

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Iveta Podhorná

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Vliv výroby buničiny z jednoletých rostlin na ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany  
Iveta Podhorná

Bakalářská práce  
2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Iveta Podhorná**  
Osobní číslo: **C15057**  
Studijní program: **B2802 Chemie a technická chemie**  
Studijní obor: **Chemie a technická chemie**  
Název tématu: **Vliv výroby buničiny z jednoletých rostlin na ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany**  
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

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

1. V rámci své praxe v podniku OP papírna, s.r.o. Olšany se seznámte s výrobou buničiny z jednoletých rostlin a s technologií čištění OV využívanou v podnikové ČOV a na dané téma zpracujte literární rešerši.
2. Během praxe odebírejte vzorky odpadních vod z výroby buničiny, při jejíž výrobě se používají celulózová vlákna ze lnu, sisalu a konopí setého. U vzorků stanovte CHSK, BSK, NL a pH.
3. Získané poznatky vyhodnoťte s ohledem na vliv suroviny využívané jako zdroj celulózových vláken na provoz ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany.
4. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 "Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu" v platném znění.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Libor Dušek, Ph.D.**

Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Pavel Knápek**


OP papírna, s. r. o. Olšany

Datum zadání bakalářské práce:

**6. února 2018**


Termín odevzdání bakalářské práce:

**4. července 2018**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Mikuláček, CSc.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 4. 7. 2018

Iveta Podhorná

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Liboru Duškovi, PhD. za ochotu, odborné vedení a vstřícný přístup. Panu Ing. Pavlu Knápkovi děkuji za pomoc při realizaci experimentální části, vyhodnocení výsledků a poskytnutí cenných rad.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce je věnována dopadu výroby buničiny z jednoletých rostlin na ukazatele znečištění v odpadních vodách. V teoretické části je pojednáno o výrobě buničiny z jednoletých rostlin a popis funkce ČOV. Experimentální část práce se zabývá praktickým měřením ukazatelů znečištění.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Odpadní vody, jednoleté rostliny, ukazatelé znečištění.

## **TITLE**

Influence of production of pulp from annual plants to waste water treatment plant OP paper mill, s.r.o, Olšany.

## **ANNOTATION**

The thesis is devoted to the impact of production pulp from annual plants on pollution indicators in waste water. The theoretical part includes overview production of pulp from annual plants and function description of the waste water treatment plant function. The experimental part of the work deals with the practical measurement indicators of pollution.

## **KEYWORDS**

Waste water, annual plants, indicators of pollution.

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| Úvod .....   | 13        |
| <b>1 Teoretická část .....</b>   | <b>14</b> |
| 1.1 ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany.....   | 14        |
| 1.1.1 Odpadní vody přicházející na ČOV:.....                                   | 14        |
| 1.1.2 Stručný popis technologie ČOV .....                                      | 14        |
| 1.2 Legislativa vodního hospodářství .....                                     | 16        |
| 1.3 Výroba buničiny z jednoletých rostlin.....                                 | 18        |
| 1.3.1 Vláknité suroviny pro papírenský průmysl.....                            | 19        |
| 1.3.2 Jednoleté rostliny: .....  | 19        |
| 1.3.3 Fáze výrobního procesu výroby buničiny z jednoletých rostlin: .....      | 22        |
| 1.3.4 Spotřeba vody a odpad z jednotlivých výrobních kroků .....               | 26        |
| 1.4 Chlorované organické sloučeniny (AOX) .....                                | 27        |
| 1.5 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK).....                                      | 27        |
| 1.6 Biologická spotřeba kyslíku (BSK <sub>5</sub> nebo BSK <sub>7</sub> )..... | 28        |
| 1.7 Celkové nerozpuštěné látky (NL).....                                       | 29        |
| 1.8 Fosfor a dusík (celk. P a celk. N).....                                    | 29        |
| 1.9 pH.....  | 30        |
| 1.10 Aktivovaný kal.....   | 30        |
| <b>2 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>  | <b>31</b> |
| 2.1 Stanovení CHSK.....  | 31        |
| 2.1.1 Postup pro měření CHSK pololátka.....                                    | 31        |
| 2.1.2 Postup pro měření CHSK MŽ .....  | 32        |
| 2.2 Měření BSK <sub>5</sub> respirometrickou metodou.....                      | 33        |
| 2.3 NL .....   | 35        |
| 2.4 Stanovení pH.....  | 36        |
| <b>3 NAMĚŘENÉ HODNOTY .....</b>  | <b>37</b> |
| 3.1 Naměřené hodnoty z kanálu pololátka.....                                   | 37        |
| 3.2 Naměřené hodnoty z měrného žlabu .....                                     | 40        |



|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>Závěr .....</b>              | <b>44</b> |
| <b>Použitá literatura .....</b> | <b>45</b> |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1: Blokové technologické schéma ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany [2].....       | 15 |
| Obrázek 2: Strukturální vzorec celulózy [4].....                                     | 18 |
| Obrázek 3: Základní model popisující výrobu buničiny z jednoletých rostlin [5] ..... | 18 |
| Obrázek 4: Technologické schéma výroby buničiny z jednoletých rostlin [10].....      | 22 |
| Obrázek 5: Schéma popisu sušícího stroje pro výrobu buničiny .....                   | 25 |
| Obrázek 6: UV/VIS spektrofotometr typu DR 2800 HACH LANGE.....                       | 33 |
| Obrázek 7: Zařízení pro měření BSK <sub>5</sub> respirometrickou metodou.....        | 35 |
| Obrázek 8: EUTECH pHTester 10,20,30,10 BNC .....                                     | 36 |
| Obrázek 9: Odběrové místo – kanál pololátka.....                                     | 37 |
| Obrázek 10: Odběrové místo – měrný žlab .....  | 40 |
| Obrázek 11: Hodnoty CHSK <sub>Cr</sub> naměřené za měsíc červenec - měrný žlab.....  | 43 |
| Obrázek 12: Hodnoty CHSK <sub>Cr</sub> naměřené za měsíc srpen - měrný žlab .....    | 43 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1: Přípustné emisní limity vypouštěného znečištění na odtoku z BČOV OP papírna, s. r. o.....  | 16 |
| Tabulka 2: Hodnoty CHSK v mg/l v černém výluhu pocházející z nátronové výroby.....  | 23 |
| Tabulka 3: Typické hodnoty parametrů v mg/l v odpadních vodách sulfátových celulózek po biologickém čištění odpadních vod (aktivovaný kal) za předpokladu dobré konstrukce a provozu zařízení [10].....     | 30 |
| Tabulka 4: Kyvetové testy MERCK-příprava vzorku pro měření CHSK <sub>Cr</sub> v mg/l .....  | 32 |
| Tabulka 5: Na základě znalosti CHSK daného analyzovaného vzorku byla zvolena očekávaná hodnota BSK <sub>5</sub> a k ní příslušný objem vzorku a množství inhibitoru nitrifikace použitý při stanovení ..... | 34 |
| Tabulka 6: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc červenec pocházející z kanálu pololátka .....   | 38 |
| Tabulka 7: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc srpen pocházející z kanálu pololátka .....  | 39 |
| Tabulka 8: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc červenec pocházející z měrného žlabu .....  | 41 |
| Tabulka 9: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc srpen pocházející z měrného žlabu .....   | 42 |

## SEZNAM ZKRATEK

|          |  |
|----------|--|
| ČOV      | Čistírna odpadních vod                                 |
| BČVO     | Biologická čistírna odpadních vod                      |
| EO       | Ekvivalentní počet obyvatel                            |
| NL       | Nerozpuštěné látky                                     |
| CHSK     | Chemická spotřeba kyslíku                              |
| BSK      | Biochemická spotřeba kyslíku                           |
| AOX      | Chlorované organické sloučeniny                        |
| SO 23    | Usazovák   |
| SO 03    | Usazovák   |
| SO 06/03 | Akcelerátor  |
| FLI      | Stanovení zbytků vláken                                |
| °SR      | Stupeň mletí   |
| BAT      | Nejlepší dostupné techniky (Best Available Techniques) |

## ÚVOD

OP papírna, s.r.o. patří mezi členy rakouského holdingu Delfort a je zaměřena na výrobu cigaretového papíru, tenkých tiskových papírů, cigaretové konfekce a buničiny z jednoletých rostlin tzv. pololátky. Olšanská papírna byla založena v roce 1861 v podhůří Jeseníků a po celou dobu své existence patří mezi významné světové výrobce cigaretového papíru.

Papír je v podstatě list vláken s řadou přidaných chemikálií, ovlivňujících vlastnosti a kvalitu listu. Vedle vláken a chemikálií vyžaduje výroba papíru také velké objemy provozní vody a energii ve formě elektřiny a tepla z páry. Z toho vyplývá, že hlavní environmentální problémy, spojené s výrobou vláknin (buničin) a papíru, se týkají emisí do vody, emisí do ovzduší a spotřeby energií. Proto se očekává, že odpad bude nabývat stále většího environmentálního významu. Vlákna pro výrobu papíru může být vyráběna z přírodních vláknitých materiálů chemickým nebo mechanickým způsobem nebo může být připravována rozvlákněním sběrového papíru. Papírna může jednoduše využívat vlákniny, získané kdekoli, nebo může být integrována s výrobou vlákniny (celulózkou) ve stejné lokalitě.

Podle druhu vyráběného papíru je voda upravována na požadovanou čistotu. Způsob úpravy závisí na přítomných nežádoucích látkách. Při čištění se využívají stejné procesy, které probíhají i v přírodě, ale intenzivněji a provádí se také dezinfekce chlórem nebo ozónem.

Úprava vod spočívá v mechanickém čištění a dále ve fyzikálně-chemických a chemických zásazích. Vzhledem k speciální výrobě pololátky papírna nedisponuje klasickou technologií čištění odpadních vod z výroby buničiny jako klasické celulózky (zahuštění a spálení výluhu za účelem regenerace a zisku energie). Likvidování těchto odpadních vod provádí pomocí třístupňového chemického srážení pomocí síranu hlinitého.

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv výroby buničiny z jednoletých rostlin tzv. pololátky na jednotlivé ukazatele znečištění a tím na celou ČOV. Na základě praktického měření v provozních podmínkách papírny daného závodu byly odebrané vzorky vyhodnoceny v laboratoři ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany pomocí ukazatelů znečištění  $CHSK_{Cr}$ ,  $BSK_5$  a NL. Tyto hodnoty jsou zdokumentovány pomocí tabulek a grafů, viz naměřené hodnoty.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany

Součástí areálu papírny je dvoustupňová mechanicko-biologická čistírna odpadních vod s projektovanou kapacitou BČOV 28 167 EO [1]. Je primárně určena k čištění odpadních vod z výroby tenkých tiskových papírů, cigaretových papírů a výroby buničiny z jednoletých rostlin (tzv. pololátky). Dále jsou na ČOV přiváděny splaškové odpadní vody, které se skládají jak z odpadních vod firmy, tak z vod okolních obcí Klášterec a Olšany. Vyčištěné odpadní vody jsou následně vypouštěny do vodního toku řeky Moravy.

