

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA CHEMICKO - TECHNOLOGICKÁ**  
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE MAKROMOLEKULÁRNÍCH LÁTEK  
ODDĚLENÍ NÁTĚOVÝCH HMOT A ORGANICKÝCH POVLAKŮ

**VYUŽITÍ AKTIVNÍHO UHLÍ K ODSTRANĚNÍ SLOŽEK  
NÁTĚROVÝCH HMOT NA BÁZI HALOGENOVANÝCH  
BARVIV**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**AUTOR PRÁCE:** Bc. Barbora Vostruhová

**VEDOUCÍ PRÁCE:** Ing. Michaela Filipi, Ph.D.

**UNIVERSITY OF PARDUBICE**  
**FAKULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY**  
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF  
MACROMOLECULAR MATERIALS  
DEPARTMENT OF PAINTS AND ORGANIC COATINGS

**UTILIZATION ACTIVATED CARBON FOR REMOVES  
COMPONENTS OF PAINTS BASED ON  
HALOGENATED DYES**

MASTER THESIS

**AUTHOR:** Bc. Barbora Vostruhová

**SUPERVISOR:** Ing. Michaela Filipi, Ph.D.

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Barbora Vostruhová**  
Osobní číslo: **C15538**  
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Organické povlaky a nátěrové hmoty**  
Název tématu: **Využití aktivního uhlí k odstranění složek nátěrových hmot na bázi halogenovaných barviv**  
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou odstraňování organických barviv z modelových odpadních vod.
2. Otestujte schopnost adsorpční schopnosti aktivního uhlí odstranit organická barviva z modelových vod.
3. Vyhodnoťte získané výsledky z hlediska účinnosti jednotlivých materiálů.
4. Proveďte diskuzi získaných výsledků a diplomovou práci zpracujte v souladu se směrnicí č. 9/2012

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michaela Filipi, Ph.D.**

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání diplomové práce: **28. února 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2018**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 10. 5. 2019

Barbora Vostruhová

#### Poděkování:

Děkuji paní Ing. Michaele Filipi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pozornost, kterou mi věnovala při zpracování této diplomové práce. Velké poděkování patří rodině, za podporu a trpělivost během celého studia. Diplomová práce vznikla za podpory Technologické agentury České Republiky, projekt číslo TH02030200.

## **SOUHRN**

Diplomová práce pojednává o využití aktivního uhlí při odstraňování složek nátěrových hmot z modelových odpadních vod. Byla otestována adsorpční schopnost aktivního uhlí s účinkem tenzidu.

Experiment byl proveden s reaktivními barvivy Acid Yellow 17 a Mordant Blue 9 na kolonách a v kádinkách.

K vyhodnocení výsledků absorbance bylo využito spektrofotometru Cintra.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

aktivní uhlí

adsorpce

tenzidy

## **SUMMARY**

This master thesis discusses the use of activated carbon in the removal of coating components from model wastewater. The adsorption capacity of activated charcoal with surfactant was tested.

The experiment was conducted with the reactive dyes Acid Yellow 17 and Mordant Blue 9 on the columns and beakers.

A Cintra spectrophotometer was used to evaluate the absorbance results.

## **KEYWORDS**

activated carbon

adsorption

surfactants



## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

BET	metoda Brunauer, Emmet a Teller
$a$	množství adsorbované látky
$a_{max}$	maximální adsorbovatelné množství
$p$	rovnovážný tlak
$b$	konstanta závislá na teplotě adsorpce
$c_r$	rovnovážná koncentrace
K	konstanta, klesá s rostoucí teplotou
$n$	konstanta, vždy $> 1$ , s rostoucí teplotou se blíží jedné
R <sub>1</sub>	alkyl C <sub>8</sub> – C <sub>16</sub>
R <sub>2</sub>	zbytek obsahující aromát

## OBSAH

1. Teoretická část	13
1.1. Aktivní uhlí	13
1.2. Struktura aktivního uhlí	13
1.3. Výroba aktivního uhlí	14
1.3.1. Klasická výroba	14
1.3.2. Aktivace pomocí 800 °C horké páry se vzduchem	15
1.4. Parametry aktivního uhlí	15
1.4.1. Měrný povrch	15
1.4.2. Hustota	15
1.4.3. Jodové číslo	16
1.4.4. Obsah popela a vlhkosti	16
1.4.5. Tvrdost a ošetrivost	16
1.5. Klasifikace aktivního uhlí	17
1.5.1. Práškové aktivní uhlí	17
1.5.2. Zrněné aktivní uhlí	18
1.5.3. Granulované aktivní uhlí	18
1.6. Adsorpční schopnost	19
1.6.1. Rovnováha adsorpce	20
1.7. Adsorpční izotermy	20
1.7.1. Langmuirova adsorpční izoterma	21
1.7.2. Freudlichova adsorpční izoterma	22
1.8. Využití adsorpce na aktivním uhlí	23
1.9. Barviva	23
1.10. Azobarviva	23
1.10.1. Vlastnosti azobarviv	23
1.10.2. Výroba azobarviv	24
1.10.3. Mordant Blue 9	24
1.10.4. Acid Yellow 17	24
1.11. Reaktivní barviva	25
1.12. Tenzidy	26
1.12.1. Klasifikace tenzidů	26
1.12.2. Anioaktivní tenzidy	27

1.12.3. Kationativní tenzidy	27
1.12.4. Neionogenní tenzidy	27
1.12.5. Mechanismus působení tenzidu	28
1.12.6. Benzalkonium chlorid	29
1.12.7. Aliquat 336	29
2. Experimentální část	30
2.1. Specifikace surovin a chemikálií	30
2.2. Přístroje a experimentální zařízení	30
2.3. Postup práce	31
2.3.1. Sycení aktivního uhlí v koloně	33
2.3.2. Sycení aktivního uhlí v kádince	34
3. Výsledky	36
3.1. Mordant Blue 9 v koloně	36
3.2. Mordant Blue 9 v kádince	44
3.3. Acid Yellow 17 v koloně	50
3.4. Acid Yellow 17 v kádince	58
4. Diskuze	65
5. Závěr	66
6. Seznam obrázků	67
7. Seznam tabulek	68
8. Seznam grafů	70
9. Seznam použité literatury	71

## ÚVOD

Filtrace přes aktivní uhlí je v posledních letech stále populárnější. Aktivní uhlí je vysoce porézní uhlík s obrovským vnitřním povrchem – transportní póry, sloužící k přísunu nežádoucích látek a mikropóry, kde se odehrává vlastní odstraňování, tj. adsorpce nebo katalytický rozklad. Aktivní uhlí se využívá k odstraňování organických sloučenin, ke zlepšení organoleptických vlastností a ke katalytickému rozkladu ozónu, chlóru a chlórdioxidu.

Tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které se nacházejí ve všech čistících a úklidových prostředcích, na které si dokážete vzpomenout. Bez těchto látek, bychom si nebyli schopni vyprat špinavé oblečení, umýt ruce či nádobí. Tenzidy upravují povrchové napětí kapaliny. Funkce tenzidů je i v odstraňování nečistot – obklopují je a oddělí od povrchu, ke kterému přilnula.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Aktivní uhlí

Aktivní uhlí je pórovitý uhlíkatý materiál s mimořádně velkým vnitřním povrchem (400-1500m<sup>3</sup>/g). [1]

Může být přírodního nebo syntetického původu – vzniká jako výrobek termického rozpadu výchozí suroviny s plyny, za občasného přídavku další chemické složky před nebo po karbonizaci, pro vylepšení adsorpčních vlastností. Aktivní uhlí má výbornou schopnost adsorpce. Velká adsorpční kapacita, vhodná velikost pórů a tím i postačující dostupnost absorbujícího povrchu, umožňující rychlý a hladký průběh adsorpce. Ideální chemická povaha povrchu, podporující jeho stabilitu, mechanická pevnost a dostupnost materiálu i poměrně levná pořizovací cena výchozích surovin vedly k závěru, že v dnešní době je aktivní uhlí nejpodstatnějším prostředkem pro adsorpci plyných a i kapalných látek. [2]

Velká adsorpční kapacita, zejména malých molekul se mnohdy používá pro čištění kapalin. Při kontrolování postupu karbonizace a aktivace, dostaneme aktivní uhlí s rozdílnou velikostí pórů. Nejvíce využívané aktivní uhlí je ve formě práškové a granulované, je však možné ho vyrobit i zrněné nebo i jako kompozit s textilem. [2]

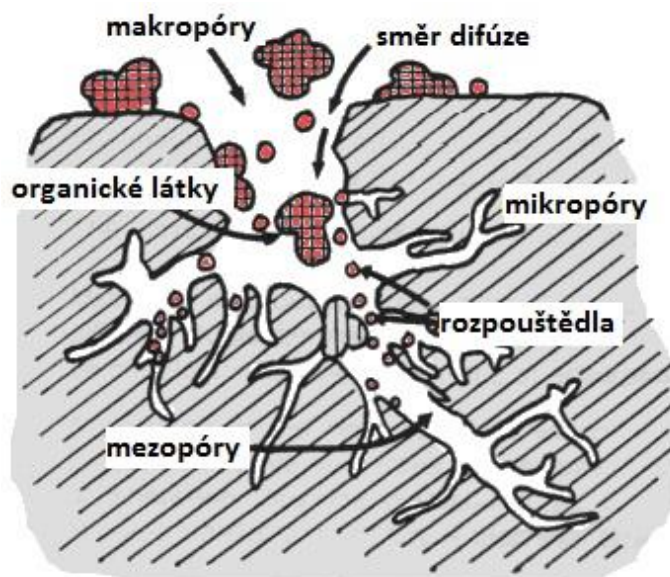
## 1.2. Struktura aktivního uhlí

Díky elektronové mikroskopii a rentgenografii bylo dokázáno, že aktivní uhlí je látka velice podobná svou strukturou grafitu. Sám grafit je jedna z krystalických forem uhlíku (diamant, grafit, fulleren, grafen). Je tvořena rovnoběžnými vrstvami z atomů uhlíku, poskládaných do pravidelné šestiúhelníkové sítě, kde působí kovalentní atomová vazba. Jednotlivé vrstvy spojuje van der Waalsova vazba, která je slabší než vazba kovalentní a proto se tak lehce krystalové vrstvy oddělují. [2]

Molekulární struktura aktivního uhlí tvoří stěnu molekulárních otvorů, tzv. pórů aktivního uhlí. Hexagonální kruh uhlíkových atomů je mnohdy přetržen a v důsledku těchto chyb dochází k reakci.

Póry aktivního uhlí máme trojího typu, podle průměru: mikropóry (poloměr menší než 1nm) – kde se odehrává adsorpce většinou organických látek, mezopóry (poloměr 1 – 25 nm) a makropóry = transportní póry (poloměr větší než 25 nm) –

umožňují přístup organických látek k aktivním mikropórům. Nejvíce jsou ve struktuře zastoupeny mikropóry. [3]



Obrázek 1 Struktura aktivního uhlí [4]

### 1.3. Výroba aktivního uhlí

Jsou známy dva postupy jak vyrobit aktivní uhlí. První je klasický, více známý způsob. Druhý proces je technicky náročnější.

#### 1.3.1. Klasická výroba

Dřevěné hobliny či piliny se sytí chemickou solí, která je dobře nasávána dřevem a zároveň má výbornou rozpustnost ve vodě. U chemické soli není žádoucí změna žářem pyrolýzy na jinou sloučeninu, která nemusí být tak rozpustná, jako původní sůl. V mnoha případech je využíván chlorid amonný (ten sublimuje již během pyrolýzy – velká výhoda), chlorid zinečnatý, chlorid sodný a chlorid vápenatý.

Piliny se nechají dobře nasáknout, následně se vysuší. Při sušení dochází uvnitř struktury ke vzniku krystalků impregnační soli a ty trhají vlákna dřeva od sebe. Po usušení se piliny v uzavřených nádobách zuhelnatí klasickou pyrolýzou při teplotě 800 °C. Nádoby mají malé otvory, kterými uniká pyrolyzní plyn, který je velmi hořlavý. Tímto plynem se topí v pecích pod pilinami.

Po vypálení uhlí dochází k pozvolnému chladnutí. Kdyby byla nádoba otevřena před vychladnutím, v kontaktu s čerstvým vzduchem by se uhlí vznítilo.

Následuje vymývání krystalků soli vodou, nejlépe destilovanou. Posledním krokem je usušení produktu.

### **1.3.2. Aktivace pomocí 800 °C horké páry se vzduchem**

Bez impregnace solí se zuhelnatí dřevěné kusy či štěpka. K rozpuštění minerálů a solí se využívá promytí horkou (80 – 100 °C) vodou za tlaku. Takto vzniklé uhlí nemá mikropóry. K aktivaci dochází pomocí horké páry se vzduchem o teplotě 600 – 800 °C. Mikropóry vznikají prohoříváním v kouscích uhlí za uvolňování posledních popelovin. Na závěr se produkt vychladí.

## **1.4. Parametry aktivního uhlí**

Existuje velké množství aktivních materiálů, a proto je musíme rozlišovat, abychom dosáhli požadovaných nároků pro konkrétní použití. Nejčastěji využíváme k popisu vlastností rozložení a velikost pórů a velikost částic aktivního uhlí. Dále určíme tato kritéria.

### **1.4.1. Měrný povrch**

Jinak nazývaný specifická plocha. Měrný (specifický) povrch se definuje jako celkový povrch (celková povrchová plocha) udávaná v  $\text{cm}^2$  nebo  $\text{m}^2$  na jednotku hmotnosti (g) nebo objemu ( $\text{cm}^3$ ) disperzního podílu. Měrný povrch určujeme jako součin molekul potřebných k pokrytí povrchu a plochy jejich průřezu, vztažený ke gramu aktivního uhlí. [2]

U aktivního uhlí lze na adsorpční izotermě najít bod, jež uvádí úplně pokrytí povrchu adsorbátů vrstvou stejných molekul. Metoda BET (Brunauer, Emmet a Teller) je často využívána a registruje i povrch mikropórů. Vede k předpokladům, že adsorpce na něm bude probíhat téměř ve stejné míře jako na povrchu prakticky rovném ve větších pórech. [2]

### **1.4.2. Hustota**

Na rozdíl od kapalin či kompaktních pevných látek se v případě sypkých materiálů určení hustoty komplikuje. Pokud vezmeme v úvahu objem, jež mezi sebou vytváří částice díky svému tvaru, rozlišujeme tak hustotu sypnou zdánlivou a sypnou objemovou. [2]

Hustota sypná zdánlivá (apparent density) se stanovuje jako poměr hmotnosti a známého objemu částic po sklepaní. Sklepaní se provádí buď ručně nebo speciálním přístrojem. [2]

Hustota sypná objemová (bulk density) vychází z objemu volně sypané látky bez setřesení. Pro příklad aktivního uhlí z antracitu je to o 15% větší, než v případě předchozím. [2]

#### **1.4.3. Jodové číslo**

Jako měřítko aktivity se využívá parametr jodové číslo. Vychází z adsorbovaného množství jódu vztaženému na gram aktivního materiálu. Běžně se hodnota pohybuje kolem několika stovek  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ . [5]

#### **1.4.4. Obsah popela a vlhkosti**

V aktivním uhlí je přítomnost popela velice nežádoucí. Nejenže dochází k ucpání pórů a tím se snižuje aktivní plocha, může však také negativně ovlivnit účinek kovových katalyzátorů. V neposlední řadě snižuje bod vzplanutí uhlíku – důležitý parametr pro bezpečnost při adsorpci některých rozpouštědel. Obsah popela lze snížit promytím vodou či zředěnou kyselinou.

Ekonomickým faktorem je obsah vlhkosti, jelikož je produkt dodáván ke spotřebiteli v množství popisovaném na hmotnostní jednotky, je vlhkost uhlí mírou skutečné hmotnosti sorbentu a přítomné vody. [2]

#### **1.4.5. Tvrdost a otěruvzdornost**

V aplikacích, kde jsou granule vystaveny časté manipulaci či vibracím má tvrdost svůj význam. S ohledem na fyzikální vlastnosti a povahu aktivního uhlí, není tvrdost měřena jako u kovových materiálů – vtlačování tělesa do povrchu, nýbrž se využívá metody, kdy se měří síla potřebná pro rozdrčení zrna nebo granule aktivního uhlí.

