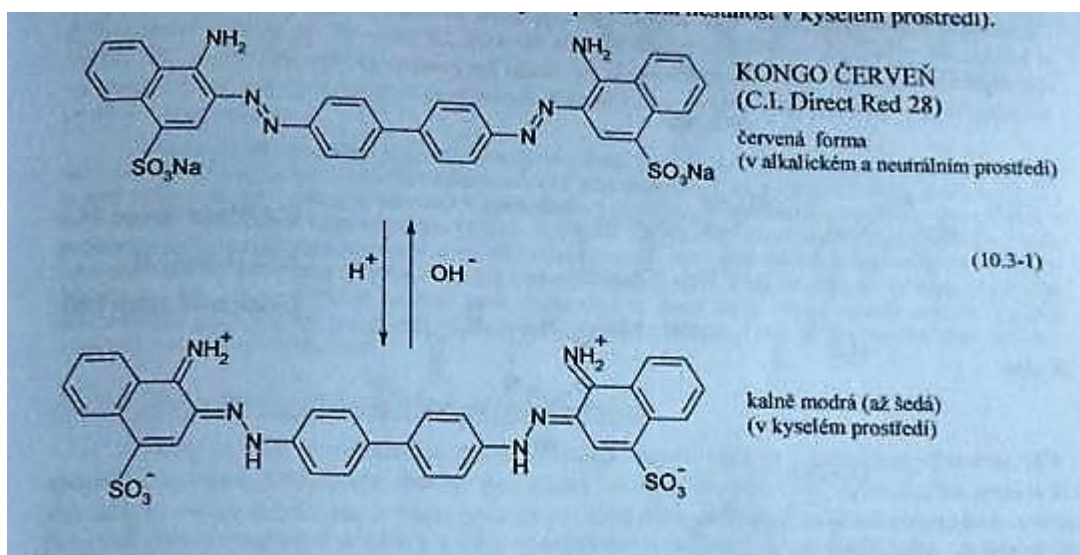
Reaktivní barviva jsou považována za azobarviva, neboť obsahují funkční skupinu N=N, která propojuje dva uhlovodíkové zbytky dvojnou vazbou. Jedná se o dusíkaté deriváty uhlovodíků, o obecném vzorci R-N=N-R', kde R a R' může být buď aryl, nebo alkyl. Azosloučeniny jsou charakteristické svou barevností, kterou způsobuje právě přítomnost azoskupiny.

V molekule barviva je obsažen reaktivní systém, který je schopný reagovat na $-OH$ skupiny celulózy resp. $-ONa$. Mezi tyto systémy jsou řazeny monochlortriazin, sulfatoethylsulfon nebo jejich spojení, kde se následně jedná o bifunkční barvivo. [7]



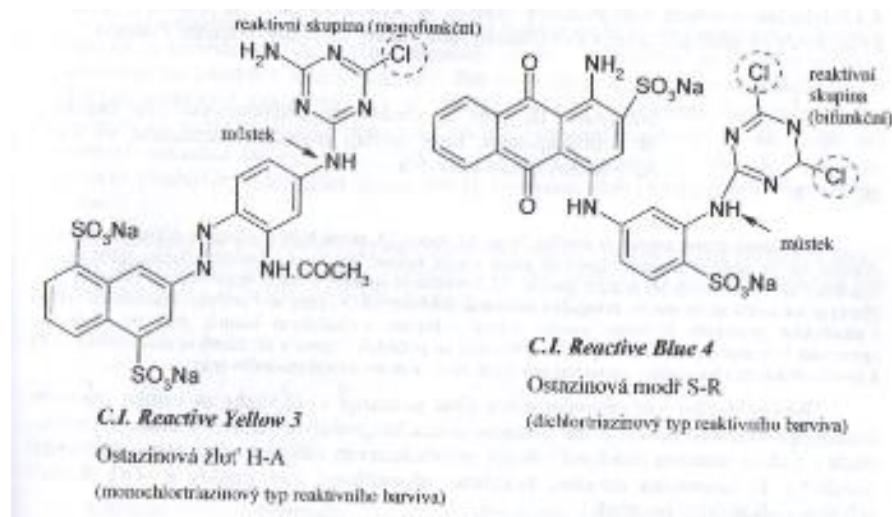
Obrázek 5 - Struktura monochlortriazinu a sulfatoethylsulfonu [7]

Aby k vazbě mohlo dojít, musí barvivo obsahovat polarizovanou skupinu s nukleofilním činidlem, tedy volný elektronový pár, který bude reagovat. Hydrolyzované barvivo zhoršuje stálosti díky tomu, že není schopno reagovat s materiálem kovalentní vazbou, ale stále má k textilnímu materiálu afinitu. A to díky možnosti vzniku vodíkových můstků a Van der Waalových sil, které nejsou tak pevné jako vazba kovalentní. [7]



Obrázek 6- Reakce přímého barviva ve vodném roztoku [7]

Pokud se zaměříme na rozpustnost barviva, tak si musíme nejprve uvědomit, že barvivo obsahuje solubilizační skupiny, zejména sulfoskupinu $-SO_3H$ ve formě sodné soli, tedy $-SO_3Na$. Při interakci ve vodné lázni dodává iontu aniontový charakter $-SO_3^-$.



Obrázek 7- Chemická struktura reaktivních barviv C.I. Reactive Yellow 3 a C.I. Reactive Blue 4 [7]

1.3. Aktivní uhlí

V průmyslové produkci se využívá aktivního uhlí převážně pro úpravu pitné vody, zachycení těkavých látek, odbarvování, při čištění bioplynu a další. V textilním průmyslu jde o odstraňování molekul barviva z odpadní vody. Pro tento způsob čištění může být využito dvou typů aktivního uhlí:

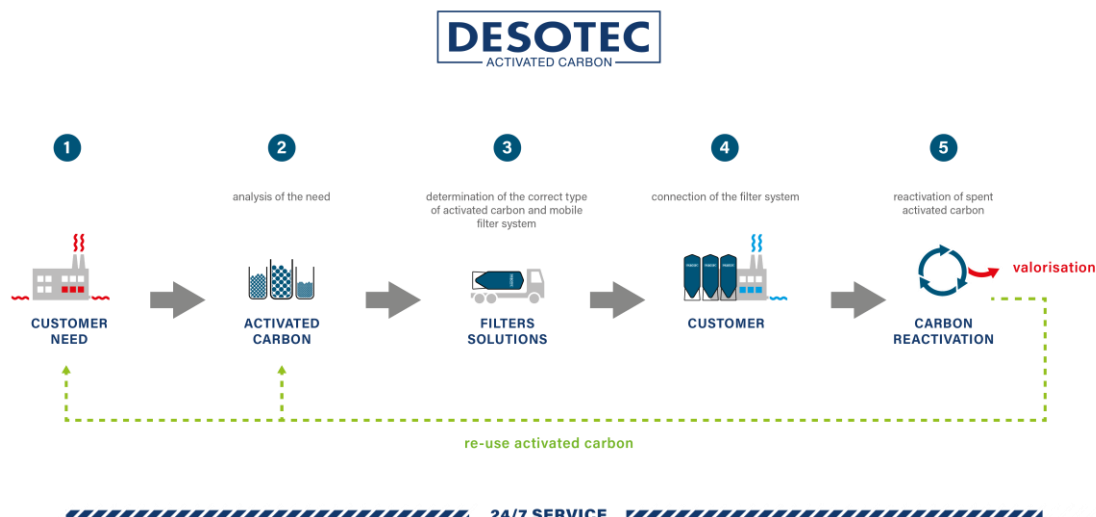
- Granulované aktivní uhlí pro odstraňování rozpustných organických znečištění
- Práškové aktivní uhlí vhodné pro průmyslové čistírny odpadních vod [15]

Jedná se o produkty s porézní strukturou a velkým vnitřním povrchem. Chemická struktura může být definovaná jako surová forma grafitu s náhodnou amorfní strukturou. Porézní povrch se dělí podle velikosti pórů, od viditelných dutin po molekulární rozměry.

Použití aktivního uhlí pro čištění odpadních vod je primárně založeno na jevu adsorpce. Tento jev je charakteristický tím, že se molekuly kapaliny nebo plynu přichytí k vnějšímu nebo vnitřnímu povrchu pevné látky. [15]

1.3.1. Užití aktivního uhlí při čištění odpadních vod v praxi

Firma Desotec vytváří filtry s aktivním uhlím, aby docílila efektivního čištění odpadních vod. Současně pracuje na vývoji filtrů, které zajišťují obnovu odpadních vod a jejich uvedení do opětovného provozu. Z toho důvodu se spojili se zákazníkem a vytvořili pětistupňový proces pro nejvhodnější použití aktivního uhlí a jeho následnou reaktivaci či likvidaci. [16]



Obrázek 8- Pětistupňový proces firmy DESOTEC [16]

Po výzkumné a vývojové řadě testů v laboratoři bylo zjištěno, že určitý typ granulovaného aktivního uhlí byl schopen dosáhnout potřebných požadavků na rozdíl od práškového uhlí, které je v procesech spalováno.

Pro zvýšení efektivity přišla firma s navýšením množství filtrů pro zákazníka. Tím se zajistí frekvence výměny a současně sníží náklady na údržbu. Díky konstrukci a způsobu přepravy lze tyto filtry měnit v krátkém čase s minimální manipulovatelností. [16]

1.3.2. Reaktivace a recyklace

Recyklace aktivního uhlí může být provedena následujícími způsoby.