### 1.1.1 Odpadní vody přicházející na ČOV:

#### **Bílé odpadní vody z papírenských strojů:**

Do této skupiny odpadních vod patří oplachové vody, vody z výplivu třídění, výjimečně odpadní vody z přeпадů nádrží. Jedná se o vody s obsahem vláken, plnidel a s minimálním množstvím škrobu. Část předčištěných odpadních vod je odváděna zpět do provozu.

#### **Odpadní vody z výroby buničiny z jednoletých rostlin (pololátky), tzv. barevné odpadní vody:**

Mají charakteristické světle hnědé zbarvení, které je způsobeno zbytky ligninu po bělení buničiny. Tyto vody mají pH v oblasti mezi 7,5 – 10. Obsah CHSK, NL a BSK<sub>5</sub> závisí na provozu jednotlivých linek výrobního procesu. Odpadní vody mohou obsahovat nízký obsah volného Cl.

#### **Splaškové vody, kalová voda:**

Splaškové vody a kalová voda (vzniká při odvodňování kalů) jsou přiváděny přímo na biologický stupeň do aktivace.

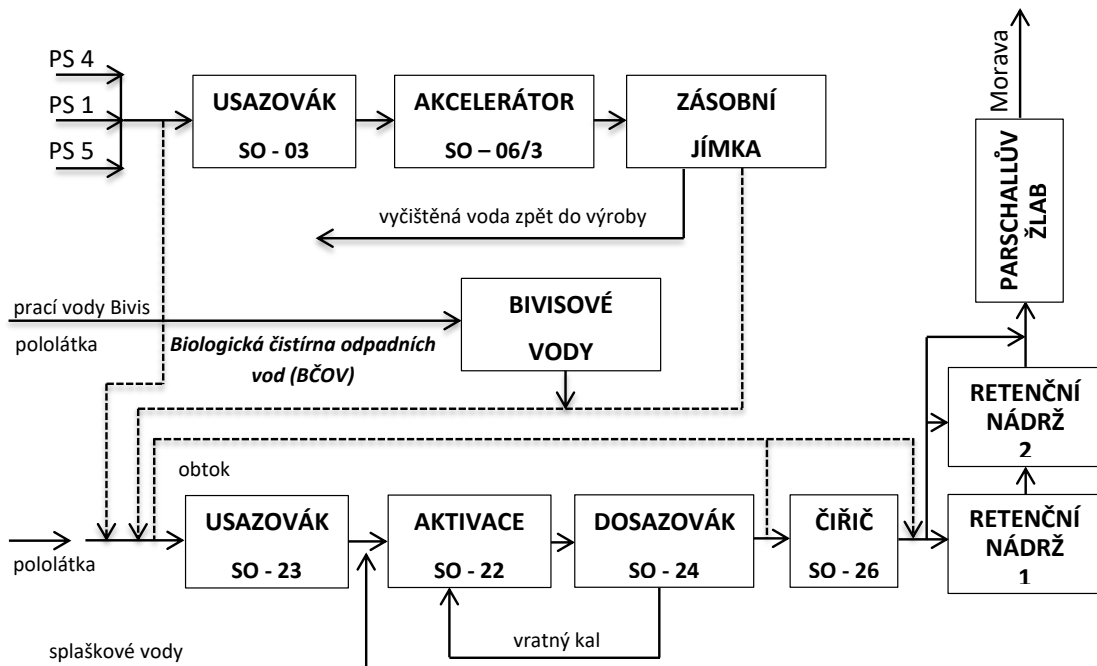
### 1.1.2 Stručný popis technologie ČOV

Bílé odpadní vody jsou přiváděny do sedimentační nádrží SO 03, SO 06/03 a dále pak do nádrže předčištěné odpadní vody. Odtud je část předčištěné odpadní vody odváděna zpět do závodu, zbytek je přečerpáván přímo v usazovací nádrži SO 23 a část přímo do nátoky aktivace, jak znázorňuje blokové technologické schéma ČOV.

Odpadní vody z pololátky a odpadní prací vody jsou přiváděny do sedimentační nádrže SO 23. V místě jejich míchání je dávkována kyselina sírová a koagulant (síran hlinitý). Síran hlinitý je dávkován tak, aby došlo ke snížení NL i CHSK. Dávkování síranu je řízeno na základě údajů o kvalitě odtoku z usazovací nádrže – pH, CHSK.

Odtok z nádrže SO 23 je veden přímo do aktivace. Ta je rozdělena na 6 částí: směšovač (21 m<sup>3</sup>), dva selektory (139 m<sup>3</sup>) a tři spojené aktivační nádrže (8 x 22 m, 845 m<sup>3</sup>). V roce 2017 byl v aktivačních nádržích instalován nový provzdušňovací systém ASEKO.

Aktivovaný kal je od vyčištěné vody oddělován v dosazovací nádrži. Na odtoku z dosazovací nádrže je odtok dočišťován koagulací (dávkování – polyaluminimchlorid a anionaktivní flokulant). K separaci pak dochází v čířiči [1].



Obrázek 1: Blokové technologické schéma ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany [2]

## 1.2 Legislativa vodního hospodářství

Jak už bylo v úvodu zmíněno, výroba papíru je považována za významný zdroj znečištění vody i ovzduší. Proto se provádí kontrola a měření emisí do vody, emisí do ovzduší a kontrola vzniku odpadu. Přehled povoleného znečištění emisemi do vody na odtoku BČOV pro podnik OP papírna s. r. o. uvádí Tabulka 1.

*Tabulka 1: Přípustné emisní limity vypouštěného znečištění na odtoku z BČOV OP papírna, s. r. o.*

| <b>Ukazatel</b>                    | <b>Přípustná koncentrace<br/>p* (mg/l)</b> | <b>Maximální koncentrace<br/>m* (mg/l)</b> |
|------------------------------------|--|--|
| <b>CHSK<sub>Cr</sub></b>           | 160  | 250  |
| <b>BSK<sub>5</sub></b>             | 30   | 50   |
| <b>NL</b>                          | 30   | 60   |
| <b>AOX</b>                         | 1  | 1,4  |
| <b>Měsíční průměr v<br/>(mg/l)</b> |  |  |
| <b>Hg</b>                          | 0,03                                       |  |

\*Pozn.: **p** - Uváděné koncentrace nejsou roční průměry a mohou být překročeny v povolené míře podle hodnot v příloze č.5 NV č.61/2003 Sb..

**m** - Uváděné koncentrace jsou maximální a jsou nepřekročitelné.

### **Nejdůležitější zákony, kterými se zabývá vodní hospodářství:**

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

Nariadení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.

Nariadení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Vyhláška č. 252/2013 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy.



Nariadení vlády č. 143/2012 Sb., o postupu pro určování znečištění odpadních vod, provádění odečtů množství znečištění a měření objemu vypouštěných odpadních a povrchových vod.  
Vyhláška č. 123/2012 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Vyhláška 20/2002 Sb., o způsobu a četnosti měření množství a jakosti vody.

Vyhláška 216/2011 Sb., o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl.

Zákon 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

### **Ovzduší:**

ČOV je z hlediska ochrany ovzduší klasifikována jako vyjmenovaný zdroj znečišťování ovzduší – Zákon 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší (dále jen zákon).

Pro zdroj: „Čistírna odpadních vod“ nejsou legislativně stanoveny emisní limity, platí pro něj ovšem technická podmínka provozu: „Za účelem snížení emisí znečišťujících látek obtěžujících zápachem využívat opatření ke snižování emisí těchto látek, např. provedením odsávání odpadních plynů do zařízení k omezování emisí, zakrytáváním jímek a dopravníků, uzavřením objektů, pravidelným odstraňováním usazenin organického původu ze zařízení pro předčištění odpadních vod, dodržování technologické kázně“.

Podmínky pro provoz stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, kód 2.7.:

1. Dodržování technologických podmínek dle návodu k obsluze, zejména s důrazem na správný chod čerpadel, které zajišťují homogenizaci odpadní vody.
2. Z prostoru česlí budou pravidelně odstraňovány zachycené plovoucí nečistoty a budou ukládány tak, aby bylo zamezeno možnému vnášení pachových látek do ovzduší (např. budou ukládány do uzavřených nádob).
3. Skladování kalů a dalších odpadů z čištění bude prováděno tak, aby byl minimalizován potenciální vznik pachových látek.

### **Odpady:**

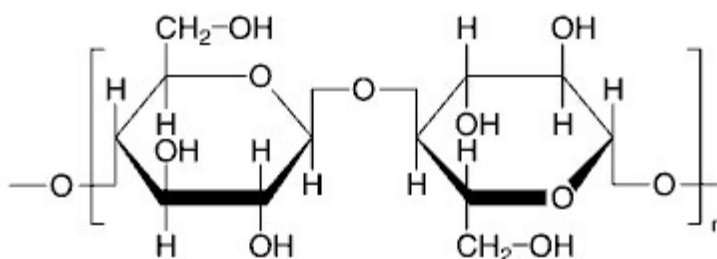
Zákon 185/2001 Sb., o odpadech.

Vyhláška 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

### 1.3 Výroba buničiny z jednoletých rostlin

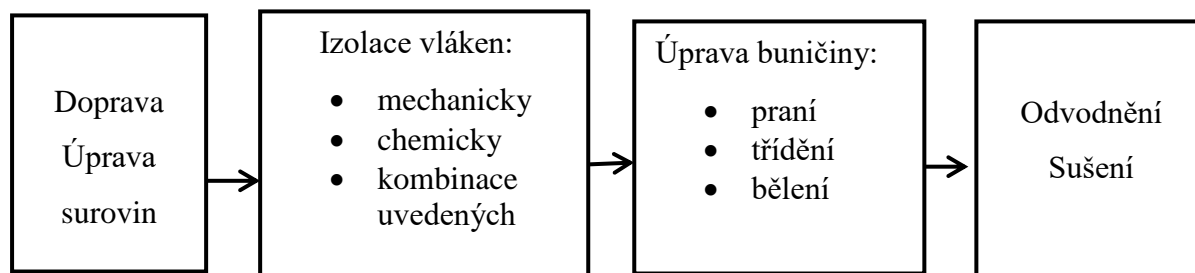
OP papírna, s.r.o. je jedinou papírnou v České republice se speciální výrobou buničiny z jednoletých rostlin, která se využívá na výrobu cigaretového, ručního a ceninového papíru. Ojedinelost této technologie s dlouholetou tradicí spočívá ve specifické chuti cigaretového papíru vyrobeného právě z této buničiny.

Pojem buničina se používá k označování papírenského polotovaru, který je směsí celulózy, hemicelulózy a zbytků ligninu. Celulóza, jejíž základní jednotkou je  $\beta$ -D-glukopyranóza, je hlavní stavební látkou buněčných stěn rostlin, která je nerozpustná ve vodě [4].



