

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

# **BIOFILTRAČNÍ JEDNOTKA PRO ČIŠTĚNÍ PLYNU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Nováček** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **435366**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Biofiltrační jednotka pro čištění plynů**

Název bakalářské práce anglicky:

**Biofiltration unit for gas purification**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s možnostmi využití biofiltračních jednotek v praxi.
- 2) Zpracujte rešerši zaměřenou na konstrukční uspořádání biofiltračních jednotek. Diskutujte jejich procesní charakteristiky, výhody, nevýhody a typické průmyslové aplikace.
- 3) Stanovte základní procesní parametry laboratorního biofiltru.

Seznam doporučené literatury:

dle doporučení vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


**doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

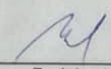
  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27-04-2018

Datum převzetí zadání

  
\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne .....

.....

Jméno a Příjmení

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Lukáši Krátkému, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

# Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Jakub
<b>Příjmení autora:</b>	Nováček
<b>Název práce česky:</b>	Biofiltrační jednotka pro čištění plynu
<b>Název práce anglicky:</b>	Biofiltration unit for gas purification
<b>Akademický rok:</b>	2017/2018
<b>Jazyk práce:</b>	český
<b>Ústav:</b>	12118 Procesní a zpracovatelské techniky
<b>Studijní program:</b>	TZSI
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.
<b>Anotace:</b>	Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním uspořádáním biofiltrační jednotky. V první části je obecně popsán biofiltr. Další část se zabývá patentovou rešerší. Na závěr je provedeno experimentální měření tlakové ztráty na laboratorním biofiltru.
<b>Annotation:</b>	This bachelor thesis deals with design of biofiltration units. The first part describes biofilter in general. The next part deals with patent research. Finally experimental measurement of pressure loss on laboratory biofilter is performed.
<b>Klíčová slova:</b>	biofiltr, biologická pračka, techniky čištění plynu, úprava vzduchu
<b>Keywords:</b>	biofilter, bioscrubber, gas purification techniques, air treatment,

## Obsah

Úvod.....	7
1. Teoretická část.....	8
1.1. Princip biofiltru .....	8
1.2. Využití biofiltru.....	9
1.3. Procesní podmínky .....	11
2. Popisná část.....	15
2.1. Patentová rešerše .....	15
2.2. Distributory plynu a kapaliny.....	23
2.3. Vlastní postřehy ke konstrukci.....	24
3. Experimentální stanovení tlakové ztráty na laboratorním biofiltru .....	25
3.1. Popis experimentu .....	25
3.2. Jednofázový tok.....	27
3.3. Dvofázový tok .....	31
Závěr.....	35
Seznam použitých zdrojů.....	36
Seznam obrázků .....	37
Seznam grafů .....	38
Seznam tabulek .....	38

# Úvod

V této bakalářské práci se zabývám popisem funkce biofiltrační jednotky na odstraňování znečištěných plynů. V těchto biofiltračních jednotkách dochází k odbourávání zápachových a těkavých organických látek. Princip fungování spočívá v průchodu znečištěného plynu skrz lože, ve kterém se nachází mikroorganismy (bakterie, kvasinky, nižší houby). Potravou těchto mikroorganismů jsou tyto nežádoucí látky, jež se snažíme odfiltrvat. Mikroorganismy přemění tyto nežádoucí látky na biomasu, vodu a oxid uhličitý.

V praktických aplikacích se nejčastěji používají tři základní typy biofiltrů, jsou to biofiltry s pevným ložem, skrápěným ložem a biologické pračky. Když se jedná o biofiltr s pevným ložem, hovoříme o jednofázovém průtoku vrstvou, kde protéká plyn případně kapalina. Biofiltrem se skrápěným ložem prochází kapalina a plyn v protiproudém zapojení, jedná se o dvoufázový průtok. Biologická pračka se používá při odstraňování plynu, znečištěného tuhými nečistotami, jako jsou například tuky.

V další části bakalářské práce se zabývám patentovou rešerší biofiltračních jednotek. Vymezil jsem se pouze na ty, které se svým konstrukčním uspořádáním nebo vlastností použití výrazně liší.

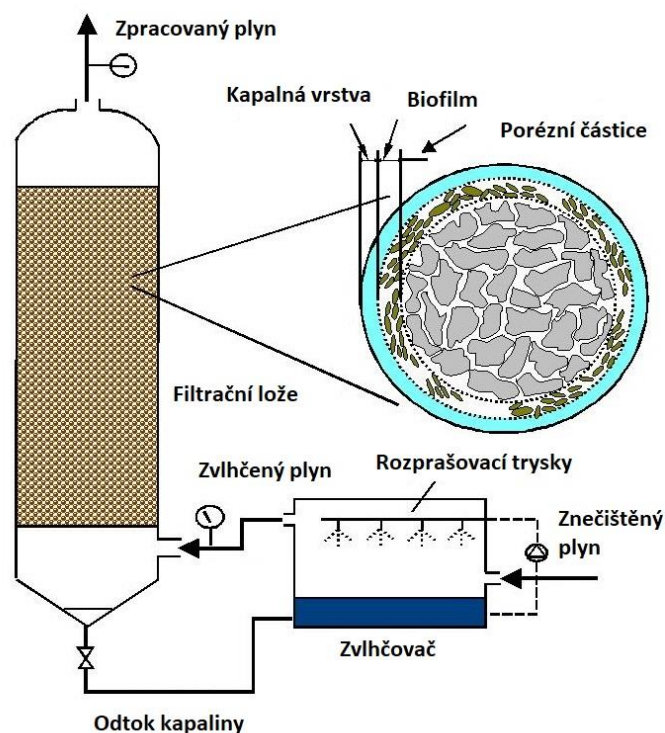
V závěrečné části jsem stanovil tlakovou ztrátu na laboratorním zařízení při jednofázovém a dvoufázovém zapojení. Výsledky z praktické části jsem vyhodnotil a zpracoval do grafů. Cílem práce bylo určení poměru odporu porézní vrstvy na Reynoldsově čísle a určení meze úletu (pro jednofázové zapojení) a meze zahlcení (pro dvoufázové zapojení).

# 1. Teoretická část

## 1.1. Princip biofiltru

Biofiltr definujeme jako zařízení sloužící pro eliminaci organických, zápachových i některých anorganických látek. Biofiltrace je ekonomickou a účinnou metodou pro odstraňování nízkých koncentrací škodlivých a nežádoucích látek z odpadních plynů. Tyto plyny mohou vznikat při zpracování živočišných produktů, odpadů a při kompostování. Organické nebo anorganické pachové látky, které se vyskytují ve znečištěném vzduchu, jsou odbourávány nebo transformovány za pomoci mikroorganismů. Mikroorganismy jsou obsaženy na pevném nosiči biofiltru (náplni biofiltru), kde tvoří tenkou vrstvu nazývanou biofilm. Mikroorganismy (nižší houby, bakterie nebo kvasinky) využívají organické látky jako zdroj energie pro svůj růst a rozmnožování. Část spotřebují na novou buněčnou hmotu a zbytek oxidují na oxid uhličitý a vodu, během tohoto procesu se uvolňuje také teplo (Matějů, 2005).