1. Recyklace nasyceného aktivního uhlí tepelnou reaktivací. Jde o recyklaci, kdy se produkt stává opět použitelným a adsorbované sloučeniny jsou chemicky a tepelně odstraněny.
2. Energetické využití aktivního uhlí.
3. Odstranění aktivního uhlí v případě, kdy již nelze provést reaktivaci. [15]

1.4. Ozonizace

1.4.1. Historie

Již v roce 1785 byl nizozemským vědcem Martinusem van Marumem popsán specifický zápach (vůně) elektrického výboje. V roce 1840 byl objeven ozon chemikem jménem

Christian Schobeinem. Jeho struktura, tříatomová molekula kyslíku, byla potvrzena až o 32 let později a to v roce 1872. V přírodě se ozon vyskytuje v horní vrstvě atmosféry, obklopuje Zemi a chrání povrch planety od UV záření. Poprvé se ozon využil k desinfekci pitné vody V Outshoornu v Holandsku v roce 1893. [1]

1.4.2. Ozon

Jedná se o alotropní modifikaci kyslíku, jehož racionální chemický název je trikyslík. Chemicky je označován O_3 , to znamená, že se jedná o tříatomové molekuly. Za normálních podmínek je to vysoce reaktivní plyn s mimořádně silnými oxidačními účinky, který se projevuje modrou barvou a charakteristickým zápachem. Při teplotě -112 °C kondenzuje na kapalný tmavě modrý ozon a při -193 °C se tvoří červenofialový pevný ozon. [2][3]

Jde o silné oxidační činidlo, které může reagovat s biologickými látkami. Díky tomu, při vdechnutí ozonu do plic dojde k poklesu jejich kapacity, dále vede k zánětlivým onemocněním, narušení vývoje a snížení funkce plic. Projev ozonu můžeme pozorovat také na rostlinách, neboť ozon poškozují i rostlinnou tkáň. Mezi pozorovatelné příznaky patří žluté chlorotické nebo červené skvrny, bronzově zabarvené horní listy zatímco žilky listů zůstávají zelené. [2]

1.4.3. Výroba

Ozon se v dnešní době získává pomocí korónového výboje. Ozon je získáván pomocí častých mikrovýbojů ve vzduchu. Každý jeden výboj trvá několik nanosekund. Po dodání vzduchu je tvorba ozonu vyšší než při použití kyslíku jako čistého prvku. Nutné je dodávaný vzduch chladit. Klasická ozonizační jednotka se skládá ze zdroje plynu, prachového filtru, sušiče plynu, generátoru, kontaktní jednotky a zařízení na zneškodňování plynu. Jedná se o proces za použití suchého plynu. [1] [3]

Existuje několik typů těchto generátorů, které se rozlišují typem koróny - vodorovné nebo vertikální trubice, a zdrojem – nízkofrekvenční, středně frekvenční. Mezi další způsoby generování ozonu patří metoda fotochemická, elektrolytická a radiochemická. [1]

1.5. Nanofiltrace

Jedná se o proces úpravy odpadní vody po barvení bez ohledu na použitý typ barviv. Jde o membránovou filtraci, která umožňuje zmenšovat objem použité odpadní vody a solí obsažené v ní. Umožňuje obnovu a opětovné použití nejen vody do barvicí lázně, ale i

použitých chemikálií jako hydroxidu sodného, polyvinylalkoholu a indigového barviva. Chemikálie se dají tímto způsobem recyklovat. Nejčastěji se k čištění využívá nanofiltračních membrán (NF). Ty zajišťují rozdělení rozpustných látek o nízké molekulární hmotnosti při nízkém tlaku. Pracují na principu odstranění molekul látek z přívodního toku. Nezpochybnitelnou výhodou NF je snížení chemické spotřeby kyslíku (ChSK). V laboratorních podmínkách při odstraňování barviva z lázně se dosáhlo až 98% účinnosti u komerčně dosažitelných reaktivních barviv. ChSK se pohybovala v rozsahu 89-94%. Z těchto hodnot je patrné, že NF membrány prokázaly velmi vysoké zadržení barviva z barvicí lázně.[4]

1.5.1. Experiment pro porovnání ozonizace a NF

Vishnu a Kurian připravili pro hodnocení barvicí lázně pro různé odstíny tři reaktivní barviva: C.I. Reaktivní modř 5, C.I. Reaktivní červeň 120 a C.I. Reaktivní žlut' 84. Tato barviva bylo nutné hydrolyzovat při 80°C, aby odpovídaly barvicím podmínkám. Nanofiltrace je stejně účinná pro odstranění barevnosti odpadní vody, a zároveň snižuje množství TOC. [4]

Celkový organický uhlík (TOC – Total Organic Carbon) je parametr uváděný u vod, který ukazuje množství přítomných organických látek. Tento parametr je udáván v miligramech uhlíku na jeden litr vody. Přírodními složkami TOC jsou huminové kyseliny a fulvokyseliny a další organické látky v podobě cyklů. Jedná se o analytický skupinový ukazatel, jenž vyjadřuje množství organických látek ve vodě, který se využívá pro stanovení kvality vody. [22]

Experimenty prováděné Vishnem a Kurianem pro převod plynného ozonu na vodný byl použit tubulární válcový difuzér, jenž byl připojen k silikonové trubici na dně reaktoru. Pokusy probíhaly při pokojové teplotě a zhruba 500 ml odpadní vody bylo použito na hodnocení ozonizace.

Vzorky pro barvení byly vloženy do barvicí lázně, barvení probíhalo při zvyšování teploty na 60°C během 30 minut. Během tohoto ohřevu byla přidávána alkálie Na₂CO₃ a došlo ke zvyšování teploty na 80°C po dobu 60 minut. Po obarvení byla tkanina vyjmuta a dvakrát proprána za tepla. Poté došlo k neutralizaci tkaniny kyselinou octovou při pokojové teplotě po dobu 10 minut a mydlení roztokem 2g/l při 90°C přibližně 10 minut. Následovalo praní za studena, které proběhlo dvakrát a následné sušení tkaniny na vzduchu. [4]

Po usušení byla tkanina testována na spektrofotometru na vydatnost barvy pomocí Kubelka-Munkovy rovnice. Hodnoty K/S funkce má lineární vztah s koncentrací barviva, jejíž vztah se počítá pomocí rovnice:

$$K/S = (1-R)^2 / 2R, (1)$$

kde R odpovídá odrazivosti (%). [4]

1.6. Závěrečné zhodnocení jednotlivých metod

1.6.1. Aktivní uhlí

Nejčastěji využívaným typem aktivního uhlí je ve formě granulátu a prášku. Vzhledem k tomu, že oba jsou považovány za účinné, tak práškové aktivní uhlí vykazuje vyšší poměr odstranění nečistot z odpadních vod.

Hlavní faktory, které nejvíce ovlivňují separaci, jsou množství uhlí a doba, po kterou je kontaminant v lázni. Čím vyšší množství uhlíku, tím se dosáhne lepší absorpce a zároveň čím delší doba kontaktu, tím lepší absorpční schopnost aktivního uhlí.

Za největší výhodu se považuje účinné odstranění organických sloučenin a chemikálií a relativně nízkou cenovou náročnost.

1.6.2. Ozonizace

V různých studiích se můžeme dočíst různých výsledků. Nejčastější názor, který se v literatuře objevuje, je že ozonizace má pozitivní výsledky při celkovém odstranění barviva z lázně, což umožňuje vodu opakovaně využívat. A to i pro barvení světlými odstíny. Ačkoli při ozonizaci je dosažené úplného odbarvení barvicí lázně, redukce celkového organického uhlíku (TOC) byla nízká.

Opakované použití ozonizované vody šetří chemikálie, zejména sůl, vodu, náklady na úpravu odpadní vody a energii. Samozřejmě, že ozonizovaná voda nemůže být používána neustále. Je to přímo úměrné typu barviva, které se používá. Takto vyčištěnou vodu lze použít třikrát.

Stálost barvy vody, získané při recyklaci, je většinou vynikající nebo dobrá. Čas potřebný k ozonizaci a spotřeba ozonu kolísají podle typu použitého barviva. Ukazuje se, že ozonizace představuje slibnou metodu čištění s cílem opakovaně používat textilní odpadní vody, což se promítá do ekologických i ekonomických nákladů.

1.6.3. Nanofiltrace

Při odbarvování světlých odstínů v Cl Reaktivní červen 120, Cl reaktivní modř 5 a CL Reaktivní žlut 84 se rozpětí pohybovalo od 95% po 100%. U středních odstínů mezi 91% do 100%, ale u tmavých odstínů bylo odbarvení v rozmezí 84% až 98%. Přestože se koncentrace barviva u jednotlivých odstínů zvyšuje, účinnost odbarvování klesá. U modrého barviva bylo pozorováno nejúčinnější odbarvení.

Využití NF pro odstranění barviva v odpadní vodě se pohybuje v rozmezí mezi 96% až 99%. Avšak různé studie vykazují různé výsledky. Machenbach uvedl, že při použití NF a prvního praní byla účinnost odbarvení až 99%. [4]

Výsledky studií prokazují, že NF je účinný způsob odbarvování barvicích lázní po reaktivním barvení, neboť lze dosáhnout vysoké účinnosti zadržení barviva (< 90%) bez ohledu na typ použitých barviv. Čas, který byl potřebný k odbavení, závisí na koncentraci barviva, současně při odbarvování dochází k redukci TOC. NF byla zhodnocena jako účinná metoda pro úpravu a opakované použití odpadní vody z reaktivního barvení. Navíc byla prokázána ekonomická rentabilita, neboť pokusy poskytují značný přínos a kratší dobu návratnosti. [4]

1.7. Další možnosti separace

1.7.1. Ionex

Ionex také nazývaný ionizační prostředek, je vysokomolekulární látka, jejíž základní skelet na povrchu nese náboj. V praxi se využívá k odstranění iontů z vodného roztoku např. k odstranění tvrdosti vody. Využívá principu výměny kationtů vrstvou iontoměniče katexu, vápníku Ca^{2+} a hořčíku Mg^{2+} a další iontů těžkých kovů za ionty neškodné např. Na^+ nebo H^+ v iontoměniči. Při tomto pochodu se ionty Ca^{2+} a Mg^{2+} váží na nerozpustný iontoměnič.

Kapacita katexů je omezená. Při absorpci určitého množství Ca^{2+} a Mg^{2+} se katex nasatí a přestane změkčovat.

Na polymerní struktuře je funkční skupina, která je schopna ve vodném prostředí disociace. Tato funkční skupina nese náboj, který je zaměněn za protiiont. Podle druhu protiiontu rozlišujeme formy ionexu na:

- Anex
- Katex

Anex je zaměřen na přeměnu aniontů, kde funkční skupina má kladný náboj a protiiont záporný. Nejčastější protiionty jsou OH^- skupiny nebo Cl^- .

- Obecná rovnice: $-(\text{N}(\text{CH}_3)_3)\text{OH} + \text{HCl} = -(\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ (2)

Katex je měnič kationtů, kde funkční skupina má záporný náboj a protiiont kladný náboj. Nejčastější protiionty jsou H^+ nebo Na^+ .

- Obecná rovnice: $-\text{SO}_3\text{H} + \text{NaCl} = -\text{SO}_3\text{Na} + \text{HCl}$ (3)

1.8. Metody hodnocení

1.8.1. Spektrofotometrie

Jedná se o metodu měření vzorků, nejčastěji ve formě roztoků, na principu pohlcování světla různých vlnových délek spektra. Jde o interakci elektromagnetického záření s roztokem, kdy je část záření absorbována částicemi vzorku, zbytek projde a je detekován přístrojem. Množství světla, které je přístrojem měřeno, je závislé na vlnové délce a na koncentraci zkoumané látky.