Obrázek 2: Strukturální vzorec celulózy [4]

S rozvojem výroby papíru a rozšířením výroby celulózových vláken, fólií a jiných derivátů vznikaly postupně různé výrobní postupy, které poskytovaly buničiny vyžadovaných vlastností. Další kvalitativní skok ve vývoji technologií buničin nastal postupně s rostoucími požadavky na ochranu životního prostředí. Změny směřovaly k nižším spotřebám energií a postupnému snižování znečištění odpadních vod a plynných emisí.



Obrázek 3: Základní model popisující výrobu buničiny z jednoletých rostlin [5]

- příprava roztoků chemických činidel na delignifikace a bělení,
- oddělování rozpuštěných látek ve výluhu od buničiny jejím praním,
- třídění nebílých a bílých buničin,

- d) regenerace chemikálií a využití vyrobené páry na produkci elektrické energie.

Výrobu každého druhu buničiny určují tyto faktory:

- a) vyžadované vlastnosti buničiny,
- b) spotřeba surovin a energií na její výrobu,
- c) vzniklé odpady a jejich vliv na životní prostředí.

### **1.3.1 Vlákenné suroviny pro papírenský průmysl**

Vlákna používaná na výrobu papíru rozdělujeme na základní skupiny [6]:

- a) rostlinné (len, hadry, dřevoviny, mechanické, chemické buničiny dřevin a rostlin),
- b) živočišné (vlna, srst),
- c) nerostné přírodní (azbestové) a umělé (skleněné, čedičové),
- d) chemická vlákna z přírodních polymerů, z regenerované celulózy (viskózová),
- e) chemická vlákna ze syntetických polymerů (polyamidové, polyesterové, syntetická buničina).

Z vláknin mají dominantní postavení vlákna z dřevin a rostlin, které se dále člení podle původu [6]:

1. vlákna z jehličnanových a listnatých dřevin, rostlinných stonků a stébel,
2. ze slámy, bambusu a dalších jednoletých rostlin,
3. vlákna z tobolek (bavlna),
4. lýková vlákna (len, konopí),
5. vlákna z listů (sisal).

### **1.3.2 Jednoleté rostliny:**

Na výrobu papíru lze využívat tzv. hadroviny, tj. vlákna lnu, konopí a bavlny. Ty se především uplatňují při výrobě speciálních papírů, k nimž během času přibyla i vlákna jednoletých rostlin.

## **Konopí (*Cannabis sativa*)**

Konopí seté, označované také jako technické konopí, je teplomilná jednoletá rostlina z řádu konopovitých (*Cannabaceae*). Tato rostlina dorůstá do výšky 3 – 4 m, listy se rozebíhají do 3 – 9 úzkých výběžků o délce 7 – 15 cm. Její stonky jsou pevné a vnitřní kůra je vláknitá.

Technické konopí je všestranně využitelná plodina, neboť všechny části této rostliny se dají využít a nevzniká žádný odpad. Rostlina obsahuje cca 25 % vlákniny, zbytek je pazdeří - dřevitá hmota pro stavební účely, papírenský nebo automobilový průmysl. Nejvíce se těchto vláken využívá v textilním průmyslu. Konopná vlákna jsou ze všech přírodních rostlinných vláken nejodolnější vůči působení tepla, světla, vody a povětrnostních vlivů. Používají se na různé technické textilie vyžadující trvanlivost a odolnost. Rostliny pěstované pro vlákno (textilní rostliny) mají mít co největší výšku a co nejméně kolínek. Dále se využívá květu a semen, zejména v kosmetickém průmyslu, potravinářství nebo lékařství [7].

## **Len (*Linum usitatissimum*)**

Len setý je jednoletá rostlina z čeledi lnovité (*Linaceae*). Dorůstá výšky asi 1,2 m, listy jsou kopinaté a střídavé. Kvete světle modře, květ má pět kališních a korunních lístků a plodem je pětipouzdrá tobolka. Rozlišujeme len jarní, len přadný (dlouhý stonek), len olejný a len olejo-přadný.

Len setý se pěstuje pro lněné vlákno a pro olejnatá semena. Len je hned po bavlně jeden z nejrozšířenějších typů rostlinných vláken používaných v textilním průmyslu pro výrobu mnoha produktů, jako jsou tkaniny, nitě apod. Po zpracování lnu získáme oloupané dlouhé vlákno-technické vlákno, dále odpady – krátká vlákna s pazdeřím (koudel).

Česaný len se používá k výrobě nejtenčí příze pro oděvy. Lněná koudel se používá k výrobě hrubé příze na hrubé tkaniny, motouzy, pytloviny. Krátká lněná vlákna se také používají při výrobě speciálních druhů papíru. Hrubý odpad se používá k čalounění interiéru vozidel a z netkaných materiálů se vyrábějí izolace pro stavební účely nebo geotextilie k ochraně půdy proti erozi [8].

Vlákna lnu se z rostliny získávají přípravnou procedurou (trhání – odsemeňování a lámání stonků – rosení nebo máčení – tření – pročešávání vláken). K výrobě lněné příze se pak dá použít jen asi 10 % vláken, zbytek je koudel (k výrobě hrubších přízí), pazdeří a odpady.

## **Sisal (*Agave sisalana*)**

*Agave sisalana* patří do rodu jednoděložných rostlin z čeledi agávovitých (Agavaceae). Rod *Agave* obsahuje přibližně 300 druhů, z nichž převážná většina pochází z Mexika. Vlákno dostalo název podle malého přístavního města Sisal, odkud se prvně dováželo sisalové vlákno.

*Agave sisalana* je tropickou rostlinou, která má 150 cm dlouhé kořeny a tlustý stonek. Vytváří přízemní růžice dlouhých dužnatých listů, které mohou dorůst do výšky až 2 m. Listy jsou 10 – 15 cm široké, obsahují pevnou vláknitou výztuž a jsou zakončeny ostny pokrytými drobným práškem. Ve středu listové růžice vyrůstá rozvětvený stonek květenství. Rostliny kvetou v dospělosti, po dvaceti až padesáti letech. Květy mají žlutou, bílou nebo zelenou barvu a ústí květů směřují vzhůru (na rozdíl od *Aloe*). V místě květu se po oplodnění vyvine malá rostlinka, která se po čase snese na zem, kde zakoření. Po odkvětu dospělé rostliny odumírají. Po 2,5 – 4 letech se postupně odsekávají odspodu seschlé listy a svazují do svazků. Rostlina *Agave sisalana* vytvoří během svého života 200 – 300 listů [9].

Z listů se stroji za spolupůsobení vody odstraní měkká dužina, až se uvolní surové vlákno, které se suší a bělí na slunci. Následně se kartáčuje a jeho kvalita je dána vyčesáním vláken. Rostlina vydrží až půl roku bez vody a daří se jí jen v tropickém a subtropickém pásmu [6].

Vlákna sisalu mají bílou až světlehnědou barvu. Technická vlákna jsou dlouhá 50 – 130 cm, elementární 1 – 5 mm. Vlákna jsou hrubá a tuhá, proto se k výrobě textilií na oděvní výrobky nehodí. Využívají se ke zhotovování nábytkových tkanin, koberců, lan, motouzů, peelingových rukavic a žínek [9].



Nátronový proces výroby buničiny je známý od roku 1853 až 54, kdy Burgess a Watt přihlásili patent na alkalický rozklad dřeva za tlaku a zvýšené teploty. Studené alkálie se při přípravě papírenských buničin používaly ještě dříve na delignifikaci nedřevitých rostlin (sláma).

Nátronový postup se používá při zpracování jednoletých rostlin, a to jak za studena (tzv. studený nátronový proces) na výrobu chemicko-mechanických buničin, tak i za horka na výrobu polochemických a chemických buničin. Důvodem je skutečnost, že na zpracování jednoletých rostlin není kyselý sulfitový způsob zcela vyhovující, a to z důvodu vyššího obsahu olejových částí jednoletých rostlin a velkého obsahu  $\text{SiO}_2$ .

Nátronová výroba buničiny je nejjednodušší způsob výroby, kdy se jednoleté rostliny vaří v roztoku NaOH. Buničina má potom výrazně žlutou až hnědou barvu a musí se dále bělit [5,6,10].

Zde vzniká černý výluh s hodnotou CHSK, viz tabulka 2.

*Tabulka 2: Hodnoty CHSK v mg/l v černém výluhu pocházející z nátronové výroby*

| <b>Jednoletá rostlina</b> | <b>Hodnota CHSK (mg/l)</b> |
|---------------------------|----------------------------|
| Konopí                    | 210 000                    |
| Len                       | 245 000                    |
| Sisal                     | 280 000                    |

### **3. Praní**

Proces praní spočívá v rozvláknění a z jednoho anebo více stupňů protiproudého zahušťování papíroviny v dostupných zahušťovacích zařízeních (válcové a pásové filtry). Prání odbarví papírovinu a sníží obsah plniv a ostatních nečistot. Prací vody mají vysoký obsah plniv, jemného podílu a vláken a je potřebné je vhodně zpracovat [5,6,10].

### **4. Mletí**

Termín mletí vyjadřuje mechanickou úpravu vláken v mlecím zařízení, při kterém dochází k změně rozměrů a morfologických struktur vláken spojených hydratací. Následně se nechávají vlákna v nádrži tzv. relaxovat a pak se zkracují pomocí soustavy mlecích agregátů.

Funkčními prvky mletí jsou nože statoru a nože rotoru, pohybující se navzájem v opačném směru velkou rychlostí. Po mletí následuje odvodnění na lisu Vanex0 [6,10,11].

## 5. Bělení

Vlákna po válce obsahují zbytkový obsah ligninu, který způsobuje nežádoucí hnědé zabarvení buničiny. Bělost je určována jako schopnost absorbovat a rozptylovat světelné záření na povrchu listů připravených z buničiny [6]. Optické vlastnosti se určují na základě Kubelka-Munkové rovnice [5]:

$$R_{\infty} = 1 + (k/s) - \sqrt{(k/s)^2 + 2(k/s)}$$

Kde je:

$R_{\infty}$  bělost,

$k$  koeficient světelné absorpce a závisí na barevné složce v buničině, druhu dřevěné hmoty a některých změnách během výroby buničiny,

$s$  koeficient rozptylu světla a závisí hlavně na technologickém postupu výroby buničiny.

Zbytek ligninu je z buničiny odstraněn procesem bělení, který se na základě použitých chemikálií dělí do tří kategorií:

a)  $Cl_2$ ,

b) ECF – ELEMENTARY CHLORINE COMPOUNDS FREE

Bělení bez použití elementárního chlóru –  $H_2O_2$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2O$ ,

c) TCF – TOTAL CHLORINE COMPOUNDS FREE

Bělení bez chlórovaných sloučenin –  $H_2O_2$ ,  $O_2$ ,  $CH_3COOOH$ .

OP papírna, s.r.o. využívá tři stupňového bělení [6]:

1) stupeň:  $H_2O_2 + NaOH$ ,

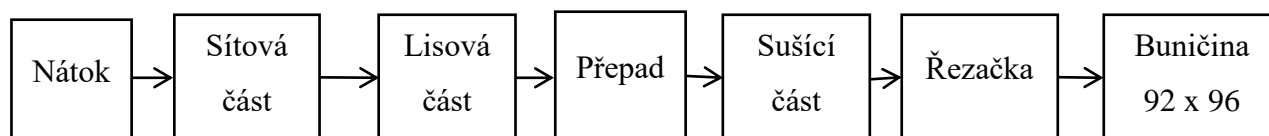
2) stupeň:  $Cl_2O$ ,

3) stupeň:  $H_2O_2 + NaOH$ .



