

# **Možnosti sorpce PVP na biologické kaly**

Bc. Stanislav Klívar

---

Diplomová práce  
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí  
akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav KLÍVAR**  
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**  
  
Téma práce: **Možnosti sorpce PVP na biologické kaly**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte literární rešerši ohledně sorpce PVP. Zaměřte se především na sorpci na biologické materiály, jako například biologický kal z městských čistíren odpadních vod.**
- 2. Výsledky literární rešerše kriticky zhodnoďte.**
- 3. Najděte vhodný sorbent z městské čistírny odpadních vod (aerobní aktivovaný kal respektive anaerobně stabilizovaný biologický kal) a zvolte optimální podmínky adsorpce.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Jako zdroj informací použijte počítačových databází (dle domluvy s vedoucím práce), např. Web of Science a další.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Josef Houser, Ph.D.**

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

Datum zadání diplomové práce:

**15. února 2010**

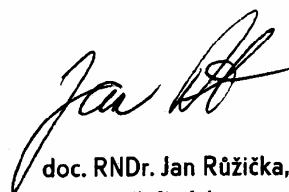
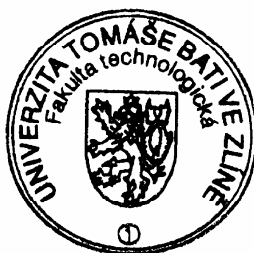
Termín odevzdání diplomové práce:

**14. května 2010**

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užijeli nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá sorpcí Polyvinylpyrrolidonu na biologický čistírenský kal. Sorpce byla prováděna s aerobním aktivovaným kalem z čistírny odpadních vod ve Zlíně Malenovicích a z čistírny odpadních vod z farmaceutické výroby antibiotik ze Slovenské Lupče.

Při zjišťování adsorpčních izoterem byla použita koncentrace PVP až do 5 000 mg.l<sup>-1</sup> se snahou zjistit maximální vysycení kalu jakožto sorbentu. Toto maximum se nepodařilo zjistit. Ve většině případů nelze sorpci na kal jednoznačně vyloučit.

Klíčová slova: Polyvinylpyrrolidon, PVP, sorpce, aktivovaný aerobní kal.

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the sorption of the polyvinylpyrrolidone to the biological sewage sludge. The sorption was carried out by the aerobic activated sludge from the sewage clarification plant in the city of Zlín-Malenovice and from the sewage clarification plant from the pharmaceutical production of antibiotics in the Slovak Lupča.

During the detection of adsorption isotherms was used the concentration of PVP up to 5000 mg.l<sup>-1</sup> with the attempt to determine the maximum desaturation of the sludge as a sorbent. It was not possible to identify this maximum. In most cases, it is impossible to except the sorption of the sludge clearly.

Keywords: Polyvinylpyrrolidone, PVP, sorption, aerobic activated sludge

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Houserovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady a věcné připomínky, které mi poskytoval v průběhu celé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat celému Ústavu inženýrství ochrany životního prostředí za vytvoření podmínek pro vypracování této diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 14.05. 2010

.....

podpis diplomanta

# **OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1. POLYVINYLPYRROLIDON (PVP)</b> .....	<b>12</b>
1.1 VÝROBA.....	14
1.2 VLASTNOSTI.....	16
1.3 POUŽITÍ.....	17
1.3.1 Farmaceutické využití.....	17
1.3.2 Využití v potravinářství.....	17
1.3.3 Kosmetika a toaletní potřeby.....	18
1.3.4 Další použití.....	18
1.4 STANOVENÍ PVP.....	19
1.5 BIOLOGICKÝ ROZKLAD PVP.....	20
<b>2. SORPCE</b> .....	<b>21</b>
2.1 ADSORPCE.....	21
2.2 SORPCE PVP NA JÍL.....	24
2.3 SORPCE NA KALY.....	24
2.3.1 Biologický kal.....	25
2.3.2 Charakteristika kalu.....	25
2.3.3 Složení kalu.....	25
<b>3. ZHODNOCENÍ LITERÁRNÍ REŠERŠE A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>26</b>
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>27</b>
<b>4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>28</b>
4.1 PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ.....	28
4.2 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE.....	28
4.3 PŘÍPRAVA STANDARDŮ, ROZTOKŮ A ČINIDEL.....	29



4.4	SORPČNÍ MATERIÁLY.....	32
4.4.1	Chezacarb S.....	32
4.4.2	Stíž Reo Sb.....	32
4.4.3	Aerobní aktivovaný kal - Malenovice.....	32
4.4.4	Aerobní aktivovaný kal - Slovenská Lupča.....	33
4.5	METODY STANOVENÍ.....	33
4.5.1	Měření pH.....	33
4.5.2	Stanovení dusíku a uhlíku.....	33
4.5.3	Stanovení PVP.....	34
4.5.4	Stanovení sušiny aerobního aktivovaného kalu.....	34
4.5.5	Stanovení sušiny PVP.....	35
4.5.6	Sorpce PVP na Chezacarb S.....	35
4.5.7	Sorpce PVP na Stíž Reo Fb.....	36
4.5.8	Sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....	36
<b>5.</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>37</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>61</b>

## ÚVOD

Polyvinylpyrrolidon (PVP) je ve vodě rozpustný polymer, který byl vyroben v roce 1939 v Německu profesorem Walterem Reppem. Vyskytuje se v celé řadě výrobků, např. tablety, šampóny, nápoje, lepidla apod. Pro jeho vynikající technologické vlastnosti a žádnou dosud zjištěnou toxicitu vůči lidskému organismu, našel široké uplatnění v medicíně, farmacii, kosmetice a průmyslové výrobě.

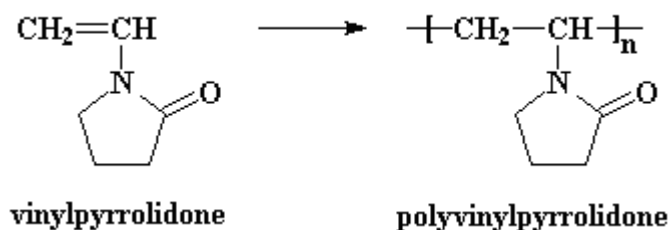
Protože nebyl výskyt PVP zatím podrobně zkoumán je otázkou, kam se tyto hojně využívané látky při jejich spotřebě ztrácejí a jaký mají případný dopad na životní prostředí. Jednou z možností je, že malá část PVP se sorbuje na biologické kaly v čistírnách odpadních vod. A zbytek PVP s největší pravděpodobností odtéká do moře, což by mohly potvrzovat testy toxicity prováděné na mořské ryby a řasy.

Tato diplomová práce se proto zabývá možnou sorpcí PVP na aerobní aktivovaný kal se snahou doplnit poznatky s biologickým čištěním PVP na městských čistírnách odpadních vod.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

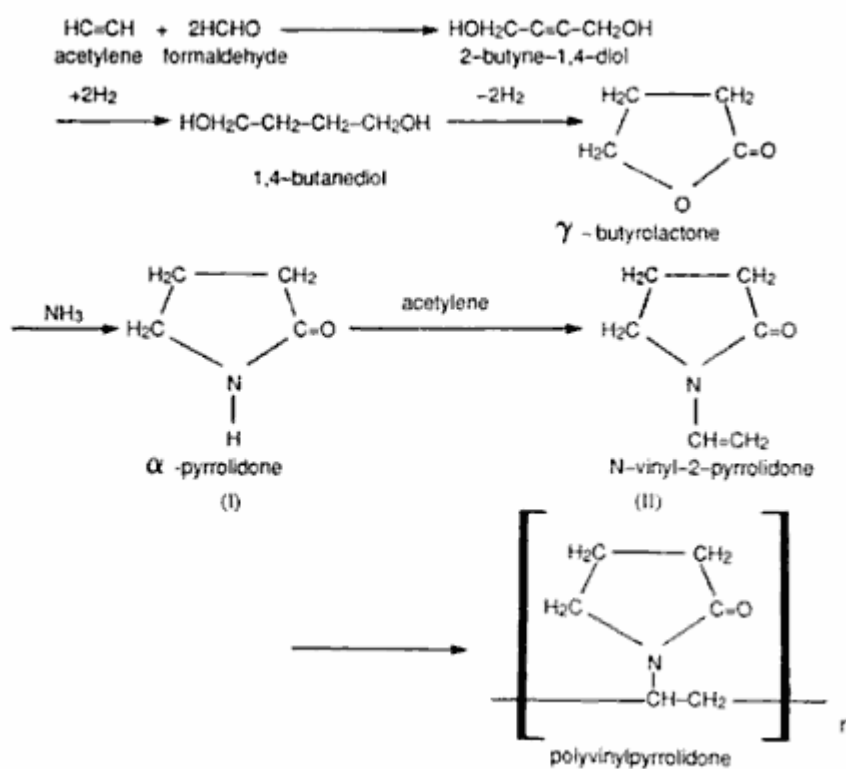
# 1. POLYVINYLPIRROLIDON (PVP) - $(C_6H_9NO)_N$

PVP je všeobecný název pro ve vodě rozpustný homopolymer z N-vinylového-2-pyrrolidonu (NVP). Je syntetizovaný přes radikální polymerizační reakci z vinylpyrrolidonového monomeru, pomocí iniciátoru AIBN [1].



Obr. 1. Schéma polymerace [2].

Jako první bylo PVP vyrobeno v roce 1930 v Německu, profesorem Walterem Reppem a jeho kolegy. Walter Reppe si ho nechal v roce 1939 patentovat jako jeden z nejzajímavějších derivátů acetylenové chemie na obr.2 [1].



Obr. 2. Reppeho syntéza Polyvinylpyrrolidonu [1].

PVP má mnoho názvů. Některé z nich byly používány jako „schválené názvy“ regulačními úřady v různých zemích. Stále však není obecná dohoda o jednotném názvu. Běžně používané názvy jsou:

polyvinylpyrrolidon

polyvidon

poly (N-vinyl-2-pyrrolidon)

poly (N-vinylbutyrolactam)

poly (1-vinyl-2pyrrolidon)

1-vinyl-2-pyrrolidon polymer

poly[1-(2-oxo-1-pyrolidinyl)ethylen]

Polyvinylpyrrolidon se prodává nejčastěji pod obchodním názvem Luvitec s označením K15, K17, K25, K30, K60, K90, nejuniverzálnější třídy jsou Luvitec K30 a Luvitec K90 [1].

#### *Rozpustné Polyvinylpyrrolidony*

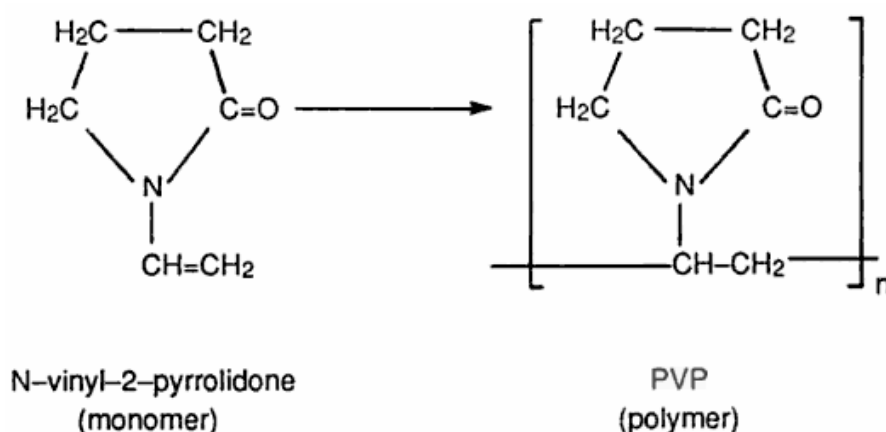
Pro Farmaceutické použití se prodává PVP pod obchodními názvy Kollidon, Povidone a Plasdone. Pro nefarmaceutické použití jsou to názvy, PVP, Peregral ST, Albigen A a Luviskol.

#### *Nerzpustné Polyvinylpyrrolidony*

Jsou známy jako PVPP a crospovidone. Jsou dodávány do farmaceutického průmyslu pod obchodními jmény Kollidon CL a Polyplasdone XL a do pivovarského a vinařského průmyslu pod označením Divergan respektive Polyclar [1,2].

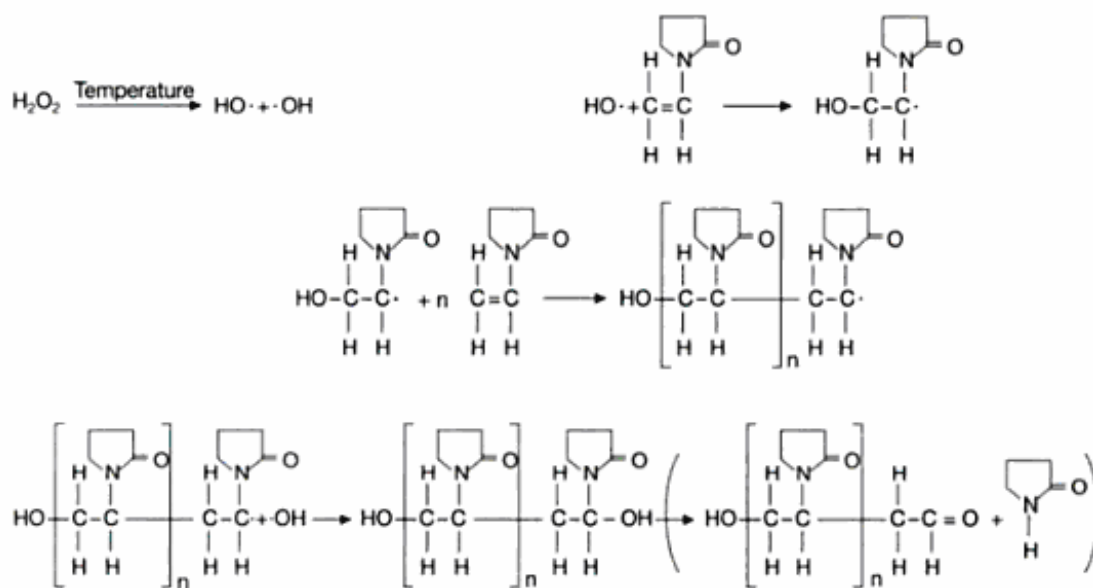
## 1.1 Výroba

Monomer N-vinyl-2-pyrrolidone se vyrábí z  $\alpha$ -pyrrolidonu s acetylenem za zvýšeného tlaku. Ten se radikálově polymeruje a vzniká polyvinylpyrrolidon. Zjednodušenou verzi polymerace si můžeme představit jako propojení nenasycených  $-CH=CH_2$  skupin s několika N-vinyl-2-pyrrolidonovými molekulami, aby vytvořily řetězec uhlíkových atomů, ke kterým jsou pyrrolidonové prstény připoutány skrz jejich dusíkové atomy [1]. Vztah mezi monomerem a polymerem je znázorněn na obr. 3, kde  $n$  je počet molekul N-vinyl-2-pyrrolidonu (monomeru), které se spojily, aby utvořily molekulu PVP (polymeru).