Otěruvzdornost udává číslo otěru. Čím je vyšší, tím odolnější je materiál. Průběh adsorpce negativně ovlivňuje jemný prach, vznikající při otěru. Otěruvzdornost stanovujeme pokusně v aparatuře simulující nepříznivé podmínky panující při kontinuální adsorpci. Po určité době se číslo otěru určuje z podílu zbylého nerozdrčeného uhlí. [5]



## 1.5. Klasifikace aktivního uhlí

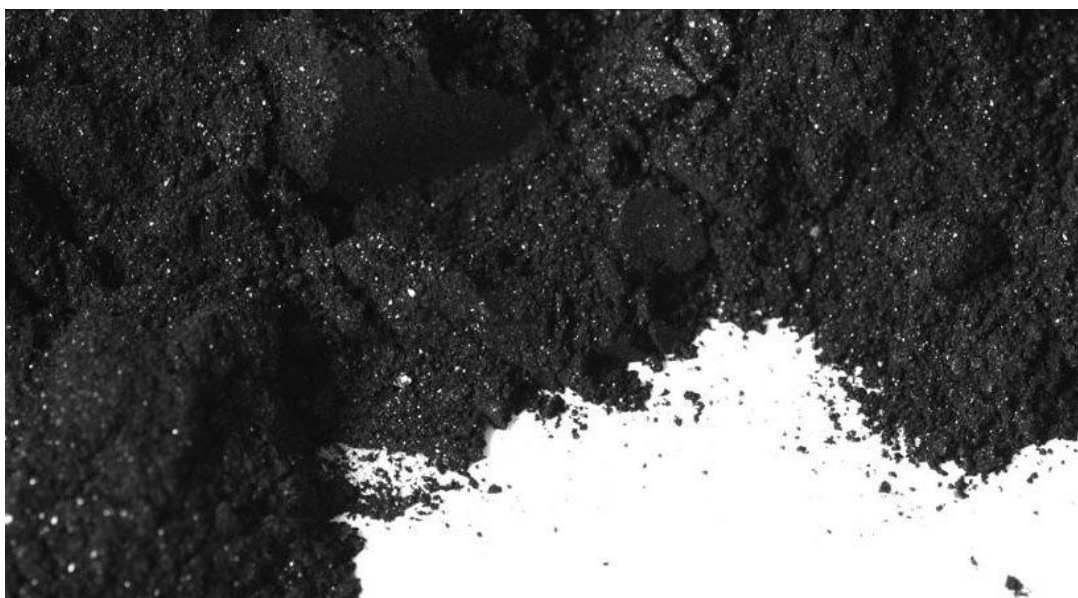
Aktivní uhlí lze dělit podle struktury (tvar a velikost částic) a podle použití. Průmyslově vyráběné aktivní uhlí se běžně dodává ve třech modifikacích, rozdělených podle zrnitosti (práškové, zrněné a granulované). Parametry definuje Evropská rada pro chemický průmysl.

### 1.5.1. Práškové aktivní uhlí

90% částic nesmí přesáhnout velikost 0,18mm. Nejrozšířenější využití je k čištění kapalin v průmyslu i potravinářství (odpadní voda, podzemní voda, plavecké bazény, solné roztoky, anorganické i organické kyseliny, chemický a farmaceutický průmysl, galvanotechnika, odbarvování) a také jako nosič katalyzátoru. [6]

Pro absorpční emisních a perzistentních látek se využívá mikropórovitého aktivního uhlí. Makropórovité druhy aktivního uhlí se uplatňuje při absorpční velkých molekul při odbarvování tekutin v potravinářství. Aktivní uhlí v práškové konzistenci se také užívá u čištění látek v plynném skupenství, kde mimo jiné zachycuje i rtuť.

Výroba práškové báze probíhá buď rozemletím už aktivního kusového materiálu, nebo aktivací pomleté suroviny ve fluidní vrstvě. Velikost a tvar částic udává druh mletí, což ovlivňuje vlastnosti prášku, například při konečném odstraňování z promývané směsi. [6]



Obrázek 2 Práškové aktivní uhlí [7]

### 1.5.2. Zrněné aktivní uhlí

U zrněného uhlí musí minimálně 90% částic dosahovat rozměrů 0,2 – 5mm, kde se jedná o zrna daného průměru s tolerancí 5% nad i pod hranici. [6]

Pro měření velikosti částic je využíváno standardizované sítové škály. Aktivní zrněné uhlí se dělí na dvě skupiny: jemně a středně mleté (0,2 – 3mm), využívané k čištění kapalin (odpadní voda, podzemní voda, voda v bazénech, pitná voda, akvarijní voda) a hrubě mleté (3 – 5mm), s použitím pro filtraci vzduchu a vysokorychlostních parních kondenzátorů.

Aktivní uhlí zrněné se vyrábí ze dřeva nebo kamenného uhlí a posléze je drcené. Má dlouhou životnost, velkou hustotu a aktivitu. [6]



Obrázek 3 Zrněné aktivní uhlí [7]

### 1.5.3. Granulované aktivní uhlí

Tento typ aktivního uhlí se vyrábí ve formě válečků s jednotným průměrem a pohyblivou délkou. Průměr se pohybuje mezi 0,8 – 8mm a délka bývá povětšinou dvojnásobkem průměru. [6]

Nejpoužívanější rozměr granulí je 3 – 4mm. Využívají se k sorpci z plynné fáze, převážně pro zachycování toxických výparů v tiskárnách a lakovnách a při výrobě fólií. Jelikož se uhlí v granulované podobě plní povětšinou do absorbérů s pevným ložem, přes které protéká proud čistého plynu, je důležité, aby nebyl kladen větší odpor, v tomto případě jsou nejvhodnější větší granule.

Skutečná zrnitost se dále volí dle výšky vrstvy. Malé průměry 0,8mm, 1,5mm a 2mm se nejvíce hodí do malých vzduchových filtrů, v nichž je vrstva pouze několik

centimetrů, pro příklad v dýchacích filtrech či dezodorizačních filtrech. Tento typ granulí lze využít i k čištění vody (chemie, akvaristika, odpadní).

Pro jistotu stejného tvaru granulí, je výchozí surovina v plastickém stavu, lisována přes matrici a výlisky jsou řezány na totožnou délku. Pro představu, chemicky aktivované materiály a materiály obsahující celulózu plastifikujeme pomocí aktivačního činidla. [6]



Obrázek 4 Granulované aktivní uhlí [7]

## 1.6. Adsorpční schopnost

Adsorpcí nazýváme obohacování látek na povrchu z okolní fáze. Na aktivním uhlí lze adsorbovat jak z plynné fáze, tak i z kapalně. Pevnou látku označujeme absorbent a kapalnou či plynnou látku, která je adsorbována, nazýváme absorbát.

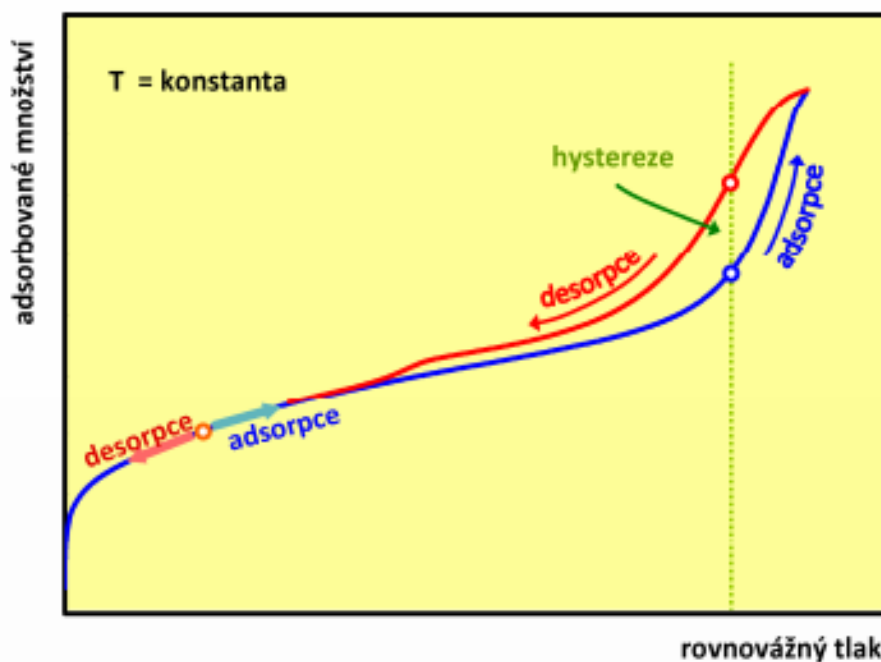
Adsorpci máme dvojího typu, podle charakteristiky průběhu – fyzikální adsorpci a chemisorpci. U fyzikální adsorpce je absorbát poután k povrchu velmi slabými silami a chemická povaha adsorbovaných molekul je neměnná. Tato adsorpce se také nazývá van der Waalsova adsorpce. Při chemisorpci dochází mezi molekulami absorbátu a povrchem absorbentu k výměně nebo sdílení elektronů – chemické reakci. Tato vazba je tedy mnohem silnější, než při adsorpci fyzikální. Kvůli dodání určité energie, bývá chemisorpce označována jako aktivovaná adsorpce.

### 1.6.1. Rovnováha adsorpce

Po vpuštění plynu nebo páry na povrch absorbentu, ubývají molekuly z plynné fáze, jelikož část molekul, která naráží na povrch, zůstává určitou dobu upoutána. Tento časový úsek je nazýván dobou života molekuly v adsorbovaném stavu nebo dobou adsorpce molekul a odvíjí se od faktorů určujících sílu vzniklé adsorpční vazby, např. na místě, do kterého molekula narazila, dále na povrchu molekuly a na kinetické energii molekuly. Fyzikální adsorpce plynů a par na aktivním uhlí dosahuje hodnot  $10^{-12}$  až  $10^{-2}$ . V případě chemisorpce je časový úsek o několik řádů vyšší. K adsorpční rovnováze dochází po určitém čase, kdy se ustaví mezi koncentrací molekul v plynné, a v adsorbované části rovnováha. Tato rovnováha je charakterizována neměnným celkovým množstvím molekul v adsorbovaném stavu, jelikož počet molekul, odpoutaných od povrchu za jednotku času, je roven počtu molekul, jež jsou za tuto dobu na povrchu adsorbovány.

### 1.7. Adsorpční izotermy

Nejběžněji se jedná o grafická zobrazení rovnovážných adsorpčních dat. V grafu je uvedena závislost adsorbovaného množství na tlaku či koncentraci adsorptivu (složka fluidní fáze – kapaliny nebo plynu, která může podléhat adsorpci) při konstantní teplotě.



**Obrázek 5** Schematické znázornění adsorpční izotermy a některých termínů, pojících se s adsorpčními procesy [8]

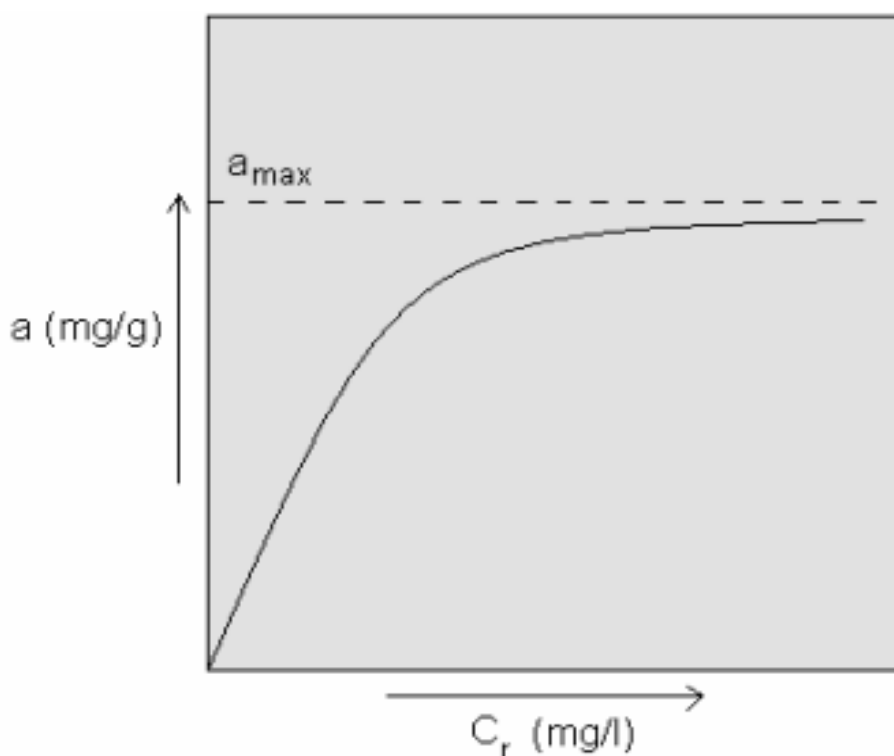
### 1.7.1. Langmuirova adsorpční izoterma

Langmuirova rovnice (Rovnice 1) podle původního kinetického odvození, vychází z dynamického pojetí adsorpční rovnováhy jako rovnováha rychlosti adsorpce a desorpce.

Při jejím odvození se vytváří pouze jedna vrstva molekul a pravděpodobně adsorpce probíhá na všech místech povrchu stejně. Dalším znakem je, že se adsorbované molekuly navzájem neovlivňují.

$$a = a_{\max} \cdot \frac{b \cdot c_r}{1 + b \cdot c_r} \quad \text{Rovnice 1 [9]}$$

Kde  $a$  je množství adsorbované látky na jednotku hmotnosti absorbentu při daném rovnovážném tlaku  $p$ ,  $a_{\max}$  je maximální adsorbovatelné množství,  $b$  představuje konstantu závislou na teplotě adsorpce a  $c_r$  udává rovnovážnou koncentraci látky v roztoku.



**Obrázek 6** Průběh Langmuirovy adsorpční izotermy [9]

### 1.7.2. Freundlichova adsorpční izoterma

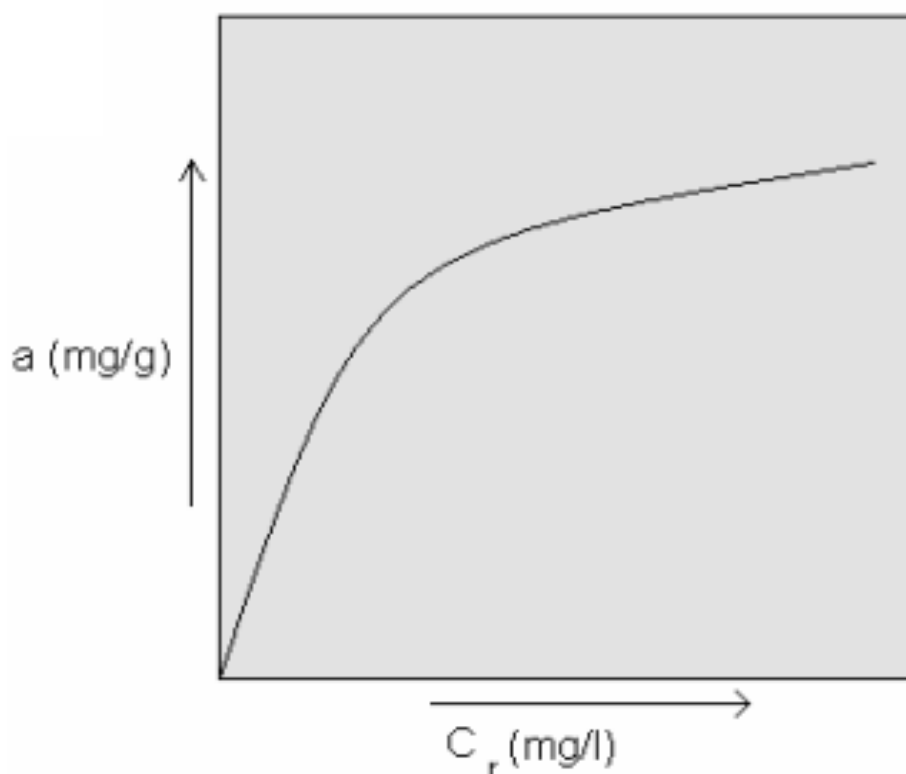
Freundlichova rovnice (Rovnice 2) se považuje za první analytickou expresi závislosti adsorbovaného objemu plynu na tuhém absorbentu při rovnovážném tlaku a konstantní teplotě.

Povrch absorbentu je heterogenního charakteru s exponenciálním rozložením adsorpčních míst a jejich energií. Adsorbované molekuly se navzájem neovlivňují.

$$a = K \cdot c_r^{\frac{1}{n}}$$

Rovnice 2 [9]

Kde  $c_r$  je rovnovážná koncentrace,  $a$  vyjadřuje adsorbované množství, konstanta  $K$  klesá s rostoucí teplotou, a konstanta  $n$ , vždy  $> 1$  a s rostoucí teplotou se blíží jedné.