## 6. Třídění

Jedná se o nutný proces k odstranění cizích příměsí, které by mohly způsobit potíže při vlastní výrobě. K třídění dochází pomocí soustavy třídičů, oddělujícího nežádoucí částice z buničiny pomocí vytvořeného víru, kdy dochází pomocí odstředivé síly a na základě rozdílné hustoty částic ke kumulaci na vnější straně víru. Při třídění se z ekonomického hlediska využívá více stupňů třídění, kdy tzv. výpliv z předchozího čištění je částečně znovu přečištěn [5,6,10], viz schéma na obrázku 5.



Obrázek 5: Schéma popisu sušícího stroje pro výrobu buničiny

## 7. Odvodnění a sušení buničiny

Na konci sušící linky je řezačka, která upravuje buničinu na dané formáty, ve kterých se dováží do papíren [6].

## 8. Finální úprava a kontrola

### a) Mezioperační kontrola:

Kontrola kvality várky, mletí a sekání.

### b) Výstupní kontrola:

**Stupeň mletí °SR** – Jedná o stanovení odvodňovací schopnosti papíroviny (2 g a.s.) naředěné do 1 l vody. Pro stanovení se používá přístroj Schopper-Riegler a výsledek se vyjadřuje jako stupeň mletí °SR [6,10].

**Stupeň provaření Kappa ( $\text{KMnO}_4 + \text{H}^+$ )** – Číslo Kappa udává stupeň provaření pololátky nebo stupeň delignifikace. Podstatou zkoušky je oxidace rozvlákněné pololátky ve vodě za přítomnosti kyseliny sírové, přesně odměřeným množstvím manganistanu draselného při teplotě 25 °C po dobu 10 minut. Nespotřebovaný manganistan draselný se pak určí titračně [10].

**Stanovení fyzikálních vlastností** – Zkušební archy připravené na archovači dle návodu na obsluhu o plošné hmotnosti 24 g/m<sup>2</sup>. Stanovuje se plošná hmotnost, tržná délka, pevnost v dotržení, tuhost, bělost a porozita [10].

### 1.3.4 Spotřeba vody a odpad z jednotlivých výrobních kroků

Spotřeba a pohyb vody v papírně je specifická pro každý papírenský stroj a druh vyráběného papíru. Na její hodnocení je potřebné vykonat celkovou materiálovou bilanci vody a tuhých součástí papíroviny, která nám dá přehled o spotřebě čerstvé vody, množství recirkulujících a odpadních vod.

Voda, která už dále neplní svoji funkci je odváděna z papírny na čištění a nazývá se odpadní voda. Je znečištěná jak suspendovanými organickými (vlákna, jemný podíl glejiva) a anorganickými látkami (plniva, pigmenty), tak i rozpuštěnými organickými (ligninové a sacharidové složky vláken, pomocnými prostředky – glejiva, barviva) a anorganickými látkami (síran hlinitý, vodní sklo, hlinitan sodný) a sloučeninami, které vznikly vzájemnou interakcí přítomných látek. Tyto látky nejsou toxické. Organické látky jsou biologicky odbouratelné. Mezi těžko odbouratelné však patří syntetické pomocné prostředky.

Podle daných předpisů, které vycházejí ze zákona o vodách a navazujících vyhlášek, se může v povrchových vodách nacházet jen přípustné množství nežádoucích látek. Mezi emisemi do vod převládají organické sloučeniny, jejichž oxidací se spotřebovává ve vodě rozpuštěný kyslík. Jejich kvantitativní zastoupení se obvykle stanovuje skupinovými parametry CHSK a BSK<sub>5</sub>. Odpadní vody z bělírny, používající bělicí chemikálie, obsahují chlorované sloučeniny s organicky vázaným chlórem, měřené jako AOX. Emise barevných sloučenin mohou negativně působit na živé organismy, protože např. snižují průhlednost vody. Emise živin (dusičnany a fosforečnany) působí negativně v důsledku eutrofizace vod. Dále se v odpadních vodách objevují v nízkých koncentracích kovy extrahované ze dřeva.

Spotřeba vody jednotlivými podniky v zemích EU se značně liší, a to i více než 10krát a pohybuje se mezi 15 – 100 m<sup>3</sup>/t. Čísla vyšší než 50 m<sup>3</sup> jsou běžně způsobena započítáváním čisté vody používané pro chlazení. Spotřebu vody celulózky a papírny je možné snížit zvýšením její vnitřní recirkulace. Množství používané vody je úzce spjata se zatížením odpadních vod. Znečištění závisí převážně na dispozičním řešení a provozování procesů působících hlavní podíl vypouštěného znečištění a na stupni uzavřenosti vodního systému závodu. V následujících kapitolách jsou uvedeny hlavní zdroje odpadních vod a odpovídající zatížení znečišťujícími látkami [10,12].

## 1.4 Chlorované organické sloučeniny (AOX)

Veřejná debata o papírenském průmyslu se již po mnoho let zaměřuje na problém organických sloučenin chlóru ve vypouštěných odpadních vodách. Rozdíl ve vnímání dopadu chlorových sloučenin na životní prostředí veřejností zvýšil tlak na celulózky v západní Evropě, a tudíž změna v marketingové koncepci podniků prakticky zastavila používání elementárního chlóru při bělení buničiny [12]. To znamená, že již nedochází ke vzniku chlorových dioxinů a dibenzofuranů a stupeň chlorování zbylých sloučenin chlóru poklesl. Současně s poklesem vypouštěných adsorbovatelných organických látek (AOX) se změnilo i jejich vzájemné zastoupení. Například trichlorfenol až pentachlorfenol, tj. fenolové sloučeniny, které se rozkládají nejpomaleji a jsou nejtoxičtější, se omezily pod hodnotu 1 g/t vzduchosuché buničiny [10,12].

## 1.5 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

*Definice:* Chemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku, které se přesně za vymezených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě silnými oxidačními činidly ( $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Udává se jako hmotnost kyslíku, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla na 1 litr vody, nejčastěji v  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  a u odpadních vod s velkou mírou znečištění v  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Hodnota CHSK je mírou celkového obsahu organických látek ve vodě, a proto patří mezi důležité ukazatele každého rozboru všech typů vod [1,2].

V dnešní době se ke stanovení CHSK používají dvě metody. Rozdíl je v použití oxidačního činidla manganistanu draselného nebo dichromanu draselného. Dichromanová metoda dosahuje vyššího oxidačního účinku, proto je také účinnější. Zatímco pro stanovení CHSK na úpravách pitné vody se tradičně používá manganistanová metoda, pro vody povrchové se používají obě metody a pro stanovení v odpadních vodách využíváme pouze dichromanovou metodu. V každém případě jsou obě metody vzájemně nezaměnitelné, neboť poskytují odlišné výsledky a je třeba udávané výsledky k dané metodě přiřadit. V praxi se toto rozlišuje pomocí indexu činidla uvedeného u zkratky parametru, tedy  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  nebo  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ .

Míra snížení CHSK souvisí s typem a množstvím čištěných odpadních vod (např. kondenzáty se odbourávají snadněji než úniky), konstrukcí a hydraulikou čistírny a vhodným nastavením provozních parametrů. Dobře zkonstruovanou a provozovanou čistírnou s nízkým zatížením by mělo být dosaženo úrovně snížení CHSK o 65 – 75 %. Dlouhé retenční doby

však znamenají velké provzdušňovací bazény a vyšší spotřebu energie pro míchání a čerpání. Aby byla čistírna považována za dobře fungující zařízení, měl by pokles CHSK po aerobním čištění překročit 55 % [10,12].

Proto sulfátové celulózky na bělenou buničinu mohou obecně dosáhnout emisní úrovně 8 – 23 kg CHSK/t. Hodnota CHSK naměřená v odpadních vodách těchto celulózek se pohybuje v rozmezí 250 – 400 mg/l.

Nejběžnějším důvodem horšího výkonu čistírny s aktivovaným kalem je zvolené konstrukční řešení a její přetížení. Na druhé straně nejlepší čistírny dosahující odstranění CHSK kolem 75 % pracují na úrovni, kde další snížení obsahu organických látek (měřeného jako pokles CHSK) je prostředky biologického čištění značně omezené [1,10,12].

## **1.6 Biologická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub> nebo BSK<sub>7</sub>)**

*Definice:* Biochemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy při biochemických procesech na rozklad organických látek ve vodě při aerobních podmínkách. Toto množství kyslíku je přímo úměrné koncentraci přítomných biologicky rozložitelných organických látek. Biologicky nerozložitelné látky nejsou v tomto stanovení zahrnuty. Hodnota BSK se vyjadřuje v jednotkách hmotnostní koncentrace mg·l<sup>-1</sup>. Organické látky jsou, jak už bylo zmíněno, jedním z hlavních ukazatelů znečišťujících složek vody. BSK stejně jako CHSK patří mezi důležité ukazatele znečištění vody. Dále je BSK důležitým ukazatelem kyslíkového režimu vod a účinnosti biologických čistíren [1,2].

Hodnota BSK závisí na mnoha faktorech, jako je např. reakční doba, reakční teplota, druh, koncentrace a stupeň adaptace mikroorganismů provádějících rozklad, koncentrace biogenních prvků v prostředí, koncentrace kyslíku, pH prostředí, přítomnost toxických či inhibičních látek.

Nejběžnější metodou stanovování BSK<sub>5</sub> je standardizovaná tzv. zředovací metoda. Metoda spočívá ve stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku v předem připraveném vzorku vody nultého a pátého dne inkubace. Vzorek je vytemperován na teplotu inkubace, nasycen kyslíkem a popřípadě zředěn. Inkubace vzorku spočívá v jeho ponechání v uzavřené láhvi při teplotě 20 °C bez přístupu světla a vzduchu.

Kromě zředovací metody se dále používají metody respirometrické, založené na principech plynoměrné analýzy, kterými lze eliminovat některé nedostatky zředovací metody. Za výhodu považujeme to, že můžeme pracovat bez zředění odpadních vod, napodobovat podmínky při biologické čištění odpadních vod v aktivaci a sledovat celý průběh BSK, vliv pH a vliv toxických látek [1,10].

V dobře vyprojektované čistírně se odstraní BSK z odpadních vod celulózkou téměř úplně (účinnost > 95 %), pokud se dobře řídí a udržuje se dostačující poměr uhlíku k fosforu a dusíku a zásobování kyslíkem. V případě poruch v nátoku nebo jestliže se některé z provozních parametrů vzdalují od cílové úrovně, začne BSK v odpadních vodách stoupat. Pak je nutné seřídit provozní parametry nebo analyzovat biomasu. Hodnota ukazatele BSK v odpadní vodě souvisí s řízením systému a lze ji použít jako indikátor zdravotního stavu aktivní biomasy.