V této metodice je zavedena veličina transmitance T , která popisuje zeslabení dopadající světla. Jde o to, že intenzita prošlého světla I_o je menší, než intenzita dopadající na látku I . Transmitance může nabývat hodnot od 0 do 1, kdy pokud se jedná o $T=0$ veškeré záření je tedy pohlceno. Naopak, pokud je $T=1$ tak všechno záření prošlo.[11]

Další veličina, která bývá u spektrofotometrie používána, je absorbance A . Vyjadřuje schopnost molekul pohlcovat elektromagnetické záření určité vlnové délky. Absorbance je záporný desítkový logaritmus transmitance.

$$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_o}\right) \quad (4)$$

Výsledkem měření je pak tzv. absorpční spektrum, což je grafická závislost absorbance nebo energie na vlnové délce. Křivky, které jsou vyobrazeny, mají charakteristický tvar a polohu maxima.

Celá spektrofotometrie je založena na Lambert-Beerově zákoně, který popisuje vztah mezi koncentrací látky v roztoku a absorbancí.

$$A\lambda = -\log_{10}(I/I_o) = \varepsilon\lambda.l.c = k.c \quad (5)$$

Z rovnice vyplývá, že při dané vlnové délce je absorbance přímo úměrná koncentraci

c [mol.l⁻¹] a tloušťce kyvety l [cm], ve které je roztok zachycen, absorpční koeficient ϵ [l.mol⁻¹.cm⁻¹] je konstanta úměrnosti pro danou vlnovou délku a látku.

Podmínkou pro použití Lambert-Beerova zákona je, že hledaná koncentrace musí být nižší než 10⁻² mol/l. Jestli-že potřebujeme určit neznámou koncentraci roztoku, můžeme využít dvou postupů.

- Metodou kalibrační křivky
- Metodou standardního přídávku

Metoda kalibrační křivky spočívá v tom, že se změří několik kalibračních roztoků o různých koncentracích v jedné kyvetě a při stejné vlnové délce. Zde se dá potvrdit platnost Lambert-Beerova zákona, neboť v ideálním případě je závislost lineární.

Metoda standardního přídávku závisí na změření absorbance neznámého vzorku, poté se přidá definovaný přírůstek a opět se změří odpovídající absorbance. [11]

Spektrofotometry jsou přístroje plně ovladatelné počítačem. Umožňují libovolně nastavit vlnovou délku monochromatického světla nebo měřit určitou část absorpčního spektra. Dělí se podle počtu paprsků na jednopaprskové a dvoupaprskové.

Jednopaprskové měří pouze výstupní tok záření, proto se nejprve musí provést měření rozpouštědla a až poté měřit vzorek.

Dvoupaprskové fungují na principu měření jedním paprskem slepý vzorek a druhý paprsek měří zkoumaný vzorek.

1.8.2. Chromatografie

Jde o separační metodu, při které se oddělují složky obsažené ve vzorku. Jde o kvalitativní a kvantitativní analýzu vzorku. V chromatografii se vzorek vnáší mezi dvě nemísitelné fáze. Stacionární fáze, která je nepohyblivá a mobilní fáze – pohyblivá. Vzorek bývá umístěn na začátek stacionární fáze a pohybem mobilní fáze bývá vzorek unášen soustavou. Při pohybu mobilní fáze mohou být složky zachycovány stacionární fází. Tím se postupně složky separují. [12][13]

Vzhledem k tomu, že chromatografických metod je velké množství, je jejich rozdělení určeno několika hledisky:

- Podle skupenství mobilní fáze

Kapalinová chromatografie (LC)

Plynová chromatografie (GC)

- Podle uspořádání stacionární fáze

Kolonová chromatografie

Papírová chromatografie (PC)

Tenkovrstvá chromatografie (TLC)

- Podle povahy děje při separaci

Při separaci probíhá několik fyzikálně-chemických dějů najednou, ale jeden vždy převládá.

- Rozdělovací, Adsorpční, Ionově-výměnná, Gelová, Afinitní chromatografie.[12][13]

Planární techniky kapalinové chromatografie – stacionární fáze je umístěna v ploše. V tenkovrstvé chromatografii je stacionární fáze na vhodné podložce ze skla, hliníku nebo polyesteru. Podle tenké vrstvy, která je obvykle na bázi silikagelu nebo oxidu hlinitého, uplatňuje adsorpce. Pro svou nenáročnost na laboratorní vybavení a snadnou práci je hojně v textilním průmyslu využívána. [12][13]

Moderní modifikací TLC je HPTLC (High Performance TLC) neboli vysoce účinná tenkovrstvá chromatografie. HPTLC umožňuje zpracovávat i 20 vzorků na jedné desce.

Vzorek se nanáší pomocí kapiláry na start, který je umístěn na jednom konci plochy. Po vyschnutí rozpouštědla se konec plochy s tenkou vrstvou ponoří do mobilní fáze. Mobilní fáze vzlíná tenkou vrstvou pomocí kapilárních sil, postupuje přes start a unáší složky vzorku mobilní fází. Proto se vzorek rozdělí na jednotlivé složky. [12]

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1. Popis

2.1.1. Materiály

Pro experimentální část byly aplikovány dvě metody a to využití aktivního uhlí v různých formách a v druhé části iontoměnič na principu anexu.

- Reaktivní barvivo Ostazinová Oranž V-3R, $\lambda = 495 \text{ nm}$, C.I. Reactive Orange 16, Sulfatoethylsulfon
 - Ostazinová Oranž byla využita pro svou viditelnost odbarvení i pro identifikaci aktivního uhlí v lázni. Aktivní barvivo a hydrolyzované má stejnou maximální absorbanci, proto může být použita stejná kalibrační řada.
- Aktivní uhlí
 - Granulát NCP 40-70 IN-ION
 - Prášek NWS 817
- Iontoměnič Tulsion A23Cl



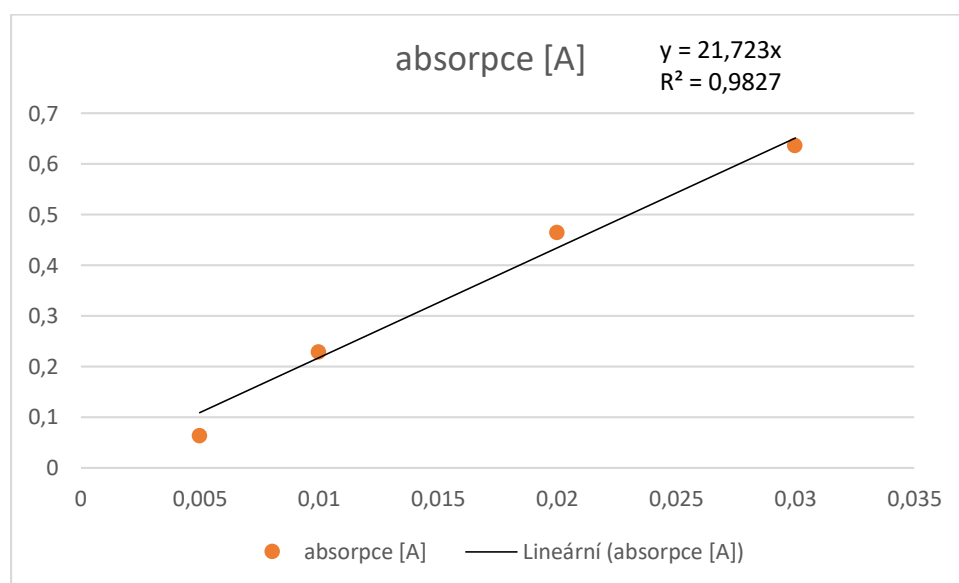
Obrázek 9- Spektrofotometr UV-1600PC

- Koncentrační řada

Pro určení koncentrace barviva ve vzorcích bylo třeba vytvořit kalibrační křivku. Pro kalibrační řadu byla připravena kalibrační řada s koncentracemi a výslednými hodnotami absorbance viz. tab. 1.

Tabulka 1 - získané hodnoty absorpance kalibrační křivky

Hmotnostní koncentrace	Absorbance
0,005 g/l	0,063
0,01 g/l	0,228
0,02 g/l	0,464
0,03 g/l	0,636



Obrázek 10- Kalibrační křivka

- Příprava hydrolyzovaného barviva
- V pracích lázních zůstává po barvení hydrolyzované barvivo, to je barvivo v neaktivní formě.
- Pro experimenty zaměřené na čištění vody bylo připraveno hydrolyzované barvivo za těchto podmínek

Tabulka 2- Podmínky přípravy hydrolyzovaného barviva

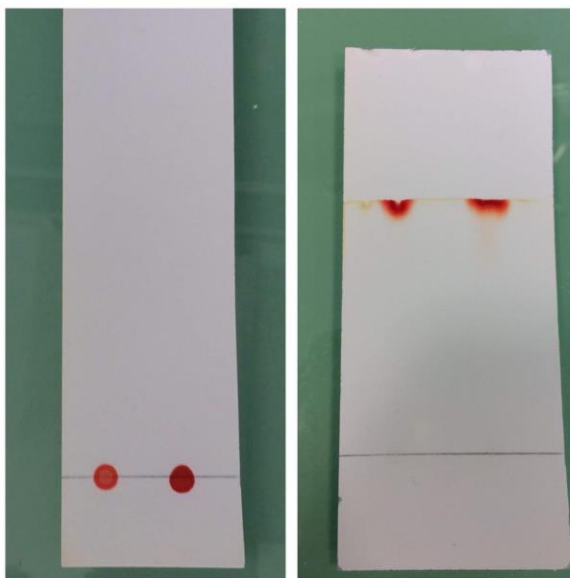
Koncentrace barviva	1 g/l
Koncentrace Na ₂ CO ₃	30 g/l

- Zahřáto na 80°C po dobu 1 h.
- S tímto hydrolyzovaným barvivem byly prováděny pokusy
- Ověření hydrolyzy metodou chromatografie

Tabulka 3 - příprava mobilní fáze TLC

N-Propanol	5 obj. d.
Kyselina octová	2 obj. d.
H ₂ O	3 obj. d.