Princip fungování: v kapalně fázi (ve vodě) se nejprve rozpustí molekula polutantu, ta pak prochází biofilmem k buňce mikroorganismu, kde projde její buněčnou membránou, ve které se polutant následně rozloží, viz obr. 1.



Obr. 1 Princip biofiltru (Schematic, 2001)



Tyto mikroorganismy se běžně vyskytují v půdě nebo v rozkládajícím se rostlinném materiálu. V některých případech dochází pouze k transformaci molekuly polutantu, takže ztratí své negativní vlastnosti, ale není zcela mineralizována. Některé anorganické a zápachové látky jsou biologicky oxidovány (například sirovodík na síran, amoniak na nitrit a nitrát) na jiné anorganické látky bez nežádoucích vlastností (Marada, Auterská, 2007).

## 1.2. Využití biofiltru

### Výhody

- Účinnost biofiltrace dosahuje 90 % a více pro běžné polutanty a zápachové látky.
- Biofiltrace má malé investiční i provozní náklady, je vhodnou při čištění vzduchu s nižšími koncentracemi polutantů (do 1500 ppm objemových).
- Biofiltrace spotřebovává malé množství energie a neprodukuje další odpady.
- Není náročná na obsluhu.

### Nevýhody

- Nelze filtrovat látky nerozpustné ve vodě.
- Nelze filtrovat látky toxické nebo škodlivé pro mikroorganismy.
- Nelze filtrovat nízké koncentrace polutantů, které by vedly k nedostatku živin pro mikroorganismy (Matějů, 2005).

Biofiltry lze použít pro eliminaci organických polutantů a zápachových látek v nízkých koncentracích. Uvádí hranice do 1000 ppm objemových. Mohou však pracovat i se vstupními koncentracemi až 5000 ppm objemových. Reálně vstupní koncentrace polutantů závisí na druhu polutantu, biologické odbouratelnosti a konkrétních ekonomických podmínkách. Při vyšších koncentracích (nad 1500ppm objemových) jsou z ekonomického hlediska výhodnější jiné metody (například termická a katalytická oxidace, oxidace indukovaná UV světlem).

## Průmyslové využití biofiltru

Přehled různých průmyslových odvětví a polutantů, které se v těchto odvětvích odstraňují za pomoci biofiltrace.

<b>Průmysl, služby</b>	<b>Polutanty odstraňované biofiltrací</b>
Tiskařský	ethyl acetát, alkoholy, BTEX,
Výroba kabelů	xylén
Výroba autokarů	fenol, formaldehyd, ethanol,
Výroba nábytku	hexan, ethanol, aceton, styren, ethyl acetát, toluen, xylén
Praní vlny	amoniak, sirovodík, dimethylsulfid, dimethyldisulfid, diethylamin, methylmerkaptan,
Výroba kompozitů	cyklohexanon, methylethyl keton
Výroba laminátových dílů	styren, epichlorhydrin, aceton, BTEX
Kožedělný	ethylacetát, butylacetát, aceton, toluen, ethanol
Kompostování	sirovodík, amoniak, terpeny, aminy, mastné kyseliny, merkaptany
Výroba pekařského droždí	ethanol, aldehydy, ketony
Mechanicko-biologická úprava bioodpadů	sirovodík, amoniak, mastné kyseliny, aminy
Chov vepřů a skotu	sirovodík, amoniak, mastné kyseliny, kyselina máselná, aminy, methylsulfidy
Zpracování masa	aldehydy (zapáchající), organické kyseliny, sirovodík, amoniak
Výroba gumových dílů	ethylacetát, butylacetát, aceton
Kalové hospodářství ČOV	methanthiol, sirovodík, dimethylsulfid, dimethyldisulfid, triethylamin, amoniak, S-methylmethanthiosulfát, methylcyklohexan, cykloheptatrien
Výroba obuvi	ethylacetát, butylacetát, aceton

*Tabulka 1 Průmyslové aplikace (Matějíř, 2005)*

## 1.3. Procesní podmínky

### Přívod znečištěného vzduchu

Nejčastěji je znečištěný vzduch přiveden do hrdla nádoby umístěného v její spodní části, což bylo zjištěno jako výhodnější oproti odsávání plynu za náplní. Tuhé nečistoty, které se vyskytují ve znečištěném vzduchu, se nejčastěji čistí pomocí biologické pračky.

Při průtoku plynu uvažujeme plouživé proudění a plyn považujeme za ideální. Přenos znečištěných látek do biofilmu můžeme popsat rovnicí (Marada, Auterská, 2007):

$$M_i = K_L \cdot a \cdot (C_{si} - C_{li})$$

$M_i$	rychlost přenosu hmoty látky $i$ [ $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$K_L$	koeficient rychlosti přenosu hmoty [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$a$	specifický povrch náplně [ $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$C_{si}$	koncentrace látky $i$ v kapalně fázi za rovnovážných podmínek [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$C_{li}$	aktuální koncentrace látky $i$ v kapalně fázi [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

Z této rovnice vyplývá, že nasycení roztoku je limitujícím faktorem množství vyčištěného plynu. Pokud je biofiltr látkově přetěžován, tato rovnice přestává platit, což může vést i k otravě mikroorganismů (Matějů, 2005).

### Jednofázový průtok

Při jednofázovém průtoku vrstvou se jedná o průtok jedné tekutiny, může to být plyn i kapalina. Při výpočtech jednofázového průtoku se uvažují vztahy pro proudění potrubím nekruhového průřezu.

### Dvoufázový průtok

Při dvoufázovém průtoku protékají současně dvě tekutiny (nejčastěji plyn a kapalina). Máme dva typy průtoků souprout a protiproud. Při mé patentní rešerši jsem se nejčastěji setkal s uspořádáním typu protiproud, kde ze shora protéká kapalina a ze spodu je tlačěn plyn.

## Typické lože

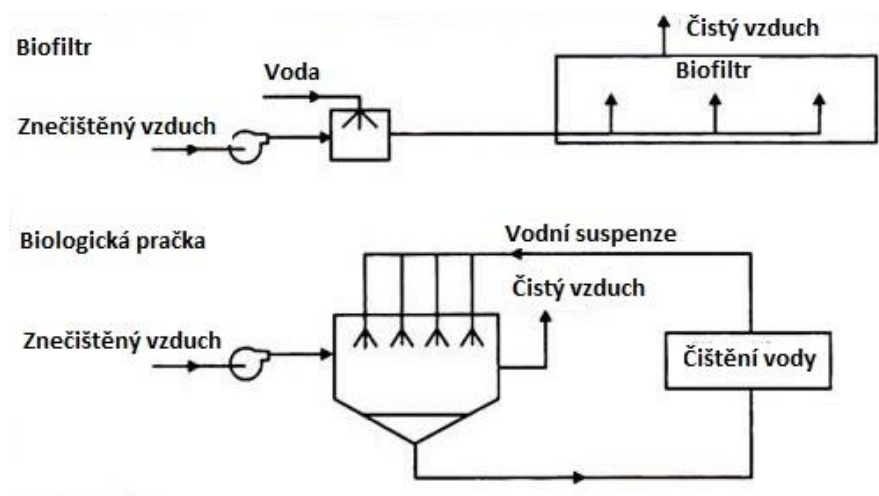
Existují tři základní typy biofiltrů:

- Biofiltr s pevným ložem
- Biofiltr se zkrápěným ložem
- Biologická pračka (bioskruber)

Nejstaršími biofiltry byly většinou velkoplošné. Biofiltrační lože bylo tvořeno jednou vrstvou organického materiálu. Tato zařízení měla potíže s čištěním vyšších koncentrací polutantů. Biofiltry nové generace umožňují i regulaci pH, mají lepší schopnost zadržovat vodu, umožňují lepší distribuci živin a mají větší specifický povrch. U biofiltrů s pevným ložem dochází k předúpravě vzduchu. Před vstupem je zvlhčován a regulován na stálou teplotu.