Ve vyčištěných vodách je dosažitelná hodnota BSK 10 – 25 mg/l spojená s uplatněním BAT. V závislosti na objemu průtoku vody to odpovídá 0,3 kg BSK<sub>5/t</sub> (při 10 mg/l a 30 m<sup>3</sup> objemu/t) a 1,3 kg BSK<sub>5/t</sub> (při 25 mg/l a 50 m<sup>3</sup> objemu) [1,12].

## 1.7 Celkové nerozpuštěné látky (NL)

*Definice:* Nerozpuštěné látky jsou tuhé a suspendované látky, které jsou vodami unášeny, sunuty po dně nebo plavou na hladině. Jejich stanovení se provádí pomocí filtrace a vysušení zbytku (filtračního koláče) při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti. Nerozpuštěné látky se při čištění odpadních vod odstraňují využitím česla, síta, lapáků a usazovací nádrže [1,2].

Za normálních provozních podmínek je voda ze sekundární dosazovací nádrže dost čistá. Obsah nerozpuštěných látek se pohybuje v rozmezí od 20 do 30 mg/l. To odpovídá vypouštění 0,6 – 1,5 kg NL/t (při objemu vody 30 – 50 m<sup>3</sup>/t). Hodnoty závisí na povrchovém zatížení sekundární dosazovací nádrže a vlastnostech biomasy [1].

## 1.8 Fosfor a dusík (celk. P a celk. N)

Do biologické čistírny se obvykle přidávají minerální živiny pro udržení rovnováhy C : P : N, která má zásadní důležitost pro růst aktivní biomasy. Je nezbytné najít a udržet rovnováhu mezi přichozími sloučeninami dusíku a fosforu, které jsou pro biomasu k dispozici, a množstvím přidávaných živin, což vyžaduje určité jemné regulování přívodu

živin. Celulóžky často do odpadních vod fosfor nepřidávají, zatímco přídavek dusíku (obvykle ve formě močoviny) je pro celulóžky nevyhnutelný. Při dobré optimalizaci systému se dosahuje vypouštění fosforu pod 0,2 – 0,5 mg celk. P/l a dusíku 2 – 5 mg celk. N/l. Odpovídající specifické zatížení je 0,01 – 0,03 kg P/t a 0,1 – 0,25 kg N/t (při objemu vody 50 m<sup>3</sup>/t). Celkové P z bělené buničiny je lehce vyšší než z nebělené, kvůli fosforu rozpuštěnému v bělíně [1].

## 1.9 pH

pH – záporný dekadický logaritmus číselné hodnoty aktivity vodíkových iontů vyjádřených v molech na 1 litr. V důsledku interakcí ionů je aktivita vodíkových iontů poněkud menší než jejich koncentrace.

### 1.10 Aktivovaný kal

Účinnost čištění se liší v závislosti na typu odpadních vod, uspořádání čistírny a provozních podmínkách. Běžné účinnosti jsou 85 – 98 % pro odstranění BSK<sub>5</sub>, 60 – 85 % pro CHSK. Snížení AOX je v rozsahu 40 – 65 %, fosforu o 40 – 85 % a dusíku o 20 – 50 %. Celková účinnost odstranění NL u primárního i sekundárního čištění je asi 85 – 90 % [1].

Typické koncentrace po čištění aktivovaným kalem: V dobře konstruovaných a provozovaných čistírnách mohou být sníženy lehce rozložitelné organické sloučeniny, měřené jako BSK<sub>5</sub>, na 20 – 40 mg/l a množství celkových nerozpuštěných látek (NL) na stejnou úroveň. Koncentrace fosforu a dusíku jsou do velké míry závislé na NL, jelikož množství rozpuštěných živin může být při dobrém provozování čistírny sníženo na velmi nízkou hodnotu. Pro CHSK, což je indikátor celkového množství organických látek, závisí koncentrace po čištění na obsahu těžko rozložitelného materiálu [1,12]. V následující tabulce 3 můžeme vidět typické parametry koncentrace v mg/l.

*Tabulka 3: Typické hodnoty parametrů v mg/l v odpadních vodách sulfátových celulóžek po biologickém čištění odpadních vod (aktivovaný kal) za předpokladu dobré konstrukce a provozu zařízení [10]*

| Parametr           | BSK <sub>5</sub> | CHSK      | NL      | Celkový fosfor | Celkový dusík |
|--------------------|------------------|-----------|---------|----------------|---------------|
| <b>Koncentrace</b> | 20 – 40          | 300 – 500 | 20 – 40 | 0,2 – 0,4      | 2 – 4         |

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část bakalářské práce se zabývala vlastním měřením a sledováním provozu výroby buničiny jednoletých rostlin. Byly získány hodnoty vybraných ukazatelů znečištění ( $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BSK}_5$ ,  $\text{NL}$ ) pocházející z kanálu pololátky za sledované období červenec a srpen 2017.

### 2.1 Stanovení CHSK

Metoda: Oxidace vzorku se prováděla horkým vodným roztokem dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové s využitím katalyzátoru dusičnanu stříbrného. Přítomnost chloridů byla maskována pomocí síranu rtuťnatého a koncentrace zelených iontů  $\text{Cr}^{3+}$  byla následně stanovena fotometricky. Vlnová délka byla nastavena na hodnotu vlnové délky  $\lambda = 593 \text{ nm}$ .

Přístroje a pomůcky: Kyvetové testy MERCK, spektrofotometr DR 2800, termoreaktor CR 3200 od firmy WTW, automatická pipeta.

Reference: Testy LCK 614.

#### 2.1.1 Postup pro měření CHSK pololátka

Do kruhové kyvety přímo do roztoku reagensů obsahující látku A a B, byl dávkován předem upravený vzorek odpadní vody o objemu 1 ml, jak je uvedeno v tabulce 4. Obsah kyvety se zahřál a byl důkladně uzavřen víčkem. Následně byl vzorek intenzivně promíchán a zahříván při teplotě  $148 \text{ }^\circ\text{C}$  po dobu 120 minut v termoreaktoru. Po ukončení zahřívání byla kyveta vyjmuta z vyhřívacího bloku a zvolna chladnula ve stojanu. Po 10 minutách byl vzorek v kyvetě protřepán a poté se nechal vychladnout na pokojovou teplotu.

Tabulka 4: Kyvetové testy MERCK-příprava vzorku pro měření  $CHSK_{Cr}$  v mg/l

| Rozsah CHSK       | Roztok A | Roztok B | Vzorek |
|-------------------|----------|----------|--------|
| 500 – 10 000 mg/l | 2,2 ml   | 1,8 ml   | 1,0 ml |

Pozn.:

Roztok A:  $H_2SO_4$  25 – 50 % a  $HgSO_4$  1 – 2 %

Roztok B:  $H_2SO_4$  25 – 100 % a  $K_2Cr_2O_7$  0,5 – 1 %

Pro následné měření byl využit spektrofotometr DR 2800 pro analýzu vody, do něhož byla pro toto měření vložena vlastní kalibrační křivka. Zařízení automaticky nastavilo pomocí identifikace čárového kódu pro analýzu správnou vlnovou délku a pomocí uložených koeficientů vypočítalo okamžitě výsledek. Během měření absorbance kyveta se vzorkem rotuje. To umožňuje provést měření v různých bodech kyvety. Během měření jsou zjištěny a vyřazeny odlehle hodnoty a ze zbývajících hodnot jsou vypočítány průměry. Tento postup zvyšuje přesnost naměřených výsledků a eliminuje chyby vzniklé např. v důsledku znečištění kyvety.

### 2.1.2 Postup pro měření CHSK MŽ

Metoda: Oxidace vzorku se prováděla horkým vodným roztokem dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové s využitím katalyzátoru dusičnanu stříbrného. Přítomnost chloridů byla maskována pomocí síranu rtuťnatého a koncentrace zelených iontů  $Cr^{3+}$  byla následně stanovena fotometricky. Vlnová délka byla nastavena na hodnotu  $\lambda = 593$  nm.

Přístroje a pomůcky: Kyvetové testy HACH-LANGE, spektrofotometr DR 2800, termoreaktor CR 3200 od firmy WTW, automatická pipeta.

Reference: Metoda Merk 14541.

Postup:

Válcová kyveta testu LCK 614 s předem připraveným roztokem reagentů umožňujícího měření CHSK v rozsahu 50 – 300 mg/l byla protřepána a opatrně byly dávkovány 2 ml vzorku vody. Po uzavření byla ještě jednou protřepána a vložena do termoreaktoru na dobu



120 minut při teplotě 148 °C. Po uplynutí doby reakce byla vyjmuta a nechala se zvolna zchladnout. Po 10 minutách se s kyvetou zatřepalo a nechala se zvolna zchladnout na teplotu 18 – 20 °C.

Pro následné měření byl využit spektrofotometr DR 2800 pro analýzu vody. Kyveta na měření  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  byla označena čárovým kódem, který při rotaci kyvety ve fotometru přečetla zvláštní čtečka čárového kódu. Zařízení automaticky nastavilo pomocí identifikace čárového kódu pro analýzu správnou vlnovou délku a pomocí uložených koeficientů vypočítalo okamžitě výsledek. Během této rotace mohlo navíc provést v různých bodech kolem této kyvety několik měření. Byly zjištěny a vyřazeny odlehle hodnoty a ze zbývajících hodnot byly vypočítány průměry. Tato metoda zvyšovala přesnost naměřených výsledků a eliminovala všechny chyby v důsledku znečištění kyvety.



Obrázek 6: UV/VIS spektrofotometr typu DR 2800 HACH LANGE

## 2.2 Měření $\text{BSK}_5$ respirometrickou metodou

Respirometrické (manometrické) měření je založeno na měření podtlaku v uzavřeném systému. Mikroorganismy obsažené ve vzorku odpadních vod spotřebovávají kyslík a produkují  $\text{CO}_2$ , který je absorbován NaOH a vzniká tak podtlak.

Přístroje a pomůcky: Termostat s regulátorem teploty a vnitřními krytými zásuvkami pro připojení míchacího plata, míchací plato, OxiTop měřící hlavice, hnědé vzorkovnice o objemu 510 ml, míchací magnetická tyčinka, gumové toulce (vkládají se špičkami s NaOH do lahví), odměrné sklo (pipety, odměrné válce) nebo WTW odměrné baňky s přesně definovanými objemy, nálevka, teploměr.

Úprava vzorku před stanovením BSK<sub>5</sub>:

Vzorky bylo nutno zpracovat nejpozději do 24 hodin po odběru. Pokud se stalo, že vzorky byly silně kyselé či alkalické, bylo nutno pH upravit na hodnotu v rozmezí 6 – 8 pomocí roztoků hydroxidu sodného či kyseliny sírové (NaOH c = 0,1 mol/l, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> c = 0,05 mol/l).

Vzorky se před samotným stanovením nechaly vytemperovat na teplotu 15 – 20 °C.