Bylo potřebné narýsovat ‚startovní čáru‘, na níž byl nanesen roztok barviva obsahující, a na druhou polovinu hydrolyzované barvivo. Vzorek je nevhodnější nanést pomocí skleněné tyčinky nebo tenkou kapilárou. Je pozorováno vzlínání rozpouštědla vzhůru, které bylo přidáno jako vyvíjející soustava. Všechny molekuly hydrolyzovaného barviva se drží na čele soustavy, zatímco molekuly aktivního barviva ‚zaostávají‘.



Obrázek 11- Chromatografie původního a hydrolyzovaného barviva

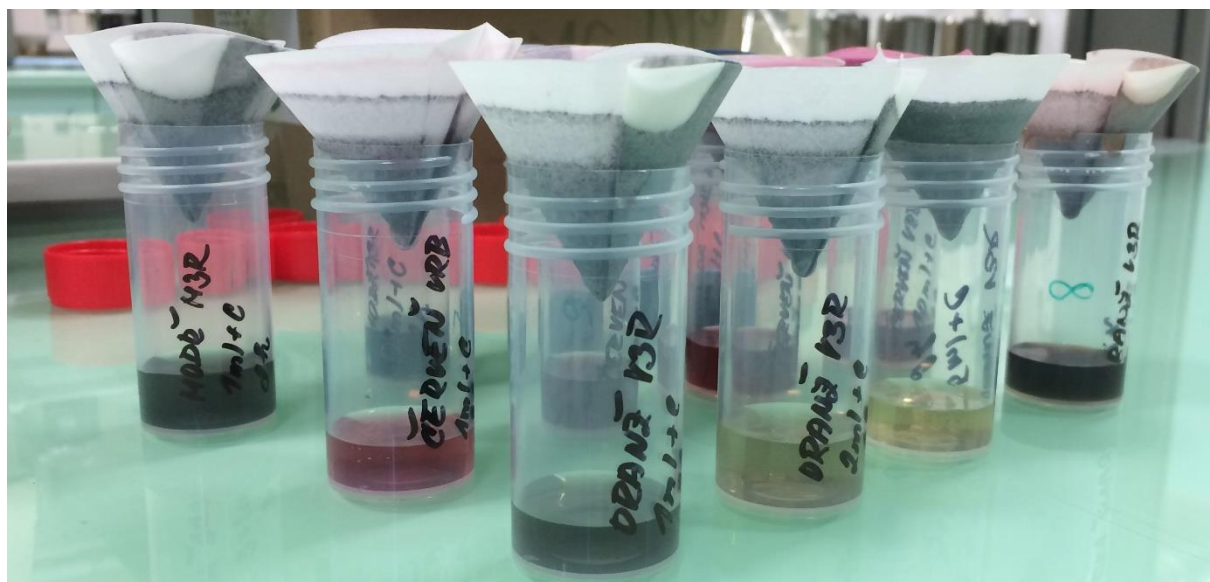
2.2. Experiment pro dva typy aktivního uhlí (Granulát X Prášek)

2.2.1. Vizuální hodnocení

Byl proveden experiment na srovnání rozdílu účinnosti práškového a granulátového aktivního uhlí. Z původního hydrolyzovaného barviva bylo odebráno 10 ml, což odpovídá 0,01 g/l barviva. K tomu byl dodán 1g aktivního uhlí, aby bylo množství v dostatečném přebytku.

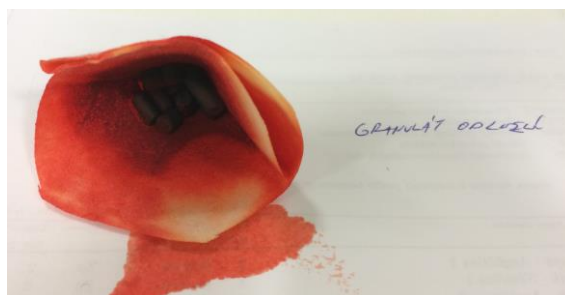
Do jedné kádinky bylo odměřeno 10 ml hydrolyzovaného barviva a 1 g granulovaného uhlí. Do druhé kádinky bylo opět odměřeno 10 ml hydrolyzovaného barviva a 1 g práškového aktivního uhlí.

Vzorky byly po dobu 15 minut ponechány v klidu. Poté byly roztoky přefiltrovány. Práškové aktivní uhlí bylo příliš jemné a docházelo k proniknutí filtrem, proto bylo nutné použít nejprve skelný filtr a až poté papírový filtr. Pro filtraci granulátu postačil pouze papírový filtr.



Obrázek 12- Filtrace odpadní vody, kde bylo využito tří barviv (Oranž, Modř, Červeně), ale pro relevantní hodnoty bylo využito pouze Ostazinové Oranže V-3R

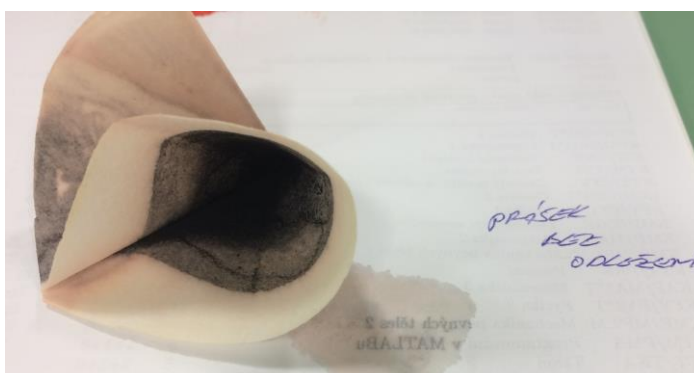
V případě granulátu, který byl přefiltrován přes papírový filtr, nedošlo k absorpci barviva na aktivní uhlí a filtr byl obarvený (Obr. 13). V druhém případě, kde se jednalo o práškové aktivní uhlí, bylo již barvivo na aktivní uhlí absorbované, avšak filtr byl stále lehce zbarven (Obr. 15). Ve třetím případě byl zjištěn nejlepší výsledek. Barvivo bylo zcela absorbováno na aktivní uhlí a filtr nebyl po přefiltrování roztoku nijak zbarvený (Obr. 14). Z toho vyplývá, že nejlépe vyšlo práškové uhlí filtrované na obyčejném papírovém filtru.



Obrázek 13- Obarvený papírový filtr s granulátovým aktivním uhlím po odležení



Obrázek 14- papírový filtr s práškovým uhlím po odležení



Obrázek 15- papírový filtr s práškovým aktivním uhlím bez odležení

2.2.2. Objektivní hodnocení

Pro získání relevantních výsledků bylo nutno vzorky proměřit na spektrofotometru. Bylo připraveno 5 roztoků barviva Ostazinové Oranže.

V první baňce bylo připraveno hydrolyzované barvivo o objemu 1 ml doplněno destilovanou vodou na 50 ml. Ve druhé baňce byl stejný roztok s granulovaným aktivním uhlím ponechaný 15 minut uležet, ve třetí baňce byl roztok barviva s granulátem aktivního uhlí bez uležením, ve čtvrté baňce byl roztok barviva spolu s filtrovaným práškovým aktivním uhlím neuležený a v páté baňce roztok barviva s uleženým práškovým aktivním uhlím.

Jediný výsledek, který byl získán od roztoku barviva s uleženým práškovým uhlím byla hodnota absorbance 0,130. Zbylé roztoky byly příliš syté a spektrofotometr nebyl schopen je vyhodnotit. Proto bylo nutné roztoky zředit na objem 200 ml. Tato koncentrace již byla přijatelná a výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tab. 3.

Tabulka 4- získané hodnoty absorbance

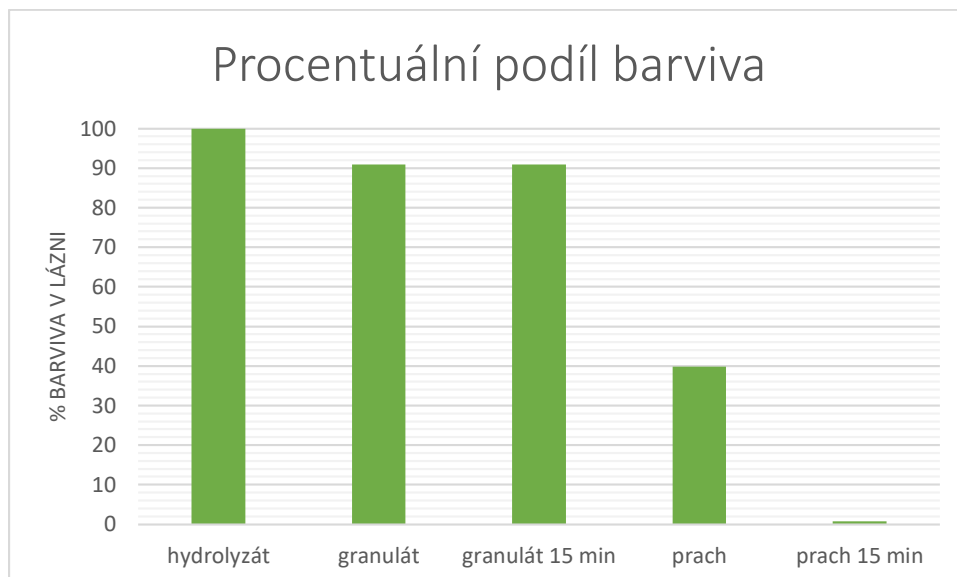
Typ	Absorbance
Hydrolyzát	0,361
Uleželý C granulát 15 min	0,082
Neuleželý C granulát	0,087
Uleželý C práškový 15 min	0,130
Neuleželý C práškový	0,036

Bylo potřebné zjistit zbývající množství barviva v lázni a to za pomoci vztahu
$$\%L = \frac{AxZx}{AoZo} 100. (6)$$

Za A_0 byla dosazena absorbance hydrolyzátu a Z_0 poměr zředění.