Skrápěné biofiltry se používají pro některé druhy polutantů. Náplň je tvořena inertní materiály typu zeolit, umělohmotné prvky či aktivní uhlí. Náplň se skrápí vodou nebo roztokem s živinami. Tato zařízení mají větší odbourávací kapacitu než klasické biofiltry, ale dají se použít pouze pro některé polutanty.

Biologická pračka je vhodná pro odstraňování znečištěného vzduchu, který obsahuje tuhé nečistoty (například tuky). Pomocí pračky je odstraněno až 80 % těchto nečistot. Výhodou biologické pračky je zvlhčování polutantu, což usnadňuje přestup k mikroorganismům (Matějů, 2005).



Obr. 2 typické lože (Priyadarshi, 2018)

## **Bakteriální kultura**

Pokud přivádíme znečištěný plyn s daným polutantem, vytvoří se bakteriální kultura v náplni asi za 1-3 měsíce, což je z technologického hlediska dlouhá doba. Proto se většinou kultura vytváří externě mimo biofiltr. Pokud se jedná o speciální případy znečištění, bakteriální kultury se vytvářejí v laboratořích. Při vložení takto externě vytvořených kultur je biofiltr schopný plného provozu za několik dní. Bakteriální kultury se obvykle skládají z několika druhů mikroorganismů. Při použití monokultury organismů musí být zajištěno, aby se používal pouze typ polutantu, na který je kultura adaptovaná. Monokultury jsou velmi náchylné na mutace a při jiné kontaminaci by mohly vymřít.

## **Nosiče biomasy**

Důležitou vlastností pro nosiče biomasy je poróznost. Ideální poróznost nosiče se pohybuje okolo 40–60 %. Materiály používané jako nosiče biomasy jsou: kůra ze stromů, štěpky, rašelina, kokosová vlákna, aktivní uhlí, umělohmotné vestavby a další přírodní materiály. Další požadovanou vlastností je co největší plocha biofilmu. Vlastnosti a funkce, které by měly nosiče biomasy splňovat, jsou:

- Zásobárna látek, které jsou nezbytné pro činnost mikroorganismů
- Zásobárna vody pro mikroorganismy
- Zásobárna živin v době, kdy je zařízení odstaveno, aby mikroorganismy nevymřely
- Umožnit přístup kyslíku k mikroorganismům
- Dostatečné poróznost, zajišťuje co nejnižší tlakovou ztrátu
- Nízké pořizovací náklady
- Snadná likvidace odpadu
- Snadné zacházení s odpadem
- Vyrovnávat koncentrace znečištěných plynů, teploty a vlhkosti
- Schopnost sorbovat polutanty

## **Vlhkost nosiče**

Obvykle je požadovaná vlhkost nosiče biomasy okolo 60-80 %. Pro zajištění dostatečného skrápění lože se instalují zařízení pro povrchové skrápění. Skrápí se buď pouze vodou, nebo dodatečnými živinami (bio-trickling filter).

## **Nutrienty**

Nutrienty jsou látky, které jsou potřebné pro vytváření nové buněčné hmoty. U některých náplní se tyto látky vyskytují samy, do některých musí být dávkovány. Mezi nutrienty patří tyto látky: fosfor, draslík, dusík, hořčík, měď atd.

## **Stabilizace pH**

Jedním z produktů biodegradace je kyselina uhličitá ( $H_2CO_3$ ). Velké množství kyseliny uhličitě může vést ke snížení pH a ztrátě funkčnosti zařízení. Je nutné kontrolovat její množství a případně ho regulovat.

## **Teplota**

Ideální teplota pro mikroorganismy v biofiltru se pohybuje okolo 10-25 °C. Při nižších teplotách se snižuje aktivita mikroorganismů, což vede ke snížení účinnosti celého zařízení. Při vysokých teplotách může dojít ke sterilizaci celé náplně biofiltru. Doporučené teploty přiváděných plynů jsou 20-40 °C (Jakubec, 2017).

## 2. Popisná část

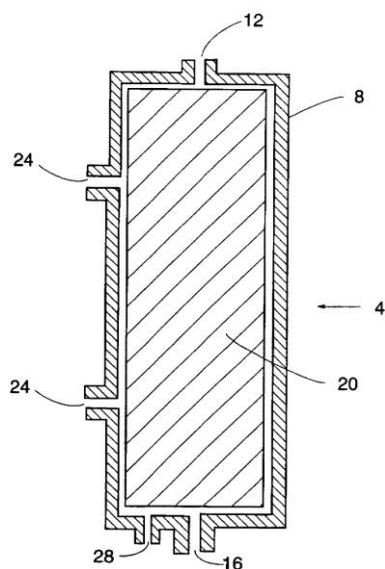
Při hledání patentů biofiltračních jednotek jsem našel velké množství různých variant uspořádání a provedení. Ve své práci uvedu ty, které se od sebe liší uspořádáním toku, typem náplně, konstrukčním uspořádáním a jejich použitím. V obrázcích popisují pouze body, které jsou z mého pohledu důležité.

### 2.1. Patentová řešení

#### **Biofiltr na odstraňování oxidu dusičitého z kontaminovaných plynů v aerobních podmínkách**

Patent číslo US 5795751A

Toto zařízení se využívá ke snížení koncentrací plyných oxidů dusíku ve znečištěném plynu. Obsahuje porézní médium s organickým filtračním ložem, umístěném v pouzdru. Používá se denitrifikační bakteriální kultura mikroorganismů, pro přeměnu oxidů dusíku na plynný dusík, oxid uhličitý a vodu. Nejpoužívanější filtrační médium je kompost dřeva, používají se ale i jiné materiály (listy, odřezky trávy a jejich směsi).