Pracovní postup stanovení BSK<sub>5</sub> respirometrickou metodou:

Do tmavé láhve o objemu 510 ml se předložilo magnetické míchadlo a odměřil zvolený objem vzorku o teplotě 10 – 20 °C. Tato láhev byla před použitím umyta, opláchnuta destilovanou vodou a vysušena v sušárně při teplotě 70 °C. Do láhve se vzorkem byl přidán inhibitor nitrifikace v množství odpovídajícímu objemu vzorku dle tabulky 5. Do hrdla láhve byl vložen gumový toulec se dvěma pecičkami NaOH, který se nesměl dostat do vzorku vody (změnil by hodnotu pH a tím průběh celého stanovení).

*Tabulka 5: Na základě znalosti CHSK daného analyzovaného vzorku byla zvolena očekávaná hodnota BSK<sub>5</sub> a k ní příslušný objem vzorku a množství inhibitoru nitrifikace použitý při stanovení*

| <b>Měřicí rozsah<br/>BSK<sub>5</sub> (mg/l)</b> | <b>Použitý objem<br/>vzorku (ml)</b> | <b>Přepočítávací<br/>faktor f</b> | <b>Počet kapek roztoku<br/>inhibitoru nitrifikace</b> |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 0 – 40  | 432                                  | 1                                 | 9   |
| 0 – 80  | 365                                  | 2                                 | 7   |
| 0 – 200   | 250                                  | 5                                 | 5   |
| 0 – 400   | 164                                  | 10                                | 3   |
| 0 – 800   | 97                                   | 20                                | 2   |
| 0 – 2000  | 43,5                                 | 50                                | 1   |
| 0 – 4000  | 22,7                                 | 100                               | 1   |

\*U neznámých vzorků předpokládáme BSK<sub>5</sub> 50 – 80 % hodnoty CHSK.

Měřicí hlavice tzv. OxiTop byla našroubována na láhev a pevně dotáhnuta. Měřicí systém byl nastartován současným stlačením dvou tlačítek **S** a **M** na OxiTop hlavici po dobu cca 2 sekund. Na displeji se objevil ukazatel **00**, tím byly předchozí záznamy hodnot vymazány a nastartovalo se nové měření. Láhev byla přemístěna ve svislé poloze na míchadlo

do termostatu při teplotě 20 °C. OxiTop začal automaticky měřit spotřebu kyslíku v tzv. digit (dílký) a tyto hodnoty ukládat v intervalu 24 hodin po dobu 5 dnů.

Odečet uložených naměřených hodnot byl zjištěn stlačením tlačítka **S** do chvíle aktivace ukazatele **F**. Ten zobrazil pořadové číslo dne (např. 2F) a po 1 sekundě uloženou hodnotu v paměti (např. 09).

### Ukončení analýzy

Pátý den po stisknutí tlačítka **S** – opakovaně (1F, 2F, 3F, 4F, 5F) se zobrazila poslední hodnota měření = výsledek BSK<sub>5</sub> v digitech.

Počet digit byl vynásoben přepočítávacím faktorem  $f$  dle použitého objemu vzorku a byla zjištěna hodnota BSK<sub>5</sub> podle vztahu:

$$BSK_5 = n \cdot f$$

Kde je:

$n$  – počet dílků odečtených po 5 dnech inkubace,

$f$  – přepočítávací faktor z Tabulky 5.



Obrázek 7: Zařízení pro měření BSK<sub>5</sub> respirometrickou metodou

## 2.3 NL

Stanovení nerozpustných látek ve výluhu pomocí filtrace.

Vzorek výluhu se řádně protřepal a bylo odměřeno přesně 250 ml. Zvážený vysušený filtr s přesností na 0,001 mg byl vložen do Büchnerovy nálevky a navlhčen destilovanou

vodou. Po zapnutí vývěvy byl připravený vzorek výluhu zfiltrován. Filtrační papír byl sušen v sušárně při 105 °C do konstantní hmotnosti. Poté byl vložen do exikátoru a po vychladnutí zvážen s přesností na 0,001 mg.

Výpočet: 
$$c = (m_1 - m_2) * \frac{1000}{V} [mg/l]$$

Kde je:

c – NL v mg/l

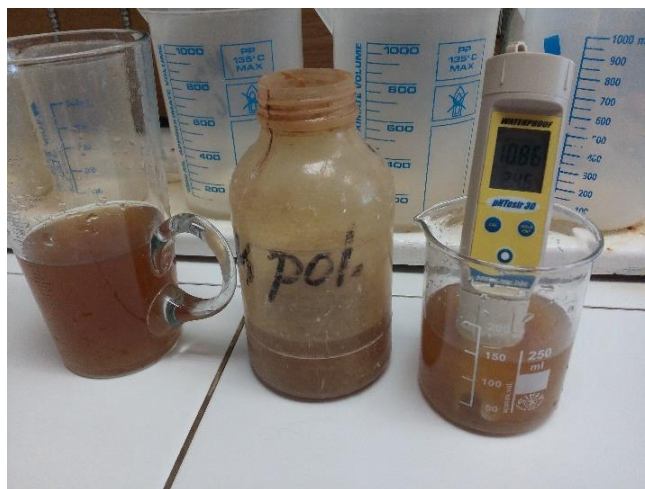
m<sub>1</sub> – hmotnost filtru po filtraci v mg,

m<sub>2</sub> – hmotnost filtru před filtrací v mg,

V – objem filtrovaného výluhu v ml.

## 2.4 Stanovení pH

Jelikož se hodnota pH vzorku vody rychle mění v důsledku chemických, fyzikálních nebo biologických pochodů, je nutné ho měřit co nejdříve po odběru. Pro měření byl použit pH metr model pH Tester 10,2030,10BNC, Spear. Jedná se o vodotěsný přístroj s automatickou teplotní kompenzací a třibodovou automatickou kalibrací. Elektroda, opláchnutá destilovanou vodou, byla ponořena do promíchaného vzorku odpadní vody a započalo měření. Výsledkem byla hodnota pH zkorigovaná na teplotu 25 °C. Pak byla elektroda opět opláchnuta destilovanou vodou, osušena filtračním papírem a do dalšího měření uchována v pufru pH 6,86.



Obrázek 8: EUTECH pHTester 10,20,30,10 BNC

### 3 NAMĚŘENÉ HODNOTY

#### 3.1 Naměřené hodnoty z kanálu pololátka

Odběrovým místem pro praktickou část bakalářské práce byl kanál pololátka, do něhož jsou přiváděny tzv. barevné vody z výroby buničiny z jednoletých rostlin. V následujících tabulkách jsou zpracovány naměřené hodnoty jednotlivých ukazatelů (CHSK<sub>Cr</sub>, BSK<sub>5</sub>, NL a teploty).



*Obrázek 9: Odběrové místo – kanál pololátka*

Tabulka 6: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc červenec pocházející z kanálu pololátka

| Číslo měření | Datum měření | Jednoletá rostlina | CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l) | BSK <sub>5</sub> (mg/l) | pH (-) | NL (mg/l) | T (°C) |
|--------------|--------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|--------|-----------|--------|
| 1            | 01.07.2017   | Len                |                           |                         | 10,74  | 1792      | 39,8   |
| 2            | 02.07.2017   | Len                |                           |                         | 10,41  | 1236      | 36,6   |
| 3            | 03.07.2017   | Len                |                           |                         | 10,99  | 780       | 40,2   |
| 4            | 04.07.2017   | Len                |                           |                         | 9,64   | 2250      | 36,9   |
| 5            | 05.07.2017   | Len                |                           |                         | 10,17  | 620       | 29,1   |
| 6            | 06.07.2017   | Len                |                           |                         | 9,59   | 570       | 28,7   |
| 7            | 07.07.2017   | Konopí             |                           |                         | 9,72   | 2404      | 40,3   |
| 8            | 08.07.2017   | Konopí             |                           |                         | 7,91   | 1400      | 38,7   |
| 9            | 09.07.2017   | Konopí             |                           |                         | 9,61   | 1440      | 40,1   |
| 10           | 10.07.2017   | Konopí             | 2999                      |                         | 10,12  | 1540      | 39,8   |
| 11           | 11.07.2017   | Len                | 3937                      | 165                     | 10,21  | 1900      | 40,1   |
| 12           | 12.07.2017   | Len                | 3932                      |                         | 10,27  | 1804      | 39,2   |
| 13           | 13.07.2017   | Len                | 5220                      |                         | 10,34  | 440       | 38,1   |
| 14           | 14.07.2017   | Len                |                           |                         | 9,68   | 2184      | 39,6   |
| 15           | 15.07.2017   | Len                |                           |                         | 9,07   | 2000      | 40,3   |
| 16           | 16.07.2017   | Konopí             |                           |                         | 9,82   | 444       | 40,2   |
| 17           | 17.07.2017   | Konopí             | 2747                      |                         | 10     | 1304      | 39,9   |
| 18           | 18.07.2017   | Konopí             | 3607                      |                         | 9,89   | 1752      | 37,5   |
| 19           | 19.07.2017   | Konopí             | 2844                      | 1300                    | 9,34   | 1268      | 41,1   |
| 20           | 20.07.2017   | Konopí             | 2181                      |                         | 9,45   | 1354      | 40,7   |
| 21           | 21.07.2017   | Len                | 4044                      |                         | 9,59   | 1776      | 40,9   |
| 22           | 22.07.2017   | Len                |                           |                         | 9,83   | 568       | 40,7   |
| 23           | 23.07.2017   | Len                | 4126                      |                         | 9,97   | 284       | 40,3   |
| 24           | 24.07.2017   | Konopí             | 2987                      |                         | 9,65   | 888       | 38,4   |
| 25           | 25.07.2017   | Konopí             | 1003                      |                         | 9,3    | 1252      | 39,4   |
| 26           | 26.07.2017   | Konopí             | 4126                      |                         | 9,11   | 1032      | 38,4   |
| 27           | 27.07.2017   | Konopí             | 1250                      |                         | 9,49   | 312       | 38,4   |
| 28           | 28.07.2017   | Konopí             | 2431                      |                         | 9,37   | 267       | 39     |
| 29           | 29.07.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,7   | 1080      | 37,9   |
| 30           | 30.07.2017   | Len                |                           |                         | 10,37  | 1020      | 38,2   |
| 31           | 31.07.2017   | Len                | 5260                      |                         | 10,13  | 928       | 38     |