Tabulka 5 – Množství barviva v lázni

Typ	%L
Uleželý C granulát	90,86%
Neuleželý C granulát	90,86%
Uleželý C práškový	0,72%
Neuleželý C práškový	39,89%

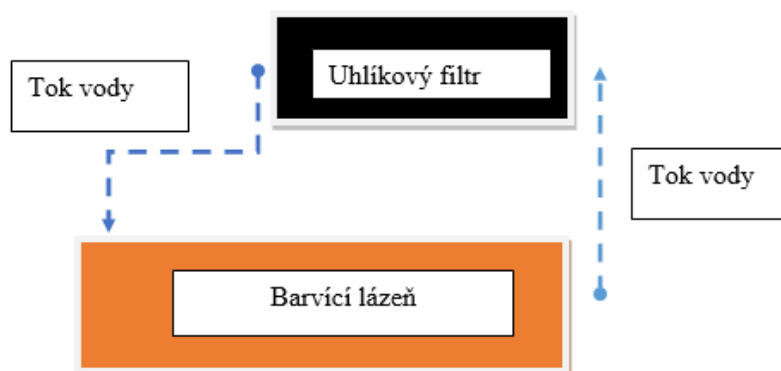


Obrázek 16- Procentuální podíl barviva v lázni

Z výsledků vyplívá, že granulát nefunguje podle našich představ, barvivo neabsorbuje a zůstává v odpadní vodě. Z toho důvodu byl definitivně z pokusů vyřazen. Nejúčinnější bylo využití práškového uhlí po uležení, kdy množství barviva v odpadní vodě činilo necelé 1%. Můžeme potvrdit, že čím nižší je % barviva zbývajících v lázni, tím lépe je lázeň odbarvena.

2.2.3. Vizuální hodnocení práškového uhlí

Na základě provedených experimentů bylo prokázáno, že práškové uhlí odbarvuje hydrolyzované barvivo účinně. Z toho důvodu byly provedeny experimenty s přidáním aktivního uhlí ve formě prášku přímo do prací lázně s textilním materiálem. Bylo zjištěno, že uhlík se sedimentoval do prací lázně a na textilii. Z toho důvodu je nutné uvažovat o vnějším filtru, který by zajistil, aby uhlík nebyl v kontaktu s textilním materiálem.



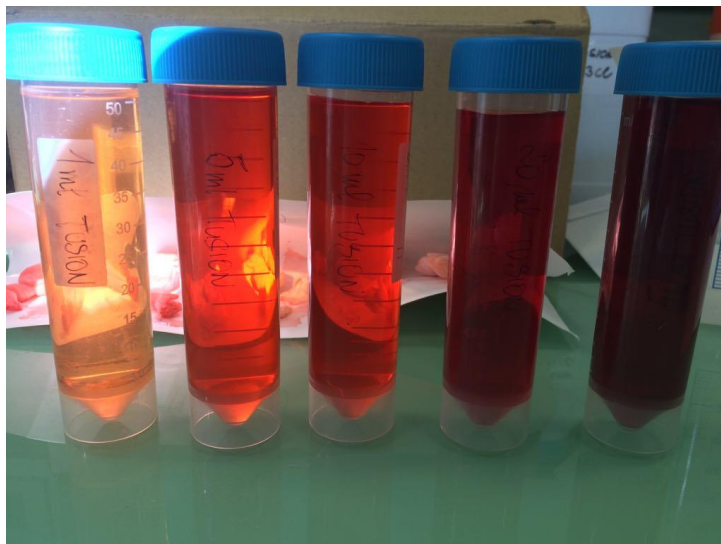
Obrázek 17- Schéma lázně s vnějším filtrem s aktivním uhlím

2.3. Ionizační prostředek Tulsion A23Cl

2.3.1. Úvodní experiment

Z původního roztoku (10g/l) Octazinové Oranže bylo připraveno 5 roztoků o koncentracích 0,01; 0,05; 0,1; 0,2 a 0,5 g/l.

Do polyamidové (PAD) punčochy (obr. 18) byl vložen ionizační prostředek Tulsion A23Cl. Punčocha s prostředkem byla vložena do roztoku a ten byl po dobu 30 minut zahříván na teplotu 80°C. Dle přiložených fotografií (obr. 18,19) bylo zřejmé, že toto nastavení experimentu nebylo příliš vhodné, neboť došlo k obarvení PAD punčochy a výsledná odpadní voda nebyla odbarvena. Nebylo relevantní tyto roztoky hodnotit spektrofotometrem.



Obrázek 18- Roztoky po použití sekvestračního činidla



Obrázek 19- Tulsion v PAD punčochě

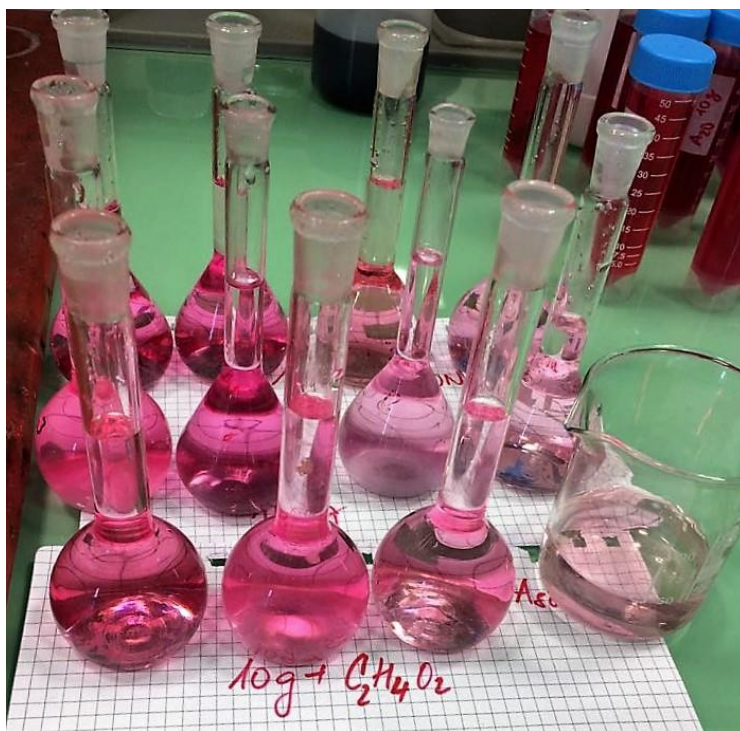
2.3.2. Ionizační prostředek Tulsion A23Cl při změně prostředí

Využití PAD punčochy nebylo příliš efektivní z důvodu sorbce barviva na PAD punčochu, a proto byl proveden experiment, kde byl Tulsion vložen volně v lázni a byla sledována míra absorpce barviva. V prvním případě byly připraveny 4 roztoky po 1ml barviva, kde u prvního bylo pouze barvivo jako srovnávací vzorek, ve zbylých třech byl přidán 1g Tulsionu. Byly změněny teplotní rozdíly, při kterých měl ionizační prostředek účinkovat. Teploty byly stanoveny na 20°C, 60°C a 80°C a při těchto teplotách se udržovaly po dobu 5 minut. V tomto případě, po vizuální stránce, Tulsion neměl velký účinek. Z tohoto důvodu bylo v dalším případě navýšeno množství Tulsionu.

Opět byly připraveny 4 roztoky o stejném množství a do 3 roztoků bylo dodáno navýšené množství Tulsionu a to na 10g. Vše ostatní probíhalo stejně.

Ve třetím případě byla vyzkoušena účinnost Tulsionu v kyselém prostředí. V prvních dvou případech bylo pH=7, ve třetím případě, za pomoci kyseliny octové 98% (C₂H₄O₂), bylo zajištěno pH prostředí rovno 4. Proces byl opět stejný, 4 připravené roztoky a do tří přidáno 10g Tulsionu.

Výsledné roztoky získané ze všech tří experimentů, kde byl použit Tulsion za různých podmínek, byly převedeny do baněk o objemu 50 ml a doplněny po rysku destilovanou vodou.

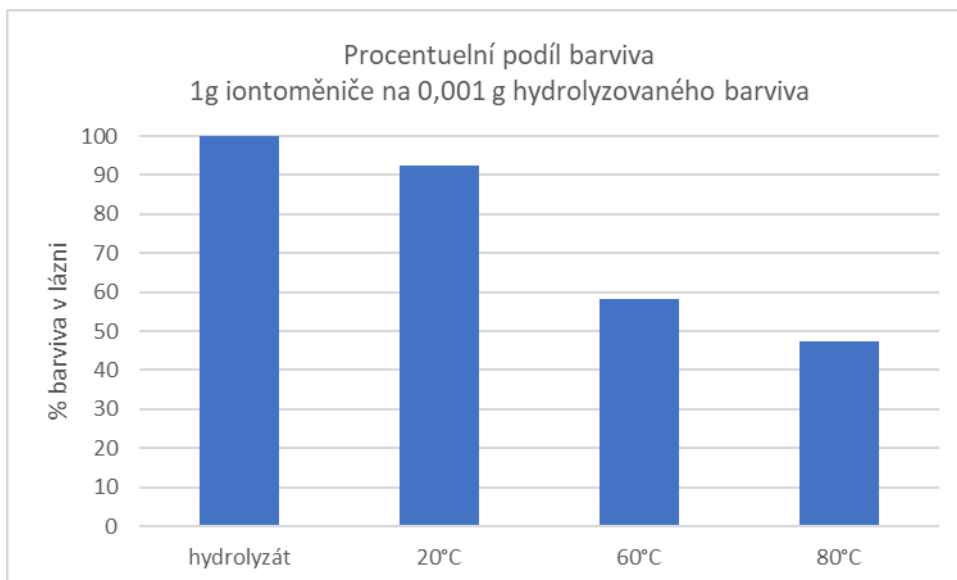


Obrázek 20- Roztoky s použitím Tulsionu a změna pH prostředí

Při vizuálním hodnocení základní roztoky, kde nebyl použit Tulsion (na fotce vlevo), působily vizuálně stejně. Při použití Tulsionu a vyšší teploty začaly roztoky postupně světlat. Při vizuálním hodnocení není jednoznačně poznat, zdali zvýšení dávky Tulsionu a změna pH prostředí pomohla k čištění odpadních vod. Proto bylo provedeno spektrofotometrické stanovení.