Obrázek 7 Průběh Freundlichovy adsorpční izotermy [9]

Na rozdíl od Langmuirovy izotermy, není Freundlichova lineární ani při nízkých tlacích a naopak při vysokých tlacích nevykazuje limitní hodnotu adsorbovaného množství. [9]

## 1.8. Využití adsorpce na aktivním uhlí

Aktivní uhlí při adsorpci slouží většinou pro poupravění vody. Pomáhá odstranit organické látky syntetického i přírodního původu, včetně mikropolutantů. Napomáhá zlepšit organoleptické vlastnosti vody (odstranění látek ovlivňující pach a chuť vody). Odstraňuje z vody těžké kovy.

## 1.9. Barviva

Barvivy můžeme označit organické sloučeniny s různou strukturou. Obecně jsou barviva charakteristická svou schopností absorbovat viditelné elektromagnetické záření ve vlnovém rozsahu 380 – 780nm. Dostatečně velké absorpční koeficienty ( $10000 - 40000 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) slouží k intenzivnímu probarvení substrátu. Barvivo však musí mít vlastnosti, mezi něž patří afinita k velké škále přírodních i umělých látek, musí být stálé na světle a též odolné proti otěru. [10]

## 1.10. Azobarviva

Charakteristickým rysem azobarviv je přítomnost jedné nebo několika azoskupin ( $-\text{N}=\text{N}-$ ) v molekule. Dva atomy dusíku, vázány dvojnou vazbou tvoří azoskupinu, která velmi často spojuje aromatická jádra, obsahující další funkční skupiny (alifatické, aromatické, heterocyklické). [11]

V dnešní době jsou to nejhojněji používaná organická barviva. Výroba pojednává o stovkách tun ročně. Lze jich využít pro barvení všech druhů vláken a tkanin, k obarvování kaučuků a syntetických hmot k přípravě laků, malířských i polygrafických barev, inkoustů, k barvení kosmetických a potravinářských produktů.

### 1.10.1. Vlastnosti azobarviv

Azobarviva s molekulami neobsahujícími polární nebo nabitě skupiny, se nechají rozpouštět v tucích a organických rozpouštědlech. Rozpustnost je dána charakterem a množstvím funkčních skupin. Odstín azobarvám dodávají auxochromní skupiny ( $-\text{OH}$ ,  $-\text{OR}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{NHR}$ ). [11]

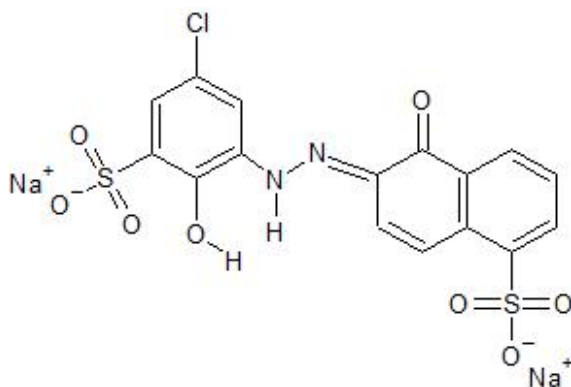
Azoskupina může podlehnout několika chemickým reakcím. Štěpením pomocí redukčních činidel vznikají dvě molekuly primárního aminu. Reakce probíhá přes hydrazosloučeniny. Koncentrovaná kyselina dusičná oxidačně štěpí azosloučeninu za vzniku diazosloučeniny a dinitroderivát azokomponentu.

### 1.10.2. Výroba azobarviv

Azobarviva se vyrábějí ve dvou krocích. Prvním je diazotace primárních aromatických aminů a následuje kopulace vzniklých diazoniových solí se sloučeninami schopnými kopulace (fenoly, naftoly, aminy).

### 1.10.3. Mordant Blue 9

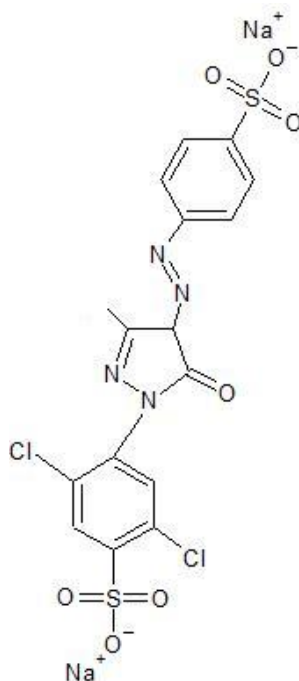
S molekulárním vzorcem  $\text{ClC}_6\text{H}_2(\text{OH})(\text{SO}_3\text{Na})\text{N}=\text{NC}_{10}\text{H}_5(\text{OH})\text{SO}_3\text{Na}$  a molekulovou hmotností  $502,81\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Dodavatelem dodávaná obsahuje 50% barviva.



Obrázek 8 Strukturální vzorec Mordant Blue 9 [12]

### 1.10.4. Acid Yellow 17

S molekulárním vzorcem  $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{Cl}_2\text{N}_4\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}_2$  a molekulovou hmotností  $551,29\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Dodavatelem dodávaná obsahuje 60% barviva.



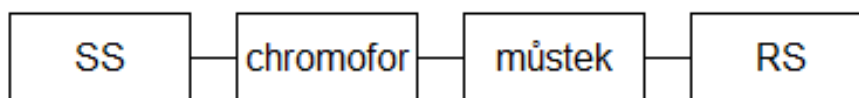
Obrázek 9 Strukturální vzorec Acid Yellow 17 [12]



### 1.11. Reaktivní barviva

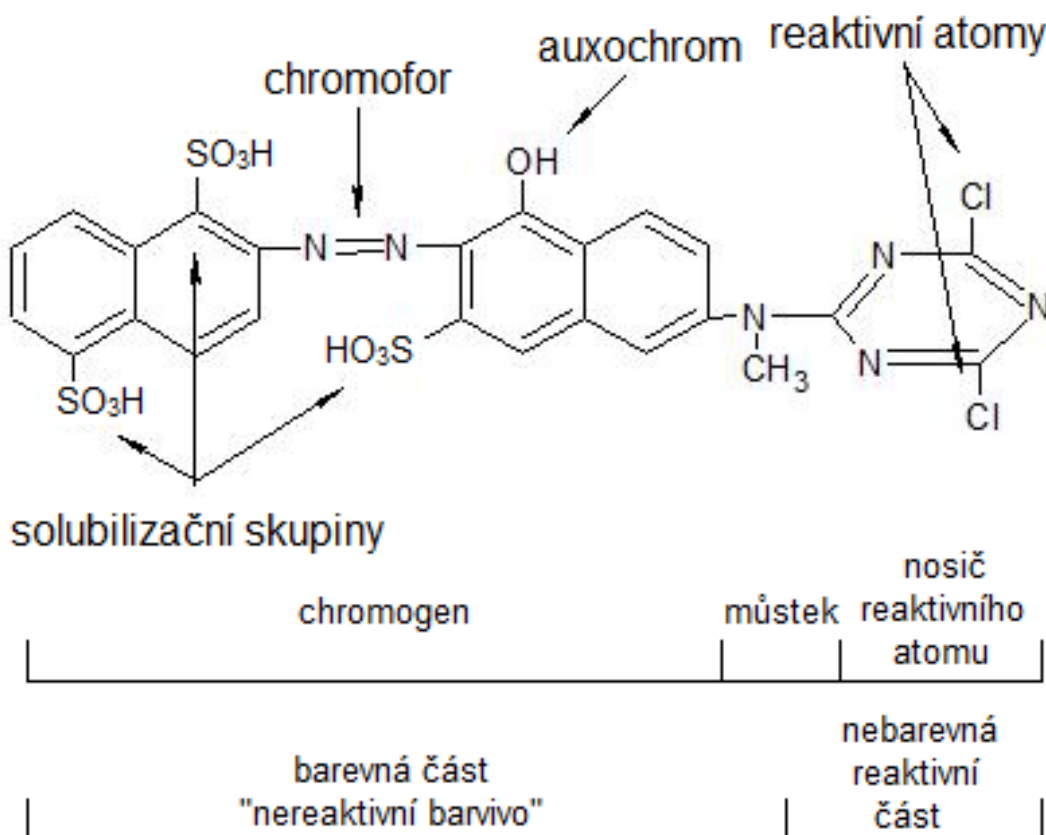
Skupina reaktivních barviv chemicky reaguje se substrátem, kde se mezi chromoforem (látka, absorbující elektromagnetické záření) a substrátem vytvoří kovalentní vazba. Díky pevnosti kovalentní vazby je vybarvení reaktivními barvivy velmi stáله v otěru. [10]

Obecnou konstituci můžeme znázornit:



Obrázek 10 Obecná struktura reaktivního barviva. [10]

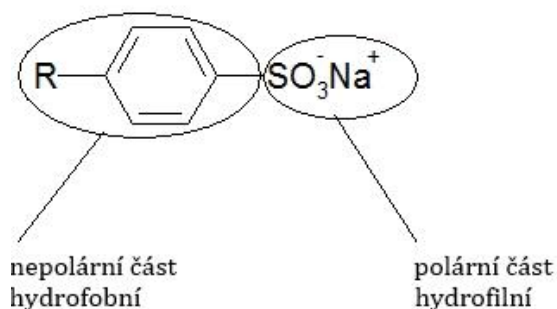
kde SS označuje solubilizační skupiny (nejčastěji  $\text{SO}_3\text{H}$ ), nositelem barevnosti je chromofor. Můstkem je aromatická skupina nebo alifatický řetězec, oddělující reaktivní skupinu od chromoforu. Můstek napomáhá při reakci reaktivní skupiny, aby nedošlo ke změně odstínu barviva. RS je funkční skupina.



Obrázek 11 Struktura reaktivního barviva. [13]

## 1.12. Tenzidy

Tenzidem je nazývána povrchově aktivní organická látka, jež je schopna se kupit při nízké koncentraci na fázovém rozhraní a snižovat tak mezifázovou energii soustavy. Povrchová aktivita tenzidů se projevuje pěněním jejich roztoků. Použití nachází v čistících a pracích prostředcích, jako součást emulzních pěnotvorných, smáčecích a změkčovacích prostředků.

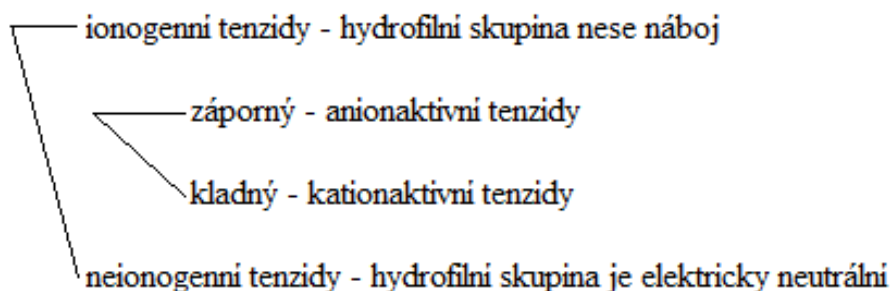


Obrázek 12 Struktura tenzidu [14]

Molekula tenzidu je tvořena dvěma částmi (obrázek 10) – hydrofilní (polární) a hydrofobní (nepolární). Svým nepolárním koncem se navazuje na nepolární špínu a obalí částice nečistot, následně jsou tyto částice odstraněny z povrchu materiálu a dispergovány v kapalině (nejčastěji ve vodném roztoku).

### 1.12.1. Klasifikace tenzidů

Tenzidy dělíme dle jejich polární části molekuly do čtyř skupin: anionaktivní, kationaktivní, neionogenní a ionogenní. Kationaktivní a anioaktivní spolu reagují za vzniku povrchově inaktivních sloučenin.



Obrázek 13 Rozdělení tenzidů

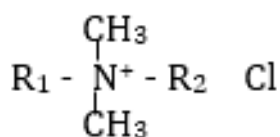
### 1.12.2. Anioaktivní tenzidy

Těž nazývané anionické tenzidy. Tato skupina je světově nejrozšířenější. Mají záporný náboj ve vodném prostředí. Základním typem anioaktivních tenzidů jsou mýdla. Tvoří je soli vyšších mastných kyselin, převážně stearany a palmitany.

V dnešní době využíváme sodné soli alkanbenzensulfonových kyselin, jež jsou získávány alkylací benzenu alkylchloridy nebo alkeny s následující sulfonací a neutralizací. Také sodné soli alkylsulfátů, které se získávají z vyšších mastných alkoholů esterifikací kyselinou sírovou nebo reakcí s  $\text{SO}_3$ , případně adicí kyseliny sírové na alkeny. [14]

### 1.12.3. Kationativní tenzidy

Méně rozšířená skupina tenzidů, přibližně 10% světové výroby. Ve vodném prostředí mají kladný náboj. Nejčastěji se jedná o kvartérní amoniové soli (Obrázek 13).  $\text{R}_1$  – alkyl  $\text{C}_8 - \text{C}_{16}$ ,  $\text{R}_2$  – zbytek obsahuje aromát (při použití benzylu, mají tenzidy dezinfekční účinky). Kationativní tenzidy se využívají v kyselém prostředí jako tzv. inverzní mýdla. [15]



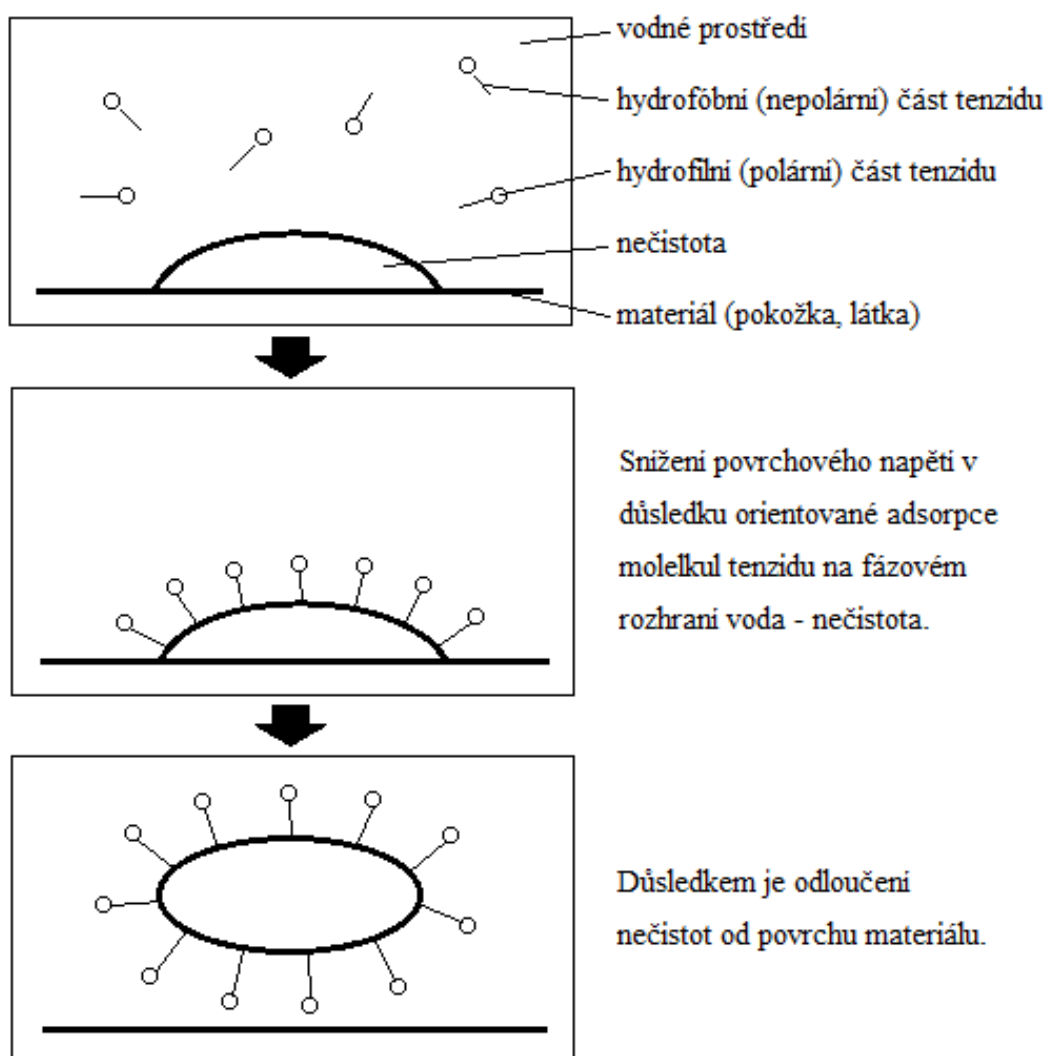
Obrázek 14 Struktura kvartérní amoniové soli [14]

### 1.12.4. Neionogenní tenzidy

Ze světové produkce vykazují 30%. V molekule nemají náboj a nedisociují ve vodném prostředí, pH prostředí neovlivňuje jejich účinnost. Díky hydrofilním skupinám ( $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_n-$ ) jsou rozpustné ve vodě. Lze je připravit reakcí oxidánu s alkoholy, alkylfenoly nebo alkanovými kyselinami, řetězce obsahují 5-12 ethoyskupin. Využívají se jako ušlechtilé přísady do pracích prostředků (snižují pěnovost), emulgátory, smáčedla, dispergátory. [14]

### 1.12.5. Mechanismus působení tenzidu

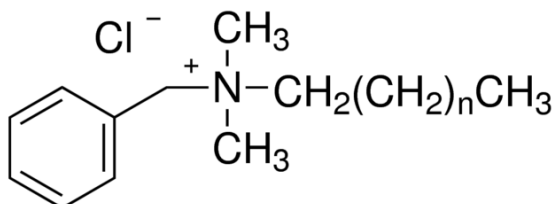
V povrchové vrstvě kapaliny se hromadí tenzid. Polární část s hydrofilní skupinou směřuje do polárního prostředí (voda) a nepolární část s hydrofobními vlastnostmi směřuje do nepolární fáze (olej, vzduch, pevná nečistota). Mezi oběma částmi působí vnitřní přitažlivé síly. Obě fáze se promíchávají kvůli porušení povrchové vrstvy a snížení povrchového napětí.