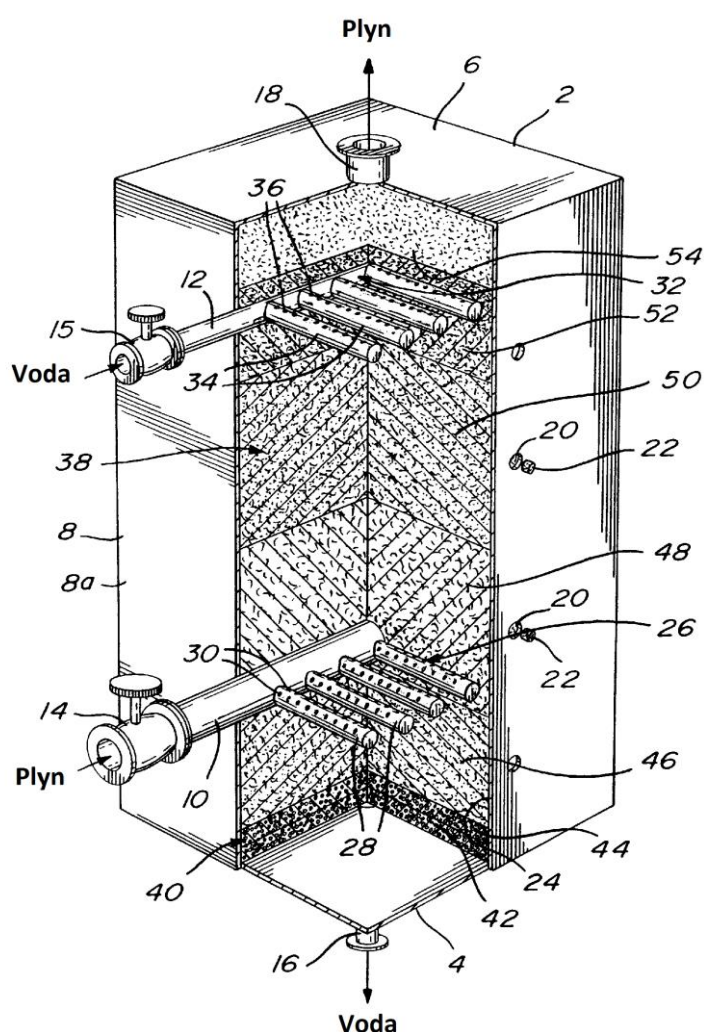
Obr. 3 Schéma biofiltru na odstraňování oxidu dusičitého

4 - výstup denitrifikovaného plynu, 8 - pouzdro biofiltru, 12 - vstupní otvor, 16 - výstupní otvor, 20 - organické médium, 24 - otvory pro přívod vody, 28 - odtok vody

## Biofiltr na čištění odpadní vody nebo plynu

Patent číslo US 6100081A

Jedná se o zařízení pro čištění odpadní vody nebo odpadního plynu. Při tomto uspořádání je možné čistit odpadní vodu a odpadní plyn zvlášť, ale i současně. Voda teče ze shora dolů a plyn obráceně. Výhodou tohoto zařízení je jeho vysoká variabilita při čištění různých polutantů. Náplň zařízení je tvořena několika vrstvami. Vrchní část zařízení tvoří vrstva kůry a rašeliny, dále alespoň jedna vrstva nosného materiálu, který obsahuje dřevěné hobliny. Následuje několik vrstev směsi rašeliny a hoblin, které mají filtrační funkci. Ve spodní části zařízení je vrstva hrubého a jemného kamení, které zajišťují nosnou funkci.



Obr. 4 Schéma biofiltru na čištění odpadní vody nebo plynů

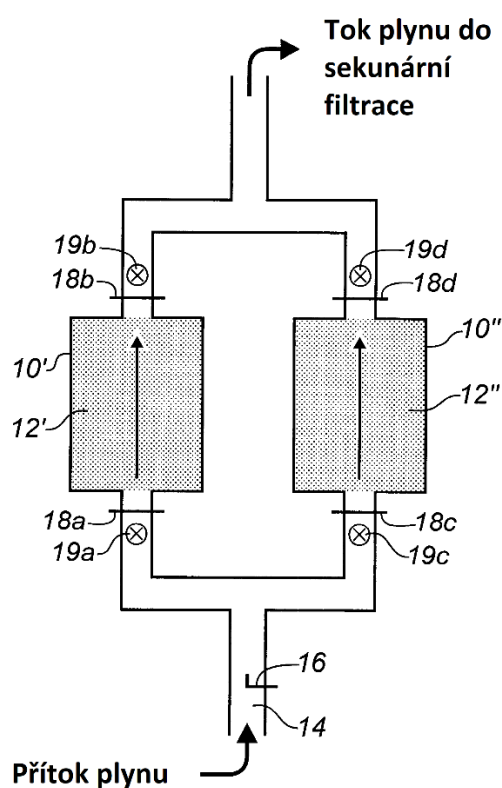
1 – biofiltr, 2 – skříň, 4, 6, 8 – stěny skříňe, 10 – trubka na přívod plynu, 12 – trubka na přívod vody, 14, 15 – ventil, 16 – trubka na odvod vody, 18 – trubka na odvod plynu, 20 – otvory pro přístup, 22 – odnímatelné čepy, 26 – distributory plynu, 28, 30 – větvení distributorů plynu, 30 – distributory vody, 34, 36 – větvení distributorů vody, 38 – 54 – filtrační náplň



## Dvoustupňová hybridní biofiltrace

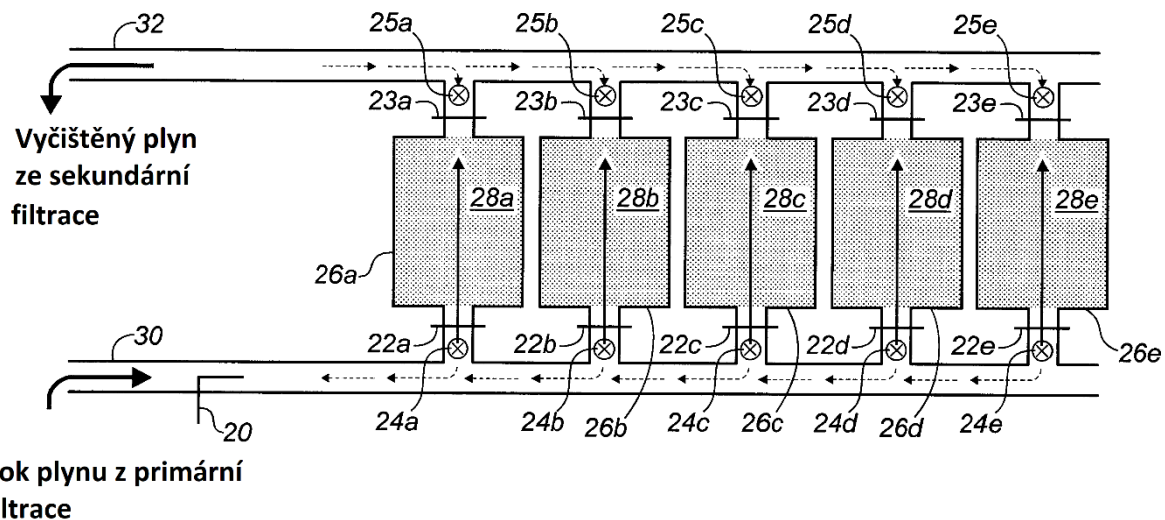
Patent číslo US 6271020B1

Hybridní filtrační systém pro degradaci sloučenin obsahujících síru. Tento hybridní systém výrazně prodlužuje životnost biofiltru. Tento způsob se skládá ze dvou filtračních stupňů, a to obětní filtrace primárního stupně a sekundární filtrace. Malé procento sloučeniny obsahující síru je oxidováno na elementární síru, která blokuje prostor pórů filtrační matrice. Primární filtrace se používá k zachycení a odstranění elementární síry, vytvořené oxidací sirovodíku. Sekundární filtrace je zapojena do série s primární filtrací. Při sekundární filtraci dochází k degradaci sloučeniny obsahující síru.