Tabulka 6- Tulsion 1g

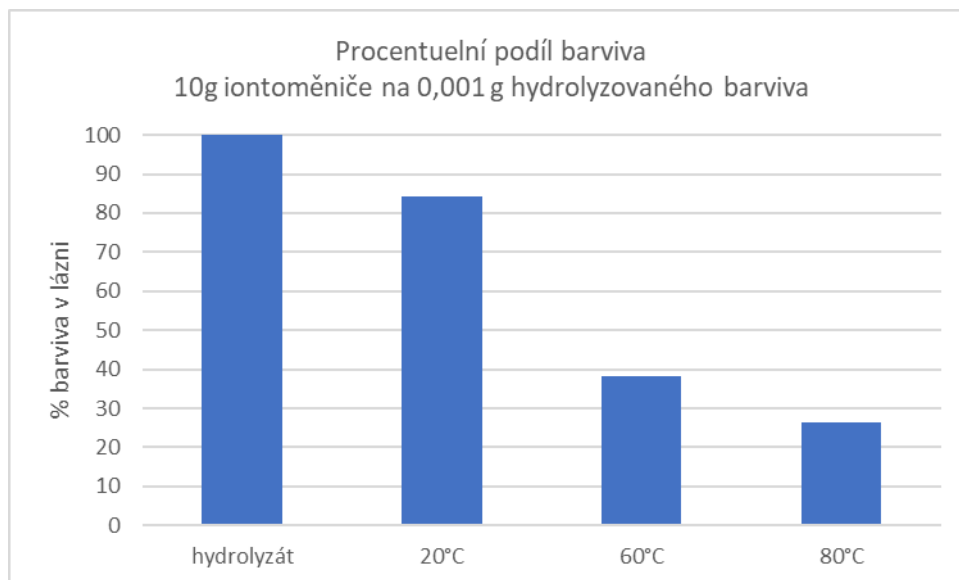
Typ	Absorbance	%L
Hydrolyzát	0,160	100
20°C	0,148	92,5
60°C	0,093	58,13
80°C	0,076	47,5



Obrázek 21- Znázornění % podílu barviva při použití 1g iontoměniče

Tabulka 7- Tulsion 10g

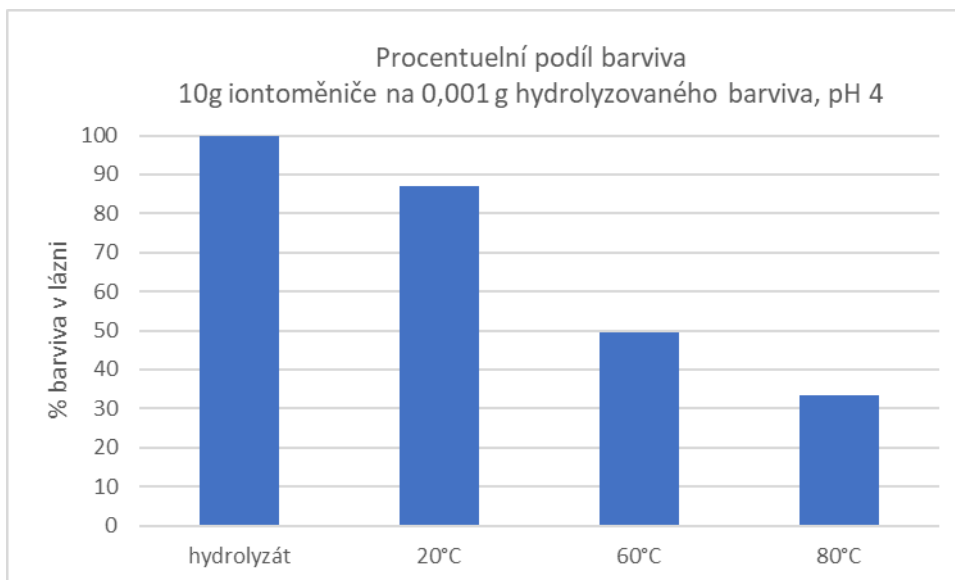
Typ	Absorbance	%L
Hydrolyzát	0,160	100
20°C	0,135	84,38
60°C	0,061	38,13
80°C	0,042	26,25



Obrázek 22- Znázornění % podílu barviva při použití 10g iontoměniče

Tabulka 8- Tulsion 10g pH 4

Typ	Absorbance	%L
Hydrolyzát	0,153	100
20°C	0,133	86,93
60°C	0,076	49,67
80°C	0,051	33,33



Obrázek 23- Znázornění % podílu barviva při použití 10g iontoměniče

2.3.3. Iontoměnič použitý v prací lázni

Byla připravena lázeň pro 3% vybarvení. Bylo potřeba

Tabulka 9 - Chemikálie potřebné pro práci

Octazínová Oranž V-3R	5 g
Bavlněný materiál	5x 1 g
NaCl	50 g/l
Na ₂ CO ₃	20 g/l

Vše bylo smícháno a uvedeno k varu po dobu 30 minut. Po uplynulé době se použil 1 g materiálu, který byl podroben klasickému praní, tzn. za varu 4 x 100 ml. Zbylé 4 vzorky byly rozděleny a podrobeny různým teplotám a množství iontoměniče.

Tabulka 10- Získané hodnoty absorbance a množství barviva po praní

Klasické praní	A = 0,2380
Klasické praní	c = 11,2*10 ⁻³ g/l

Tabulka 11- Teplotní podmínky pro různé obsahy Tulsionu ve vzorku

10 g Tulsion	60°C
20 g Tulsion	60°C
10 g Tulsion	80°C
20 g Tulsion	80°C

Výsledné roztoky byly proměřeny na spektrofotometru.

Tabulka 12– Získané hodnoty absorbance

Množství Tulsion/°C	Absorbance
10g/60°C	0,18732
20g/60°C	0,0784
10g/80°C	0,1682
20g/80°C	0,1546

Přepočet pomocí vztahu $y = 21,273x$ (7), kde y odpovídá absorbanci a x koncentraci barviva v lázni.

Tabulka 13– Množství barviva v lázni

Množství Tulsion/°C	Množství barviva v lázni
10g/60°C	$8,81 \cdot 10^{-3}$ g/l
20g/60°C	$3,69 \cdot 10^{-3}$ g/l
10g/80°C	$7,91 \cdot 10^{-3}$ g/l
20g/80°C	$7,27 \cdot 10^{-3}$ g/l

Bylo provedeno hodnocení, kde bylo zjištěno, že při požití 20g ionizátoru a 60°C bylo nejmenší množství barviva v lázni. Což jsou pozitivní výsledky, ze kterých můžeme usoudit, že při vyšším množství iontoměniče a nižší teplotě dochází k efektivnímu čištění odpadní

vody. Zároveň nedochází k narušení vybarvení, neboť byl iontoměnič vložen přímo do barvicí lázně. Současně bylo zjištěno, že dochází k šetření energie a vody. Ve srovnání s klasickým praním došlo ke snížení množství barviva v lázni o 75%.

Následně bylo proveden pokus na stálost potu. Materiály byly smočeny v syntetické potu a bylo posuzováno zapouštění do doprovodných tkanin za podmínek pocení lidského těla. Podmínky, které je nutné dodržet, jsou:

Smočení vzorku alespoň 30 minut při teplotě 37°C.

Stálost v potu probíhá v alkalickém prostředí, kde roztok obsahuje histidin, chlorid sodný, hydrogenforforečnan sodný a pH je upraveno na hodnotu 8.

Po zpracování v roztoku simulující svým složením pot, se vzorky spolu s doprovodnými textiliemi (bavlna, vlna) vloží do termostatovaného zařízení (37°C), kde jsou definitivně stlačeny (12,5 kPa) po dobu 4 hodin.

Po vysušení bylo provedeno hodnocení pomocí šedé stupnice a stupnice pro hodnocení zapouštění.

Tabulka 14- Hodnocení stálosti potu v alkalickém prostředí

Materiál	Stálosti
Klasické praní	5/4-5/4
10g/60°C	5/4/5
20g/60°C	5/4-5/4-5
10g/80°C	4-5/4-5/5
20g/80°C	4-5/4-5/5

Ze zjištěných hodnot je patrné, že barvivo je stálé a nedochází k zapuštění do doprovodných tkanin. Stálosti jsou relativně shodné či dokonce lepší ve srovnání běžného klasického praní. Z toho důvodu můžeme usoudit, že využití ionizačního činidla bude mít pozitivní výsledky pro textilní firmy. Nejen že nebude vliv na vybarvení, ale dojde u šetření životního prostředí ve smyslu spotřeby vody, nákladů na energii a možnost opakovatelného využití.

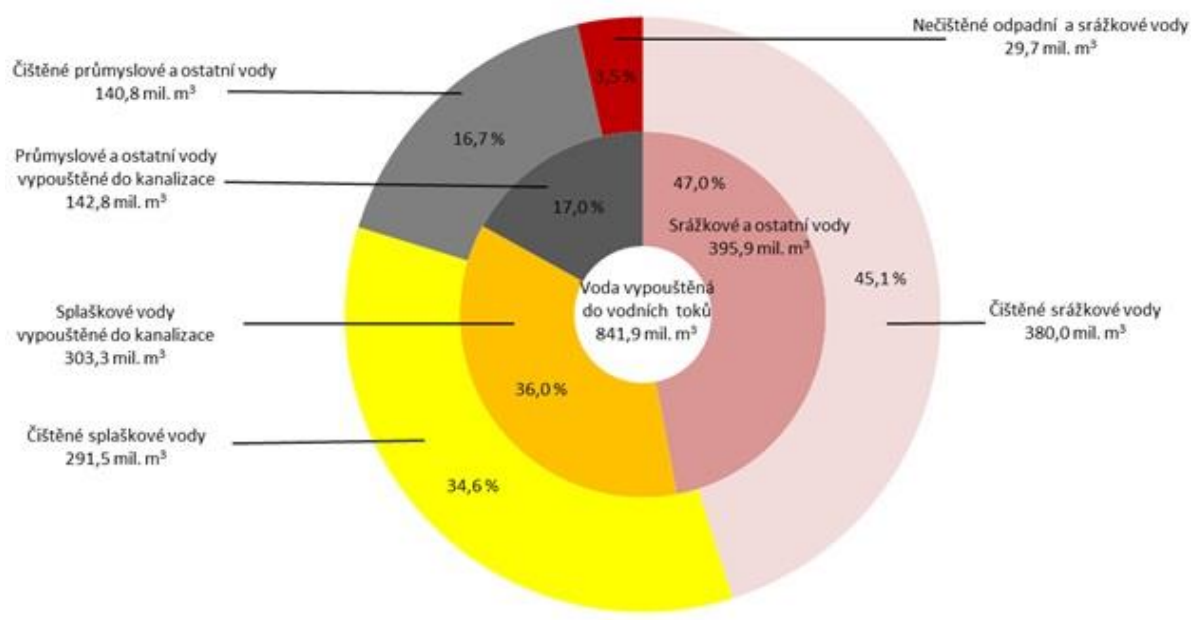
3. DISKUSE A VÝSLEDKY

3.1. Ekonomické a ekologické dopady

3.1.1. Evropské právní předpisy týkající se barvení

Za odpadní vody jsou považovány všechny vody, které změny svoje vlastnosti. Podle § 38 „Zákona o vodách č. 254/2001 Sb.“ jsou za odpadní vody považovány všechny, které byly využity v domácnostech, v průmyslové a zemědělské výrobě, ve zdravotnictví a dopravních prostředcích za předpokladu, že během používání změny svou jakost. Mezi jakost řadíme změny v teplotě, složení i v sedimentech.