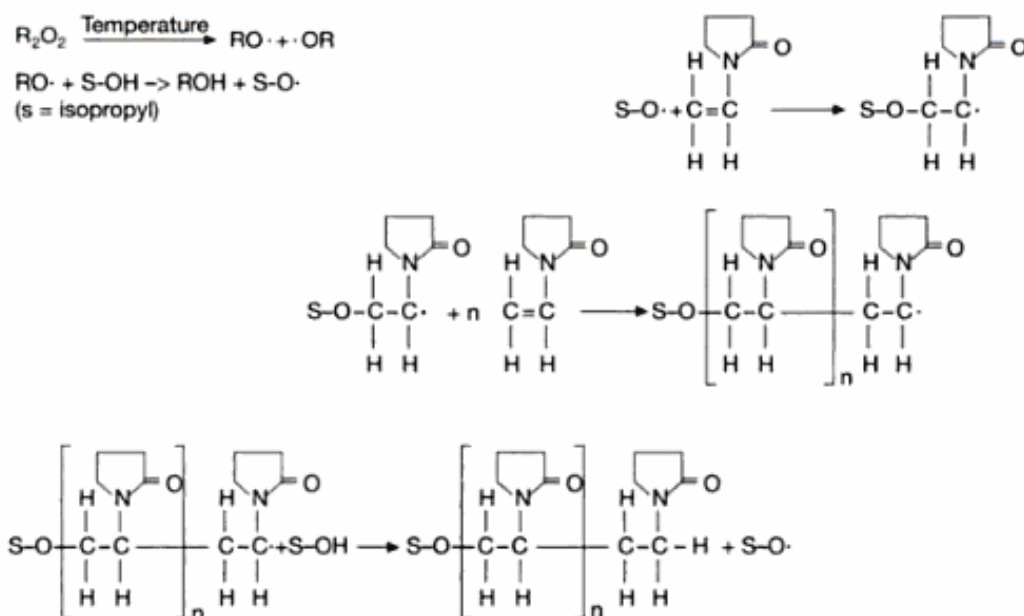


Obr. 3. Stupeň polymerace produktu [2].

Jsou dva základní postupy, které se nejčastěji používají pro polymeraci PVP. Polymerace se provádí buď ve vodě (obr. 4) nebo v 2-propanolu (obr. 5), jak popsal již roku 1949 Reppe. Obě tyto metody přinášejí polymery ve formě roztoků. Protože farmaceutický průmysl preferuje látky ve formě prášku je roztok sušen a distribuován [1,2].



Obr. 4. Mechanismus radikálové polymerace N-vinylpyrrolidonu ve vodě [2].



Obr.5. Mechanismus radikálové polymerace N-vinylpyrrolidonu ve 2-propanolu [2].

## 1.2 Vlastnosti PVP

*Tab. I. Obecné vlastnosti PVP [2].*

Molární hmotnost	2 500 - 1 200 000 g.mol <sup>-1</sup>
Teplota skelného přechodu	110 – 180 °C
Hustota	1,2 g.cm <sup>-3</sup>

PVP je bílý až krémově zbarvený neionogenní prášek bez zápachu. Je rozpustný ve vodě a jiných polárních rozpouštědlech (tab. II). Je také známý svou chemickou a biologickou netečností a velmi nízkou toxicitou. PVP je velmi stabilní v širokém rozsahu teplot a pH. Zasychá v podobě vločkovitého prášku, který snadno absorbuje atmosférickou vlhkost až do 40 % své hmotnosti. V roztoku má výtečné smáčivé vlastnosti a snadno tvoří film, proto je dobrý pro tvorbu povlaků na materiály, nebo jako přísada do nátěrových hmot [3,4].

*Tab. II. Rozpustnost PVP v organických rozpouštědlech [1].*

Rozpustná rozpouštědla	Alkoholy, aminy, estery, glycerol, glykol, chloroform, ketony, kyselina mravenčí, octová, propionová
Ner rozpustná rozpouštědla	Aceton, 2-butanon, étery, ketony, toluen, uhlovodíky, xylen,

PVP s označením K15, K17, K25 a K30 jsou ve formě bílého nebo nažloutlého prášku, s označením K60 a K90 jsou ve formě vodného roztoku [4,5].

PVP snáší teplotu kolem 100°C po dobu 16 h. V případě zvýšení teploty na 150°C se objevuje tmavnutí a ztráta rozpustnosti. V silně kyselých roztocích je PVP obvykle stálý, bez změny vzhledu nebo viskozity a to po dobu 2 měsíců při teplotě 24°C [1,2].



## 1.3 Použití

PVP má spoustu využití. Svůj „komerční úspěch“ získává z biologické snášenlivosti, nízké toxicity, komplexotvorné schopnosti, relativně inertního chování vůči solím a kyselinám a také ze své odolnosti vůči tepelné degradaci v roztoku.

Díky těmto různorodým vlastnostem má PVP široké využití v různých odvětvích průmyslu a to nejen ve farmaceutickém a potravinářském ale i v kosmetickém, fotografickém nebo při výrobě toaletních potřeb [1,3].

### 1.3.1 Farmaceutické využití

PVP je využíváno při přípravě antibiotik, hormonů, analgetik a také při léčbě očí. Protože je po zvlhčení vodou nebo spoustou rozpouštědel lepkavé je široce využíváno jako pojivo při výrobě tablet. Další možné využití je jeho komplex s jodem. Který se využívá jako desinfekční prostředek při předoperačním čištění, v antiseptických čističích na rány, nebo v antimikrobiálních mýdlech [1,2,4].

### 1.3.2 Využití v potravinářství

Světová zdravotnická organizace stanovila přijatelný denní příjem PVP na 0 – 50 mg.kg<sup>-1</sup> za den. PVP má spoustu využití v potravinách, např. jako pojivo pro vitamíny a umělá sladidla. Také se PVP využívá jako stabilizátor pro tekuté vitamínové a minerální koncentráty a zabraňuje krystalizaci tekutých syntetických sladidel.

Dále se používá jako rozpouštědlo pro potravinové barviva, při obalování čerstvého citrusového ovoce, nebo slouží jako komponent do balících materiálů, které jsou v kontaktu s potravinami. Využívá se také při výrobě piva, kdy váže pomocí vodíkových můstků fenolické látky obsažené v pivu. Setkáme se s ním v cukrovinkách, tabletkách, koncentrovaných

náhražkách cukru. Používá se jako stabilizátor barev (přídatná látka s označením E1201 a E1202), např. pro bílé víno, ovocné džusy a ocet.

### 1.3.3 Kosmetika a toaletní potřeby

PVP a jeho kopolymery se používají jako zahušťovací činidlo v kosmetickém průmyslu. Ty jsou obzvláště vhodné jako pomocná látka při čistění pleti, nebo barvení vlasů. Působí jako ztužovač v roztocích na vlasy a zlepšuje konzistenci šamponů a domácích saponátů. PVP se taky používá jako přídatek do zubní pasty.

### 1.3.4 Další použití

Poštovní známky a obálky (součást lepidla). Ve fotografické výrobě, v inkoustech do tiskáren, při výrobě plastů, kde se používá jako ochranný koloid a stabilizátor polymerace. Je také obsažen ve fyziologickém roztoku na kontaktní čočky. [1,3,5-6].

### Výhody PVP

- Nedráždí kůži ani oči
- Nemají žádné mutagenní účinky
- Nejsou toxické pro vodní organismy (testováno na lososa, mořské řasy a na mořské ryby, např. kambala)
- Nejsou nebezpečné při požití nebo vdechnutí

### Nevýhody PVP

Monomer PVP je karcinogenní a je velmi toxický pro vodní živočichy. Další nevýhodou PVP jsou možné zbytky hydrazinu a acetaldehydu [1,6].

### Hydrazin

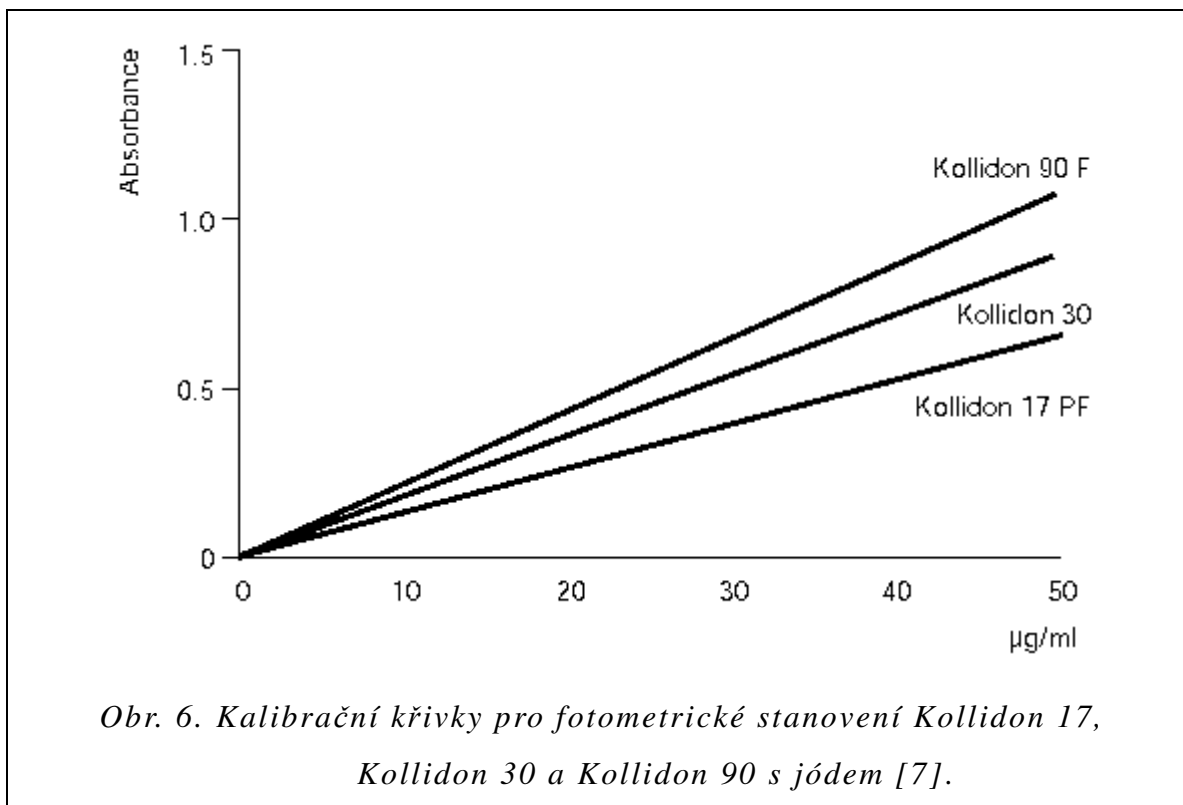
PVP může obsahovat stopy hydrazinu vzniklého z amoniaku ve výrobním procesu. Povolené množství hydrazinu v PVP bylo stanoveno na  $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , ale současné přítomné množství je mnohem menší.

### Acetaldehyd

Současné maximální množství acetaldehydu pro farmaceutický průmysl je stanoveno na 0,2 %. Normy pro nefarmaceutický průmysl udávají 0,4% acetaldehydu v PVP K15 resp. 0,14% v PVP K30 a 0,014% v PVP K90 [1,6].

## 1.4 Stanovení PVP

PVP stanovuje např. pomocí IČ spektroskopie, kdy vodný roztok PVP a 0,1N roztok jodidu draselného vytvoří hnědočervenou vločkovitou sraženinu, nebo přidavkem kyseliny chlorovodíkové a dichromanu draselného k roztoku PVP vznikne žlutooranžová sraženina .



Další metodou je fotometrie komplexu PVP s jodem, kdy je roztok smíchán s roztokem kyseliny citrónové. Poté se přidá roztok jodu v jodidu draselném. Po 10 minutách se změří absorbance při vlnové délce 470 nm. Problémem je, že s rostoucím stupněm polymerace značně roste koncentrační absorbanční koeficient jak je vidět na obr.6.

Méně využívanou metodou je stanovení pomocí kongo červeně, měření zákalu po přidavku kyseliny chloristé nebo stanovení pomocí hmotnostní spektroskopie MALDI-TOF-MS [7-9].

## 1.5 Biologický rozklad (čistění)

Jelikož se PVP biologicky nerozkládá, je nutná jeho předúprava, která spočívá v otevření laktamového kruhu.

*Předřazené oxidační procesy AOPs, založené na chemické oxidaci.*

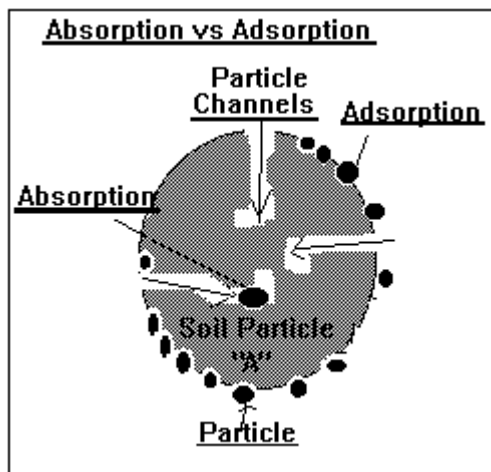
- Ozonem ( $O_3$ ),
- Ozon/peroxid vodíku ( $O_3/ H_2O_2$ ),
- Ozon / UV ( $O_3/UV$ ),
- UV/ $H_2O_2$ ,
- Fenton. činidlem ( $H_2O_2/Fe^{2+}/Fe^{3+}$ )

Tyto způsoby oxidace, můžou způsobovat pění kalu. Proto se od těchto metod upustilo a nejvíce se využívá:

- Preoxidace odpadních vod obsahující PVP a na odstranění PVP sorpcí na aktivním uhlí [8, 10].
- Fotodegradace pomocí UV/  $TiO_2$ , kdy prvním krokem fotodegradace s UV/  $TiO_2$  je adsorpce PVP na povrchu  $TiO_2$ . Dochází k vytváření OH nebo OOH radikálů, které způsobují rozštěpení vazby N-CH- a otevření laktamového kruhu [8, 11].

## 2. SORPCE

Komplexní proces, při němž dochází jak k adsorpci tak k absorpci, popř. i k chemické reakci nebo jinému vázání adsorbátu. Je to zachycování složky kapalně či plynné směsi (sorbátu) na povrchu tuhé fáze (sorbentu) vlivem buď chemických vazebných sil (chemisorpce), nebo sil nevazebné interakce (adsorpce) [12-13].



Obr. 7. Adsorpce vs. Absorpce [14].

### 2.1 Adsorpce

Adsorpce se používá především k oddělování složek obsažených v malé koncentraci v tekutinách (v plynech či kapalinách). Provádí se tak, že se uvede tekutina do styku se zrnitou pevnou fází, obvykle velmi porézní a jejím povrchem se složky tekutiny v rozličné míře adsorbují (obvykle v závislosti na molární hmotnosti nebo na polaritě). Pevná fáze se nazývá adsorbent, adsorbovaná složka adsorbát.

Adsorpcí na tuhých látkách (adsorbentech) lze z kapalin odstranit některé rozpuštěné látky (adsorbáty). Přidá-li se adsorbent k roztoku adsorbátu, dochází působením přitažlivých sil adsorbentu k hromadění molekul adsorbátu v tenké povrchové vrstvě kapaliny na povrchu adsorbentu, která je relativně nehybná vůči ostatnímu roztoku.

K adsorpci se využívají přírodní a syntetické materiály amorfní nebo mikrokryalické struktury. Je to např. aktivní uhlí, aktivní oxid hlinitý,

silikagel, molekulová síta (přírodní či syntetické hlinitokřemičitany s velmi pravidelnou strukturou velmi jemných pórů) a syntetické pryskyřice [12,15-16].

Adsorpční čištění vod se prosazuje stále více, zejména v případech, kdy biologické čištění není vhodné nebo je nedostačující. Speciální oblastí použití je odstraňování nízkých koncentrací nebezpečných kontaminantů. Jedna z výhod adsorpce spočívá v tom, že je možno dosáhnout při ustavení rovnováhy mezi koncentracemi dané látky v roztoku a na adsorbentu velice nízkých koncentrací právě v roztoku. Molekula, která se dostane do styku s povrchem adsorbentu, zde může být vázána fyzikálními silami (van der Waalovými) případně chemickými (chemisorpcí) [15-16]. Adsorpce je složitý děj, ovlivňovaný:

- charakterem adsorbované molekuly, tj. molekulovou hmotností, funkčními skupinami v molekule, postranními řetězci atd.;
- charakterem adsorbentu, způsobem jeho zpracování, velikostí a rozdělením velikosti pórů, velikostí částic adsorbentu;
- podmínkami děje jako např. teplotou, pH a dobou kontaktu [18].