Obr. 5 Schéma primární filtrace

10 – paralelně uspořádány válcové nádoby, 12 – filtrační matrice, na které se vysráží elementární síra, 14 – vstup plynu, 16 – zvlhčování plynu, 18 a-18 d – odpojovací body, 19 a-19 d – uzavírací ventily



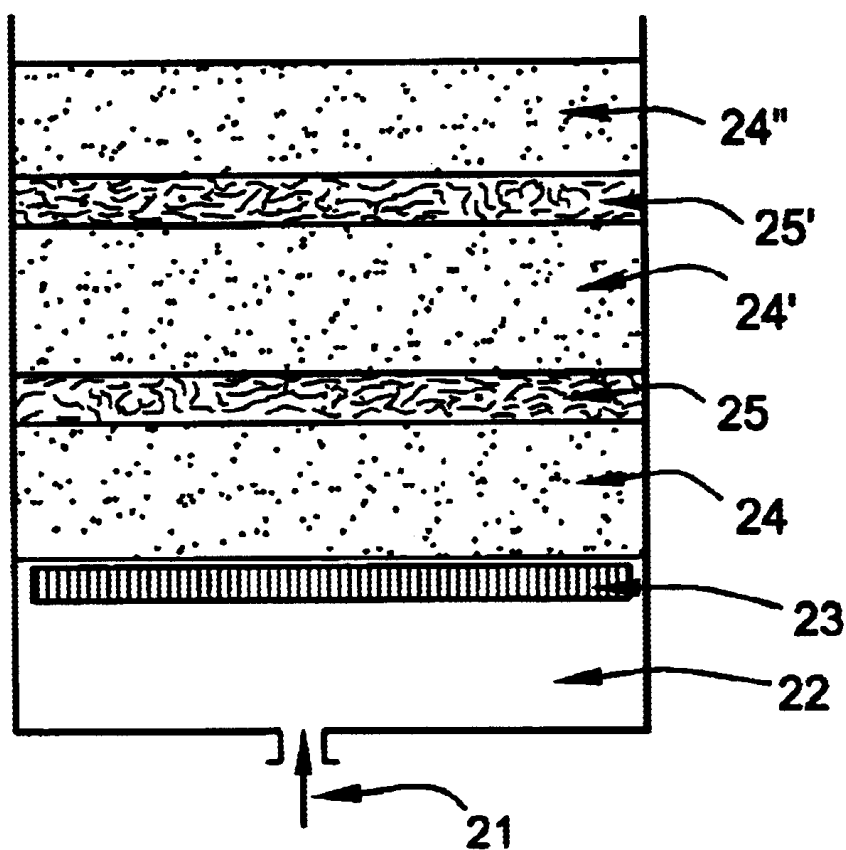
Obr. 6 Schéma sekundární filtrace

30 – vstupní kanál z primární filtrace, 20 – zóna pro zvlhčení plynu, 26a-26e – nádoby obsahující biofilní matrice, 28 a-28e – biofilní matrice, 22, 23a-22, 23e – odpojovací body, 24, 25a-24, 25e – uzavírací ventily

## Biofiltr na čištění odpadních plynů

Patent číslo US 6696284B2

Jedná se o biologický filtr na čištění odpadních plynů. Nosičem biologického materiálu jsou v tomto případě extrahované kokosové vlákniny (dále mohou být přítomna činidla pro neutralizaci kyselin, jako jsou například uhličitan vápenatý nebo dusíkatá hnojiva). K filtraci plynů dochází v prostorově oddělené části. Tato inovace dosahuje velmi dobrých výsledků díky možnosti nastavovat pokles tlaku na žádané hodnoty. Poskytuje vodivé prostředí pro mikrobiální růst za použití složek, které jsou přirozené, stabilní a ekologicky kompatibilní. Díky tomu se sníží náklady na médium a dopravní prostředky.



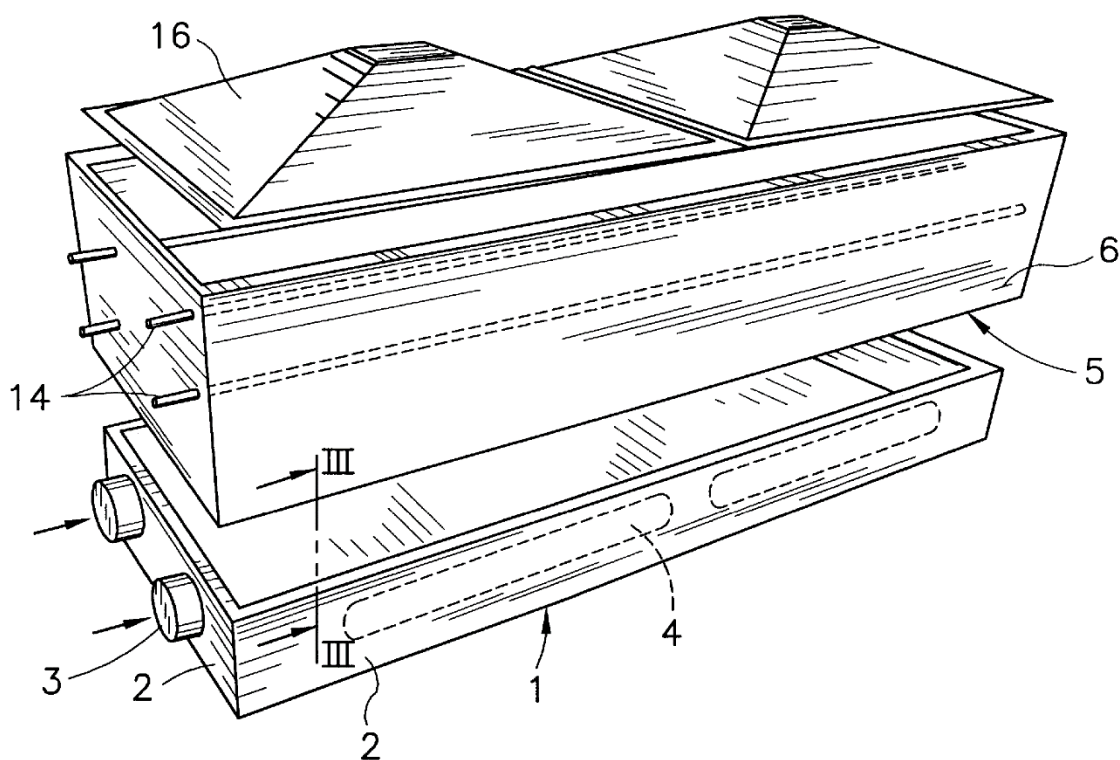
Obr. 7 Schéma biofiltru – nosič biomasy kokosová vlákna