Obecně se odpadní vody dělí na splaškové, průmyslové, srážkové, balastní a infekční.[18]



Obrázek 24- Množství vypouštěných odpadních vod do povrchových vod, (ČR, 2014) [19]

3.1.2. Aplikace barviva šetrného k životnímu prostředí

Po tisíciletí byla na textilní materiály aplikována barviva a barvíři současně s dodavateli se neustále snažili vyvinout nové procesy, které vedou k lepším výsledkům vybarvení a současně nižším nákladům. V posledních letech se klade větší důraz na vliv na životního prostředí a to v rámci aplikací barviv, použitých doprovodných látek nebo strojních zařízení.

Všechny tyto procesy jsou označovány za ekologické, byť tomu tak ve skutečnosti nemusí být.

Aby docházelo k šetrnému přístupu k životnímu prostředí, je nutná aplikace barviv, která zahrnuje principy snížení znečištění, opětovné použití a recyklaci. Společná mantra je ‚Myslet globálně, působit lokálně.‘. Tímto heslem je poukázáno na barvicí procesy a související operace. [17]

Barvírny mají dopad na lokální životní prostředí, kde se hlavní problémy soustředí na odpadní vodu, z níž je potřeba regulovat ChSK, pH, celkové množství rozpuštěných látek, teplotu, olej a obsažené tuky, těžké kovy a v neposlední řadě, barviva. Barvírna musí splňovat zákonné limity pro odstranění znečišťujících látek, která ale odpovídá koncentraci v odpadní vodách. Správně by měla být definována jako celková hmotnost nebo hmotnost na jednotku produkce, což by nevedlo k nařazení a následnému znečištění.

Vzhledem k tomu, že se barvírny snaží obejít stanovené směrnice, bylo by nutné, aby náklady na snížení spotřeby vody, energie, používané chemikálie a jejich likvidaci, byly založeny v pevných údajích a za jejich porušení by hrozili vysoké sankce. Hlavní aspekt, který chce uživatel vědět je, že nepoškozuje životní prostředí a současně ani sám sebe. Jde tedy o to, že výrobní/barvířské procesy jsou environmentálně nezávadné, dnes specifikované jako ‚zelené‘. Dalším aspektem je analýza životního cyklu. Jde o textilní řetězec, který zahrnuje prvotní sklizeň bavlny, její zpracování a použití až po konečnou likvidaci. Celý tento řetězec je založen na dopadu výroby na životní prostředí.[17]

3.1.3. Snížování znečištění a minimalizace odpadu po textilním barvení

Po rozšíření urbanizace a industrializace a pokroku ve vědě, bylo zjištěno, že růst není pozitivní, jestliže se ignoruje životní prostředí. Textilní průmysl splňuje jednu ze základních potřeb společnosti a v současné době se vyskytuje ve fázi restrukturalizace a konsolidace s důrazem na inovace a ochranu životního prostředí.

Textilní průmysl má velký dopad na národní hospodářství, ale také na ekonomiku a environmentální kvalitu života. Při zpracování textilií dochází k vytváření různých druhů odpadů včetně odpadních vod, pevných odpadů a nebezpečných odpadů. Po běžném zpracování textilních vláken dochází k potřebným operacím, nejčastěji k barvení. Nejčastěji jsou do firem dovážena syntetická barviva. Používají se však i přírodní barviva odvozena od

živočišných nebo rostlinných zdrojů, která jsou díky své biologické rozložitelnosti šetrná k životnímu prostředí.[17]

Nejčastěji jsou v barvicí lázni přítomné komponenty, kterými jsou barvivo, solubilizační chemikálie, pufrový systém, elektrolyt, speciální barvicí prostředky a voda. Všechny tyto látky, plus stopové nečistoty a množství používaných vláken, mohou způsobovat znečištění. Při použití vody, jako prostředku pro mokré procesy, má za následek ředění koncentrací znečišťujících látek, což ovlivňuje vypouštění chemikálií a jejich následnou ekonomickou likvidaci.

Do nedávné doby neměli textilní výrobci dostatek informací o chemickém složení používaných barviv a jejich vlivu na životní prostředí. V posledních letech se však staly tyto informace dostupnými a výrobci odstranily toxické složky, a snaží se o hledání bezpečnějších variant. Výrobci barviv se snaží nabízet barviva, jenž poskytují úsporu vody a energie, snižují znečištění a zvyšují efektivitu vybarvení. Při barvicím procesu dochází k vytváření několika ekologických problémů, které se snaží firmy řešit a najít vhodná opatření. Mezi těmito problémy je kontaminace textilních surových vláken chemikáliemi, barviva obsahující znečišťující látky, barvicí operace, jenž je náročná na spotřebu vody, což vede k velkým objemům odpadních a v neposlední řadě snaha opětovného využití barviv a chemikálií nebo jejich případná recyklace. [17]

3.1.4. Ekonomický vliv

Z hlediska ekonomiky lze také vnímat změny procesů jako pozitivní dopad na životní prostředí. Mezi pozitiva z hlediska zisku můžeme zařadit:

- Nižší náklady na materiál
- Nižší náklady na energii
- Nižší náklady na likvidaci [17]

Dále dochází ke zvýšení produktivity a kvality zboží, zvýšení morálky zaměstnanců, což vede k zlepšení pracovních postupů a pracovní kultuře. Při snížení kontaminace dochází současně k menšímu množství odpadních vod a méně odpadů na skládky, což nás vrací k nižším nákladům za likvidaci.

Ideální koncept pro nízkou ekonomickou náročnost je ideální vybarvení při minimalizaci času, peněz, energie, barviv, vody a chemikálií, již v prvním procesu. Pro tento

proces se využívá pojmu right-first-time (RFT), kdy nebylo nutné nic přepracovávat. Nejčastěji se setkáváme s případem RFT 70%, což znamená, že 30% procesu výroby musí být přepracováno na požadovanou kvalitu.[17]

Před řešením nových inovací by však mělo dojít k zlepšení pracovních návyků jednotlivých firem. Měla by být zvýšena kvalifikace obsluhy, zlepšení opatření provozního systému a zvýšení úklidových prací, byť to působí jako banalita, představuje to významné snížení celkového množství odpadu a spotřeby vody. [17]

Tabulka 15- Spotřeba vody při úpravách textilií [21]

Proces	Spotřeba vody [l/kg]
Šlichtování	0,5 – 8,2
Odšlichtování	2,5 – 21
Praní	20 – 45
Mercerování	17 – 32
Barvení	10 – 300
Potisk	8 - 16

Od Severočeské vodárenské společnosti a.s. bylo dohledáno, že pro rok 2019 činí cena vody 99,55 Kč/m³ včetně DPH. Pokud byl při laboratorních experimentech aplikován prací proces, který odpovídal 4x100ml, pak po vynásobení byla cena 39,82 Kč. Pro iontoměnič bylo potřeba použít pouze 100ml vody, což cenově odpovídá 9,96 Kč.

Již z těchto hodnot je patrné, že při využití ionexu k čištění odpadních vod, je 4krát úspornější na spotřebu vody, což vede i k úspoře energie.

3.2. Aktivní uhlí

Jak již bylo popsáno v teoretické části, aktivní uhlí se využívá v mnoha průmyslových odvětvích. Nejčastější využití bývá v odstraňování nečistot z vodných roztoků pomocí uhlíkových filtrů, které jsou následně reaktivovány a opět použity. V experimentální části byla provedena řada pokusů, které tyto názory měly potvrdit. Došlo ke srovnání granulátu a práškového uhlí, kde za vytvořených laboratorních podmínek neměl granulát požadovanou účinnost na separaci barviva z odbarvovací lázně. Oproti tomu práškové uhlí mělo výbornou separaci, ale nevýhodu v tom, že docházelo k jeho sorpci prášku na barvicí materiál.

Z výsledného grafu (obr. 16) je patrné, že čím méně % barviva v lázni je, tím lépe byla odpadní voda odbarvena. Což odpovídá uleželému práškovému uhlí, kde množství barviva v odpadní vodě činilo necelé 1%.

3.3. Iontoměnič

Z provedeného pokusu, kde byl iontoměnič vložen do PAD punčochy, byla sledována reakce odbarvování odpadní vody po dobu 30 minut. Tento pokus nebyl tolik zdařilý, neboť došlo k sorpci barviva na PAD punčochu a odbarvení vody nebylo úspěšné.

Proto byly provedeny experimenty, kde byl ionizační prostředek volně vložen do lázně, a byla sledována míra absorpce barviva. Tyto experimenty byly založeny na teplotních rozdílech, množství ionizačního prostředku a změně pH prostředí.

Z vytvořených grafů (Obr. 21, 22, 23) je patrné, že nejvyšší absorpce probíhala při 80°C, po dobu 5 minut, a to ve všech třech případech. Nejúčinnější experiment byl při použití 10g Tulsionu při 80°C, kde výsledné množství barviva v odpadní vodě bylo 26%. V případě, kdy došlo k neutralizaci prací lázně, se minimálně změnila účinnost iontoměniče.

V posledním experimentu bylo využito iontoměniče v prací lázni. Experimentální podmínky byly:

- 30 minut uvedeno k varu
- Množství iontoměniče (10g, 20g)
- Teplotní rozdíly pro množství Tulsionu (60°C, 80°C).

Nejmenší množství barviva v odpadní lázni bylo při navýšení množství iontoměniče a teplotě 60°C, což prezentuje Tab. 13. Tento výsledek deklaruje, že dochází k efektivnímu

čištění odpadních vod, bez narušení vybarvení. Současně byla prokázána úspora energie a vody při pracím procesu.

Dále byly obarvené materiály hodnoceny na stálosti v potu, muselo dojít k namočení materiálu do syntetického potu a posuzování zapouštění do doprovodných tkanin, kterými jsou bavlněný a vlněný materiál. Hodnocení probíhalo pomocí 5-stupňové šedé stupnice.

Ve všech případech bylo potvrzeno, že barvivo je stálé a nedochází k zapouštění do doprovodných tkanin.

V experimentu s využitím iontoměniče přímo v prací lázni bylo dokázáno, že dochází k odbarvování prací lázně přímo při pracím procesu, zároveň nedochází k ovlivnění odstínu barevného materiálu ani stálosti výsledného vybarvení.

4. Závěr

V bakalářské práci jsou uvedeny varianty čištění odpadních vod pomocí různých technologických metod. Provedená rešerše byla zaměřena na přiblížení již používaných metod a najít varianty pro ekonomickou a ekologickou nenáročnost.