### Typy adsorpce

- ***fyzikální adsorpce***

Je taková adsorpce, při níž jsou vázány molekuly plynu nebo kapaliny k povrchu pevné látky fyzikálními (van der Waalovými) silami, které působí mezi všemi druhy částic. Fyzikální adsorpce není proto specifická a probíhá na celém povrchu pevné látky. Na první na adsorbované vrstvě molekul může vznikat další vrstva (vícevrstvá adsorpce). Vlastní fyzikální adsorpce je velice rychlá.

- ***chemisorpce***

Je adsorpce, při níž mezi molekulami adsorbátu a molekulami povrchu adsorbentu vzniká chemická vazba. Protože vazba může vznikat jen mezi určitými molekulami, je chemisorpce velmi specifická. Vzhledem k tomu, že k vytvoření chemické vazby je třeba aktivační energie, probíhá chemisorpce často pouze na místech povrchu, která mají vyšší energii, na tzv. aktivních centrech. Při chemisorpci se může absorbovat na povrchu pouze jedna vrstva molekul. Vzniká-li při adsorpci více vrstev, jsou druhá a další vrstvy vázány už jen fyzikálními silami. Chemisorpce je ve srovnání s fyzikální adsorpcí pomalá, zvláště při nízkých teplotách [15-16,18].

### ***Adsorpce z roztoků na pevných látkách***

Na povrchu pevných látek, které jsou ve styku s roztokem, dochází jak k adsorpci rozpouštědla, tak i rozpuštěné látky. O adsorpci rozpuštěné látky v užším slova smyslu mluvíme tehdy, pokud je rozpuštěná látka mnohem více adsorbována než rozpouštědlo. Ke kvantitativnímu popisu se používají izotermy:

Freundlichova

$$a = k * c^{\frac{1}{n}}$$

Langmuirova

$$a = \frac{a_{\max} \cdot b \cdot c}{1 + b \cdot c}$$

Kde:

k, n,..... jsou parametry závislé na teplotě a charakteristické pro danou dvojici látek - rozpouštědlo, rozpuštěnou látku

c..... je rovnovážná koncentrace rozpuštěné látky

a..... je množství látky (adsorbátu) adsorbované jednotkovou hmotností adsorbentu

$a_{\max}$ ..... je maximální množství látky adsorbované jednotkovou hmotností adsorbentu

b..... je rovnovážná konstanta[15,18].

## 2.2 Sorpce PVP na jíl

Do 15 ml centrifugační zkumavky s víčkem se naváží 50mg jílu, poté se přidává určité množství vody s přídatkem PVP. Vzorek se poté dá do odstředivky na 4 hodiny při 10 000 ot. / min, načež se odstředěný roztok slije a suší se přes noc při 85 °C. Hmotnost nasorbovaného PVP se vypočítá jako rozdíl mezi hmotnostmi PVP přidáno do centrifugační zkumavky a hmotnost PVP zůstávající v roztoku po sorpční reakci [19].

## 2.3 Sorpce na kaly

Fang a kol. (2004) studovali adsorpci diethylftalátu (DEP) a dibutylftalátu (DBP) na aktivovaný kal z městské čistírny odpadních vod. Diethylftalát s rozpustností 1 100mg.l<sup>-1</sup> a dibutylftalát s rozpustností 11mg.l<sup>-1</sup>. Pro vyloučení biodegradačních procesů a pro potlačení mikrobiální aktivity kalu byl do suspenze (4,265 g.l<sup>-1</sup>) přidán azid sodný o koncentraci 1 000 mg.l<sup>-1</sup>. Veškeré testy byly prováděny po dobu 24 hodin za laboratorní teploty s koncentrací ftalátů od 0 do 10 mg.l<sup>-1</sup>. Účinnost adsorpce DEP na aktivovaný kal klesala s rostoucí počáteční koncentrací ftalátu a to ze 46,2 % na 24,5 %, naopak účinnost odstranění DBP byla pro všechny koncentrace ftalátu 99 %. Nejvyšší dosažená absorpční kapacita aktivovaného kalu byla 17,6 mg DBP na gram aktivovaného kalu a 0,73 mg na gram u DEP. Uvedené výsledky naznačují, že adsorpce ftalátů na aktivovaný kal roste s jejich hydrofobitou (DBP je hydrofobnější než DEP). Lze tedy říci, že aktivovaný kal je velmi silný sorbent DEP A DPB [20].

Adsorpce bisfenol-A (CAS 85-05-7), 17β-estradiolu (CAS 50-28-2) a 17α-ethinylestradiolu (CAS 57-63-6) na aktivovaný a inaktivovaný kal z čistíren odpadních vod (ČOV). Všechny látky prokázali vysokou adsorpční afinitu k adsorbentu a to i přes použití velmi vysoké počáteční koncentrace bez nasycení. Testy byly prováděny po 24h, s tím že nebyl rozdíl v adsorpci na aktivovaný, nebo inaktivovaný kal. Ukázala se závislost Adsopce na pH [18].



### 2.3.1 Biologický kal

Vedlejším produktem každé technologie čištění odpadních vod jsou odpadní kaly. Takto jsou označovány více či méně koncentrované vodné suspenze koloidních a zrnitých částic látek, jak organických, tak i minerálních. Obecnou vlastností kalů je také jejich schopnost vázat na svém povrchu (sorbovat) značné podíly nejrůznějších organických i anorganických látek [21].

### 2.3.2 Charakteristika kalů

Kaly představují přibližně 1 až 2 % objemu čištěných vod, je v nich však zkoncentrováno 50 až 80 % původního znečištění. Kaly představují suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původně přítomných v odpadních vodách a vzniklých při různých způsobech jejich čištění. Koncentrace kalů se vyjadřuje jako obsah sušiny kalu (vyjádřený buď v  $\text{g.l}^{-1}$  nebo v %). Složení a obsah sušiny kalu závisí především na charakteru znečištění odpadních vod a na čistírenských procesech, kterým byla daná odpadní voda podrobena (mechanické čištění, biologické čištění nebo jejich kombinace, fyzikálně-chemické čištění nebo dočištění a pod.) [22-23].

### 2.3.3 Složení kalu

Kal je suspenze pevných i koloidních částic organických a anorganických látek ve vodě. Kal obsahuje:

- netoxické organické látky, až 60 % v sušině a dále sloučeniny dusíku a fosforu
- toxické látky: těžké kovy: Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As (koncentrace 1 až 1 000  $\text{mg.l}^{-1}$ ),
- PCB, PAU, dioxiny, pesticidy, alkylsulfofenoly, polyfenoly
- mikroorganismy z čistírenského procesu a jiné včetně patogenních
- anorganické sloučeniny křemíku, hliníku, železa, vápníku, hořčíku, aj.
- vodu [22-23].

### 3. ZHODNOCENÍ LITERÁRNÍ REŠERŠE A CÍL PRÁCE

Cílem rešeršní části diplomové práce byla sorpce PVP na biologické kaly (aerobní). Ve všech dostupných databázích (Web of Science, Science direct aj.) nebyla nalezena jediná práce týkající se této problematiky. Jediným článkem zabývající se sorpcí PVP byla sorpce na jílu [19]. Cílem nebylo provádět rešerši všech možných látek na biologický kal. Pro ilustraci byla uvedena pouze práce adsorpce ftalátů na aktivovaný kal [20].

Z tohoto důvodu prakticky vzešlo zadání této diplomové práce. Jedná se tedy o základní výzkum. Protože pracoviště nedisponuje kapalinovým chromatografem s MS detekcí, nebylo možno počítat se stanovením PVP po separaci na gelové chromatografii s MS detekcí a byla zvolena neselektivní metoda sledování pomocí dusíku a uhlíku v PVP obsaženém. Pro testování metody stanovení celkového dusíku, celkového uhlíku a jodometrické metody a pro odzkoušení celého postupu byl jako adsorbent navržen polární Chezacarb S a nepolární Stříž Reo SB.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 4.1 Přístroje a zařízení

Analyzátor dusíku a uhlíku Formacs HT s podavačem, Skalar, Nizozemí.

Analytické váhy R 180 D. Sartorius AG, Göttingen, SRN.

Analytické váhy KERN 770, Gottl. Kern & Sohn GmbH, SRN

Centrifuga Rotanta 460 R, Hettich Zentrifugen, SRN.

Centrifuge type MPW 310, Poland

Spektrometr Unicam Helios Ypsilon, Unicam,

Autoburette ABU 12 (25,00 ml), Radiometer, Copenhagen.

Sušárna lab. UM200 , ČR

Ultrazvuk UC 405 AJ1, Tesla Vrabce, k.p.

### 4.2 Použité chemikálie

$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	monohydrát kyseliny citrónové p.a., Lachema a.s., Česká republika, Mr = 210,1388
$I_2$	jód, resublimovaný, Lachema a.s., Česká republika, Mr = 253,80894
KI p.a	jodid draselný Mr = 166,00277
$CH_3CONHC_6H_5$	acetanilid p.a. Lachema a.s., Česká republika. Mr = 135,1632
PVP K 15	polyvinylpyrrolidon (Mr ~ 10 000)
PVP K 30	polyvinylpyrrolidon (Mr ~ 40 000)

O <sub>2</sub>	kyslík 3,5 (čistoty 99,95%), M <sub>r</sub> = 31,9988
Syntetický vzduch	Syntetický vzduch uhlovodíků prostý, 20 % O <sub>2</sub> + 80 % = N <sub>2</sub> ., obsah C <sub>n</sub> H <sub>n</sub> a NO <sub>x</sub> nižší jak 0,1 ml.m <sup>-3</sup> , Linde technoplyn a.s., ČR.
Pufř – pH 4	pufř ftalátový pH 4, Ústav sér a očkovacích látek, Praha, ČR.
Pufř – pH 7	pufř fosfátový pH 7, Ústav sér a očkovacích látek, Praha, ČR.
Filtrační papír ze skelných vláken	papírna Pernštejn, Typ Z8, průměr: 50mm
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	uhličitan sodný, M <sub>r</sub> = 105,98844
NaHCO <sub>3</sub>	hydrogenuhlíčan sodný, M <sub>r</sub> = 84,00661

### 4.3 Příprava standardů, roztoků a činidel

#### 4.3.1 Zásobní roztok jodu v jodidu draselném

Navážka 0,40522 g I<sub>2</sub> a 0,72544g KI se utře ve třecí misce a poté se kvantitativně přenesse do 500 ml odměrné baňky a doplní se po rysku.

#### 4.3.2 Zásobní roztok kyseliny citrónové o koncentraci 0,2 mol.l<sup>-1</sup>

21,01388 g monohydrátu kyseliny citrónové se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 500ml v odměrné baňce.

#### 4.3.3 Zásobní roztok PVP K15 c = 500 mg.l<sup>-1</sup>

0,125 g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.4 Zásobní roztok PVP K30 koncentraci 500 mg.l<sup>-1</sup>**

0,125 g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.5 Zásobní roztok PVP K15 o koncentraci 1000 mg.l<sup>-1</sup>**

0,250g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.6 Zásobní roztok PVP K30 o koncentraci 1000 mg.l<sup>-1</sup>**

0,250g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.7 Zásobní roztok PVP K30 o koncentraci 2000 mg.l<sup>-1</sup>**

0,5g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.8 Zásobní roztok PVP K30 o koncentraci 4000 mg.l<sup>-1</sup>**

1g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.9 Zásobní roztok PVP K30 o koncentraci 6000 mg.l<sup>-1</sup>**

1,5g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.10 Zásobní roztok PVP K30 o koncentraci 8000 mg.l<sup>-1</sup>**

2g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

**4.3.11 Zásobní roztok PVP K30 o koncentraci 10000 mg.l<sup>-1</sup>**

2,5g se rozpustí v destilované vodě a doplní touto vodou na objem 250ml v odměrné baňce.

#### 4.3.12 Zásobní roztok acetanilidu o koncentraci 500 mg.l<sup>-1</sup>

Naváží se 2,41247 g acetanilidu vysušeného do konstantní hmotnosti a rozpustí se v demineralizované vodě. Poté se doplní touto vodou na objem 500 ml. Roztok obsahuje 100 mg.l<sup>-1</sup>N a 686 mg.l<sup>-1</sup>C

#### 4.3.13 Pracovní roztok acetanilidu (PR-Ac) o koncentraci 100 mg.l<sup>-1</sup>

Pracovní roztok se připraví ředěním zásobního roztoku acetanilidu, kdy se pipetuje 50ml tohoto zásobního roztoku do 250 ml odměrné baňky.

#### 4.3.14 Zásobní roztok uhličitanu a hydrogenuhličitanu sodného o koncentraci 1 000 mg.l<sup>-1</sup>

Naváží se 2,20613 g uhličitanu sodného a 1,74858 g hydrogenuhličitanu sodného vysušeného do konstantní hmotnosti se rozpustí v demineralizované vodě. Poté se doplní touto vodou na objem 500 ml

#### 4.3.15 Pracovní roztok anorganického uhlíku PR-IC koncentraci 100 mg.l<sup>-1</sup>

Pracovní roztok se připraví ředěním zásobního roztoku uhličitanu sodného a hydrogenuhličitanu sodného, kdy se pipetuje 25 ml tohoto zásobního roztoku do 250ml odměrné baňky.

#### 4.3.16 Kalibrační standardy acetanilidu

Připraví se ředěním pracovního roztoku acetanilidu vodou dle tab. III.

Tab. III.. Příprava standardů acetanilidu

Pipetáž „PR-Ac“ do 100ml OB [ml]	Teoretická koncentrace N [mg.l <sup>-1</sup> ]
1	1
2	2
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25
50	50

#### 4.3.17 Kalibrační standard uhličitanu sodného a hydrogenuhličitanu sodného

Připraví se ředěním pracovního roztoku uhličitanu sodného a hydrogenuhličitanu sodného vodou dle tab. IV.

Tab. IV. Příprava standardů uhličitanu a hydrogenuhličitanu sodného

Pipetáž „PR-IC“ do 100ml OB [ml]	Teoretická koncentrace IC [mg.l <sup>-1</sup> ]
1	1
10	10
25	25
40	40
50	50
75	75
100	100

## 4.4 Sorpční materiály

### 4.4.1 Chezacarb S

Sorbent na bázi uhlíku. Adsorpce z plynné fáze dle firemních materiálů pro dibutylftalát 3,7 – 4,5 ml.g<sup>-1</sup>, obsah popela max 1,7 %, sytná hmotnost max. 160 g.l<sup>-1</sup>, smáčivost maximálně 2 % hmotnostní. Výrobce: Unipetrol RPA s.r.o., Litvínov

### 4.4.2 Stříž Reo Fb (SRF050)

Sorbční materiál stříž Reo Fb (dříve FIBROIL) na bázi polymerů o složení: 55 % polypropylen + 35 % polyethylen + 10 % vápenec. Výrobce: REO Amos s.r.o., Ostrava.

### 4.4.3 Aerobní aktivovaný kal - Malenovice

Biologický aerobní aktivovaný kal z městské čistírny odpadních vod ve Zlíně - Malenovicích, byl zbaven hrubých nečistot filtrací přes nylonovou tkaninu, třikrát dekantován pitnou vodou. Předcházející adaptace



kalu nebyla prováděna. Před zahájením pokusů byla biomasa odstředěna při 4500 ot.min<sup>-1</sup> po dobu 5 minut, při teplotě 25°C. Po odstranění supernatantu (kalové vody) byla biomasa několikrát promyta pitnou vodou a poté suspendována v pitné vodě. Takto upravený kal byl provzdušňován a po stanovení sušiny odebírán k jednotlivým pokusům.