21 – přívod kontaminovaného plynu, 23 – perforovaná deska pro lože, 24, 24' směs kokosových vláken a jader, 25, 25' – vrstva vláken

## Biofiltrační jednotka s chemickou předúpravou kontaminovaného vzduchu

Patent číslo US 5861303A

V tomto zařízení plyn prochází skrz komoru pro úpravu, která je opatřena zónou biologické úpravy a zónou chemické úpravy. Množství činidla pro chemické ošetření, které se zavádí do zóny chemické úpravy, je upravováno v závislosti na zjištěném stavu nebo podmínkách. Chemické činidlo je zavedeno ze zdroje do zóny chemické úpravy. Zóna biologického zpracování je umístěna v komoře v blízkosti zóny chemické úpravy. Vysoké koncentrace polutantů v plynu mohou být toxické pro mikroorganismy ve filtračním materiálu. Pro tyto vysoké koncentrace se používá chemická předúprava plynu.



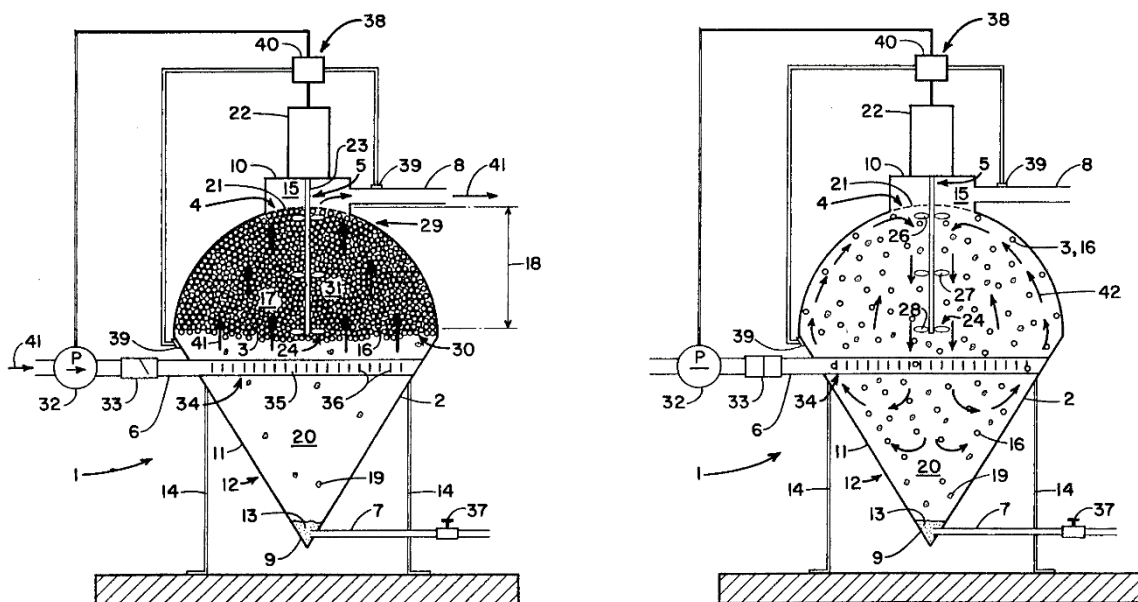
Obr. 8 Schéma biofiltru s chemickou předúpravou

1 – přívod vzduchu, 2, 3 – vzduchové přípojky, 5 – komora na úpravu plynu, 14 – vstupní trubky opatřeny tryskami

## Biofiltr s plovoucím médiem

Patent číslo US 5126042A

Tento biofiltr se používá pro čištění odpadních vod. Cílem tohoto zařízení je poskytnout biologický filtr s plovoucími médii, který umožňuje zpracovávat proud odpadní vody v jediném zpracovatelském zařízení. Tento biofiltr má vyšší účinnost než srovnatelné systémy na čištění odpadních vod.



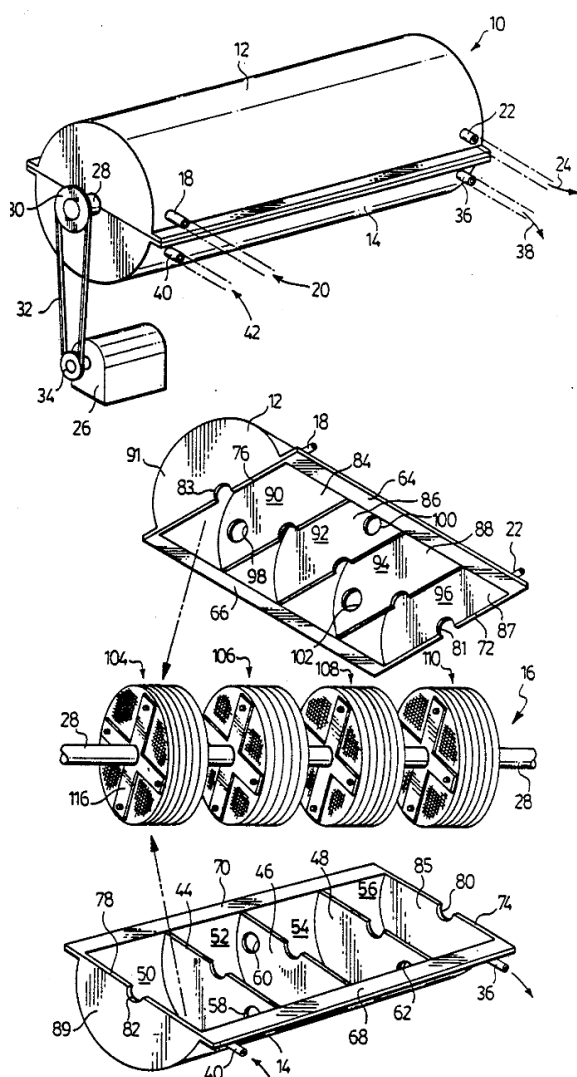
Obr. 9 Schéma biofiltru s plovoucím médiem

1 – biofiltr, 2 – zkosená nádrž, 3 – plovoucí médium, 6 – vstupní potrubí, 7, 8 – výstupní potrubí, 16 – pelety, 17 – zásobník média, 20 – klidová zóna, 5 - míchadlo

## Biologická pračka pro odstranění odpadních plynů

Patent číslo US 4999302A

Jedná se o zařízení pro odstraňování znečišťujících látek z proudu odpadního plynu. Proud odpadního plynu se přivádí do kontaktu s biomasou v biokontakteru. Zařízení obsahuje množství disků, které jsou uloženy v biokontakteru. Proud odpadního plynu prochází přes biomasu na disku. Znečišťující látky jsou absorbovány v biomase. Na druhé straně biomasa asimiluje znečišťující látky a produkuje neškodné metabolity.