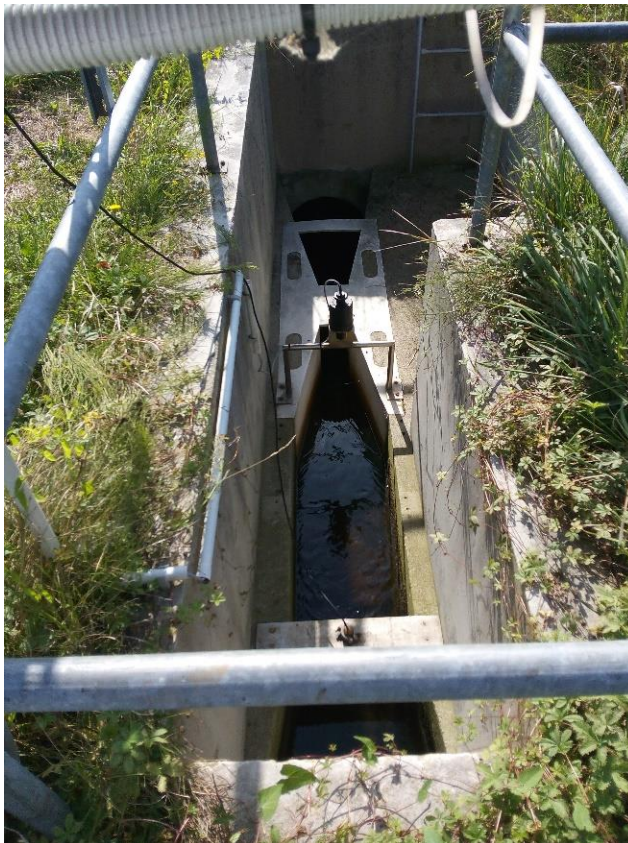
Tabulka 7: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc srpen pocházející z kanálu pololátka

| Číslo měření | Datum měření | Jednoletá rostlina | CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l) | BSK <sub>5</sub> (mg/l) | pH (-) | NL (mg/l) | T (°C) |
|--------------|--------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|--------|-----------|--------|
| 1            | 01.08.2017   | Len                | 4898                      |                         | 11,05  | 552       | 37,9   |
| 2            | 02.08.2017   | Sisal              | 5010                      |                         | 10,61  | 1376      | 39,5   |
| 3            | 03.08.2017   | Sisal              | 5580                      |                         | 10,62  | 1616      | 39,7   |
| 4            | 04.08.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,68  | 1940      | 39,5   |
| 5            | 05.08.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,15  | 1752      | 38,2   |
| 6            | 06.08.2017   | Konopí             | 2757                      |                         | 9,25   | 1336      | 37,9   |
| 7            | 07.08.2017   | Konopí             | 4163                      |                         | 10,7   | 2288      | 38,4   |
| 8            | 08.08.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,79  | 2200      | 38,1   |
| 9            | 09.08.2017   | Len                |                           |                         | 10,85  | 1984      | 36,5   |
| 10           | 10.08.2017   | Len                | 4634                      |                         | 10,18  | 2524      | 34,8   |
| 11           | 11.08.2017   | Len                |                           |                         | 10,85  | 1908      | 32,9   |
| 12           | 12.08.2017   | Len                |                           |                         | 10,78  | 1768      | 33,2   |
| 13           | 13.08.2017   | Konopí             | 1379                      |                         | 10,28  | 1664      | 34,5   |
| 14           | 14.08.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,4   | 1356      | 34,2   |
| 15           | 15.08.2017   | Konopí             | 820                       |                         | 10,19  | 1392      | 33,8   |
| 16           | 16.08.2017   | Konopí             | 1316                      |                         | 9,98   | 748       | 34,5   |
| 17           | 17.08.2017   | Konopí             | 6232                      |                         | 10,59  | 2896      | 30,6   |
| 18           | 18.08.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,07  | 1620      | 29,8   |
| 19           | 19.08.2017   | Konopí             | 2400                      | 800                     | 10,34  | 2600      | 24,7   |
| 20           | 20.08.2017   | Konopí             | 822                       |                         | 10,44  | 2436      | 23,9   |
| 21           | 21.08.2017   | Odstávka           |                           |                         | 12,28  | 1828      | 23,6   |
| 22           | 22.08.2017   | Odstávka           | 757                       |                         | 9,48   | 200       | 22,3   |
| 23           | 23.08.2017   | Odstávka           |                           |                         | 9,51   |           |        |
| 24           | 24.08.2017   | Odstávka           |                           |                         | 9,54   |           |        |
| 25           | 25.08.2017   | Odstávka           |                           |                         | 9,6    |           |        |
| 26           | 26.08.2017   | Odstávka           |                           |                         | 9,62   | 1640      | 23,6   |
| 27           | 27.08.2017   | Odstávka           |                           |                         | 9,89   |           | 21,2   |
| 28           | 28.08.2017   | Odstávka           | 1460                      |                         | 10,86  | 524       | 22,6   |
| 29           | 29.08.2017   | Konopí             |                           |                         | 10,07  | 1492      | 24,3   |
| 30           | 30.08.2017   | Konopí             | 1948                      |                         | 10,96  | 4772      | 21,8   |
| 31           | 31.08.2017   | Konopí             | 1839                      |                         | 10,43  | 2648      | 22,3   |



### 3.2 Naměřené hodnoty z měrného žlabu

Odběrovým místem pro praktickou část bakalářské práce byl tzv. měrný žlab, do něhož jsou přiváděny vyčištěné vody z ČOV. Z měrného žlabu voda vtéká do řeky Moravy. V následujících tabulkách a grafech jsou zpracovány a vyhodnoceny naměřené hodnoty jednotlivých ukazatelů (CHSK<sub>Cr</sub>, BSK<sub>5</sub>, NL a teploty).



*Obrázek 10: Odběrové místo – měrný žlab*

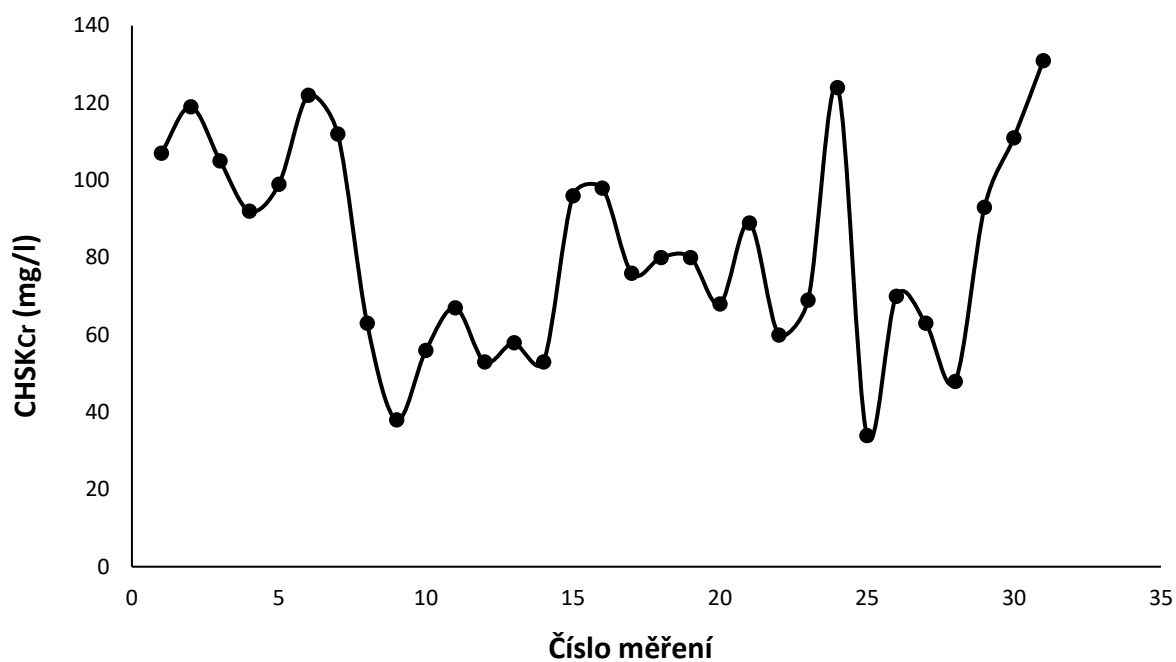


Tabulka 8: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc červenec pocházející z měrného žlabu

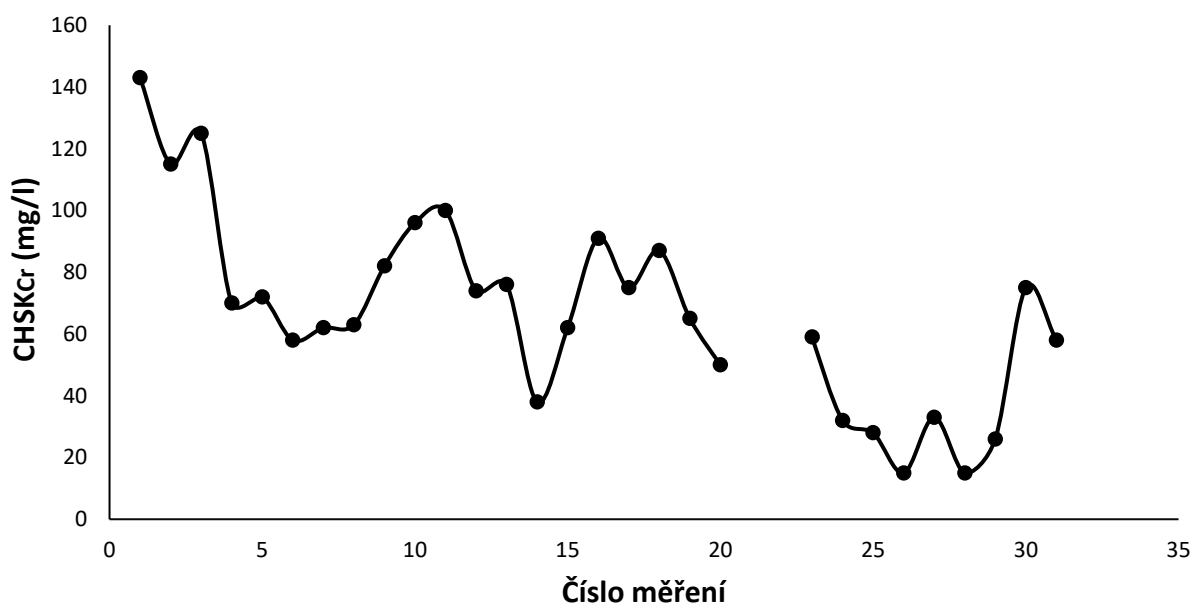
| Číslo měření | Datum měření | Jednoletá rostlina | CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l) | BSK <sub>5</sub> (mg/l) | pH (-) | NL (mg/l) | T (°C) |
|--------------|--------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|--------|-----------|--------|
| 1            | 01.07.2017   | Len                | 107                       |                         | 6,93   | 12        | 28,7   |
| 2            | 02.07.2017   | Len                | 119                       |                         | 6,62   | 30        | 26,8   |
| 3            | 03.07.2017   | Len                | 105                       |                         | 6,95   | 26        | 30,3   |
| 4            | 04.07.2017   | Len                | 92                        |                         | 6,9    | 16        | 28,2   |
| 5            | 05.07.2017   | Len                | 99                        |                         | 7,01   | 30        | 29,2   |
| 6            | 06.07.2017   | Len                | 122                       |                         | 6,66   | 30        | 30,1   |
| 7            | 07.07.2017   | Konopí             | 112                       |                         | 6,91   | 30        | 28,5   |
| 8            | 08.07.2017   | Konopí             | 63                        |                         | 5,7    | 26        | 28,6   |
| 9            | 09.07.2017   | Konopí             | 38                        |                         | 6,66   | 26        | 27,8   |
| 10           | 10.07.2017   | Konopí             | 56                        | 8                       | 6,99   | 12        | 28,8   |
| 11           | 11.07.2017   | Len                | 67                        |                         | 7,05   | 10        | 30,3   |
| 12           | 12.07.2017   | Len                | 53                        |                         | 6,88   | 14        | 32,7   |
| 13           | 13.07.2017   | Len                | 58                        | 7                       | 7,02   | 6         | 28,1   |
| 14           | 14.07.2017   | Len                | 53                        |                         | 7,17   | 8         | 27,5   |
| 15           | 15.07.2017   | Len                | 96                        |                         | 6,92   | 8         | 27     |
| 16           | 16.07.2017   | Konopí             | 98                        |                         | 6,87   | 24        | 28,7   |
| 17           | 17.07.2017   | Konopí             | 76                        |                         | 6,85   | 14        | 30     |
| 18           | 18.07.2017   | Konopí             | 80                        |                         | 7,03   | 14        | 29,1   |
| 19           | 19.07.2017   | Konopí             | 80                        |                         | 7,1    | 16        | 29,9   |
| 20           | 20.07.2017   | Konopí             | 68                        | 5                       | 7,25   | 16        | 30,1   |
| 21           | 21.07.2017   | Len                | 89                        |                         | 7,01   | 9         | 32     |
| 22           | 22.07.2017   | Len                | 60                        |                         | 7,27   | 24        | 30,6   |
| 23           | 23.07.2017   | Len                | 69                        |                         | 6,96   | 24        | 30,8   |
| 24           | 24.07.2017   | Konopí             | 124                       |                         | 6,78   | 18        | 30     |
| 25           | 25.07.2017   | Konopí             | 34                        |                         | 6,63   | 13        | 28,1   |
| 26           | 26.07.2017   | Konopí             | 70                        |                         | 6,81   | 18        | 29     |
| 27           | 27.07.2017   | Konopí             | 63                        |                         | 6,57   | 12        | 27,5   |
| 28           | 28.07.2017   | Konopí             | 48                        |                         | 6,84   | 24        | 28,7   |
| 29           | 29.07.2017   | Konopí             | 93                        |                         | 7,19   | 35        | 26,1   |
| 30           | 30.07.2017   | Len                | 111                       |                         | 7,02   | 26        | 29,6   |
| 31           | 31.07.2017   | Len                | 131                       |                         | 7,09   | 6         | 30,8   |