#### **4.4.4 Aerobní aktivovaný kal – Slovenská Lupča**

Aktivovaný aerobní kal z ČOV ve Slovenské Lupči, kde se vyrábí antibiotika (např. penicilin, streptomycin), aminokyseliny (threonin, lyzin,) a kyselina citrónová, byl zbaven hrubých nečistot filtrací přes nylonovou tkaninu a třikrát dekantován pitnou vodou. Před zahájením pokusů byla biomasa odstředěna při 4 500 ot.min<sup>-1</sup> po dobu 5 minut, při teplotě 25°C. Po odstranění supernatantu byla biomasa několikrát promyta, suspendována v pitné vodě a provzdušňována.

### **4.5 Metody stanovení**

#### **4.5.1 Měření pH**

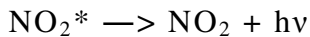
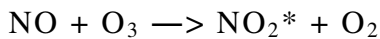
Použita kombinovaná elektroda (skleněná a argentchloridová referentní). Vždy před měřením provedena kalibrace pomocí tlumivých roztoků o pH = 4,01 a pH = 6,84. Korekce na teplotu během měření nebyla prováděna.

#### **4.5.2 Stanovení dusíku a uhlíku**

Stanovení vázaného dusíku a celkového organického uhlíku na přístroji Formacs HT s podavačem firmy Skalar.

Vzorek či standard rozpuštěný ve vodě se katalyticky spálí na oxid dusnatý respektive uhličitý. Oxid dusnatý v chemiluminiscenčním detektoru reaguje s ozonem na oxid dusičitý v excitovaném stavu, který se stabilizuje

vyzářením světelného kvanta. Toto světelné záření, při použití vhodného optického filtru, je registrováno a zesilováno vhodným fotonásobičem.



K dosažení nejlepší odezvy je nutno zvolit optimální průtoky a složení používaných plynů a optimalizovat teplotu pece. Teplota pece byla 950 °C, průtok syntetického vzduch 170 ml za minutu. Stejně podmínky platí jak pro stanovení dusíku, tak pro stanovení celkového uhlíku. Anorganický uhlík je převeden na oxid uhličitý, oxid uhličitý reaguje s 2 % kyselinou fosforečnou a od celkového uhlíku se odečítá. Oxid uhličitý se detekuje nedisperzním infračerveným detektorem.

#### 4.5.3 Stanovení PVP

Jedná se o fotometrickou metodu využívající vzniku komplexu PVP s jodem. Komplex je měřen při vlnové délce 470 nm, kdy 10 ml vzorku je smícháno s 5ml 0,2mol.l<sup>-1</sup> roztoku kyseliny citrónové, poté se přidají 2ml roztoku jodu (0,81 g jodu a 1,44 g jodidu draselného v 1l vody). Obsah PVP se stanoví z kalibrační přímky. Dle množství PVP v roztoku vzniká zabarvení od žluté po tmavě oranžové komplexu PVP s jodem.

#### 4.5.4 Stanovení sušiny aerobního kalu

Stanovení sušiny suspenze aerobního kalu bylo provedeno vakuovou filtrací přes předem vysušené (do konstantní hmotnosti), zvážené filtry (červená páska). Objem 3 x 10ml aerobního kalu byl přefiltrován přes filtr a vysušen do konstantní hmotnosti (2 – 3 hod. při 105°C). Koncentrace sušiny anaerobního kalu byla vyjádřena v g.l<sup>-1</sup>.

#### 4.5.5 Stanovení sušiny Polyvinylpyrrolidonu

Porcelánový kelímek byl vysušen do konstantní hmotnosti. Do kelímku bylo přidáno 100 mg PVP K30 a bylo 2h sušeno při 120°C v sušárně do konstantní hmotnosti. Poté se PVP opět zvažilo. Bylo zjištěno, že laboratorní PVP K30 obsahovalo kolem 5% vlhkosti.

#### 4.5.6 Sorpce PVP na Chezacarb S

Chezacarb S se nejprve smočil ve 25ml destilované vody, ke smočení došlo v kádince za stálého míchání pomocí míchadla, nebo popř. v děličce třepáním po dobu 10min. Poté se objem doplnil na 50ml, ředění dle koncentrace PVP (viz tab.V) a byl dán do ultrazvuku. Koncentrace vzorku je  $1\text{g.l}^{-1}$ . Po 30 minutách byl vzorek filtrován přes filtr ze skelného vlákna. Takto z filtrovaný vzorek byl analyzován na organický dusík a celkový uhlík na přístroji Formacs HT.

Skutečná navážka PVP K30 je 0,12624g a teoretická navážka je 0,125g do 100ml odměrné baňky. Koncentrace PVP je tedy  $500\text{mg.l}^{-1}$ . Hodnoty  $c_{\text{PVP}}$  – skutečné jsou vynásobeny podílem skutečné a teoretické navážky, tedy hodnotou 1,0099 ( $0,12624/0,125 = 1,0099$ )

Tab. V. Ředění vzorku na sorpci PVP s Chezacarbem S

Navážka Chezacarb S [g]	$c_{\text{PVP}}$ [mg/l] teoretická	$c_{\text{PVP}}$ [mg/l] skutečná	Objem PVP [ml]	Objem destilované H <sub>2</sub> O [ml]	Celkový objem [ml]
0,0549	0	0	0	50	50
0,0532	50	50,49	5	45	50
0,0528	100	100,99	10	40	50
0,0521	150	151,49	15	35	50
0,0501	200	201,98	20	30	50
0,0516	250	252,48	25	25	50
0,0512	300	302,97	30	20	50
0,0514	400	403,96	40	10	50
0,0536	500	504,95	50	0	50

#### 4.5.7 Sorpce PVP na stříž Reo Fb.

Cirka k 0,05 g stříže bylo přidáno 25ml destilované vody. Poté se přidával roztok PVP K30 o koncentraci  $500\text{mg.l}^{-1}$  a destilovaná voda aby celkový objem byl 50ml. Poté se tento vzorek nechal 30min. Po 30min byl vzorek odebírán do zkumavek a analyzován na přístroji Formacs HT.

#### 4.5.8 Sorpce PVP na aerobní kal

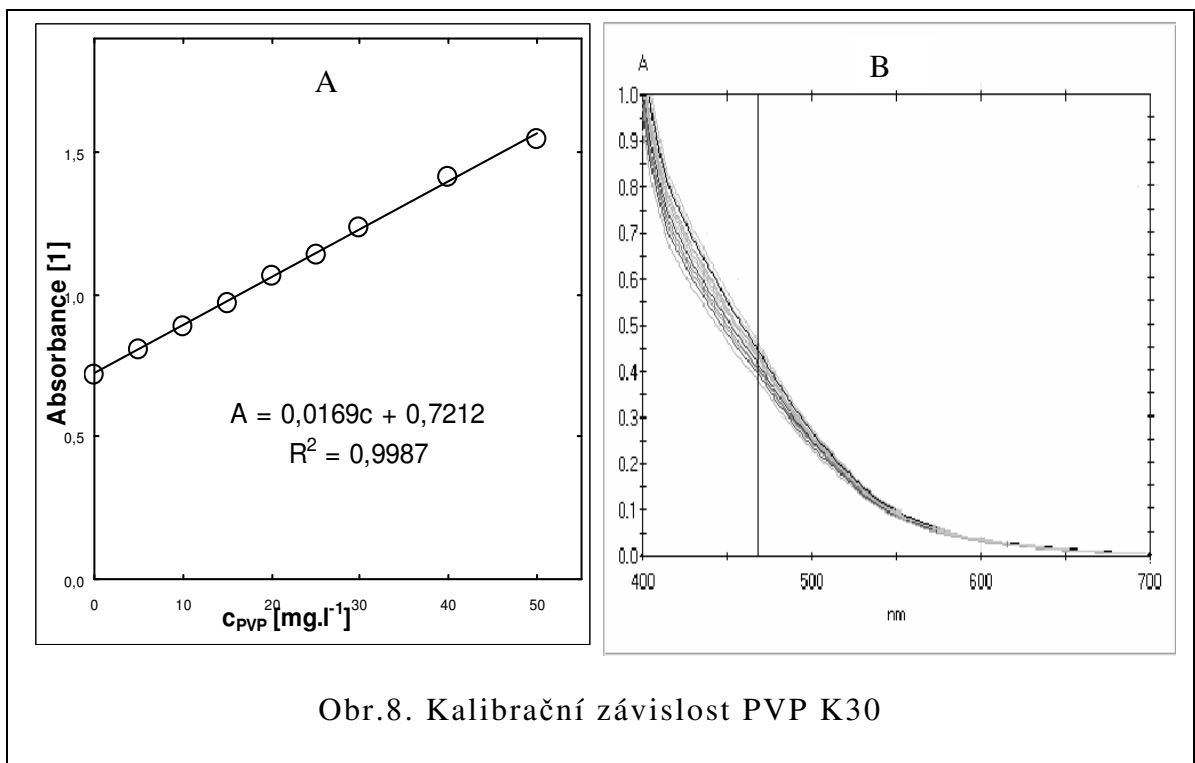
Kal byl odstředěn při  $4500\text{ otáčkách.min}^{-1}$ , při teplotě  $25^{\circ}\text{C}$ , po dobu 5minut, poté byl 3x dekantován pitnou vodou, prolitý přes nylonovou tkaninu, kvůli zbavení se hrudek kalu, které mohly zkreslovat měření. U takto upraveného kalu byla stanovena sušina. Na základě sušiny byla upravena koncentrace kalu na  $2\text{g.l}^{-1}$ . Kal byl po té odebírán v přesně definovaném množství 25ml do připravených kádinek, kde k němu byl přidáván roztok PVP K 30 resp. PVP K 15 v určených koncentracích a doplněn na daný objem 50ml destilovanou vodou. Roztok PVP byl po smíchání s kalem ponechán po dobu 30min, za občasného míchání. Po této době byl vzorek odebrán a postupně odstředován v centrifuze. Poté se vzniklý supernatant slil, dle potřeby naředil destilovanou vodou a byl v něm stanoven celkový dusík a celkový organický uhlík, případně PVP (jodometrické stanovení).

## 5. VÝSLEDKY A DISKUSE

V první části diplomové práce byly otestovány použité analytické metody (spektrofotometrické stanovení polyvinylpyrrolidonu PVP s jod-jodidovým roztokem, stanovení celkového dusíku, stanovení celkového, respektive organického a anorganického uhlíku) a laboratorní pracovní postupy sorpce.

Jako standardní materiál pro sorpci byl zvolen polární sorbent Chezacarb S. Dalším testovaným materiálem pro sorpci byl nepolární sorbent Stříž Reo Fb.

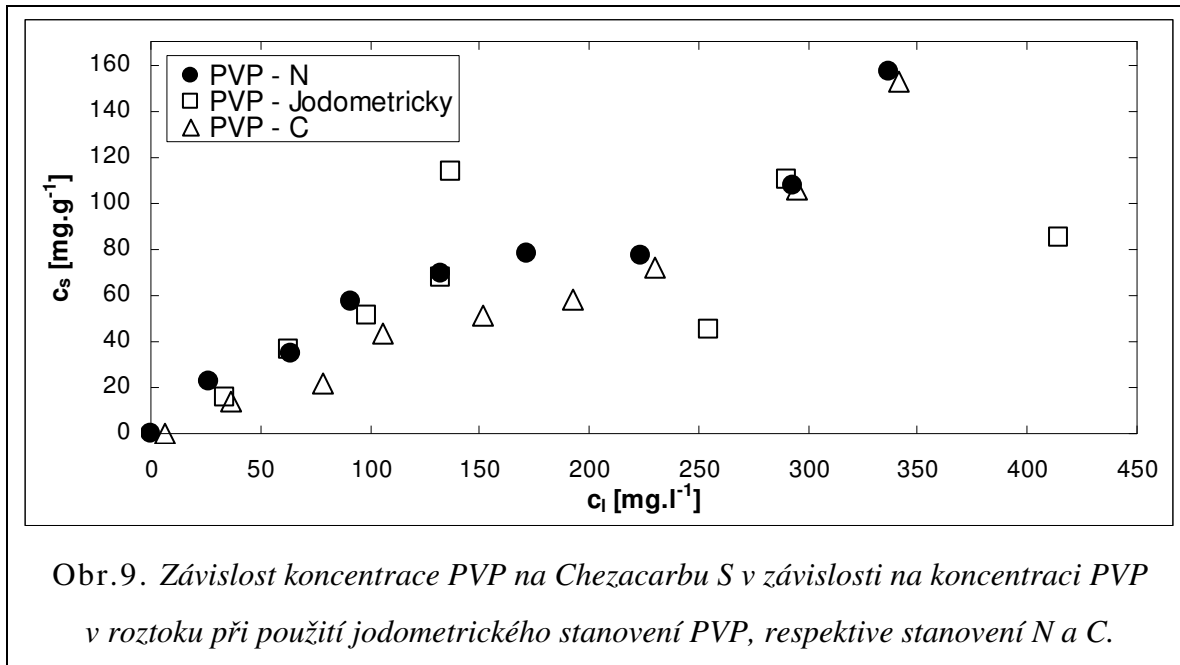
Stanovení PVP bylo realizováno jak fotometrickou jodovou metodou, tak stanovením celkového uhlíku a celkového dusíku na analyzátoru. U fotometrické metody byla zhotovena kalibrační závislost (obr. 8., tab. VI.). Závislost byla lineární, ale s velkým úsekem (obr.8-A.). Je to způsobeno tím, že se neměří, jak je většinou běžné, v maximum absorpční křivky (obr. 8-B), ale až na sestupné části, neboť maximum křivky  $A=f(\lambda)$  je v UV oblasti.



Tab. VI. Kalibrace roztoku PVP K30

Koncentrace PVP K30 [mg.l <sup>-1</sup> ]	Absorbance [1]	Koncentrace PVP K30 [mg.l <sup>-1</sup> ]	Absorbance [1]	Koncentrace PVP K30 [mg.l <sup>-1</sup> ]	Absorbance (1)
0	0,718	15	0,970	30	1,235
5	0,803	20	1,062	40	1,413
10	0,889	25	1,142	50	1,545

Důležité je srovnání výsledků ze třech různých způsobů stanovení; relativně selektivního jodometrického stanovení PVP a celkového dusíku respektive celkového či organického uhlíku. Jako sorbent byl použit polární sorpční materiál Chezacarb S, kde by nemělo docházet k ovlivnění jodometrického stanovení. Přesto tato metoda poskytla nejvíce rozkolísané hodnoty (obr.9., tab. VII.) ve srovnání s analýzou uhlíku a dusíku. Proto v dalších pokusech od ní bylo většinou upuštěno.