V experimentální části byla především pozornost věnována na možnosti čištění pomocí aktivního uhlí a pomocí ionizačního prostředku. Mezi hlavní výhody těchto procesů patří nízká energetická náročnost, vysoká účinnost a možnost rekuperace.

V této práci byla hodnocena varianta ionizačního prostředku jako úspory času, energie a vody.

Ze získaných výsledků je patrné, že obě metody jsou funkční a proveditelné. U aktivního uhlí musí být však vytvořen speciální filtr, který by mohl být přidán do barvicí lázně, bez možnosti sorpce prášku na materiál. Ionizátor bylo možné ponechat v lázni bez vnějšího zachycení, avšak musela být kontrolována teplota lázně, což je technologicky možné. Prokazatelně, využití iontoměniče na čištění odpadních vod, mělo pozitivnější výsledky, neboť spotřeba odpadní vody byla čtyřikrát menší než u klasického praní.

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1- PODÉLNÝ POHLED A ŘEZ BAVLNOU	12
OBRÁZEK 2 - SLOUČENÍ REAKTIVNÍHO BARVIVA A CELULÓZY [7]	13
OBRÁZEK 3- REAKCE BARVIVA S CELULÓZOU POMOCÍ VODÍKOVÝCH MŮSTKŮ [7].....	14
OBRÁZEK 4- VYZNAČENÍ ZÁKLADNÍCH ČÁSTÍ OSTAZINOVÉ MODŘE H-BR (C.I. REACTIVE BLUE 5) [7].....	14
OBRÁZEK 5 - STRUKTURA MONOCHLORTRIAZINU A SULFATOETYL SULFONU [7].....	15
OBRÁZEK 6- REAKCE PŘÍMÉHO BARVIVA VE VODNÉM ROZTOKU [7]	15
OBRÁZEK 7- CHEMICKÁ STRUKTURA REAKTIVNÍCH BARVIV C.I. REACTIVE YELLOW 3 A C.I. REACTIVE BLUE 4 [7]	16
OBRÁZEK 8- PĚTISTUPŇOVÝ PROCES FIRMY DESOTEC [16]	17
OBRÁZEK 9- SPEKTROFOTOMETR UV-1600PC	25
OBRÁZEK 10- KALIBRAČNÍ KŘIVKA	26
OBRÁZEK 11- CHROMATOGRAFIE PŮVODNÍHO A HYDROLYZOVANÉHO BARVIVA.....	27
OBRÁZEK 12- FILTRACE ODPADNÍ VODY, KDE BYLO VYUŽITO TŘÍ BARVIV (ORANŽ, MODŘ, ČERVENĚ), ALE PRO RELEVANTNÍ HODNOTY BYLO VYUŽITO POUZE OSTAZINOVÉ ORANŽE V-3R	28
OBRÁZEK 13- OBARVENÝ PAPIROVÝ FILTR S GRANULÁTOVÝM AKTIVNÍM UHLÍM PO ODLEŽENÍ.....	29
OBRÁZEK 14- PAPIROVÝ FILTR S PRÁŠKOVÝM UHLÍM PO ODLEŽENÍ.....	29
OBRÁZEK 15- PAPIROVÝ FILTR S PRÁŠKOVÝM AKTIVNÍM UHLÍM BEZ ODLEŽENÍ	29
OBRÁZEK 16- PROCENTUÁLNÍ PODÍL BARVIVA V LÁZNI	31
OBRÁZEK 17- SCHÉMA LÁZNĚ S VNĚJŠÍM FILTREM S AKTIVNÍM UHLÍM	31
OBRÁZEK 18- ROZTOKY PO POUŽITÍ SEKVESTRAČNÍHO ČINIDLA	32
OBRÁZEK 19- TULSION V PAD PUNČOŠE.....	32
OBRÁZEK 20- ROZTOKY S POUŽITÍM TULSIONU A ZMĚNA PH PROSTŘEDÍ ... CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	
OBRÁZEK 21- ZNÁZORNĚNÍ % PODÍLU BARVIVA PŘI POUŽITÍ 1G IONTOMĚNIČE	35
OBRÁZEK 22- ZNÁZORNĚNÍ % PODÍLU BARVIVA PŘI POUŽITÍ 10G IONTOMĚNIČE	36
OBRÁZEK 23- ZNÁZORNĚNÍ % PODÍLU BARVIVA PŘI POUŽITÍ 10G IONTOMĚNIČE	37
OBRÁZEK 24- MNOŽSTVÍ VYPOUŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD DO POVRCHOVÝCH VOD, (ČR, 2014) [19]	40

Seznam tabulek

TABULKA 1 - ZÍSKANÉ HODNOTY ABSORBANCE KALIBRAČNÍ KŘIVKY.....	26
TABULKA 2- PODMÍNKY PŘÍPRAVY HYDROLYZOVANÉHO BARVIVA.....	27
TABULKA 3 - PŘÍPRAVA MOBILNÍ FÁZE TLC.....	27
TABULKA 4- ZÍSKANÉ HODNOTY ABSORBANCE.....	30
TABULKA 5 – MNOŽSTVÍ BARVIVA V LÁZNI.....	30
TABULKA 6- TULSION 1G.....	34
TABULKA 7- TULSION 10G.....	35
TABULKA 8- TULSION 10G pH 4.....	36
TABULKA 9 - CHEMIKÁLIE POTŘEBNÉ PRO PRÁCI.....	37
TABULKA 10- ZÍSKANÉ HODNOTY ABSORBANCE A MNOŽSTVÍ BARVIVA PO PRANÍ.....	37
TABULKA 11- TEPLOTNÍ PODMÍNKY PRO RŮZNÉ OBSAHY TULSIONU VE VZORKU.....	38
TABULKA 12– ZÍSKANÉ HODNOTY ABSORBANCE.....	38
TABULKA 13– MNOŽSTVÍ BARVIVA V LÁZNI.....	38
TABULKA 14- HODNOCENÍ STÁLOSTI POTU V ALKALICKÉM PROSTŘEDÍ.....	39
TABULKA 15- SPOTŘEBA VODY PŘI ÚPRAVÁCH TEXTILÍ [21].....	43

5. Seznam použité literatury

- [1] HÁSOVÁ, Eva. *Využití ozonu při čištění odpadních vod*. Brno, 2008, 76 s. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5001. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Ján Derco, CSc.
- [2] Ozon. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, aktualizace 27.11.2017 [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozon>
- [3] MAO, Ya-Hong, Yu GUAN, Deng-Hong LUO, Qing-Kang THENG, Ning FENG a Xiu WANG. Investigation of a homogeneous activating ozonation method in the rinsing procedure od cotton fabric dye with reactive dye. *Colorating Technology*. China, **2011**(127).
- [4] VISHNU, G. a Kurian JOSEPH. Nanofiltration and ozonation for decolorisation and salt recovery from reactive dyebath. *Coloration Technology*. 2007, **123**(4), 260-266.
- [5] SENTHILKUMAR, M. a M. MUTHUKUMAR. Studies on the possibility of recycling reactive dye bath effluent after decolouration using ozone. *Dyes and Pigments*. India, 2005, **2007**(72), 251-255. Dostupné také z: www.sciencedirect.com
- [6] *Celkový organický uhlík* [online]. Praha: VŠCHT, 1999 [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/celkovy_organicky_uhlik.pdf
- [7] KRYŠTŮFEK, J.-WIENER, J.: *Barvení textilií I*, skriptum TUL, Liberec 2008, ISBN 978-80-7372-328-6
- [8] Clark, M.: *Handbook of textile and industrial dyeing*, Woodhead Publishing, 2011
- [9] KIRON, Mazharul Islam. *Sequestering Agents: Functions of Sequestering Agents in Dyeing / Characteristics of Sequestering Agents* [online]. 2012 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://textilelearner.blogspot.com/2012/02/sequestering-agents-functions-of.html>
- [10] KIRON, Mazharul Islam. *Functions of Dyeing Auxiliaries / Sequestering Agent / Dye Fixing Agent / Optical Brightener / Lubricating Agent or Anticreasing Agent / Levelling and Dispersing Agent / Antifoamers / Desizing Agent / Mercerizing Agent / Soaping Agent / Washing off Agent / Finishing Chemicals* [online]. 2011 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://textilelearner.blogspot.com/2011/12/functions-of-dyeing-auxiliaries.html>
- [11] HEŘMAN, Petr. *Spektrofotometrie (2. LF UK)* [online]. 7. 12. 2018 [cit. 2019-03-22]. ISSN 1804-6517. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_\(2._LF_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_(2._LF_UK))
- [12] KLOUDA, Ing. Pavel. *Moderní analytické metody*. Druhé. 700 30 Ostrava, Hýlova 2: Pavel Klouda. ISBN 80-86369-07-2.

- [13] COSKUN, Dr. Ozlem. *Separation techniques: Chromatography* [online]. 11.11. 2016 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5206469/>
- [14] Christie, R.M.: *Environmental aspects of textile dyeing*, Woodhead Publishing, 2007
- [15] *Desotec* [online].Belgie [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.desotec.be/en>
- [16] MEERSSEMAN, ir. Mathias. *MOBILE ACTIVATED CARBON FILTRATION FOR WASTEWATER TREATMENT AS AN EXAMPLE OF A COMPLETE SOLUTION OFFERED BY DESOTEC* [online]. 09.12.2016 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.desotec.be/en/carbonology/carbonology-cases/mobile-activated-carbon-filtration-wastewater-treatment-example>
- [17] Christie, R.M.: *Environmental aspects of textile dyeing*, Woodhead Publishing, 2007
- [18] SOJKA, J. Čistírny odpadních vod: pro rodinné domy. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4504-6
- [19] DASHÖFER, V. Množství vypouštěných vod z kanalizací do vod povrchových v roce 2014 [online]. EnviWeb, 2015 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/covky/103902/mnozstvi-vypoustenych-vod-z-kanalizaci-do-vod-povrchovych-v-roce-2014>
- [20] *Ionex* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.vo-da.cz/encyklopedie-wiki/ionex/>
- [21] MENEZES, E. a M. CHOUDHARI: Pre-treatment of textiles prior to dyeing. In: HAUSER, P.: *Textile Dyeing* [online]. InTech, December 2011, s. 222–223, ISBN 978-953-307-565-5
- [22] *Celkový organický uhlík* [online]. Praha: VŠCHT, 1999 [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/celkovy_organicky_uhlik.pdf