Obrázek 15 Princip působení tenzidu [14]

### 1.12.6. Benzalkonium chlorid

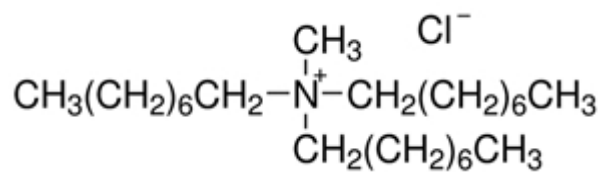
Patří mezi alkyldimethylamoniové chloridy s různými sudými délkami alkydových řetězců. Tato sloučenina je dusíkatá kationová povrchově aktivní látka (tenzid), jež patří do kvartérní amoniové skupiny. Využívá se hlavně jako biocid, kationový tenzid a činidlo fázového přenosu v chemickém průmyslu. [16]



Obrázek 16 Strukturální vzorec benzalkonium chlorid 50%

### 1.12.7. Aliquat 336

Jedná se o iontovou kapalinu, kvartérní amoniovou sůl. Používá se jako katalyzátor fázového přenosu a činidlo pro extrakci kovů. [17]



Obrázek 17 Strukturální vzorec aliquat 336

## 2. Experimentální část

### 2.1. Specifikace surovin a chemikálií

Destilovaná voda.

Mordant Blue 9 – Sigma Aldrich USA.

Acid Yellow 17 – Sigma Aldrich, USA.

Aktivní uhlí Hydrffin CC 8x30 – Donauchem, VUOS.

Benzalkonium chlorid 50% - Sigma Aldrich, USA.

Aliquat 336 – Sigma Aldrich, USA.

### 2.2. Přístroje a experimentální zařízení

Laboratorní Váhy, firma KERN&Sohn 440-33 GmbH, Německo.

Spektrofotometr UV VIS Cintra 10e, firma GBC Scientific Equipment Pty Ltd.

(Obrázek 18)



Obrázek 18 Spektrofotometr UV VIS Cintra 10e

Ostatní běžné vybavení laboratoře pro sestavení kolony.

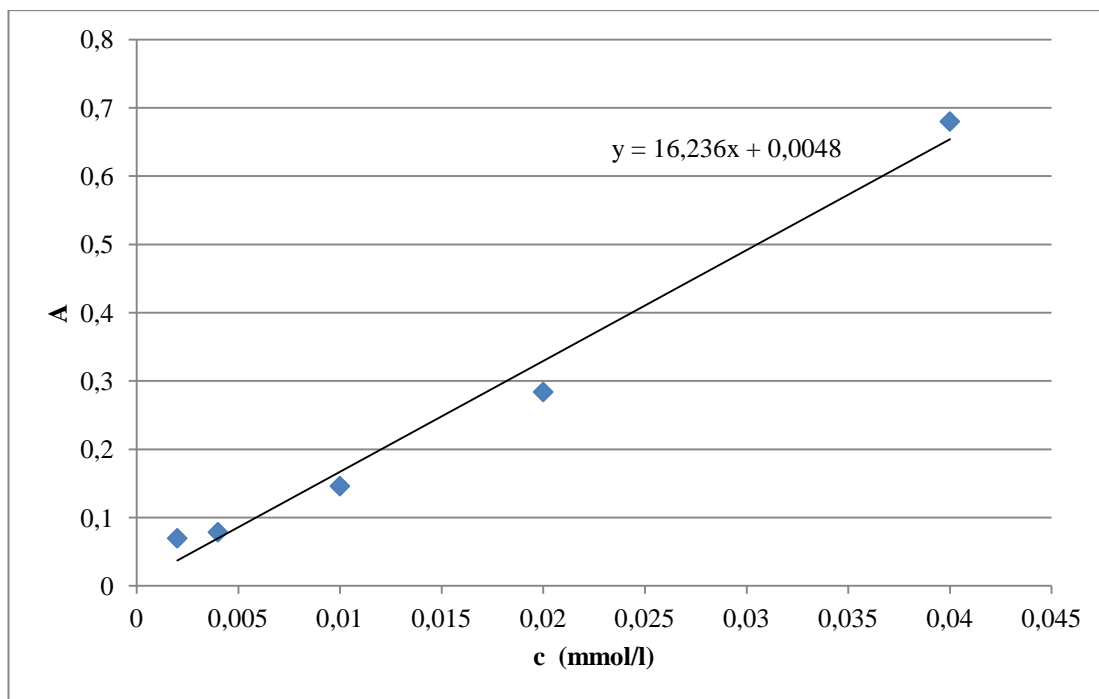


**Obrázek 19** Aparatura pro sycení aktivního uhlí

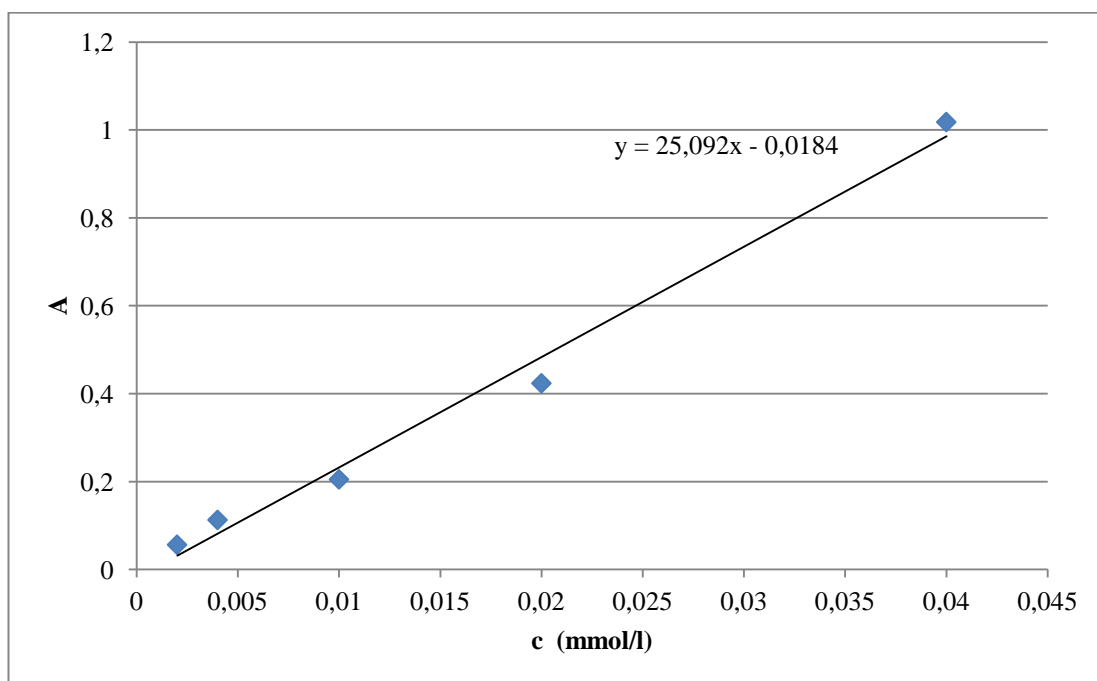
### **2.3. Postup práce**

Pro změření kalibrační řady byly připraveny roztoky o koncentracích  $4 \cdot 10^{-2}$  do  $2 \cdot 10^{-3}$  a byla změřena absorbance pomocí přístroje Spekol UV-VIS spectrophotometer I-290. Pomocí kalibračních přímk (Graf 1, 2) byly zjišťovány koncentrace barviva ve filtrátu. Ze získaných hodnot bylo následně vypočítáno množství odstraněného barviva.

Spektrofotometr byl kalibrován proti destilované vodě, do které byly ředěny vzorky pro měření. Do kyvety byla nalita destilovaná voda, tak aby její hladina sahala 1cm pod okraj kyvety a bylo provedeno referenční měření pomocí slepého vzorku.



**Graf 1** Kalibrační křivka závislosti absorbance na koncentraci Mordant Blue 9



**Graf 2** Kalibrační křivka závislosti absorbance na koncentraci Acid Yellow 17



Z barviv Mordant Blue 9 o molární hmotnosti  $502,81\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  a Acid Yellow 17 o molární hmotnosti  $551,29\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  byl nejdříve připraven zásobní roztok o molární koncentraci 5mM. Pomocí Rovnice 3 byla vypočtena navážka. Barviva Mordant Blue 9 bylo naváženo 5,0281g na 1 litr demineralizované vody a barviva Acid Yellow 17 bylo naváženo 4,5933g na 1 litr. Pro další experimenty byl připravený zásobní roztok zředěn na koncentraci 1mM.

$$m = M \cdot c \cdot V \quad \text{Rovnice 3}$$

Kde  $m$  je hmotnost v gramech navážky,  $M$  je molekulární hmotnost látky,  $c$  je požadovaná koncentrace a  $V$  je požadovaný objem roztoku.

Barvivo	$c$ [ $\text{mol l}^{-1}$ ]	$m$ [g]	$\lambda_{\text{max}}$ [nm]
Mordant Blue 9	0.01	4.33	516
Acid Yellow 17	0.01	7.97	400

**Tabulka 1** Hodnoty použitých barviv

Po připravení zásobních roztoků byly provedeny dva pracovní postupy. V prvním případě bylo aktivní uhlí syceno v koloně a ve druhém docházelo k sycení aktivního uhlí v kádince. Jako cíl bylo zjištění změny sorpčních schopností aktivního uhlí po přidání směsi tenzidů. Použité tenzidy byly v molárním poměru 1:1 Benzalkonium chlorid 50% a Aliquat 336.

### 2.3.1. Sycení aktivního uhlí v koloně

Na analytických vahách bylo s přesností na čtyři desetinná místa naváženo 50 gramů aktivního uhlí pro sycení na koloně.

Aktivní uhlí bylo nejdříve propláchnuto vodou, aby se vyplavil uhelný prach, který ovlivňoval předchozí experimenty. Docházelo k ucpání frity a byl ovlivněn čas průtoku. Kolona byla sycena 1mM vodným roztokem barviva. Pro experiment byla zvolena 1 dávka 200ml barviva. Reakční čas byl v intervalech 70 - 90 minut. Nejdříve bylo proměřeno celé spektrum barviva a zjištěna příslušná vlnová délka.

U každého filtrátu byl odebrán 1ml a doplněn na objem 100ml. Následně byl vzorek proměřen na spektrofotometru při příslušné vlnové délce. Sycení bylo

opakováno až do nasycení aktivního uhlí, tj. absorbance filtrátu byla vyšší než 14,34 pro barvivo Mordant Blue 9 a 17,54 pro barvivo Acid Yellow 17.

Následně bylo nasycené aktivní uhlí promyto postupně 1 litrem demineralizované vody a usušeno v sušárně při teplotě 120<sup>0</sup>C do konstantní hmotnosti. Takto připravené aktivní uhlí bylo opětovně používáno pro další experimenty.

Nasycené, vysušené aktivní uhlí z předchozího postupu bylo vráceno na kolonu. Kolona byla nejdříve impregnována tenzidem (Benzalkonium chlorid 50%/Aliquat 336 v molárním poměru 1:1). Pro každý experiment bylo na kolonu s nasyceným aktivním uhlím dávkováno 2,5 g směsi tenzidu. Z filtrátu byl odebrán 1ml, doplněn na objem 100ml a proměřen na spektrofotometru. Reakční doba byla stejně jako u sycení 70 - 90 minut (i přes promytí demi vodou docházelo občas k ucpaní kolony). Následně byla kolona promyta 100ml demineralizované vody, filtrát byl opět proměřen. Takto připravené aktivní uhlí bylo dále promýváno 200ml barviva až do nasycení, celkem byla kolona každý den promyta 800ml barviva. Každý získaný filtrát byl proměřen na spektrofotometru. Reakční časy byly opět 70 - 90 minut. Takto nasycené aktivní uhlí bylo ponecháno v koloně do dalšího dne a opět bylo provedeno nové sycení barvivem podle předchozího postupu. Kolona byla takto sycena po tři dny.

Nasycené aktivní uhlí bylo postupně promyto 1 000ml demineralizované vody. Následně byla kolona znovu impregnována směsí tenzidu a celý postup byl zopakován.

### **2.3.2. Sycení aktivního uhlí v kádince**

Na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa bylo naváženo 50g aktivního uhlí. Aktivní uhlí bylo přeneseno do kádinky a k navážce bylo přidáno nejdříve 200ml 1mM roztoku barviva. Vzniklá směs byla promíchána skleněnou tyčinkou a zfiltrována přes filtrační papír v nálevce. Reakční čas byl 80 minut. Z filtrátu byl odebrán 1ml a doplněn na objem 100ml. Následovalo měření roztoku na spektrofotometru při vlnové délce odpovídající barvivu.

Postup byl opakován až do nasycení aktivního uhlí, tj. absorbance filtrátu byla vyšší než 14,34 pro barvivo Mordant Blue 9 a 17,54 pro barvivo Acid Yellow 17.

Následně bylo nasycené aktivní uhlí promyto postupně 1 litrem demineralizované vody a usušeno v sušárně při teplotě 120<sup>0</sup>C do konstantní hmotnosti. Takto připravené aktivní uhlí bylo opětovně používáno pro další sycení.

Nasycené, vysušené aktivní uhlí z předchozího postupu bylo vráceno do kádinky a impregnováno tenzidem (Benzalkonium chlorid 50% a Aliquat 336 v molárním poměru 1:1). Tenzid byl dávkován 2,5g na 50g aktivního uhlí. Opětovně byl odebrán vzorek, doplněn na objem 100ml a proměřen spektrofotometrem. Po impregnaci byla směs promyta 100ml demineralizované vody, upravený vzorek byl proměřen na spektrofotometru.

Následovalo promývání aktivního uhlí 200ml barviva až do nasycení. Všechny filtráty byly proměřeny spektrofotometrem. Takto nasycené uhlí bylo ponecháno v kádince do druhého dne a opětovně syceno barvivem podle předchozího postupu. Směs byla sycena po tři dny.

Nasycené aktivní uhlí bylo postupně promyto 1000ml demineralizované vody a opět impregnováno směsí tenzidu. Celý postup byl zopakován.

### 3. Výsledky

#### 3.1. Mordant Blue 9 v koloně

Počáteční koncentrace roztoku byla 1mM a absorpance 14,34. Sorpční kapacita výchozího uhlí byla 0,523g. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty absorpance pro sycení barviva.

Absorpance a množství odstraněného barviva pro první měření jsou shrnuty v tabulkách 3 a 4.

Graf 3 zobrazuje separační účinnost pro tabulky 3 a 4.

Celý experiment by pro lepší interpretaci výsledků dvakrát zopakován, hodnoty jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulkách 5-11

Tabulka 12 vykazuje data o absorpaci promývací vody a tenzidu.