Obr. 10 Schéma biologické pračky

10 – biologická pračka, 18 - přívod vzduchu, 22 – odvod vzduchu,  
26 – motor, 14 – uložení biomasy, 40 – přívod kapaliny, 36 – odvod kapaliny, 44, 46, 48 – oddělovací  
přepážky, 50, 52, 54, 56 – oddělovací komory, 104, 106, 108, 110 – nosiče biomasy

## 2.2. Distributory plynu a kapaliny

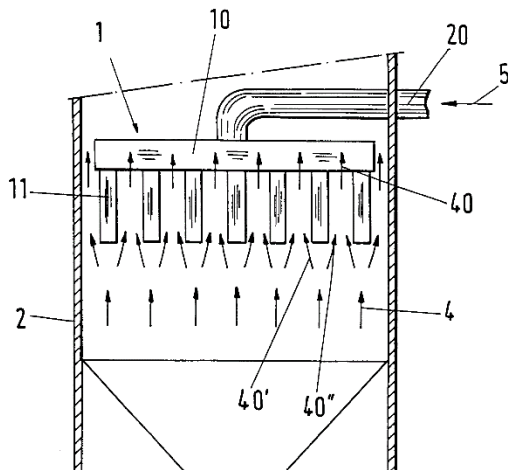
### Rovnoměrný nátok

Jedním z nejdůležitějších parametrů biofiltrační jednotky je nátok kapaliny a plynu. Pokud nebude rovnoměrný nátok, může vést ke špatné funkci biofiltru. Při špatné distribuci plynu může dojít k nadbytku/nedostatku polutantů. Což může vést buď k jejich přemnožení a ucpání, nebo k úmrtí biomasy. Špatná distribuce vody je také nežádoucí jev, může dojít ke vzniku suchých míst (mikroorganismy potřebují ke svému životu dostatek vody). Nebo naopak může dojít ke vzniku příliš vlhkých míst, jež zaplní otvory, kterými protéká znečištěný vzduch, čímž se biofiltr stává nefunkčním.

### Distributor kapaliny

Patent číslo US 6293526B1

Distributor kapaliny je zkonstruován tak, aby pokryl co největší plochu lože a zaručil tak rovnoměrný nátok. Počet trysek určuje průměr lože.

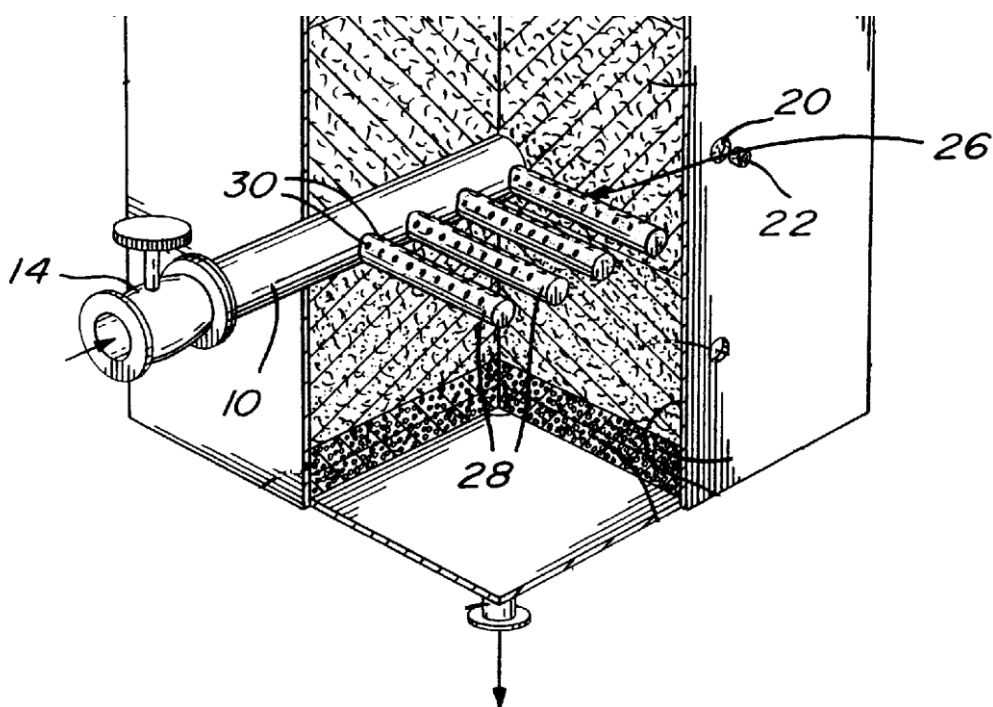


Obr. 11 Distributor kapaliny

1 – rozdělovač kapaliny a plynu, 4 – přívod plynu, 5 – přívod kapaliny, 11 – tryška

## Distributor plynu

Odpadní plyn se obvykle přivádí do míst pod lože, kde se plyn rovnoměrně rozloží. Pokud máme aplikaci, kde se plyn přivádí do lože, použijeme rozvětvenou soustavu trubek.



Obr. 12 Distributor plynu

### 2.3. Vlastní postřehy ke konstrukci

Nejčastějším typem biofiltru, který ve své rešerši popisuji, je válcová nádoba se skrápěným ložem. Válcová nádoba je ideální pro rovnoměrný tok kapaliny i plynu (nejmenší možné tlakové ztráty). Další výhodou válcových nádob je snadné čištění. Skrápění probíhá shora (nejjednodušší – využívá gravitační síly). Znečištěný plyn je přiváděn ze spodu. Vzniká tak protiproudé dvoufázové uspořádání. Oproti jednofázovému (suchému) toku musí překonávat několikanásobně větší odporové síly vrstvy biomasy. Musíme tedy v případě dvoufázového uspořádání použít výkonnější čerpadlo, ale skrápění pomáhá rychlejšímu odstraňování polutantů ze znečištěného plynu. Pro některé mikroorganismy je skrápění nezbytné pro jejich život. Biomasa je pro snadnou manipulaci uložena ve vyjímatelném koši.