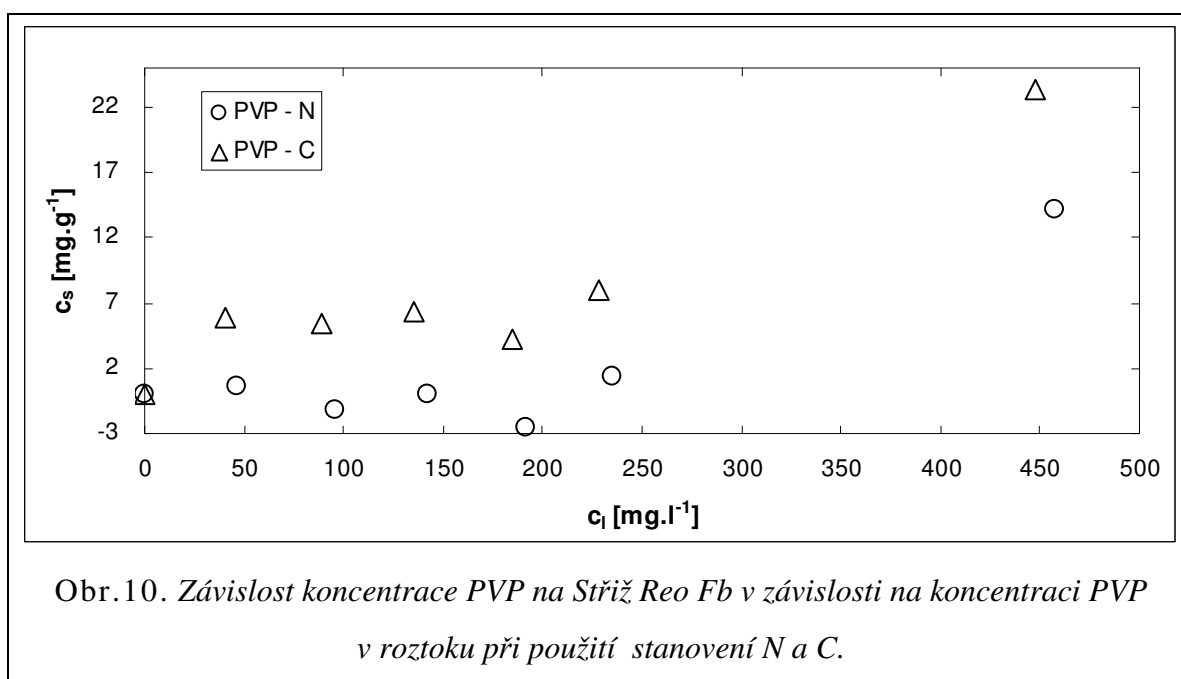


Sledování PVP pomocí celkového dusíku a uhlíku poskytovalo poměrně shodné výsledky. Závislosti  $c_s = f(c_i)$  měřené na základě dusíku a uhlíku jsou téměř srovnatelné. Protože Chezacarb S je velice křehký, nelze vyloučit náhodnou kontaminaci analyzovaného vzorku tímto velmi jemným materiálem. Hodnoty koncentrace PVP vypočtené na základě analýz uhlíku

byly stejné či vyšší jak na základě dusíku. Variační koeficienty jak u stanovení uhlíku, tak při stanovení dusíku byly do 2 %. Sledování PVP dle dusíku je tedy, jak se zdá, více věrohodné.

Tab. VII. Hodnoty sorpce PVP na Chezcarb S

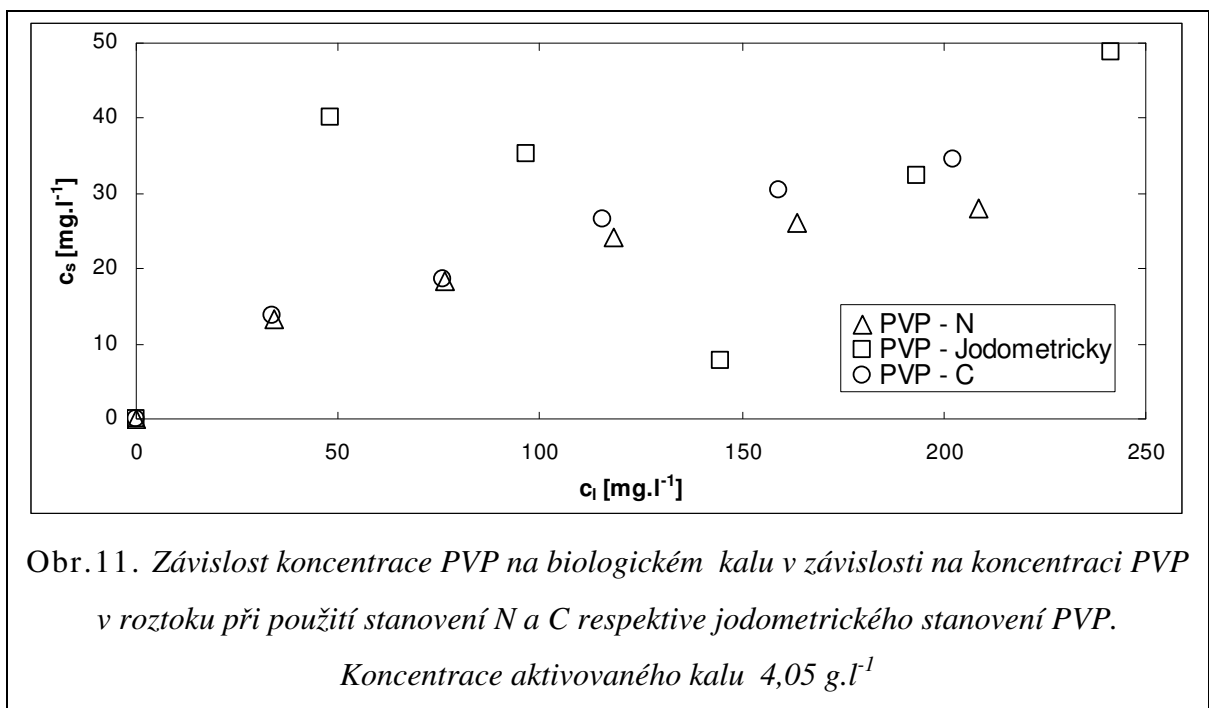
C PVP - N				C PVP - C			
Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	Po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]	Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	Po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0	0
50,495	26,39	24,11	22,66	50,495	36,06	14,44	13,57
100,99	64,10	36,89	34,93	100,99	78,18	22,81	21,60
151,49	91,62	59,87	57,45	151,49	106,26	45,23	43,41
201,98	132,12	69,86	69,72	201,98	151,13	50,85	50,75
252,48	172,01	80,47	77,97	252,48	192,35	60,13	58,26
302,97	223,75	79,22	77,37	302,97	229,61	73,36	71,64
403,96	292,99	110,97	107,95	403,96	295,11	108,85	105,88
504,95	336,97	167,98	156,70	504,95	341,01	163,94	152,93



Obr. 10. Závislost koncentrace PVP na Stříž Reo Fb v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.

Sorpce u nepolární stříže Reo Fb nebyla prakticky, jak bylo konec konců očekáváno, žádná a rozkolísání hodnot je více méně dáno přesností analýz a metodiky (obr.10.). Variační koeficient u stanovení dusíku respektive uhlíku se pohyboval u těchto analýz do 5 %.

V další části práce již byla sledována sorpce PVP na biologický aktivovaný kal z ČOV ve Zlíně-Malenovicích. Variační koeficient byl do 3 %. Kal byl promyt dle bodu 4.4.3 a provzdušňován po dobu 7 dnů. Sušina kalu při sorpčních pokusech byla  $4,05 \text{ g.l}^{-1}$ . Jak je vidět na obr. 11. (tab. VIII.) s rostoucí koncentrací PVP v roztoku, roste koncentrace PVP na aktivovaném kalu. Pro lepší přehled je uváděna koncentrace na sorbentu v  $\text{mg.l}^{-1}$ , tedy v hodnotách o které se liší koncentrace PVP ve vzorcích a slepých pokusech, korigovaná na sušinu PVP a přesnou navážku PVP a acetanilidu.



Jak je vidět, hodnoty limitují někde ke koncentraci cca  $40 \text{ mg.l}^{-1}$ , tedy k hodnotě  $10 \text{ mg.g}^{-1}$  sušiny kalu, což by mělo být maximální množství PVP kterou aktivovaný kal může za daných podmínek vázat. Proto byly další pokusy realizovány s vyššími koncentracemi. Z obr. 11. je poměrně dobře vidět shodu koncentrací PVP vypočtených na základě analýz uhlíku a dusíku. Při použití jodometrické metody jsou výsledky analýz



nesouměřitelné a proto od této ne příliš selektivní metody bylo většinou upuštěno.

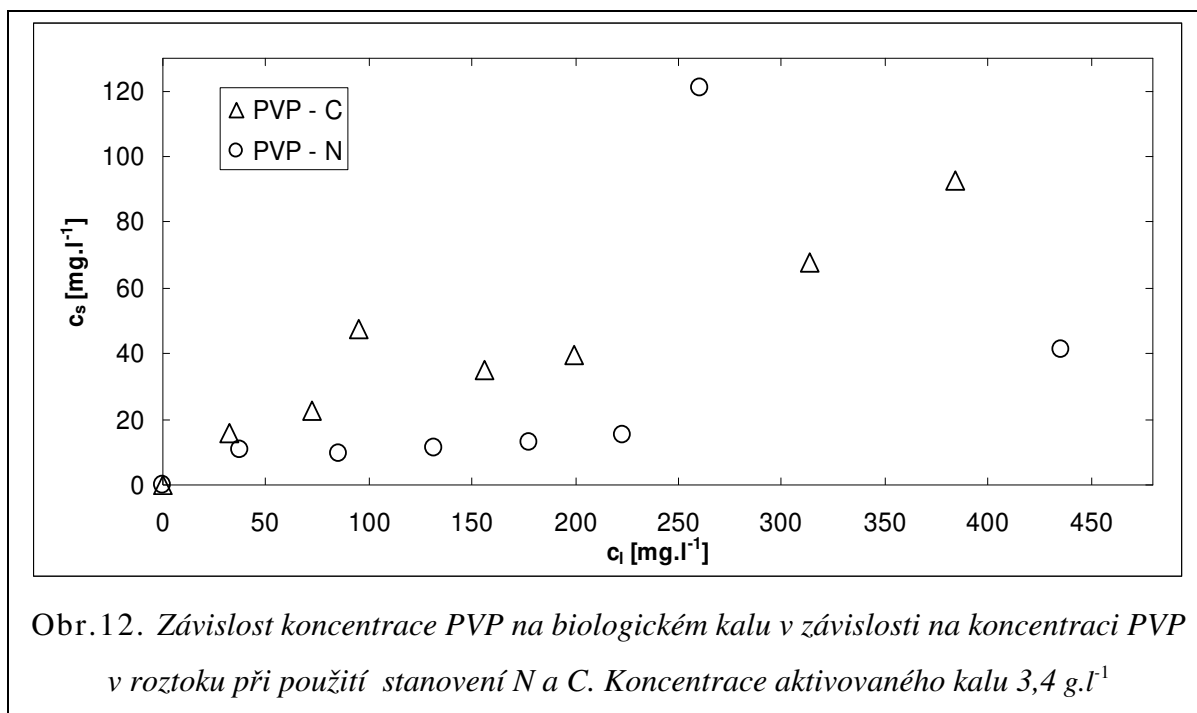
Tab. VIII. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

<b>c<sub>PVP-N</sub> [mg.l<sup>-1</sup>]</b>				<b>c<sub>PVP-C</sub> [mg.l<sup>-1</sup>]</b>			
Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]	Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0	0
47,38	34,05	13,33	3,29	47,38	33,70	13,68	3,38
94,76	76,29	18,47	4,56	94,76	76,07	18,69	4,62
142,14	118,06	24,08	5,95	142,14	115,48	26,66	6,58
189,52	163,49	26,03	6,43	189,52	159,00	30,52	7,54
236,90	208,77	28,13	6,95	236,90	202,34	34,56	8,54

Měření bylo opakováno pro vyšší koncentrace PVP s novým kalem (provzdušňován 7 dní, sušina 3,4 g.l<sup>-1</sup>). Jak je vidět v na obr. 12 (tab. IX) hodnoty PVP vypočtené z analýz uhlíku jsou vyšší, jak z analýz dusíku, což by mohlo být způsobeno přítomnosti neznámé uhlíkaté látky na použitém kalu, která se mohla při sorpci PVP částečně desorbovat.

Tab. IX. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

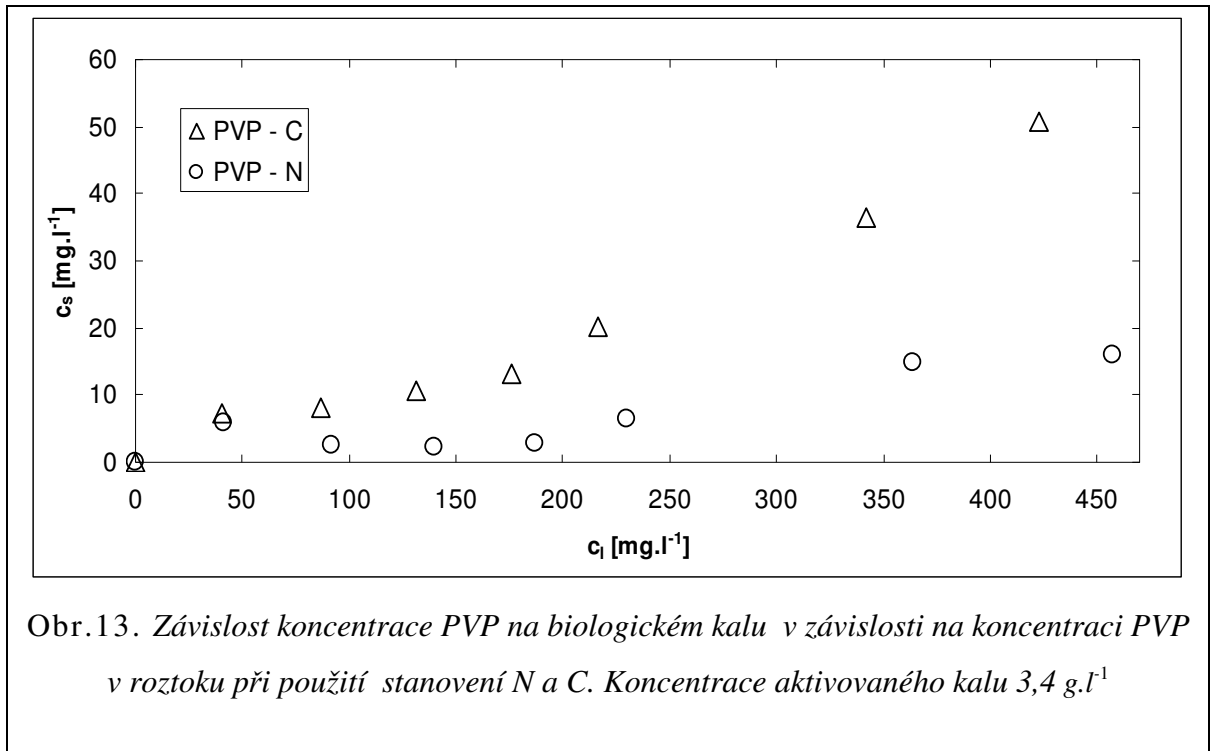
<b>c<sub>PVP-N</sub> [mg.l<sup>-1</sup>]</b>				<b>c<sub>PVP-C</sub> [mg.l<sup>-1</sup>]</b>			
Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]	Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0	0
47,69	37,17	10,52	3,10	47,69	31,85	15,84	4,66
95,38	85,57	9,82	2,88	95,38	72,49	22,89	6,74
143,07	131,54	11,53	3,40	143,07	95,39	47,69	14,02
190,77	177,83	12,93	3,80	190,77	155,85	34,91	10,26
238,46	223,27	15,19	4,46	238,46	199,14	39,32	11,56
381,53	260,67	120,86	35,54	381,53	313,72	67,81	19,94
476,91	435,70	41,22	12,12	476,91	384,45	92,46	27,20



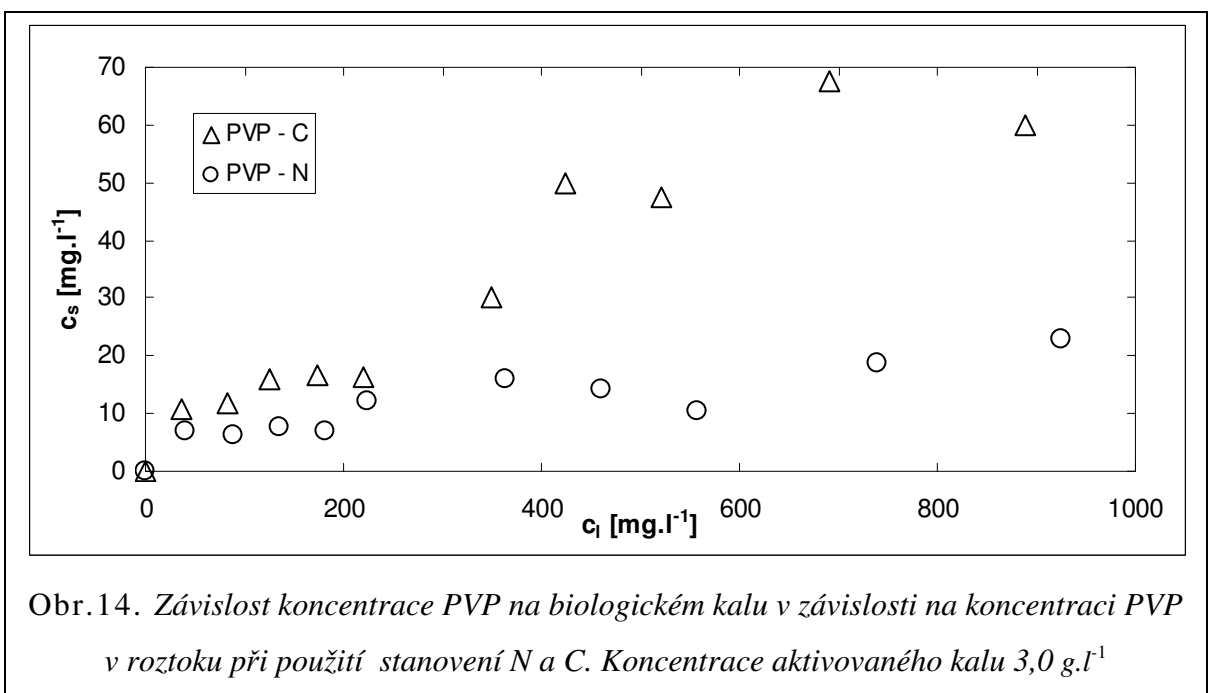
Jak je vidět v na obr. 13. (tab. X.), kdy byl pokus opakován se stejným kalem, avšak o 2 dny starším, jsou opět vyšší hodnoty PVP z analýz uhlíku jak dusíku. Koncentrace PVP na aktivovaném kalu jsou však nižší jak v předešlém pokusu.