	V barviva [ml]	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0254	1.69E-01
	200	0.0818	9.93E-02
	200	0.1198	5.25E-02
	200	0.128	4.24E-02
Sycení 2. den	200	0.0529	1.35E-01
	200	0.1418	2.54E-02
	200	0.1434	2.34E-02
	200	0.155	9.13E-03
Sycení 3. den	200	0.1693	8.49E-3

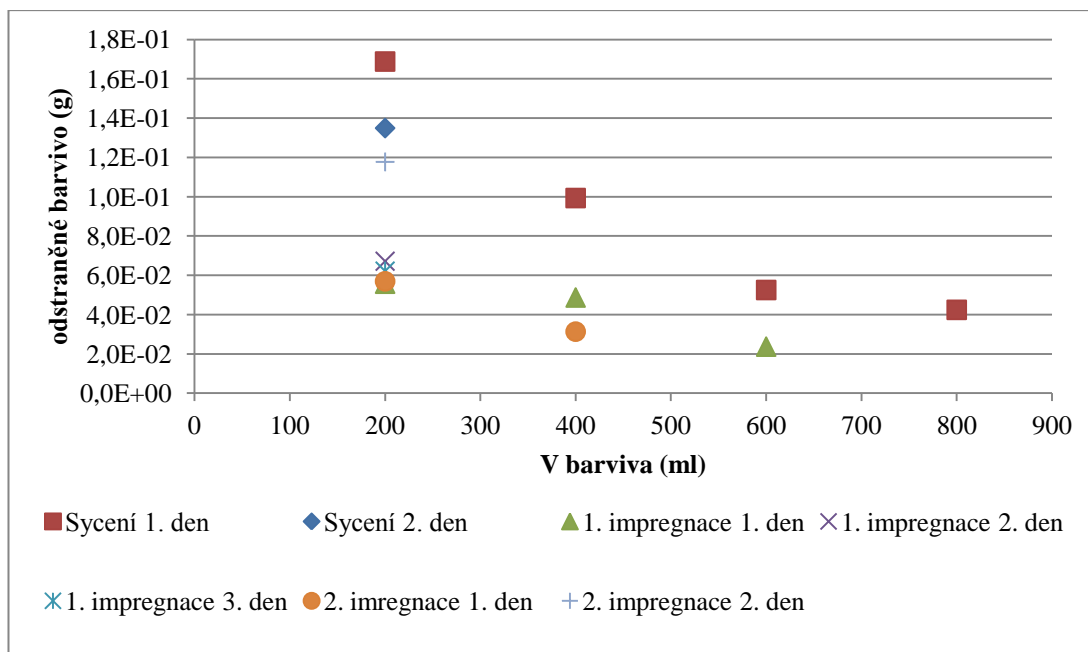
**Tabulka 2** Sycení barvivem bez tenzidu první den

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.1172	5.57E-02
	200	0.1229	4.87E-02
	200	0.1432	2.37E-02
	200	0.1568	6.91E-03
1. impregnace 2. den	200	0.1079	6.71E-02
	200	0.1496	1.58E-02
	200	0.1611	1.61E-03
	200	0.1899	3.39E-02
1. impregnace 3. den	200	0.112	6.21E-02
	200	0.149	1.65E-02

**Tabulka 3** První impregnace tenzidem

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1162	5.69E-02
	200	0.137	3.13E-02
	200	0.1489	1.66E-02
	200	0.1694	8.61E-03
2. impregnace 2. den	200	0.1433	2.35E-02
	200	0.1514	1.36E-02
	200	0.1531	1.15E-02
2. impregnace 3. den	200	0.1627	3.60E-04

**Tabulka 4** Druhá impregnace tenzidem



Graf 3 Separáční účinnost pro tabulky 3-4

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0435	1.46E-01
	200	0.0864	9.36E-02
	200	0.1049	7.08E-02
	200	0.1094	6.53E-02
Sycení 2. den	200	0.0648	1.20E-01
	200	0.0957	8.22E-02
	200	0.1442	2.24E-02
Sycení 3. den	200	0.1717	1.15E-02
	200	0.1679	6.79E-03
	200	0.1899	3.39E-02
	200	0.1991	4.52E-02
	200	0.2056	5.32E-02

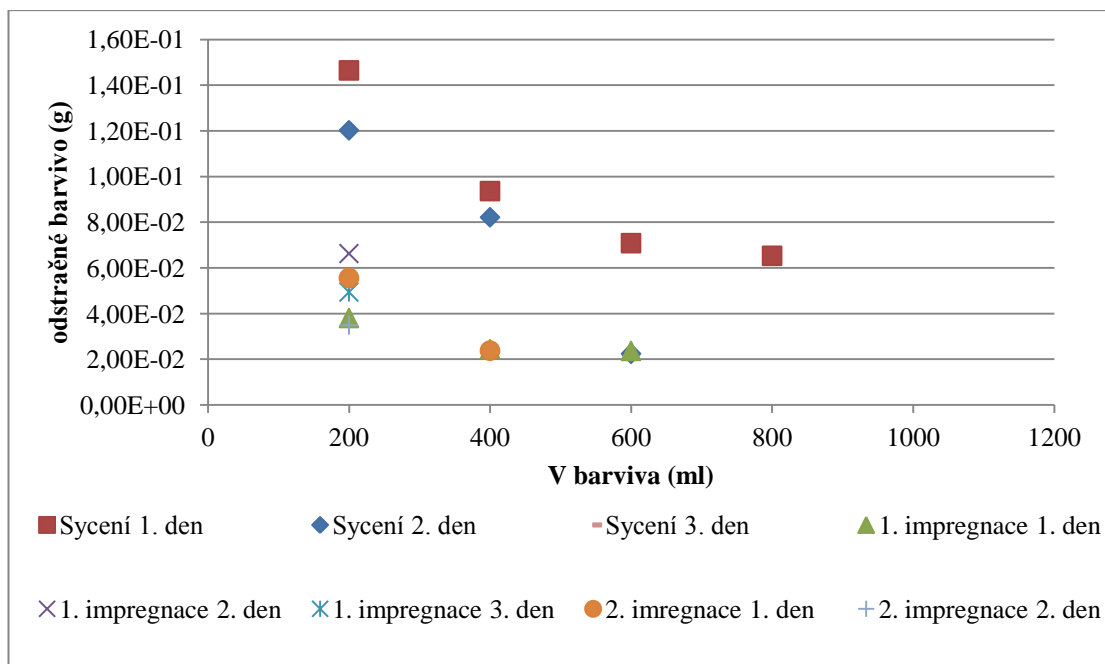
Tabulka 5 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.1315	3.81E-02
	200	0.1426	2.44E-02
	200	0.1432	2.36E-02
	200	0.1737	1.39E-02
1. impregnace 2. den	200	0.1086	6.63E-02
	200	0.1581	5.28E-03
	200	0.1529	1.17E-02
	200	0.1679	6.79E-03
1. impregnace 3. den	200	0.1223	4.94E-02
	200	0.1486	1.70E-02

**Tabulka 6** První impregnace tenzidem, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1173	5.55E-02
	200	0.1431	2.38E-02
	200	0.1499	1.54E-02
	200	0.1679	6.79E-03
2. impregnace 2. den	200	0.1341	3.49E-02
	200	0.1602	2.70E-03
	200	0.1642	2.23E-03
	200	0.1734	1.36E-02
2. impregnace 3. den	200	0.1566	7.13E-03

**Tabulka 7** Druhá impregnace tenzidem, první opakování



Graf 4 Separální účinnost pro tabulky 6-7

	V [ml] barviva	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0259	2.59	1.68E-01
	200	0.0854	8.54	9.48E-02
	200	0.1001	10.01	7.67E-02
	200	0.1199	11.99	5.23E-02
Sycení 2. den	200	0.0531	5.31	1.35E-01
	200	0.1459	14.59	2.03E-02
	200	0.1649	16.49	3.09E-03
	200	0.1778	17.78	1.90E-02
Sycení 2. den	200	0.1692	16.92	8.39E-03
	200	0.1768	17.68	1.78E-02
	200	0.1854	18.54	2.84E-02
	200	0.1999	19.99	4.62E-02

Tabulka 8 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování



	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.1381	2.99E-02
	200	0.1365	3.19E-02
	200	0.1432	2.36E-02
	200	0.1641	2.11E-03
1. impregnace 2. den	200	0.1087	6.61E-02
	200	0.1521	1.27E-02
	200	0.1782	1.95E-02
	200	0.1622	2.32E-04
1. impregnace 3. den	200	0.1187	5.38E-02
	200	0.1478	1.80E-02

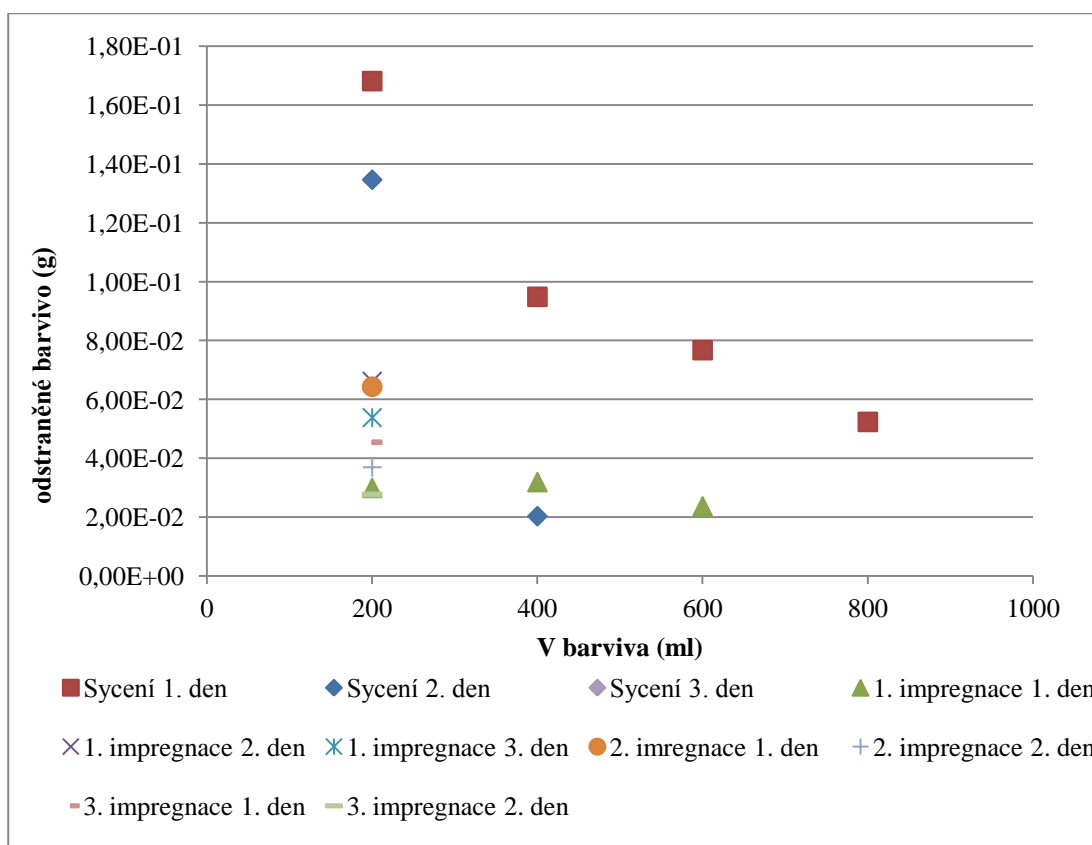
**Tabulka 9** První impregnace tenzidem, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1102	6.43E-02
	200	0.1472	1.87E-02
	200	0.1689	8.02E-03
2. impregnace 2. den	200	0.1324	3.69E-02
	200	0.1425	2.45E-02
	200	0.1597	3.31E-03
	200	0.1614	1.22E-03
2. impregnace 3. den	200	0.1479	1.78E-02

**Tabulka 10** Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
3. impregnace 1. den	200	0.1255	4.54E-02
	200	0.1455	2.08E-02
	200	0.1542	1.01E-02
	200	0.1598	3.19E-03
3. impregnace 2. den	200	0.1399	2.77E-02

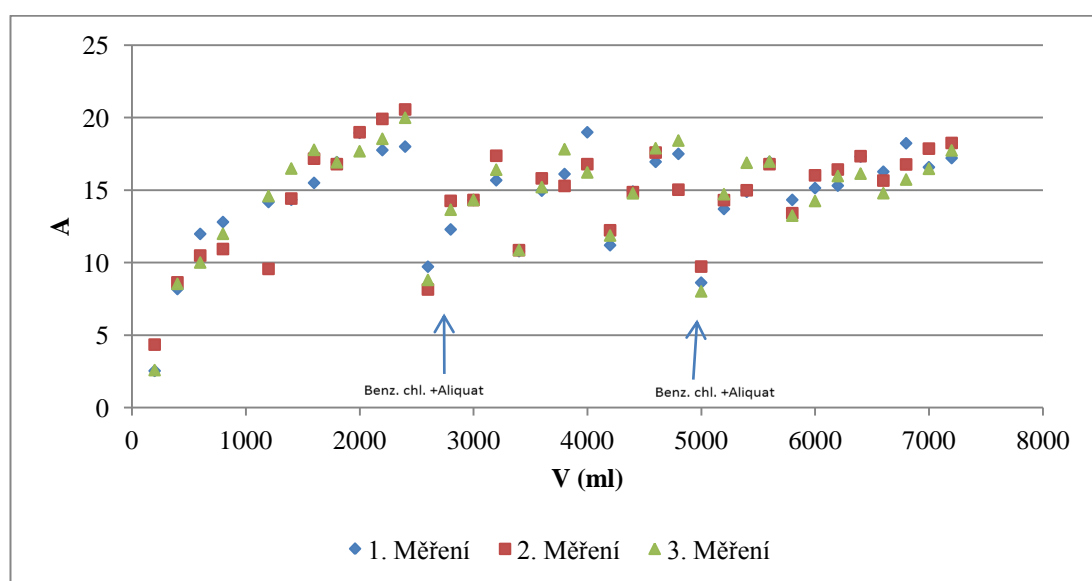
**Tabulka 11** Třetí impregnace tenzidem, druhé opakování



**Graf 5** Separační účinnost pro tabulky 9-11

	promývací voda			tenzid		
	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]
1. sycení	0,0047	0,47	1,94E-01	0,0022	0,22	9,87E-01
2. sycení	0,002	0,2	1,98E-01	0,004	0,04	2,00E-01
3. sycení	0,0038	0,38	1,95E-01			

**Tabulka 12** Absorbance promývací vody a tenzidu



**Graf 6** Souhrn naměřených dat pro Mordant Blue 9 v koloně

### 3.2. Mordant Blue 9 v kádince

Počáteční koncentrace a absorbance byla stejná jako v předchozím postupu. Sorpční kapacita výchozího uhlí byla 0,192g. Hodnoty absorbancí a množství odstraněného barviva jsou uvedeny v tabulce číslo 13.

V tabulkách 14 a 15 jsou shrnuty výsledky jednotlivých měření s použitím tenzidů. Grafickému zpracování experimentů odpovídá graf 7.

Stejně jako v předchozím případě a pro lepší interpretaci výsledků byl celý experiment dvakrát zopakován. Příslušné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 16-22.

Separční účinnost pro tabulky 17 a 18 nalezneme v grafu 8.

Graf 9 obsahuje informace o separční účinnosti pro tabulky 20 až 22.

Tabulka 23 vykazuje data o absorbanci promývací vody a tenzidu.