Tabulka 9: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění za měřené období měsíc srpen pocházející z měrného žlabu

| Číslo měření | Datum měření | Jednoletá rostlina | CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l) | BSK <sub>5</sub> (mg/l) | pH (-) | NL (mg/l) | T (°C) |
|--------------|--------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|--------|-----------|--------|
| 1            | 01.08.2017   | Len                | 143                       |                         | 7,01   | 12        | 30,7   |
| 2            | 02.08.2017   | Sisal              | 115                       |                         | 6,79   | 24        | 30,8   |
| 3            | 03.08.2017   | Sisal              | 125                       |                         | 6,97   | 26        | 30,2   |
| 4            | 04.08.2017   | Konopí             | 70                        |                         | 7,17   | 6         | 29,9   |
| 5            | 05.08.2017   | Konopí             | 72                        |                         | 7,18   | 10        | 31,1   |
| 6            | 06.08.2017   | Konopí             | 58                        |                         | 5,79   | 28        | 32,9   |
| 7            | 07.08.2017   | Konopí             | 62                        | 3                       | 6,82   | 7         | 31,1   |
| 8            | 08.08.2017   | Konopí             | 63                        | 4                       | 7,09   | 10        | 29,3   |
| 9            | 09.08.2017   | Len                | 82                        |                         | 7,38   | 4         | 28,3   |
| 10           | 10.08.2017   | Len                | 96                        |                         | 7,5    | 24        | 27,6   |
| 11           | 11.08.2017   | Len                | 100                       |                         | 7,33   | 16        | 29,8   |
| 12           | 12.08.2017   | Len                | 74                        |                         | 7,04   | 18        | 24,5   |
| 13           | 13.08.2017   | Konopí             | 76                        |                         | 7,07   | 10        | 26,5   |
| 14           | 14.08.2017   | Konopí             | 38                        |                         | 7,4    | 26        | 25,9   |
| 15           | 15.08.2017   | Konopí             | 62                        |                         | 7,48   | 4         | 28,3   |
| 16           | 16.08.2017   | Konopí             | 91                        |                         | 7,55   | 10        | 27,8   |
| 17           | 17.08.2017   | Konopí             | 75                        |                         | 7,5    | 20        | 28,8   |
| 18           | 18.08.2017   | Konopí             | 87                        |                         | 7,4    | 30        | 30,1   |
| 19           | 19.08.2017   | Konopí             | 65                        |                         | 7,48   | 28        | 27,9   |
| 20           | 20.08.2017   | Konopí             | 50                        |                         | 7,42   | 6         | 28,2   |
| 21           | 21.08.2017   | Odstávka           |                           |                         |        |           |        |
| 22           | 22.08.2017   | Odstávka           |                           |                         |        |           |        |
| 23           | 23.08.2017   | Odstávka           | 59                        |                         | 7,89   | 10        | 22,1   |
| 24           | 24.08.2017   | Odstávka           | 32                        |                         | 7,57   | 10        | 23,9   |
| 25           | 25.08.2017   | Odstávka           | 28                        |                         | 7,39   | 8         | 26,7   |
| 26           | 26.08.2017   | Odstávka           | 15                        |                         | 7,43   | 4         | 27,4   |
| 27           | 27.08.2017   | Odstávka           | 33                        |                         | 7,78   | 14        | 21,1   |
| 28           | 28.08.2017   | Odstávka           | 15                        |                         | 7,37   | 4         | 28,3   |
| 29           | 29.08.2017   | Konopí             | 26                        | 3                       | 7,55   | 16        | 26,9   |
| 30           | 30.08.2017   | Konopí             | 75                        |                         | 7,13   | 12        | 25,7   |
| 31           | 31.08.2017   | Konopí             | 58                        |                         | 7,35   | 12        | 27,4   |



Obrázek 11: Hodnoty CHSK<sub>Cr</sub> naměřené za měsíc červenec - měrný žlab



Obrázek 12: Hodnoty CHSK<sub>Cr</sub> naměřené za měsíc srpen - měrný žlab

## ZÁVĚR

Zadáním této bakalářské práce bylo seznámit se s výrobou buničiny z jednoletých rostlin a s technologií čištění odpadních vod v dané ČOV. Cílem experimentální části bylo odebrání vzorků odpadních vod v prostorách OP papírny, s.r.o. Olšany, u nichž jsem stanovovala ukazatele znečištění  $CHSK_{Cr}$ ,  $BSK_5$ , NL a pH.

Pro stanovení  $CHSK_{Cr}$  byla použita metoda oxidace vzorku horkým vodným roztokem dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové s využitím katalyzátoru dusičnanu stříbrného. Pro stanovení  $BSK_5$  bylo využito respirometrického (nanometrického) měření, které je založeno na měření podtlaku v uzavřeném systému. Nerozpuštěné látky ve výluhu byly stanoveny gravimetricky po předcházející filtraci. A hodnota pH byla zjištěna pomocí pH-metru. Experimentálně naměřené hodnoty jsou zpracovány do přehledných tabulek a grafů.

V papírně dochází k častému střídání používaných jednoletých rostlin podle aktuálního požadavku zákazníka. Experimentálně bylo dokázáno, že největší vliv na znečištění odpadní vody, pocházející z výroby buničiny z jednoletých rostlin, má Sisal. Následně koncovou čistírnu odpadních vod značně zatěžovala výroba ze lnu setého a pak výroba z technického konopí. Odpadní vody pocházející z výroby buničiny mají lehký zápach, tmavě hnědou barvu a velmi rozdílné ukazatele znečištění podle druhu zvolené jednoleté rostliny.

Odpadní vody s obsahem technického konopí za měsíc červenec přicházely na ČOV s průměrnou hodnotou  $CHSK_{Cr}$  cca 2 618 mg/l a při průchodu čistírnou se ji podařilo snížit na průměrnou hodnotu  $CHSK_{Cr}$  cca 73,5 mg/l (pokles cca o 97 %). Za měsíc srpen došlo k poklesu cca o 97 % z původní průměrné hodnoty  $CHSK_{Cr}$  cca 2 368 mg/l na hodnotu cca 64,3 mg/l.

Odpadní vody s obsahem lnu setého za měsíc červenec přicházely na ČOV s průměrnou hodnotou  $CHSK_{Cr}$  cca 4 420 mg/l a při průchodu čistírnou se ji podařilo snížit na průměrnou hodnotu  $CHSK_{Cr}$  cca 89,4 mg/l (pokles o 98 %). Za měsíc srpen došlo k poklesu cca o 98 % z původní průměrné hodnoty  $CHSK_{Cr}$  4 766 mg/l na hodnotu cca 99 mg/l.

Díky odstavení výrobní linky pro výrobu buničiny z jednoletých rostlin na konci srpna lze poukázat na dopad výroby buničiny na koncovou čistírnu. Neboť při odstávce výrobní linky se hodnotu  $CHSK_{Cr}$  vypouštěnou do řeky Moravy podařilo snížit na 15 mg/l.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Technická dokumentace ČOV OP papírna, s.r.o. Olšany.
- [2] ŠIMKOVÁ, Bc. Veronika. *Kvalita odpadních vod po úpravě technologie na ČOV v OP papírna*. Ostrava, 2009. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava.
- [3] Platné právní předpisy. [cit. 2018-06-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [4] PRÁŠILOVÁ, Jana a Jiří KAMENÍČEK. *Výroba papíru* [online]. Olomouc, 2013 [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6478907-Vyroba-papiru-text-pro-ucitele.html>. Text pro učitele. Univerzity Palackého Olomouc.
- [5] *Lignocelulóзовé materiály: multimedialna učebnica Milan Vrška a kol.* 1. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2011. ISBN 978-80-227-36.
- [6] Výroba buničiny z jednoletých rostlin: Interní prezentace. Olšany, 2017.
- [7] Konopí seté. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Konop%C3%AD\\_set%C3%A9](https://cs.wikipedia.org/wiki/Konop%C3%AD_set%C3%A9).
- [8] Len setý. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Len\\_set%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Len_set%C3%BD).
- [9] Sisal. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sisal>
- [10] Technická dokumentace – výroba buničiny OP papírna, s.r.o. Olšany.
- [11] KRKOŠKA, Pavel. *Technológia výroby papiera.* 2. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014. ISBN 978-80-227-4127.
- [12] TOBOLA, Otakar. Výroba buničiny v OP papírna, s.r.o.: Porovnání vybraných hodnot OP papírna, s.r.o. s referenčním dokumentem „Nejlepší dostupné techniky v průmyslu papíru a celulózy“. Olšany, 2010.