Tab. X. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$c_{\text{PVP-N}} \text{ [mg.l}^{-1}\text{]}$				$c_{\text{PVP-C}} \text{ [mg.l}^{-1}\text{]}$			
Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]	Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0	0
47,36	41,46	5,90	1,74	47,36	40,14	7,22	2,12
94,72	92,11	2,61	0,76	94,72	86,64	8,08	2,38
142,08	139,96	2,13	0,62	142,08	131,50	10,58	3,12
189,45	186,64	2,81	0,82	189,45	176,23	13,22	3,88
236,81	230,28	6,53	1,92	236,81	216,72	20,09	5,9
378,89	364,16	14,73	4,34	378,89	342,35	36,54	10,72
473,62	457,60	16,02	4,72	473,62	422,82	50,80	14,94



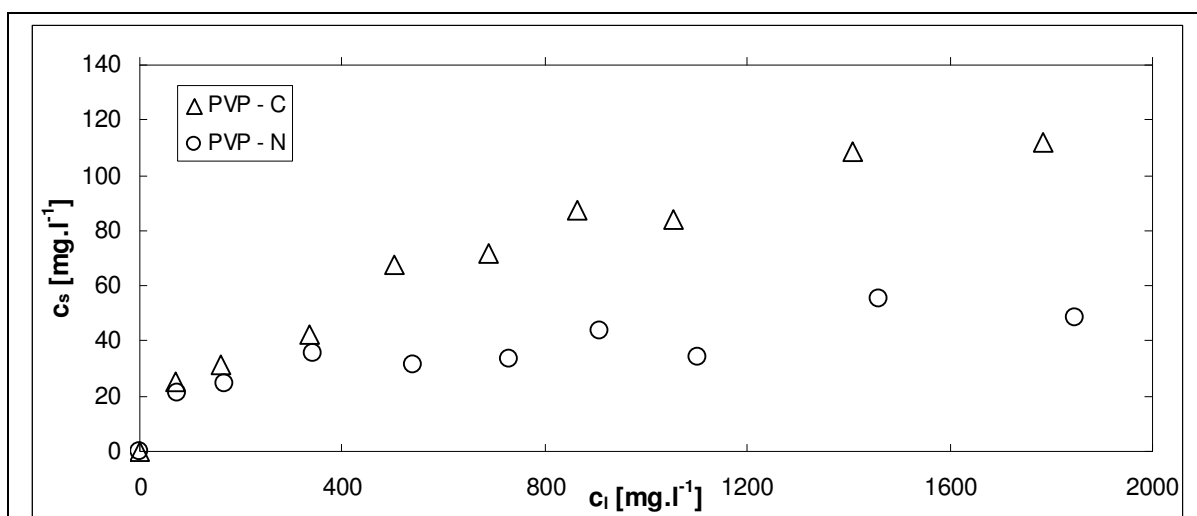
Pokus byl opakován s novým kalem obr. 14 (tab. XI), který byl odebrán na ČOV a 7 dnů provzdušňován do endogenního stavu (sušina kalu byla 3,0 g.l<sup>-1</sup>). Bylo použito vyšší koncentrace PVP a to až do 1 000 mg.l<sup>-1</sup>. Hodnoty dle uhlíku byly opět podstatně vyšší jak dle dusíku. Rovnovážné hodnoty sorpce PVP dle dusíku i uhlíku byly srovnatelné s předchozím pokusem a bylo dosaženo vcelku dobré shody.



Tab. XI. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$c_{\text{PVP-N}} [\text{mg.l}^{-1}]$				$c_{\text{PVP-C}} [\text{mg.l}^{-1}]$			
Před sorpcí [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	po sorpci [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]	Před sorpcí [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	po sorpci [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]
0	0	0	0	0	0	0	0
47,39	40,53	6,86	2,27	47,39	36,59	10,81	3,60
94,78	88,66	6,12	2,04	94,78	83,00	11,78	3,92
142,18	134,44	7,73	2,58	142,18	126,17	16,00	5,33
189,57	182,58	6,99	2,33	189,57	172,89	16,67	5,56
236,96	224,75	12,21	4,07	236,96	220,57	16,39	5,46
379,13	363,11	16,02	5,34	379,13	348,95	30,19	10,06
473,92	459,85	14,07	4,69	473,92	424,06	49,86	16,62
568,70	558,47	10,23	3,41	568,70	521,06	47,64	15,88
758,27	739,56	18,71	6,24	758,27	690,76	67,51	22,50
947,84	925,03	22,80	7,6	947,84	887,97	59,87	19,96

Po 4 dnech byl celý pokus opakován. Kal byl o 4 dny déle provzdušňován a jeho koncentrace byla snížena na  $2,0 \text{ g.l}^{-1}$  (počítáno na sušinu). Koncentrace PVP byla naopak zvýšena na dvojnásobek, tedy v rozsahu 100 až  $2\,000 \text{ mg.l}^{-1}$  jak je vidět na obr. 15 (tab. XII).

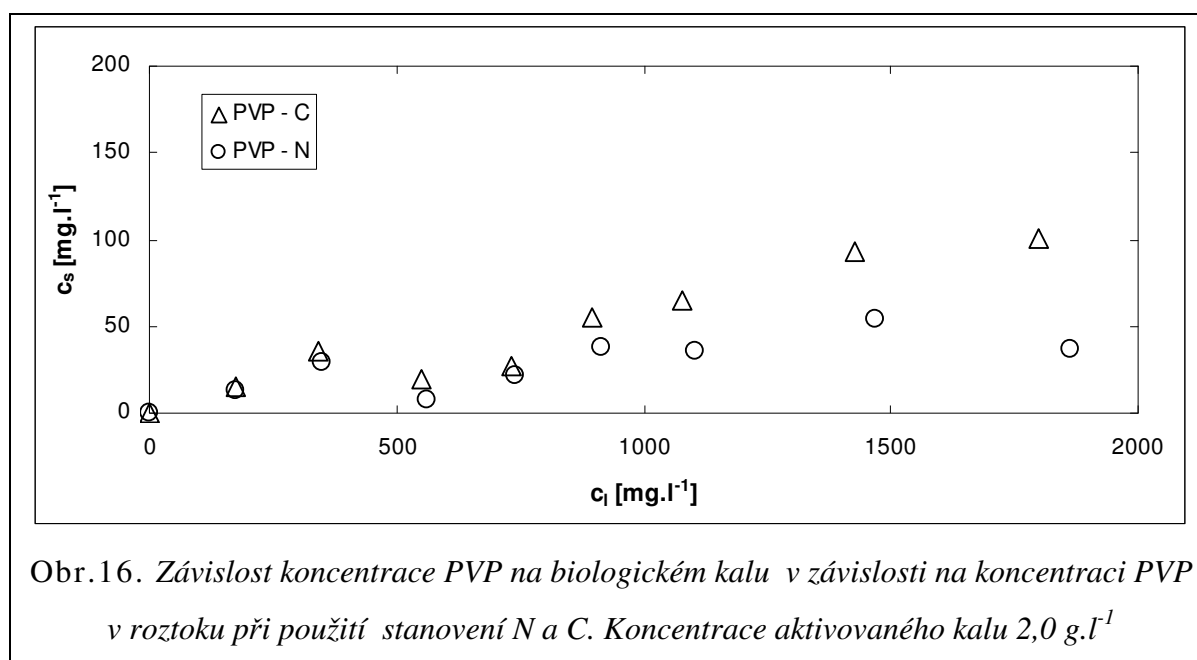


Obr. 15. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C. Koncentrace aktivovaného kalu  $2,0 \text{ g.l}^{-1}$

Tab. XII. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$C_{PVP-N} [mg.l^{-1}]$				$c_{PVP-C} [mg.l^{-1}]$			
Před sorpcí [ $mg.l^{-1}$ ]	po sorpci [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.g^{-1}$ ]	Před sorpcí [ $mg.l^{-1}$ ]	po sorpci [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.g^{-1}$ ]
0	0	0	0	0	0	0	0
95,12	74,14	20,97	10,48	95,12	69,93	25,19	12,59
190,23	165,88	24,36	12,18	190,23	158,96	31,28	15,64
377,86	342,16	35,70	17,85	377,86	335,46	42,40	21,20
570,99	539,74	31,24	15,62	570,99	503,09	67,90	33,95
761,32	728,18	33,14	16,57	761,32	689,28	72,04	36,02
951,65	908,25	43,40	21,7	951,65	864,44	87,21	43,61
1137,40	1103,39	34,02	17,02	1137,40	1053,07	84,33	42,17
1516,54	1461,01	55,53	27,77	1516,54	1407,75	108,79	54,39
1895,67	1847,34	48,33	24,17	1895,67	1783,70	111,97	55,99

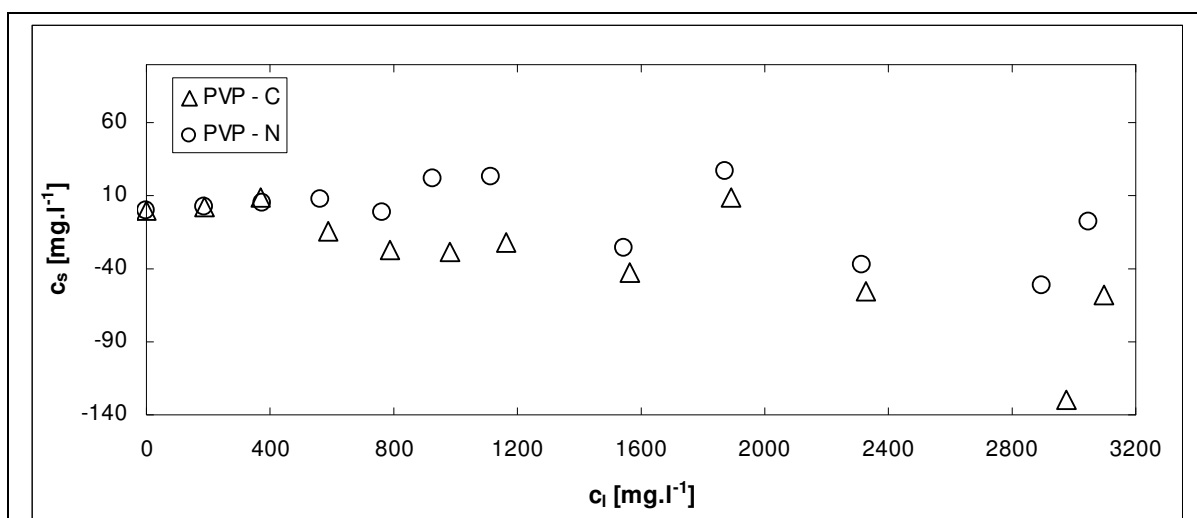
V dalším měření bylo odzkoušeno použití relativně čerstvého aktivovaného biologického kalu Zlín – Malenovice, který byl 2dny starý. (obr.16., Tab. XIII.). Kal byl odstředěn, promyt pitnou vodou a poté ještě 2x odstředěn a znovu promyt pitnou vodou. Byl provzdušňován v děličce 24h. Další den se opět odstředil a upraven na sušinu  $2 g.l^{-1}$ . Z takto upraveným kalem se provedlo stanovení.



Tab. XIII. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$c_{PVP-N} [mg.l^{-1}]$				$c_{PVP-C} [mg.l^{-1}]$			
Před sorpcí [ $mg.l^{-1}$ ]	po sorpci [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.g^{-1}$ ]	Před sorpcí [ $mg.l^{-1}$ ]	po sorpci [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.g^{-1}$ ]
0	0	0	0	0	0	0	0
189,07	175,99	13,08	6,54	189,07	174,28	14,79	7,39
377,86	348,69	29,17	14,59	377,86	342,26	35,60	17,80
570,76	562,78	7,98	3,99	570,76	551,10	19,66	9,83
761,01	739,87	21,14	10,57	761,01	734,27	26,74	13,37
951,27	912,96	38,31	19,16	951,27	895,94	55,33	27,67
1140,78	1104,71	36,07	18,04	1140,78	1076,31	64,47	32,24
1521,04	1466,80	54,24	27,12	1521,04	1427,55	93,49	46,75
1901,30	1864,88	36,42	18,21	1901,30	1800,52	100,79	50,39

Jak je vidět na obr. 16. hodnoty podle dusíku i uhlíku jsou velmi podobné, lze tedy říci, že několikanásobné odstředění a promytí by mohlo zvyšovat přesnost měření. Tuto hypotézu mohlo potvrdit, popř. vyvrátit další měření (obr.17., Tab. XIV.) kdy kal byl opět z ČOV Zlín-Malenovice, byl 2dny starý, a upravený stejně jako v předešlém měření. Přesto hodnoty vyšly převážně záporné. Příčinu, proč tomu tak je se nepodařilo vysvětlit. Mohlo to být způsobeno povahou kalu, nebo nepřesnosti měření.