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0873	9.25E-02
	200	0.1312	3.84E-02
	200	0.1413	2.60E-02
	200	0.1678	6.64E-03
Sycení 2. den	200	0.1252	4.58E-02
	200	0.1421	2.50E-02
	200	0.1501	1.52E-02
	200	0.1566	7.15E-03
Sycení 3. den	200	0.1627	3.60E-04
	200	0.1454	2.10E-02
	200	0.158	5.43E-03

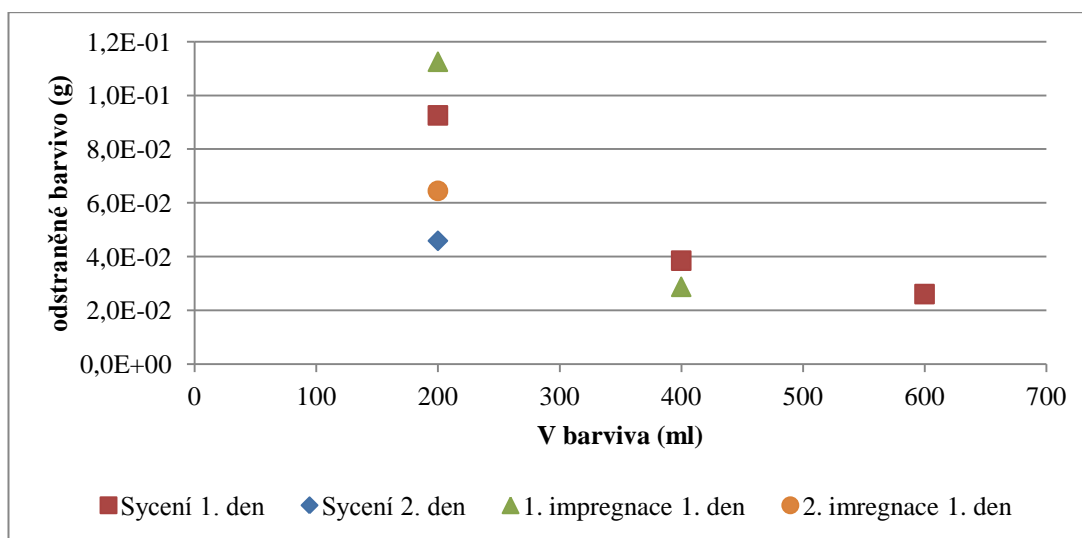
Tabulka 13 Sycení barvivem bez tenzidu

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
1. impregnace 1. den	200	0.0711	1.12E-01
	200	0.1391	2.87E-02
	200	0.1535	1.10E-02
	200	0.1627	3.60E-04
1. impregnace 2. den	200	0.1618	7.49E-04
	200	0.1686	7.63E-03
1. impregnace 3. den	200	0.1638	1.71E-03

Tabulka 14 První impregnace tenzidem

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
2. impregnace 1. den	200	0.1101	6.44E-02
	200	0.1504	1.48E-02
2. impregnace 2. den	200	0.165	3.19E-03
2. impregnace 3. den	200	0.1698	9.11E-03

Tabulka 15 Druhá impregnace tenzidem



Graf 7 Separační účinnost pro tabulky 13-14

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
Sycení 1. den	200	0.0959	8.19E-02
	200	0.1477	1.81E-02
	200	0.1362	3.23E-02
	200	0.1766	1.75E-02
Sycení 2. den	200	0.1428	2.41E-02
	200	0.1601	2.82E-03
	200	0.1609	1.83E-03
	200	0.1651	3.34E-03
Sycení 3. den	200	0.1513	1.37E-02
	200	0.1413	2.60E-02
	200	0.1553	8.73E-03
	200	0.1853	2.82E-02
	200	0.1819	2.40E-02

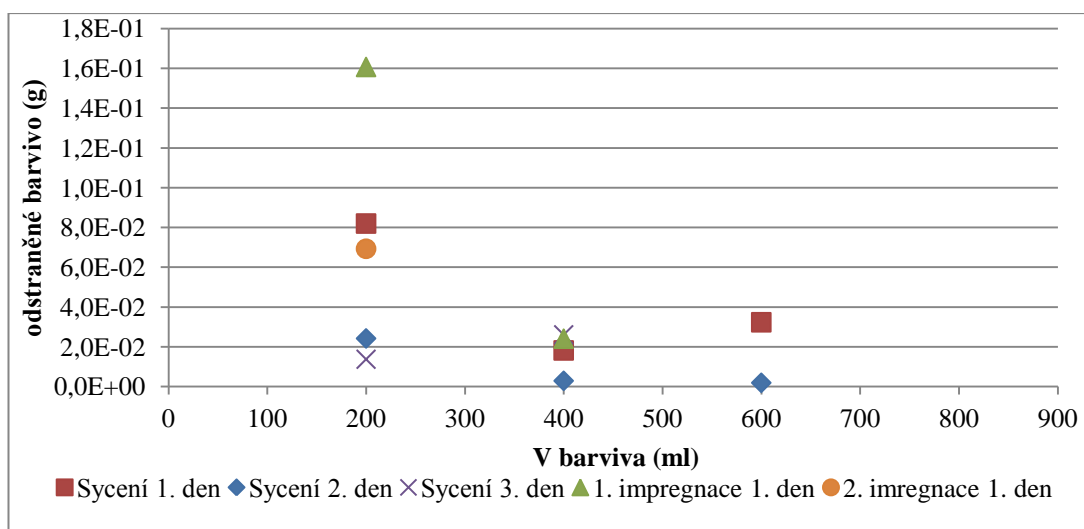
**Tabulka 16** Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.032	1.61E-01
	200	0.1429	2.40E-02
	200	0.1533	1.12E-02
	200	0.1632	1.00E-03
1. impregnace 2. den	200	0.1656	3.96E-03
1. impregnace 3. den	200	0.1672	5.93E-03

**Tabulka 17** První impregnace tenzidem, první opakování

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
2. impregnace 1. den	200	0.1062	6.92E-02
	200	0.1553	8.73E-03
2. impregnace 2. den	200	0.1637	1.62E-03
2. impregnace 3. den	200	0.1635	1.37E-03

**Tabulka 18** Druhá impregnace tenzidem, první opakování



**Graf 8** Separační účinnost pro tabulky 16-17

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0874	9.24E-02
	200	0.1399	2.77E-02
	200	0.1432	2.36E-02
	200	0.1666	5.19E-03
Sycení 2. den	200	0.1358	3.28E-02
	200	0.1432	2.36E-02
	200	0.1652	3.46E-03
	200	0.1698	9.13E-03
Sycení 3. den	200	0.1628	5.08E-04
	200	0.1569	6.76E-03
	200	0.1857	2.87E-02
	200	0.1917	3.61E-02

**Tabulka 19** Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.0487	1.40E-01
	200	0.1387	2.92E-02
	200	0.1487	1.69E-02
	200	0.1598	3.19E-03
1. impregnace 2. den	200	0.1698	9.13E-03
1. impregnace 3. den	200	0.1697	9.01E-03

**Tabulka 20** První impregnace tenzidem, druhé opakování

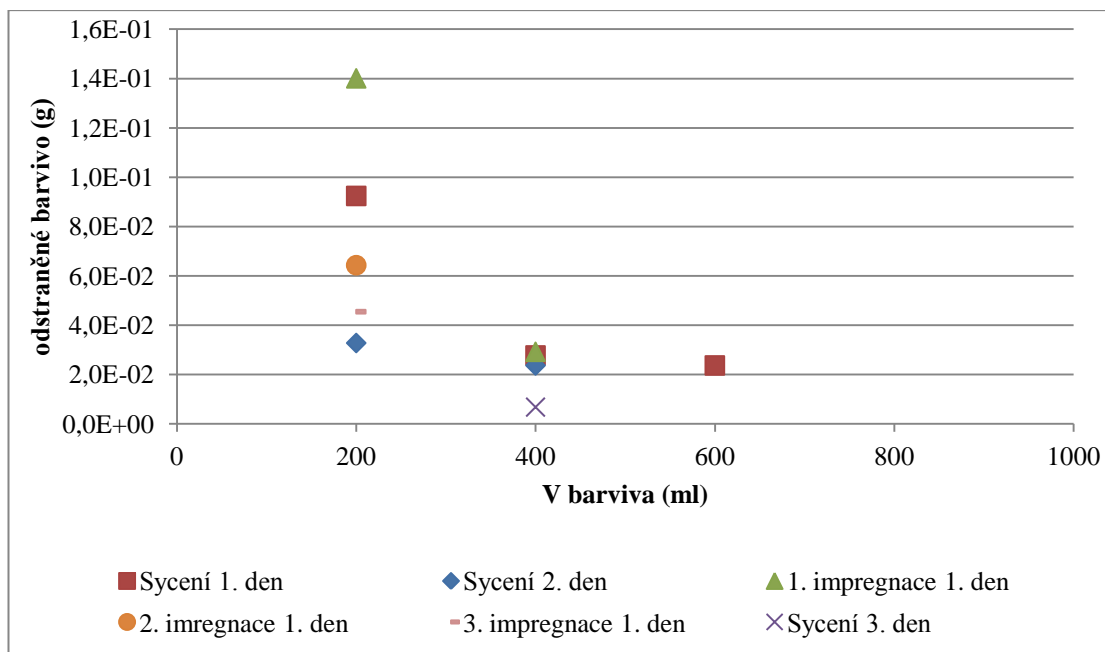
	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1102	6.43E-02
	200	0.1578	5.65E-03
2. impregnace 2. den	200	0.1619	6.01E-04
2. impregnace 3. den	200	0.1598	3.19E-03

**Tabulka 21** Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
3. impregnace 1. den	200	0.1255	4.54E-02
	200	0.1585	4.79E-03
3. impregnace 2. den	200	0.1632	1.00E-03
3. impregnace 3. den	200	0.1649	3.09E-03

**Tabulka 22** Třetí impregnace tenzidem, druhé opakování





Graf 9 Separační účinnost pro tabulky 19-21

	promývací voda			tenzid		
	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]
1. sycení	0,0021	0,21	1,97E-01	0,0002	0,02	2,00E-01
2. sycení	0,0033	0,33	1,96E-01	0,0033	0,33	1,96E-01
3. sycení	0,0062	0,62	1,92E-01			

Tabulka 23 Absorbance promývací vody a tenzidu

### 3.3. Acid Yellow 17 v koloně

Koncentrace používaného roztoku byla 1mM a absorbance 17,54. Sorpční kapacita výchozího uhlí byla 0,77g. Stejně jako pro barvivo Mordant Blue 9 jsou jednotlivé výsledky uvedeny v příslušných tabulkách. Tabulky 25 a 26 jsou graficky zpracovány v grafu 10.

Celý experiment by pro lepší interpretaci výsledků dvakrát zopakován, hodnoty jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulkách 27-33.

Separační účinnost pro tabulky 28 a 29 nalezneme v grafu 11.

Graf 12 obsahuje informace o separační účinnosti pro tabulky 31 až 33.

Tabulka 34 vykazuje data o absorbanci promývací vody a tenzidu.

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0133	1.89E-01
	200	0.0834	1.34E-01
	200	0.0722	1.42E-01
	200	0.1412	8.75E-02
Sycení 2. den	200	0.0569	1.55E-01
	200	0.1181	1.06E-01
	200	0.1387	8.95E-02
	200	0.1863	5.15E-02
Sycení 3. den	200	0.1602	7.23E-02
	200	0.18	5.66E-02
	200	0.1897	4.88E-02
	200	0.19	4.86E-02

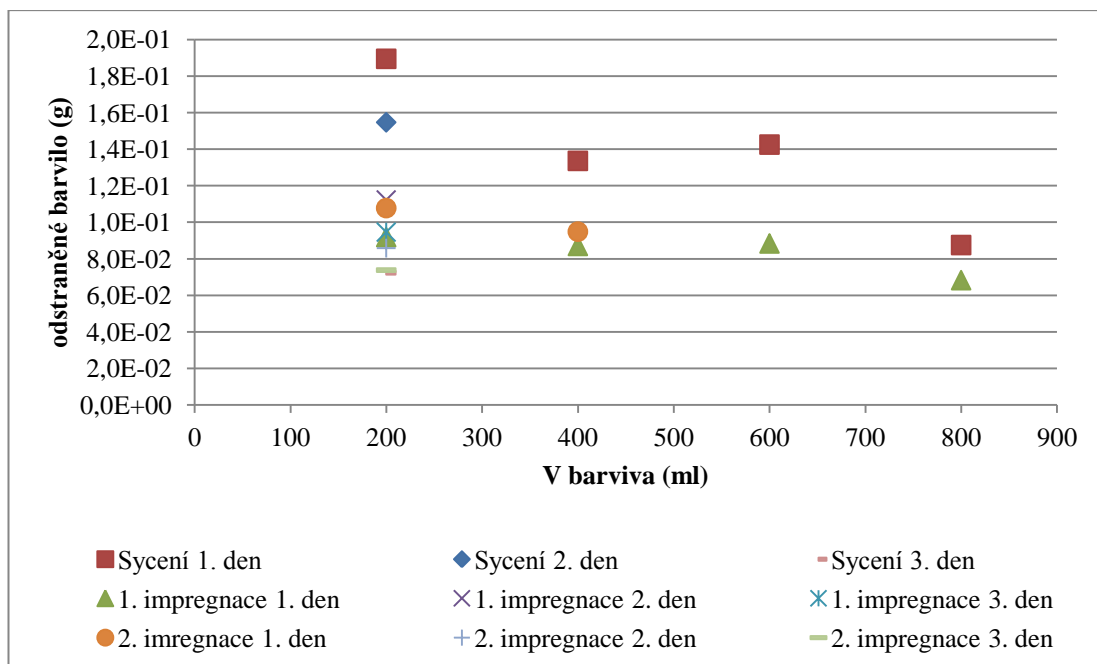
**Tabulka 24** Sycení barvívem bez tenzidu

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.1357	9.19E-02
	200	0.1418	8.70E-02
	200	0.1401	8.84E-02
	200	0.1653	6.83E-02
1. impregnace 2. den	200	0.1102	1.12E-01
	200	0.1407	8.79E-02
	200	0.1745	6.09E-02
	200	0.1854	5.23E-02
1. impregnace 3. den	200	0.1323	9.46E-02
	200	0.1836	5.37E-02
	200	0.1942	4.52E-02
	200	0.2096	3.30E-02

**Tabulka 25** První impregnace tenzidem

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1158	1.08E-01
	200	0.132	9.48E-02
	200	0.1666	6.72E-02
	200	0.1755	6.01E-02
2. impregnace 2. den	200	0.1433	8.58E-02
	200	0.1573	7.47E-02
	200	0.1793	5.71E-02
	200	0.1793	5.71E-02
2. impregnace 3. den	200	0.1584	7.38E-02
	200	0.1768	5.91E-02
	200	0.1968	4.32E-02
	200	0.2098	3.28E-02

**Tabulka 26** Druhá impregnace tenzidem



Graf 10 Separační účinnost pro tabulky 23-24

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0435	1.65E-01
	200	0.0864	1.31E-01
	200	0.1049	1.17E-01
	200	0.1494	8.11E-02
Sycení 2. den	200	0.0648	1.49E-01
	200	0.0957	1.24E-01
	200	0.1442	8.52E-02
	200	0.1817	5.53E-02
Sycení 3. den	200	0.1679	6.63E-02
	200	0.1899	4.88E-02
	200	0.1791	5.74E-02
	200	0.1756	6.02E-02
	200	0.1987	4.18E-02
	200	0.257	4.68E-03
	200	0.2678	1.33E-02

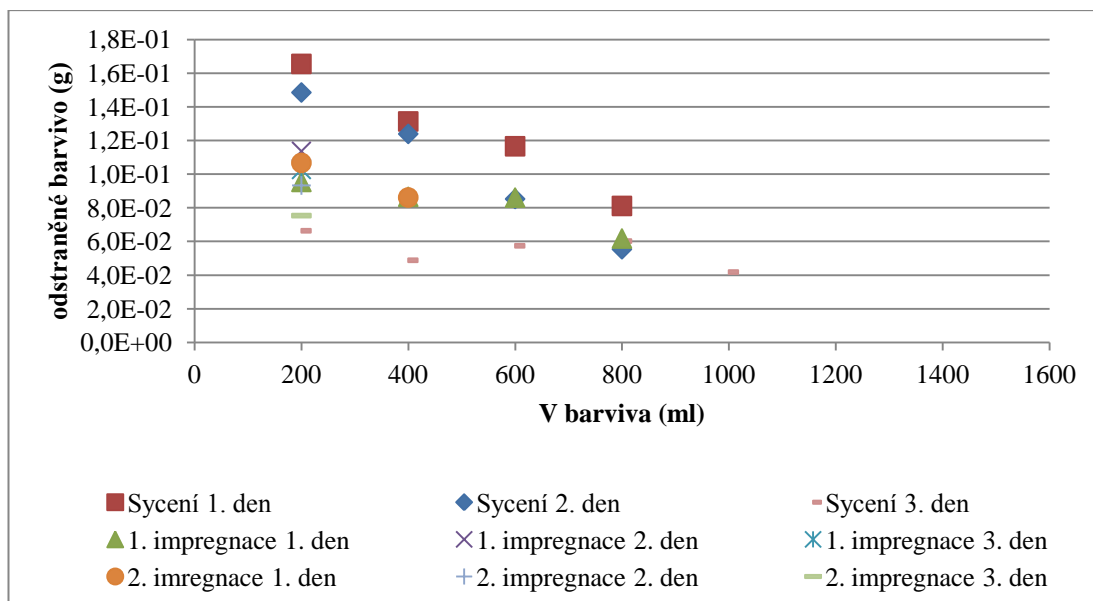
Tabulka 27 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.1315	9.53E-02
	200	0.1426	8.65E-02
	200	0.1432	8.60E-02
	200	0.1737	6.17E-02
1. impregnace 2. den	200	0.1086	1.14E-01
	200	0.1381	9.01E-02
	200	0.1729	6.24E-02
	200	0.1879	5.04E-02
1. impregnace 3. den	200	0.1223	1.03E-01
	200	0.1786	5.78E-02
	200	0.1859	5.20E-02
	200	0.2003	4.05E-02