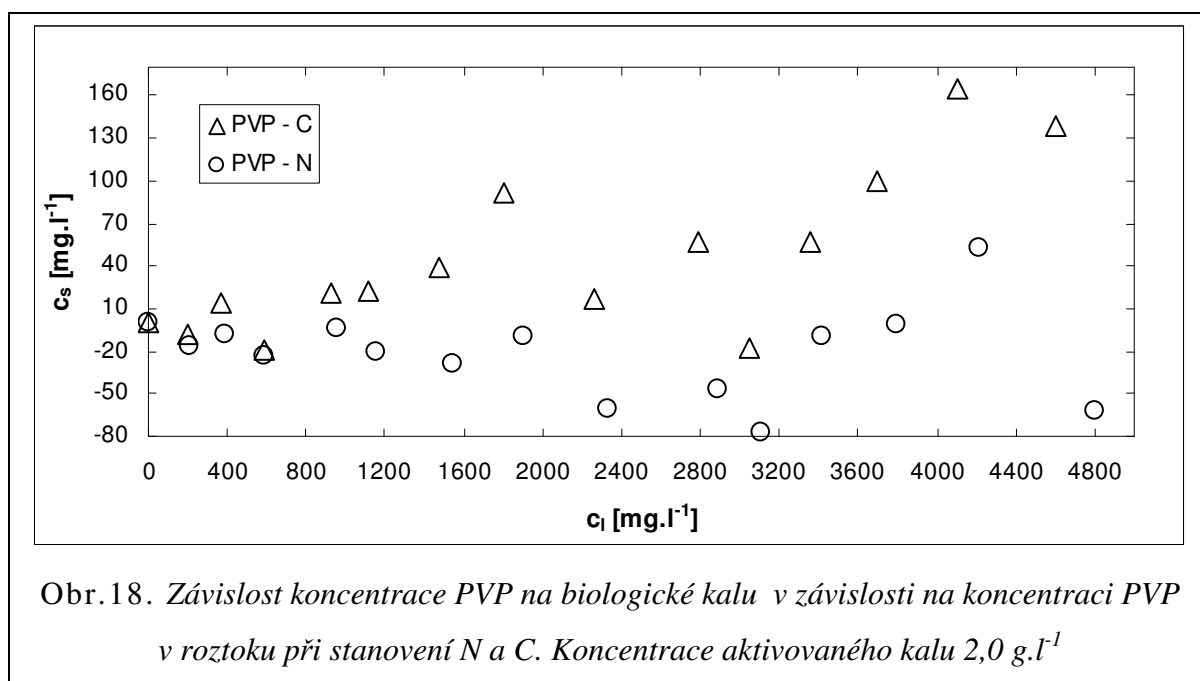


Obr. 17. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při stanovení N a C. Koncentrace aktivovaného kalu  $2,0 g.l^{-1}$

Tab. XIV. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$c_{PVP-N} [mg.l^{-1}]$				$c_{PVP-C} [mg.l^{-1}]$			
Před sorpcí [ $mg.l^{-1}$ ]	po sorpci [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.g^{-1}$ ]	Před sorpcí [ $mg.l^{-1}$ ]	po sorpci [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.l^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $mg.g^{-1}$ ]
0	0	0	0	0	0	0	0
189,60	187,50	2,09	1,04	189,60	186,75	2,85	1,43
378,45	373,38	5,07	2,54	378,45	369,30	9,15	4,58
570,04	562,43	7,61	3,81	570,04	584,87	-14,82	-7,41
760,06	761,00	-0,94	-0,47	760,06	786,77	-26,72	-13,36
950,07	928,65	21,43	10,72	950,07	978,94	-28,87	-14,44
1139,08	1115,83	23,25	11,63	1139,08	1161,50	-22,42	-11,21
1518,77	1544,63	-25,86	-12,93	1518,77	1561,37	-42,60	-21,30
1898,46	1871,70	26,76	13,38	1898,46	1889,93	8,53	4,27
2274,48	2312,22	-37,74	-18,87	2274,48	2330,21	-55,73	-27,87
2843,10	2894,18	-51,09	-25,55	2843,10	2973,45	-130,36	-65,18
3038,36	3045,63	-7,28	-3,64	3038,36	3096,67	-58,32	-29,16

V následujících 2. měření se jednalo o kal z ČOV z farmaceutického průmyslu na výrobu antibiotik ze Slovenské Lupči. Jak můžeme vidět na obr.18., tab. 15., hodnoty vycházejí většinou záporné, což by o tohoto měření mohlo být způsobeno čerstvým kalem. Případně by zde mohlo docházet k desorpci nějakého více dusíkatého substrátu z léčiv.



Tab. XV. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

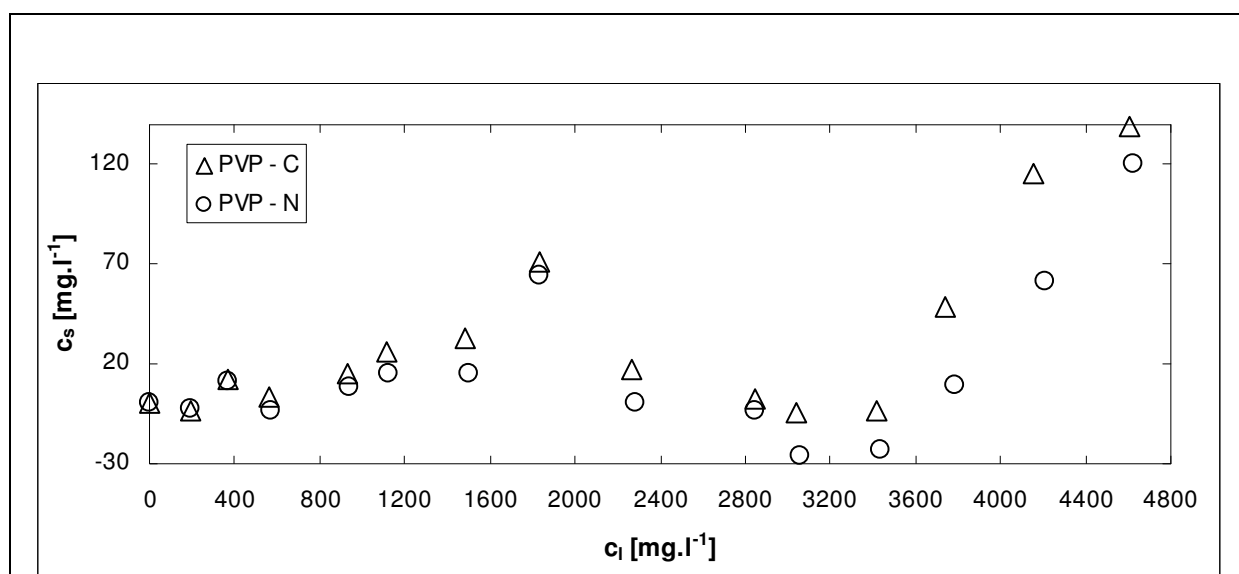
<b>c<sub>PVP-N</sub> [mg.l<sup>-1</sup>]</b>				<b>c<sub>PVP-C</sub> [mg.l<sup>-1</sup>]</b>			
Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	Po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]	Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0	0
189,52	206,35	-16,83	-8,42	189,52	197,21	-7,69	-3,85
379,04	387,35	-8,31	-4,15	379,04	365,23	13,81	6,91
568,57	591,31	-22,74	-11,37	568,57	588,21	-19,64	-9,82
947,61	951,49	-3,88	-1,94	947,61	926,02	21,59	10,98
1137,13	1158,25	-21,12	-10,56	1137,13	1114,79	22,34	11,17
1516,18	1545,27	-29,10	-14,55	1516,18	1477,50	38,68	19,34
1895,22	1904,72	-9,50	-4,75	1895,22	1804,26	90,96	45,48
2274,26	2335,50	-61,24	-30,62	2274,26	2257,22	17,04	8,52
2842,83	2890,23	-47,40	-23,70	2842,83	2785,50	57,33	28,67
3032,35	3109,87	-77,52	-38,76	3032,35	3050,43	-18,08	-9,04
3411,40	3420,84	-9,45	-4,73	3411,40	3354,76	56,64	28,32
3790,44	3791,60	-1,16	-0,58	3790,44	3690,92	99,52	49,76
4264,25	4211,48	52,76	26,38	4264,25	4098,94	165,30	82,65
4738,05	4800,39	-62,34	-31,17	4738,05	4599,25	138,80	69,40

Obr. 19., tab.16. Kal je starý 5dní. Sušina kalu byla upravena na 2 g.l<sup>-1</sup> a variační koeficient se pohyboval do 3%. Koncentrace PVP u tohoto kalu byla v rozmezí 100-5000 mg.l<sup>-1</sup>. Jak můžeme vidět na obrázku 19. je zde shoda koncentrací PVP vypočtených na základě analýz uhlíku a dusíku.



Tab. XVI. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$c_{\text{PVP-N}} [\text{mg.l}^{-1}]$				$c_{\text{PVP-C}} [\text{mg.l}^{-1}]$			
Před sorpcí [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	po sorpci [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]	Před sorpcí [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	po sorpci [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]
0	0	0	0	0	0	0	0
189,60	191,77	-2,17	-1,08	189,60	192,73	-3,13	-1,57
378,45	367,13	11,32	5,66	378,45	365,71	12,75	6,38
568,57	572,44	-3,87	-1,94	568,57	565,44	3,13	1,57
947,61	939,16	8,45	4,23	947,61	932,01	15,60	7,80
1137,13	1122,07	15,07	7,54	1137,13	1111,40	25,73	12,87
1520,48	1505,20	15,29	7,65	1520,48	1487,16	33,32	16,66
1900,60	1836,06	64,55	32,28	1900,60	1829,48	71,13	35,57
2280,72	2280,24	0,49	0,25	2280,72	2263,23	17,49	8,75
2845,20	2849,07	-3,87	-1,94	2845,20	2842,87	2,32	1,16
3034,88	3060,86	-25,98	-12,99	3034,88	3039,60	-4,72	-2,36
3413,12	3436,52	-23,40	-11,70	3413,12	3416,15	-3,03	-1,52
3792,35	3782,56	9,79	4,89	3792,35	3743,63	48,73	24,37
4268,99	4208,04	60,95	30,48	4268,99	4153,75	115,23	57,62
4743,32	4623,25	120,07	60,04	4743,32	4603,97	139,35	69,68

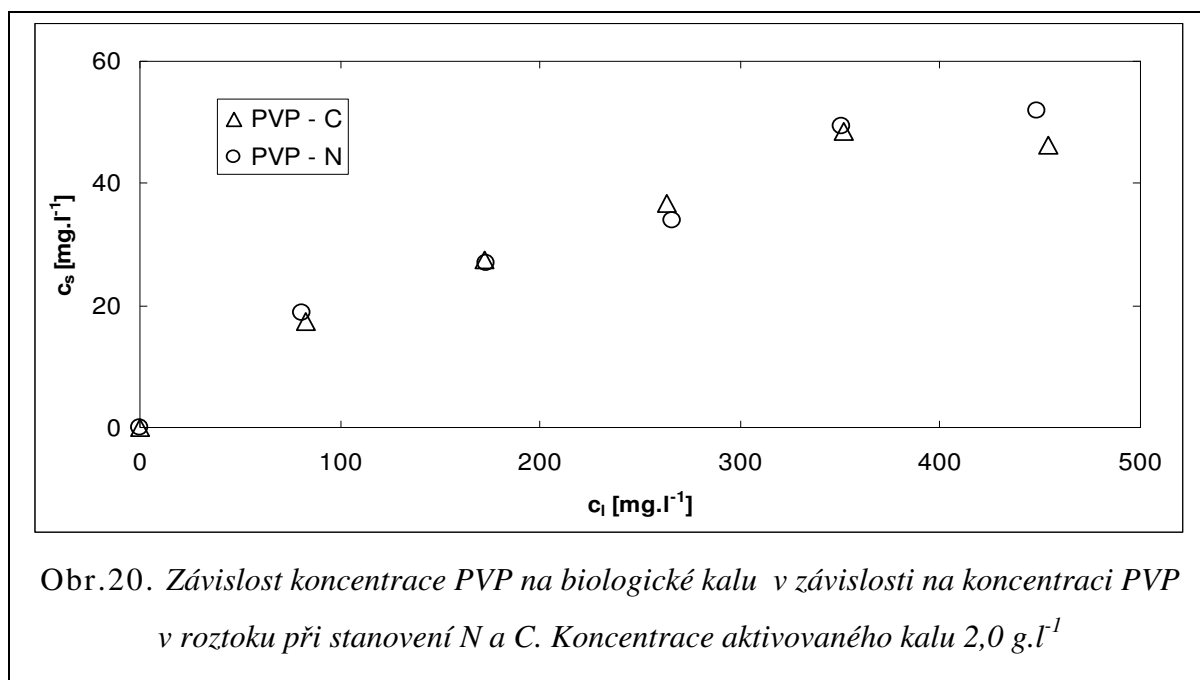


Obr. 19. Závislost koncentrace PVP na biologické kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při stanovení N a C. Koncentrace aktivovaného kalu  $2,0 \text{ g.l}^{-1}$

U obrázku č.20., tab. 17. byla koncentrace PVP v rozmezí 0-500 mg.l<sup>-1</sup>, jedná se o kal z čistírny odpadních vod Zlín - Malenovice. Sušina kalu byla upravena na 2 g.l<sup>-1</sup>, kal byl týden starý. Toto měření bylo provedeno odlišným způsobem na rozdíl od postupu 4.5.8. Kal se dal odstředit, po odstředění se vzniklý supernatant vylil a do odstředěného kalu se rovnou vlily roztoky PVP o c = 100, 200, 300, 400, 500 mg.l<sup>-1</sup>, těmito roztoky byl kal pomocí tyčinky pořádně rozmíchán. Takto rozmíchaný kal s roztoky PVP byl po 30minutách dán opět na odstředění. Vzniklý supernatant byl poté analyzován. Na obr.20., jsou hodnoty celkového dusíku a celkového uhlíku velmi podobné, můžeme tedy říci, že probíhala poměrně výrazná sorpce. Tento odlišný postup přípravy sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal můžeme považovat za poměrně dobrý. Otázkou zůstává, jak by vypadaly případné další měření dle tohoto postupu.

Tab. XVII. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

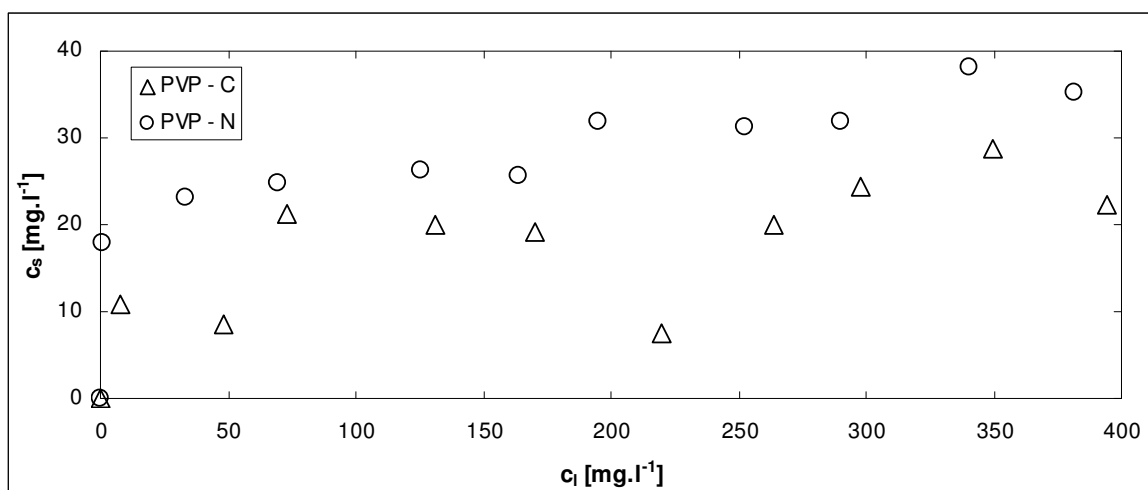
<b>c PVP - N [mg.l<sup>-1</sup>]</b>				<b>c PVP - C [mg.l<sup>-1</sup>]</b>			
Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]	Před sorpcí [mg.l <sup>-1</sup> ]	po sorpci [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.l <sup>-1</sup> ]	Nasorbováno [mg.g <sup>-1</sup> ]
0	0	0	0	0	0	0	0
97,49	81,29	18,71	9,34	97,49	82,62	17,38	8,69
189,94	173,01	26,99	13,49	189,94	172,46	27,54	13,77
284,25	266,01	33,99	16,99	284,25	263,28	36,72	18,36
378,25	350,72	49,28	24,64	378,25	351,39	48,61	24,31
475,13	448,08	51,92	25,96	475,13	453,62	46,38	23,19



Posledním pokusem byl kal ze Zlína-Malenovic, který byl upraven na sušinu 2,0 g.l<sup>-1</sup>, koncentrace PVP byla do 500 mg.l<sup>-1</sup>. V tomto měření byl odlišný postup přípravy roztoků. V předcházejících měřeních se ředění roztoku PVP s kalem provádělo pomocí pipet. U tohoto pokusu obr.21., tab. XVIII., byla použita automatická byreta (25ml). Je vidět, že sorpce probíhala. Možné vysvětlení by mohlo poskytnout i to, že kal byl 11 dnů starý. Vzhledem k tomu, že se dala očekávat větší přesnost v přípravě roztoku na stanovení, nejsou hodnoty celkového dusíku a uhlíku příliš ve shodě.

Tab. XVIII. Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal

$c_{\text{PVP-N}} [\text{mg.l}^{-1}]$				$c_{\text{PVP-C}} [\text{mg.l}^{-1}]$			
Před sorpcí [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	po sorpci [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]	Před sorpcí [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	po sorpci [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.l}^{-1}$ ]	Nasorbováno [ $\text{mg.g}^{-1}$ ]
0	0	0	0	0	0	0	0
18,93	1,00	17,94	8,97	18,93	8,04	10,89	5,45
56,80	33,64	23,16	11,58	56,80	48,24	8,56	4,28
94,66	69,86	24,80	12,40	94,66	73,38	21,29	10,65
151,46	125,26	26,20	13,10	151,46	131,42	20,04	10,02
189,32	163,72	25,60	12,80	189,32	170,26	19,07	9,54
227,19	195,37	31,82	15,91	227,19	219,77	7,42	3,71
283,99	252,77	31,22	15,61	283,99	264,01	19,97	9,98
321,85	289,90	31,95	15,98	321,85	297,57	24,28	12,14
378,65	340,57	38,08	19,04	378,65	349,84	28,81	14,41
416,51	381,27	35,24	17,62	416,51	394,21	22,30	11,15



Obr. 21. Závislost koncentrace PVP na biologické kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při stanovení N a C. Koncentrace aktivovaného kalu  $2,0 \text{ g.l}^{-1}$

## ZÁVĚR

Byl proveden pokus zhotovení adsorpční izotermy pro polární Chezacarb a nepolární Reo. V první případě byly viditelná sorpce PVP na sorbent, ve druhém prakticky k sorpci nedošlo, což bylo dle očekávání. Zároveň byly odzkoušeny metody stanovení a pracovní postupy.

Při sorpci na biologický aktivovaný kal z ČOV Zlín-Malenovice byly sestrojeny adsorpční izotermy a v převážné většině případů byla prokázána nízká sorpce na tento kal. Hodnoty sorpce byly vždy vyšší, pokud se počítala koncentrace PVP přes stanovení uhlíku, nežli dusíku, což mohlo být způsobeno částečnou sorpcí neznámé uhlíkaté látky z čistírny vod.

Při sorpci na biologický aktivovaný kal z ČOV Slovenská Lupča je spolehlivé vyhodnocení poněkud diskutabilní. Do koncentrace cca 2 000 mg.l<sup>-1</sup> je možno pozorovat jistou nezanedbatelnou sorpci. Od 2 000 do 3 000 mg.l<sup>-1</sup> jako by sorpce neprobíhala a od 3 000 do 5 000 opět sorpce rostla. Tuto skutečnost se nepodařilo uspokojivě vysvětlit. V prvním případě, u relativně čerstvého kalu dokonce byly nalezeny záporné hodnoty pouze podle analýz celkového dusíku, což by mohlo být zapříčiněno desorpcí vícedusíkatého substrátu nasorbovaného na tento kal. Časem, jak byl kal provzdušňován a přiváděn do endogenního stavu, byly hodnoty vyšší ale charakter sorpční izotermy se přitom nezměnil. Pro jednoznačné tvrzení by bylo třeba pokusy ještě zopakovat i s ohledem na přesnost stanovení.

Pokud byl biologický aktivovaný kal 9 dní provzdušňován, důkladně promyt pitnou vodou a odstředěn a k němu pipetován roztok PVP v destilované vodě nemohlo pravděpodobně dojít k desorpci zbytkových látek z čistírny, neboť na kalu již žádné nebyly a výsledky získané dle analýz uhlíku a dusíku byly prakticky totožné a sorpce nezpochybnitelná.

Pro 100 % potvrzení sorpce by bylo třeba použít zcela selektivní metody stanovení. Vhodné by bylo i sledování sorpce na jednom kalu v závislosti na době provzdušňování a hodnoty vztáhnou na organický podíl biomasy, nikoliv jen na sušinu kalu. Nicméně se domnívám, že i tak byla práce přínosná, neboť zatím nebyla pravděpodobně zmínka o sorpce PVP na kal publikována.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURA**

- [1] ROBINSON B.V., SULLIVAN F.M., BORZELLECA J.F., SCHWARZS.L., PVP – A Critical Review of the Kinetics and Toxicology of Polyvinylpyrrolidone (Povidone), 1990 by Lewis Publishers, ISBN 0-87371-288-9.[online].[Cit.20.12.2009],Dostupný z WWW:<[http://books.google.cz/books?id=9GzTf98e\\_IQC&printsec=frontcover&dq=sorption+PVP&source=gbs\\_similarbooks\\_s&cad=1#v=onepage&q=sorption%20PVP&f=false](http://books.google.cz/books?id=9GzTf98e_IQC&printsec=frontcover&dq=sorption+PVP&source=gbs_similarbooks_s&cad=1#v=onepage&q=sorption%20PVP&f=false)>
- [2] BÜHLER V. Polyvinylpyrrolidone Excipients for Pharmaceuticals, Povidone, Crospovidone and Copovidone, Berlín 2005, ISBN 3-540-23412-8.[on-line].[cit. 20.12.2009]. Dostupný z WWW:<[http://books.google.cz/books?id=4Uddy4MVeDQC&printsec=frontcover&dq=sorption+PVP&source=gbs\\_similarbooks\\_s&cad=1#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.cz/books?id=4Uddy4MVeDQC&printsec=frontcover&dq=sorption+PVP&source=gbs_similarbooks_s&cad=1#v=onepage&q=&f=false)>
- [3] SHANGHAI LITE CHEMICAL TECHNOLOGY CO., LTD., Polyvinylpyrrolidone (PVP K15,K17,K25,K30,K60,K90).[on-line]. Dostupný z WWW:<<http://www.made-in-china.com/showroom/litechem/productdetailEInJmpalWQwW/China-Polyvinylpyrrolidone-PVP-K15-K17-K25-K30-K60-K90-.html>>
- [4] SPECIALCHEM - Polyvinylpyrrolidone Center. What is PVP? [on-line]. Dostupný z WWW:<<http://www.specialchem4adhesives.com/tc/polyvinylpyrrolidone/index.aspx?id=pvp-chemsitry>>
- [5] Knowledgerush - encyclopedia, PVP – polyvinylpyrrolidon [on-line]. Dostupný z WWW: <[http://www.knowledgerush.com/kr/encyclopedia/PVP\\_-\\_Poly\\_Vinyl\\_Pyrrolidone/](http://www.knowledgerush.com/kr/encyclopedia/PVP_-_Poly_Vinyl_Pyrrolidone/)>
- [6] SPECIALCHEM - Polyvinylpyrrolidone Key Properties, [on-line]. Dostupný z WWW: <<http://www.specialchem4adhesives.com/tc/polyvinylpyrrolidone/index.aspx?id=key-properties>>

- [7] BÜHLER, V. Kollidon- Polyvinylpyrrolidone for the pharmaceutical industry. 4th ed. Germany, 1998, s.287, ISBN 3-540-23412-8.
- [8] MARUŠINCOVÁ, H.: Studie možností biologického odstraňování polyvinylpyrrolidonu, UTB Zlín, diplomová práce, 2009[cit.20.1.2010].
- [9] S. TRIMPIN, P. EICHHORN, H. J. RÄDER, K. MÜLLEN AND T. P. KNEPPER - Recalcitrance of poly(vinylpyrrolidone): evidence through matrix-assisted laser desorption–ionization time-of-flight mass spectrometry. [on-line]. 15. August 2001 [Cit. 12.1.2010].  
Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>
- [10] GREGORY A. LORAINE., Oxidation of Polyvinylpyrrolidone and an Ethoxylate Surfactant in Phase-Inversion Wastewater,2008. [online].[cit. 31.1.2010] Dostupný z WWW:<[http://www.dynaflow inc.com/Publication/pdf\\_documents/Oxidation\\_of\\_PVP.pdf](http://www.dynaflow inc.com/Publication/pdf_documents/Oxidation_of_PVP.pdf)>
- [11] HORIKOSHI, S., a kol. Photocatalyzed degradation of polymers in aqueous semiconductor suspensions V. Photomineralization of lactam ring-pendant polyvinylpyrrolidone at titania/water interfaces. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 138,2001,s.69-77.
- [12] PONEC V.,KNOR Z.,ČERNÝ S., Adsorpce na tuhých látkách, Praha 1968,SNTL –nakladatelství technické literatury, str.13-15, ISBN 04-624-67.
- [13] Vysoká škola Chemicko-Technologická v Praze – Sorpce  
[on-line], ].[cit. 31.1.2010] Dostupný z WWW:  
[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/sorpce.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/sorpce.html)
- [14] VIRGINIATECH - Sorption Processes [on-line],1996. [Cit.18.1.2010].  
Dostupný z WWW:<<http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/sorp/sorp.html>>
- [15] Vysoká škola Chemicko-Technologická v Praze – Adsorpce  
[on-line], [Cit. 28.1.2010]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k24.adsorpce.pdf>>

- [16] HOFFMANN, J., ŘEZNIČKOVÁ, I., RŮŽIČKA, J. Technologická cvičení z ochrany prostředí, část I. Zlín, prosinec 1999. str. 38-42, [Cit. 28.1.2010].
- [17] Vysoká škola Báňská – Ostrava, Ochrana vod. [on-line]. [Cit. 28.1.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.hgf.vsb.cz/shared/uploadedfiles/hgf/EV-modul4.pdf>>
- [18] Vysoká škola Chemicko-Technologická v Praze – Adsorpční rovnováhy [on-line], [Cit. 28.1.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.2.html>>
- [19] BLUM A. E. and EBERL D. D., Measurement of clay surface areas by polyvinylpyrrolidone (PVP) sorption: A new method for quantifying illite and smectite abundance [online]. [cit. 31.1.2010]. Dostupný z WWW: <<http://ccm.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/52/5/589>>
- [20] HERBERT H.P. FANG; HEHUI ZHENG, Adsorption of Phthalates by Activated Sludge And Its Biopolymers, 1.červen 2004, [on-line]. [Cit. 29.1.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.ingentaconnect.com/content/tandf/envt/2004/00000025/00000007/art00003>>
- [21] MANFRED CLARA, BIRGIT STRENN, ERNIS SARACEVIC AND NORBERT KREUZINGER, Adsorption of bisphenol-A, 17 $\beta$ -estradiol and 17 $\alpha$ -ethinylestradiol to sewage sludge, 19.červen 2004. [on-line]. [Cit. 29.1.2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>
- [22] DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2006-05-09 [cit. 27.1.2010]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- [23] HARTMAN, M., SVOBODA, K., VESELÝ, V., TRNKA, O., a CHOUR, J., Tepelné zpracování čistírenských kalů. Praha 20.1.2003 [online]. [cit. 27.1.2010]. Dostupný z WWW: <[http://www.chemickelisty.cz/docs/full/2003\\_10\\_01.pdf](http://www.chemickelisty.cz/docs/full/2003_10_01.pdf)>



- [24] HOBLER Tadeusz., Absorpce, Praha 1967, SNTL – nakladatelství technické literatury, str. 23-25, ISBN 04-601-67
- [25] Speciální metody instrumentální analýzy II. , Ing. Josef Houser, Ph.D.  
[online].[cit. 31.1.2010] Dostupný z WWW:<<http://www.geopolymer.cz/uiozp/studmat/201028161259/T8SM2Na.pdf>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PVP	Polyvinylpyrrolidon
AOPs	Předřazené oxidační procesy
TOC	Celkový organický uhlík
TN	Organicky vázaný dusík
ČOV	Čistírna odpadních vod
IČ	Infračervená spektroskopie
UV	Ultrafialové záření
NVP	N-vinyl-2-pyrrolidon
AIBN	2,2'-Azobisisobutyralnitril
TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý
DBP	Dibutylftalát
DEP	Diethylftalát
PCB	Polychlorované bifenyly
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Schéma polymerace [2].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2. Reppeho syntéza Polyvinylpyrrolidonu [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3. Stupeň polymerace produktu [2].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4. Mechanismus radikálové polymerace N-vinylpyrrolidonu ve vodě [2].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 5. Mechanismus radikálové polymerace N-vinylpyrrolidonu ve 2-propanolu [2].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6. Kalibrační křivky pro fotometrické stanovení Kollidon Kollidon 30 a Kollidon 90 s jódem [7].....</i>	<i>17 19</i>
<i>Obr. 7. Adsorpce vs. Absorpce [14].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 8. Kalibrační závislost PVP K30.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 9. Závislost koncentrace PVP na Chezacarbu S v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití jodometrického stanovení PVP, respektive stanovení N a C.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 10. Závislost koncentrace PVP na Stříž Reo Fb v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 11. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C, respektive jodometrického stanovení PVP. Koncentrace aktivovaného kalu 4,05 g.l<sup>-1</sup>.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 12. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C. Koncentrace aktivovaného kalu 3,4 g.l<sup>-1</sup>.....</i>	<i>42</i>

- Obr. 13. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 3,4 g.l<sup>-1</sup> .....43*
- Obr. 14. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 3,0 g.l<sup>-1</sup> .....43*
- Obr. 15. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....44*
- Obr. 16. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....45*
- Obr. 17. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....46*
- Obr. 18. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....47*
- Obr. 19. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....49*
- Obr. 20. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....51*
- Obr. 21. Závislost koncentrace PVP na biologickém kalu v závislosti na koncentraci PVP v roztoku při použití stanovení N a C.  
Koncentrace aktivovaného kalu 2,0 g.l<sup>-1</sup> .....52*

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. I.</i>	<i>Obecné vlastnosti PVP [2].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. II.</i>	<i>Rozpusťnost PVP v organických rozpouštědlech [1].....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. III.</i>	<i>Příprava standardů acetanilidu.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. IV.</i>	<i>Příprava standardů uhličitanu a hydrogenuhličitanu sodného.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. V.</i>	<i>Ředění vzorku na sorpci PVP s Chezacarbem S.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. VI.</i>	<i>Kalibrace roztoku PVP K30.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. VII.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na Chezacarb S.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. VIII.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. IX.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. X.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. XI.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. XII.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. XIII.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. XIV.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. XV.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. XVI.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. XVII.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. XVIII.</i>	<i>Hodnoty sorpce PVP na aerobní aktivovaný kal.....</i>	<i>52</i>

**EVIDENČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Sigla (místo uložení diplomové práce)	Ústřední knihovna UTB ve Zlíně
Název diplomové práce	Možnosti sorpce PVP na biologické kaly
Autor diplomové práce	Bc. Stanislav Klívar
Vedoucí diplomové práce	Ing. Josef Houser, Ph.D.
Vysoká škola	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Adresa vysoké školy	Nám. T.G.Masaryka 5555, 760 01 Zlín
Fakulta (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Fakulta technologická, nám.T.G. Masaryka 275, 760 01 Zlín
Katedra (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Ústav inženýrství ochrany životního prostředí
Rok obhájení DP	2010
Počet stran	62
Počet svazků	1
Vybavení (obrázky, tabulky...)	Obrázků 21, tabulek XVIII
Klíčová slova	Polyvinylpyrrolidon, PVP, sorpce, aerobní aktivovaný kal