**Tabulka 28** První impregnace tenzidem, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1173	1.07E-01
	200	0.1431	8.61E-02
	200	0.1599	7.27E-02
	200	0.2079	3.45E-02
2. impregnace 2. den	200	0.1341	9.33E-02
	200	0.1602	7.25E-02
	200	0.1792	5.73E-02
	200	0.1834	5.40E-02
2. impregnace 3. den	200	0.1566	7.53E-02
	200	0.1777	5.85E-02
	200	0.1986	4.19E-02
	200	0.2125	3.08E-02

**Tabulka 29** Druhá impregnace tenzidem, první opakování



Graf 11 Separiční účinnost pro tabulky 26-27

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0359	1.72E-01
	200	0.0754	1.40E-01
	200	0.0901	1.28E-01
	200	0.1449	8.47E-02
Sycení 2. den	200	0.0681	1.46E-01
	200	0.1159	1.08E-01
	200	0.1349	9.26E-02
	200	0.1868	5.13E-02
Sycení 3. den	200	0.1702	6.45E-02
	200	0.1808	5.61E-02
	200	0.1857	5.21E-02
	200	0.1917	4.74E-02
	200	0.2046	3.71E-02
	200	0.2573	4.91E-03
	200	0.2908	3.16E-02

Tabulka 30 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.1251	1.00E-01
	200	0.1365	9.14E-02
	200	0.1392	8.92E-02
	200	0.1701	6.46E-02
1. impregnace 2. den	200	0.1087	1.14E-01
	200	0.1331	9.41E-02
	200	0.1732	6.21E-02
	200	0.1832	5.41E-02
1. impregnace 3. den	200	0.1187	1.06E-01
	200	0.1798	5.69E-02
	200	0.1999	4.08E-02
	200	0.2142	2.94E-02

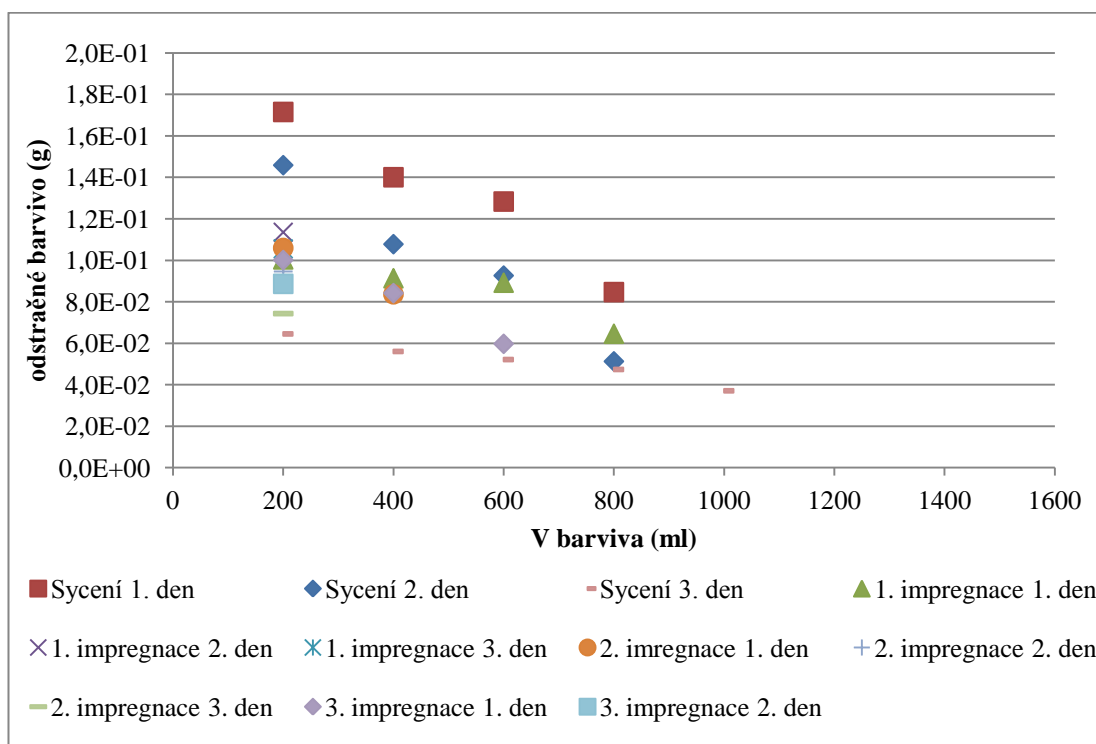
**Tabulka 31** První impregnace tenzidem, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1182	1.06E-01
	200	0.1462	8.36E-02
	200	0.1689	6.55E-02
	200	0.1997	4.10E-02
2. impregnace 2. den	200	0.1324	9.46E-02
	200	0.1605	7.22E-02
	200	0.1797	5.69E-02
	200	0.1914	4.76E-02
2. impregnace 3. den	200	0.1579	7.43E-02
	200	0.1793	5.72E-02
	200	0.1847	5.29E-02
	200	0.2254	2.05E-02

**Tabulka 32** Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
3. impregnace 1. den	200	0.1255	1.00E-01
	200	0.1455	8.42E-02
	200	0.1762	5.97E-02
	200	0.1898	4.89E-02
3. impregnace 2. den	200	0.1399	8.87E-02
	200	0.176	5.99E-02
	200	0.1899	4.88E-02
	200	0.1989	4.16E-02
3. impregnace 3. den	200	0.1701	6.46E-02

**Tabulka 33** Třetí impregnace tenzidem, druhé opakování

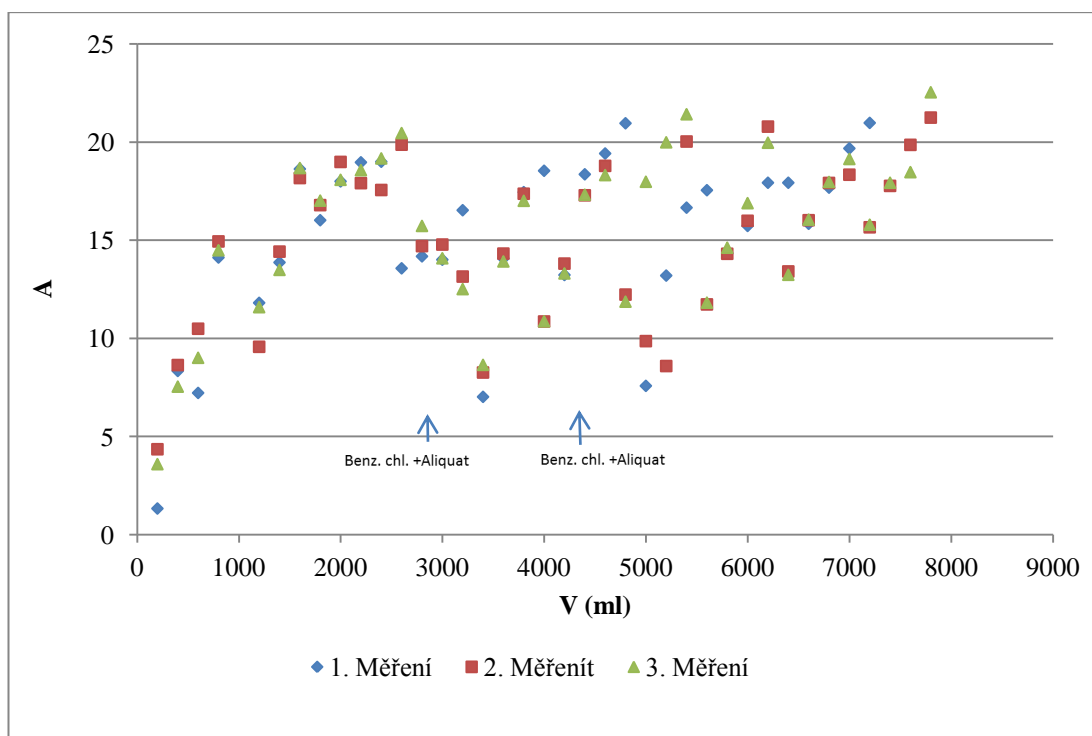


**Graf 12** Separační účinnost pro tabulky 29-31



	promývací voda			tenzid		
	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]
1. sycení	0,0092	0,92	1,93E-01	0,0038	0,38	1,97E-01
2. sycení	0,0029	0,29	1,98E-01	0,0026	0,26	1,98E-01
3. sycení	0,0035	0,35	1,97E-01			

**Tabulka 34** Absorbance promývací vody a tenzidu



**Graf 13** Souhrn naměřených dat pro Acid Yellow 17 v koloně

### 3.4. Acid Yellow 17 v kádince

Hodnoty absorbancí a množství odstraněného barvivavv získané při sycení jsou uvedeny v tabulce 35. Absorbance a množství odstraněného barviva pro první měření jsou shrnuty v tabulkách 36 a 37.

Graf 14 zobrazuje separační účinnost pro tabulky 36 a 37.

Celý experiment by pro lepší interpretaci výsledků dvakrát zopakován, hodnoty jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulkách 38-44.

Separací účinnost pro tabulky 39 a 40 nalezneme v grafu 15.

Graf 16 obsahuje informace o separační účinnosti pro tabulky 42 až 44.

Tabulka 45 vykazuje data o absorbanci promývací vody a tenzidu.

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
Sycení 1. den	200	0.0706	1.44E-01
	200	0.1476	8.24E-02
	200	0.1641	6.92E-02
	200	0.1815	5.54E-02
Sycení 2. den	200	0.1753	6.03E-02
	200	0.2148	2.88E-02
	200	0.1942	4.52E-02
	200	0.212	3.11E-02
Sycení 3. den	200	0.1942	4.52E-02

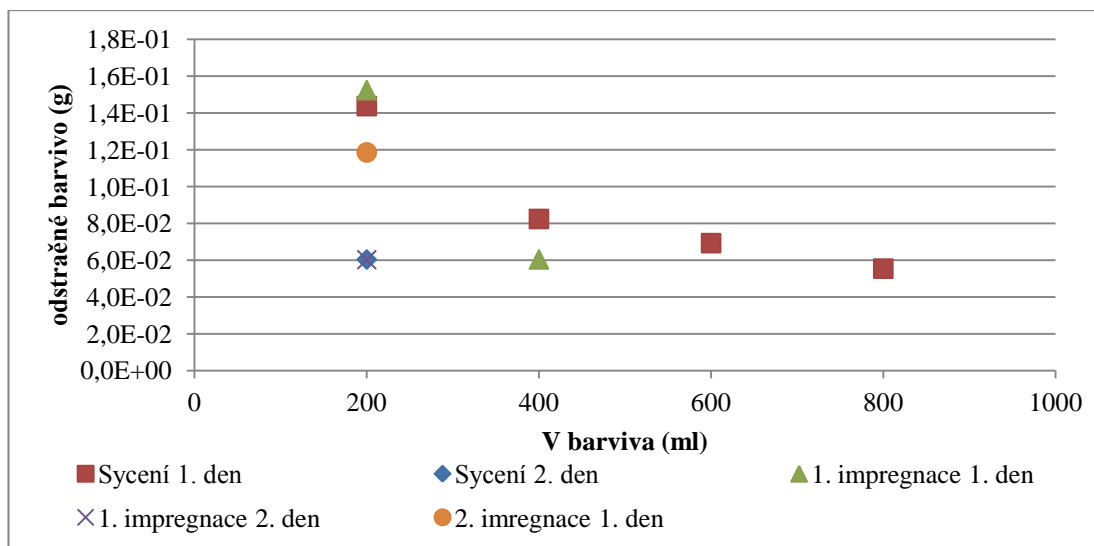
**Tabulka 35** Sycení barvivem bez tenzidu

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.0597	1.52E-01
	200	0.1752	6.04E-02
	200	0.2244	2.12E-02
	200	0.2132	3.01E-02
1. impregnace 2. den	200	0.1754	6.02E-02
	200	0.2312	1.58E-02
	200	0.2269	1.92E-02
	200	0.2126	3.06E-02
1. impregnace 3. den	200	0.2538	2.26E-03

**Tabulka 36** První impregnace tenzidem

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1022	1.19E-01
	200	0.2322	1.50E-02
	200	0.258	5.60E-03
	200	0.2721	1.68E-02
2. impregnace 2. den	200	0.2814	2.43E-02
	200	0.2815	2.43E-02

**Tabulka 37** Druhá impregnace tenzidem



Graf 14 Separační účinnost pro tabulky 33-34

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0629	1.50E-01
	200	0.1208	1.04E-01
	200	0.1548	7.68E-02
	200	0.1735	6.19E-02
Sycení 2. den	200	0.1751	6.06E-02
	200	0.2145	2.92E-02
	200	0.2143	2.94E-02
	200	0.2178	2.66E-02
Sycení 3. den	200	0.1946	4.51E-02
	200	0.2145	2.92E-02
	200	0.2418	7.44E-03
	200	0.257	4.68E-03
	200	0.2987	3.79E-02
	200	0.3001	3.90E-02

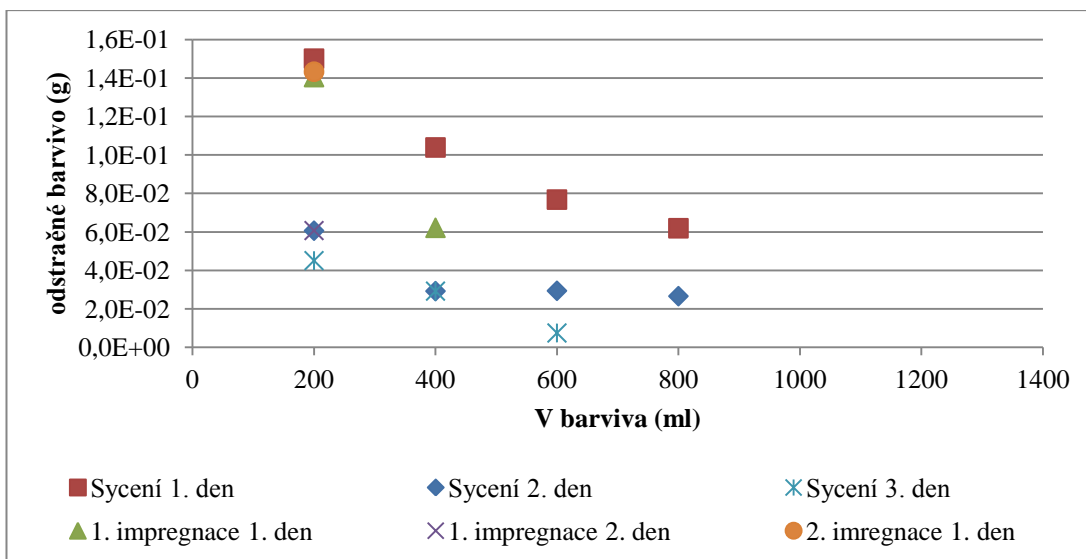
Tabulka 38 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.0749	1.40E-01
	200	0.1732	6.21E-02
	200	0.2475	2.90E-03
	200	0.2494	1.38E-03
1. impregnace 2. den	200	0.175	6.07E-02
	200	0.2274	1.89E-02
	200	0.2311	1.60E-02
	200	0.2349	1.29E-02
1. impregnace 3. den	200	0.24	8.87E-03

**Tabulka 39** První impregnace tenzidem, první opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.2347	1.43E-01
	200	0.2403	1.31E-02
	200	0.2533	8.63E-03
	200	0.2692	1.73E-03
2. impregnace 2. den	200	0.2899	1.44E-02
2. impregnace 3. den	200	0.2347	9.30E-03

**Tabulka 40** Druhá impregnace tenzidem, první opakování



Graf 15 Separační účinnost pro tabulky 36-37

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
Sycení 1. den	200	0.0708	1.44E-01
	200	0.1254	1.00E-01
	200	0.1535	7.78E-02
	200	0.1735	6.19E-02
Sycení 2. den	200	0.1754	6.04E-02
	200	0.214	2.96E-02
	200	0.2149	2.89E-02
	200	0.212	3.12E-02
Sycení 3. den	200	0.1998	4.09E-02
	200	0.2105	3.24E-02
	200	0.2099	3.29E-02
	200	0.2281	1.84E-02
	200	0.299	3.81E-02
	200	0.31	4.69E-02

Tabulka 41 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
1. impregnace 1. den	200	0.0581	1.54E-01
	200	0.1735	6.19E-02
	200	0.212	3.12E-02
	200	0.2231	2.23E-02
1. impregnace 2. den	200	0.1487	8.16E-02
	200	0.2331	1.44E-02
	200	0.2232	2.23E-02
	200	0.2332	1.43E-02
1. impregnace 3. den	200	0.2187	2.58E-02

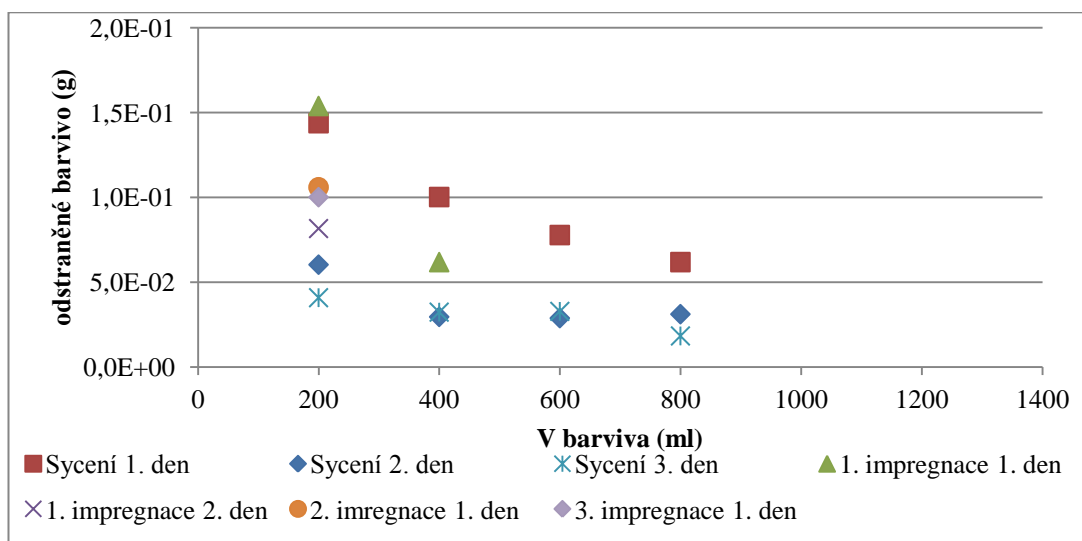
**Tabulka 42** První impregnace tenzidem, druhé opakování

	<b>V [ml] barviva</b>	<b>A</b>	<b>Odstraněné barvivo [g]</b>
2. impregnace 1. den	200	0.1182	1.06E-01
	200	0.2314	1.57E-02
	200	0.2498	1.06E-03
	200	0.278	2.14E-02
2. impregnace 2. den	200	0.2648	1.09E-02
		0.268	1.34E-02
2. impregnace 3. den	200	0.2579	5.39E-03

**Tabulka 43** Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování

	V [ml] barviva	A	Odstraněné barvivo [g]
3. impregnace 1. den	200	0.1255	1.00E-01
	200	0.1955	4.43E-02
	200	0.2162	2.78E-02
	200	0.2198	2.50E-02
3. impregnace 2. den	200	0.2208	2.42E-02
	200	0.2226	2.27E-02
	200	0.2489	1.78E-03
	200	0.2578	5.31E-03
3. impregnace 3. den	200	0.2591	6.35E-03
	200	0.2698	1.49E-02

Tabulka 44 Třetí impregnace, druhé opakování



Graf 16 Separační účinnost pro tabulky 39-41

	promývací voda			tenzid		
	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]	A naměřená	A ředění	odstraněné barvivo [g]
1. sycení	0,0092	0,92	1,93E-01	0,0038	0,38	1,97E-01
2. sycení	0,0029	0,29	1,98E-01	0,0026	0,26	1,98E-01
3. sycení	0,0035	0,35	1,97E-01			

Tabulka 45 Absorbance promývací vody a tenzidu



## 4. Diskuze

Výsledky, které jsou uvedené v předchozích kapitolách, patří jednotlivým měřením anebo jejich porovnání. V průběhu měření mé diplomové práce jsem dospěla k velmi zajímavým výsledkům. Při experimentu v kolonách a kádinkách byl potvrzen všeobecně známý fakt, že aktivní uhlí je výborný absorbent. Platilo to i pro barviva Mordant Blue 9 a Acid Yellow 17. Ze získaných výsledů vzorků byl znatelný úbytek barviva z roztoku.

Pro zjištění separační schopnosti vzorku jsem použila spektrofotometrické měření ve viditelné oblasti spektra, jehož pomocí jsem určila absorbanci kalibračních řad roztoku barviv po uplynutí reakční doby určené pro adsorpci.

Po přidání směsi tenzidů Benzalkonium chlorid/Aliquat 336 v molárním poměru 1:1 došlo podle předpokladu k navýšení sorpční schopnosti aktivního uhlí. Zjištěné výsledky mají i širší dopad a to především ekonomické. Benzalkonium chlorid i Aliquat 336 jsou běžně dostupné tenzidy, díky kterým se sníží spotřeba aktivního uhlí.

Experimenty byly prováděny na kolonách a v kádinkách. Při použití filtrace na koloně docházelo i přes promytí aktivního uhlí k občasnému ucpaní kolony, Reakční časy byly delší, to se mohlo projevit i ve výsledcích. Při použití směsi tenzidů někdy docházelo k pění. Pro jejich další použití bych doporučila pomalé a postupné dávkování.

Při experimentech v kádince se jako největší nevýhoda projevilo použití míchání. Vzhledem k množství použitého aktivního uhlí nebylo možné použít klasické magnetické míchadlo. Směs byla tedy míchána, jak bylo napsáno pouze tyčinkou v určitých časových intervalech. Proto nebylo možné zaručit, že se roztok barviva mohl rovnoměrně absorbovat na aktivní uhlí. Z tohoto důvodu pravděpodobně experimenty v kádince poskytovaly horší výsledky. V dalších experimentech už tento postup nebyl dále používán.

Po provedení veškerých měření, výpočtů a kompletaci dosažených výsledků jsem dospěla k závěru, že na aktivní uhlí se lépe sorbuje barvivo Mordant Blue 9 než barvivo Acid Yellow 17.

## 5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat základní charakteristiku aktivního uhlí a jeho využití při odstraňování složek nátěrových hmot z modelových odpadních vod. Byla otestována adsorpční schopnost samotného aktivního uhlí a aktivního uhlí impregnovaného tenzidem.

Pomocí adsorpce aktivního uhlí lze odstranit organické látky syntetického i přírodního původu, včetně mikropolutantů. Napomáhá zlepšit organoleptické vlastnosti vody (odstranění látek ovlivňující pach a chuť vody). Odstraňuje z vody těžké kovy.

Dále byla tato práce věnována barvivům. Obecně jsou barviva charakteristická svou schopností absorbovat viditelné elektromagnetické záření ve vlnovém rozsahu 380 – 780nm. Více bylo rozebráno použití azobarviv, jako nejhojnějších organických barviv a reaktivních barviv, které spadají ve velké míře do skupiny azobarviv (reaktivní azobarviva představují 80% všech vyráběných reaktivních barviv).

Poslední část teoretické kapitoly byla tvořena informacemi o tenzidech. Tenzidy snižují mezifázovou energii soustavy, což se projevuje pěněním jejich roztoků.

V experimentální části bylo spektrofotometricky proměřeno sycení aktivního uhlí barvivem bez tenzidu a posléze po impregnaci tenzidu. Směsi Benzalkonium chloridu a Aliquatu 336 v molárním poměru 1:1 bylo využito jako tenzidu při odstraňování barviva Mordant Blue 9 a Acid Yellow 17.

Po vyhodnocení výsledků bylo usouzeno, že aktivní uhlí i směs tenzidů pomáhají k absorpci roztoku barviva tím i k odstraňování složek nátěrových hmot z modelových odpadních vod.

## 6. Seznam obrázku

Obrázek 1	Struktura aktivního uhlí [4]	14
Obrázek 2	Práškové aktivní uhlí [7]	17
Obrázek 3	Zrněné aktivní uhlí [7]	18
Obrázek 4	Granulované aktivní uhlí [7]	19
Obrázek 5	Schematické znázornění absorpční izotermy a některých termínů, pojících se s adsorpčními procesy [8]	20
Obrázek 6	Průběh Langmuirovy adsorpční izotermy [9]	21
Obrázek 7	Průběh Freudlichovy adsorpční izotermy [9]	22
Obrázek 8	Strukturní vzorec Mordant Blue 9 [12]	24
Obrázek 9	Strukturní vzorec Acid Yellow 17 [12]	24
Obrázek 10	Obecná struktura reaktivního barviva. [10]	25
Obrázek 11	Struktura reaktivního barviva. [13]	25
Obrázek 12	Struktura tenzidu [14]	26
Obrázek 13	Rozdělení tenzidů	26
Obrázek 14	Struktura kvartérní amoniové soli [14]	27
Obrázek 15	Princip působení tenzidu [14]	28
Obrázek 16	Strukturní vzorec benzalkonium chlorid 50%	29
Obrázek 17	Strukturní vzorec aliquat 336	29
Obrázek 18	Spektrofotometr UV VIS Cintra 10e	30
Obrázek 19	Aparatura pro sycení aktivního uhlí	31

## 7. Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty použitých barviv	33
Tabulka 2 Sycení barvivem bez tenzidu první den	36
Tabulka 3 První impregnace tenzidem	37
Tabulka 4 Druhá impregnace tenzidem	37
Tabulka 5 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování	38
Tabulka 6 První impregnace tenzidem, první opakování	39
Tabulka 7 Druhá impregnace tenzidem, první opakování	39
Tabulka 8 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování	40
Tabulka 9 První impregnace tenzidem, druhé opakování	41
Tabulka 10 Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování	41
Tabulka 11 Třetí impregnace tenzidem, druhé opakování	42
Tabulka 12 Absorbance promývací vody a tenzidu	43
Tabulka 13 Sycení barvivem bez tenzidu	44
Tabulka 14 První impregnace tenzidem	45
Tabulka 15 Druhá impregnace tenzidem	45
Tabulka 16 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování	46
Tabulka 17 První impregnace tenzidem, první opakování	46
Tabulka 18 Druhá impregnace tenzidem, první opakování	47
Tabulka 19 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování	47
Tabulka 20 První impregnace tenzidem, druhé opakování	48
Tabulka 21 Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování	48
Tabulka 22 Třetí impregnace tenzidem, druhé opakování	48
Tabulka 23 Absorbance promývací vody a tenzidu	49
Tabulka 24 Sycení barvivem bez tenzidu	50
Tabulka 25 První impregnace tenzidem	51
Tabulka 26 Druhá impregnace tenzidem	51
Tabulka 27 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování	52
Tabulka 28 První impregnace tenzidem, první opakování	53
Tabulka 29 Druhá impregnace tenzidem, první opakování	53
Tabulka 30 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování	54
Tabulka 31 První impregnace tenzidem, druhé opakování	55
Tabulka 32 Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování	55

Tabulka 33 Třetí impregnace tenzidem, druhé opakování	56
Tabulka 34 Absorbance promývací vody a tenzidu	57
Tabulka 35 Sycení barvivem bez tenzidu	58
Tabulka 36 První impregnace tenzidem	59
Tabulka 37 Druhá impregnace tenzidem	59
Tabulka 38 Sycení barvivem bez tenzidu, první opakování	60
Tabulka 39 První impregnace tenzidem, první opakování	61
Tabulka 40 Druhá impregnace tenzidem, první opakování	61
Tabulka 41 Sycení barvivem bez tenzidu, druhé opakování	62
Tabulka 42 První impregnace tenzidem, druhé opakování	63
Tabulka 43 Druhá impregnace tenzidem, druhé opakování	63
Tabulka 44 Třetí impregnace, druhé opakování	64
Tabulka 45 Absorbance promývací vody a tenzidu	64

## 8. Seznam grafů

Graf 1 Kalibrační křivka závislosti absorbance na koncentraci Mordant Blue 9	32
Graf 2 Kalibrační křivka závislosti absorbance na koncentraci Acid Yellow 17	32
Graf 3 Separační účinnost pro tabulky 3-4	38
Graf 4 Separační účinnost pro tabulky 6-7	40
Graf 5 Separační účinnost pro tabulky 9-11	42
Graf 6 Souhrn naměřených dat pro Mordant Blue 9 v koloně	43
Graf 7 Separační účinnost pro tabulky 13-14	45
Graf 8 Separační účinnost pro tabulky 16-17	47
Graf 9 Separační účinnost pro tabulky 19-21	49
Graf 10 Separační účinnost pro tabulky 23-24	52
Graf 11 Separační účinnost pro tabulky 26-27	54
Graf 12 Separační účinnost pro tabulky 29-31	56
Graf 13 Souhrn naměřených dat pro Acid Yellow 17 v koloně	57
Graf 14 Separační účinnost pro tabulky 33-34	60
Graf 15 Separační účinnost pro tabulky 36-37	62
Graf 16 Separační účinnost pro tabulky 39-41	64

## 9. Seznam použité literatury

- [1] CIAHOTNÝ, K. *Vlastnosti, výroba a použití uhlikatých sorbentů*. Praha : VŠCHT, 1995.
- [2] SMÍŠEK, Milan a ČERNÝ, Slavoj. *Aktivní uhlí*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1964.
- [3] KOPECKÝ, Jaroslav. *Aktivní uhlí – technologie pro úpravu pitných a bazénových vod*. místo neznámé : Vodní hospodářství, 2003. stránky 183-185. Sv. 7.
- [4] Health goods market. *Health goods market*. [Online] [Citace: 5. Duben 2018.] <http://www.healthgoods.com>.
- [5] MARSH, Harry a RODRIGUEZ-REINOSO, Francisco. *Activated carbon, 1st ed.* Boston : Elsevier, 2006. 00-804-4463-6.
- [6] Silcarbon aktivkohle. [Online] [Citace: 27.. březen 2018.] <http://www.silcarbon.cz/>.
- [7] Sand system. *Sand system*. [Online] [Citace: 4. duben 2018.] <http://www.sandsystem.cz>.
8. BULÁNEK, Roman. *Povrchové jevy na pevných látkách*. Univerzita Pardubice, 2014. 978-80-7395-908-1.
- [9] LÁZNIČKOVÁ, Alice a KUBÍČEK, Vladimír. *Základy fyzikální chemie*. Karolinum Press, 2014. 8024627914.
- [10] Obecná charakteristika barviv. [Online] [Citace: 3. 5 2019.] [https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/papa0159/ktol-vlastnostib\\_78763.pdf](https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/papa0159/ktol-vlastnostib_78763.pdf).
- [11] KOGAN, J. M. *Chemie barviv*. Praha : SNTL, 1960.
- [12] KIM, S., a další, PubChem Substance and Compound databases. *Nucleic Acids Research*. [Online] 2016. [Citace: 25. Duben 2018.] <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. D1202–D1213.
- [13] MARTINKOVÁ, Jana, WEIDLICH, Tomáš a MIKULÁŠEK, Petr. *Porovnání účinnosti srážení reaktivních azobarviv použitím iontové kapaliny a následná flokulace azobarviv s  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  s úpravou pH*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2019.
- [14] PEČ, Pavel, CVEK, Boris a DOLEŽELOVÁ, Marcela. *Elektronická učebnice*. [Online] 2014. <https://eluc.kr-olomoucky.cz/>.
- [15] ŠMIDRKAL, Jan. *Tenzidy a detergenty dnes*. Praha : VŠCHT, 1999, Chemické listy 93, stránky 421-427.

- [16] BLOCK S., Seymour. *Desinfection, Sterilization and Preservation*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
- [17] SURESH C, Ameta a RAKSHIT, Ameta. *Green Chemistry: Fundamentals and Applications*. Toronto : Apple Academic Press, 2013.
- [18] Watercooler system s.r.o. *Watercooler system s.r.o.* [Online] [Citace: 5. Duben 2018.] <http://www.w-system.cz>.