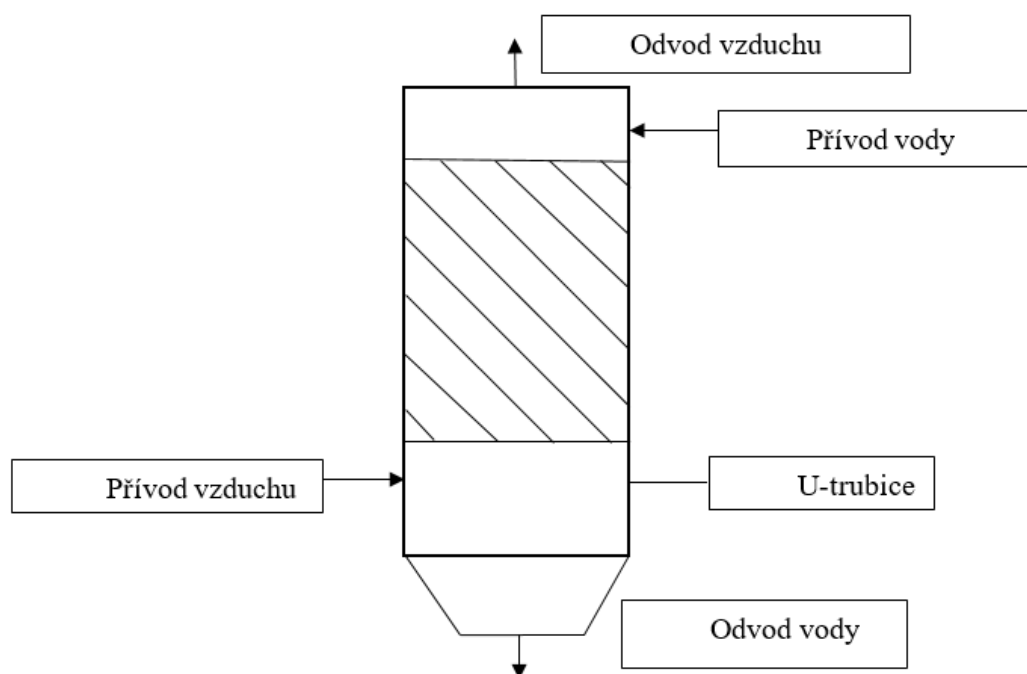


# 3. Experimentální stanovení tlakové ztráty na laboratorním biofiltru

Na závěr jsem experimentálně ověřoval závislost tlakové ztráty na výšce náplně a velikosti průtoku plynu, abych dále mohl určit ideální průtok plynu jednotkou.

## 3.1. Popis experimentu

Na experimentální biofiltrační jednotce jsem provedl měření pro jednofázový a dvoufázový režim toku. Nejdříve jsem naplnil jednotku novým materiálem s mikroorganismy a lehce jsem udusal, abych zajistil jeho dostatečné množství. Změřil jsem výšku stlačené vrstvy. Poté jsem připojil ventil se vzduchem a nastavoval jsem průtok plynu. Množství plynu jsem určoval pomocí průtokoměru. Na u-trubici, která byla připojena na dně filtru, jsem odečítal rozdíl hladiny proti atmosférickému tlaku. Z toho rozdílu jsem dále určil tlakovou ztrátu. Postup jsem třikrát zopakoval. Dále jsem připevnil na vrchní část nádoby zavlažování a nastavoval jsem průtok plynu takový, abych nepřekročil mez úletu kapaliny. Tento postup jsem také třikrát zopakoval.



Obr. 13 Schéma zapojení laboratorního biofiltru



*Obr. 14 Laboratorní biofiltr*



*Obr. 15 Skrápění*



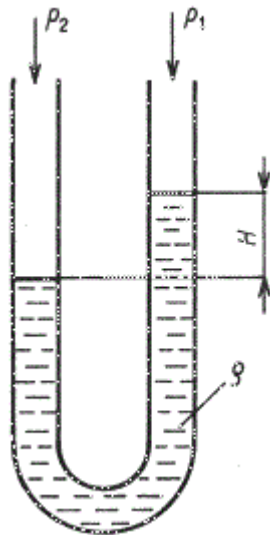
*Obr. 16 Měření průtoku vody*

### 3.2. Jednofázový tok

$t_{H2O} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(teplota vody v u-trubici)
$\rho_{H2O} = 998 \text{ kg.m}^3$	(hustota vody)
$D = 200 \text{ mm}$	(průměr jednotky)
$g = 9,81 \text{ m.s}^2$	(gravitační zrychlení)
$h = 0,93 \text{ m}$	(výška náplně)
$\rho_{vz} = 1,23 \text{ kg.m}^3$	(hustota vzduchu při teplotě $15,5^{\circ}\text{C}$ )
$\mu_{vz} = 17,97 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$	(dynamická viskozita vzduchu při teplotě $15,5^{\circ}\text{C}$ )

Ilustrační příklad výpočtu prvního řádku tabulky naměřených dat.

$h = 930 \text{ mm}$	(výška náplně)
$V = 11000 \text{ l/h}$	(průtok vzduchu)
$H_1 = 65 \text{ mm}$	(výška hladiny u-trubice)
$H_2 = 88 \text{ mm}$	(výška hladiny u-trubice)



Obr. 17 U-trubice

V prvním kroku jsem odečetl rozdíl hladin  $H_1$  a  $H_2$ . Tento vypočítaný rozdíl jsem dosadil do rovnice hydrostatického tlaku.

$$\Delta H = H_2 - H_1 = 88 - 65 = 23 \text{ mm}$$

$$\Delta p = \Delta H \cdot \rho \cdot g = 0,023 \cdot 998 \cdot 9,81 = 225,18 \text{ Pa}$$

Pro další vyhodnocování jsem převedl tato data na poměr  $\Delta p/h$ . Poměr  $\Delta p/h$  jsem vynesl do grafu jako funkci rychlosti proudění vzduchu  $u_0$ .

$$\frac{\Delta p}{h} = \frac{225,18}{0,93} = 242,13 \text{ Pa/m}$$

Převod na  $\text{m}^3/\text{s}$

$$V = 11000 \frac{l}{h} = \frac{11000 \cdot 10^{-3}}{3600} = 0,003056 \text{ m}^3/\text{s}$$

Průřez biofiltrační jednotky

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

Rychlost vzduchu  $u_0$

$$V = u_0 \cdot S \rightarrow u_0 = \frac{V}{S} = \frac{0,003056}{0,0314} = 0,0973 \text{ m/s}$$

Určení Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{u_0 \cdot D \cdot \rho_{vz}}{\mu_{vz}} = \frac{0,0973 \cdot 0,2 \cdot 1,23}{17,97 \cdot 10^{-6}} = 1332$$

Odpor porézní vrstvy  $R$

$$R = \frac{\Delta p}{h \cdot \rho_{vz} \cdot u_0^2} = \frac{225,18}{0,93 \cdot 1,23 \cdot 0,0973^2} = 20788 \text{ m}^{-1}$$

V dalším kroku jsem vynesl do grafu závislost odporu porézní vrstvy na Reynoldsově čísle.

Naměřené a vypočítané hodnoty

Měření č. 1

V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
11000	65	88	23	225	242	0,0031	0,0973	1332	20788
9000	69	85	16	157	168	0,0025	0,0796	1090	21603
7000	71	84	13	127	137	0,0019	0,0619	848	29015
5000	73	82	9	88	95	0,0014	0,0442	606	39371
3000	75	79	4	39	42	0,0008	0,0265	363	48606

Měření č. 2

V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
11000	65	89	24	235	253	0,0031	0,0973	1332	21692
9000	68	85	17	166	179	0,0025	0,0796	1090	22953
7000	71	82	11	108	116	0,0019	0,0619	848	24551
5000	73	80	7	69	74	0,0014	0,0442	606	30622
3000	75	78	3	29	32	0,0008	0,0265	363	36455

Měření č. 3

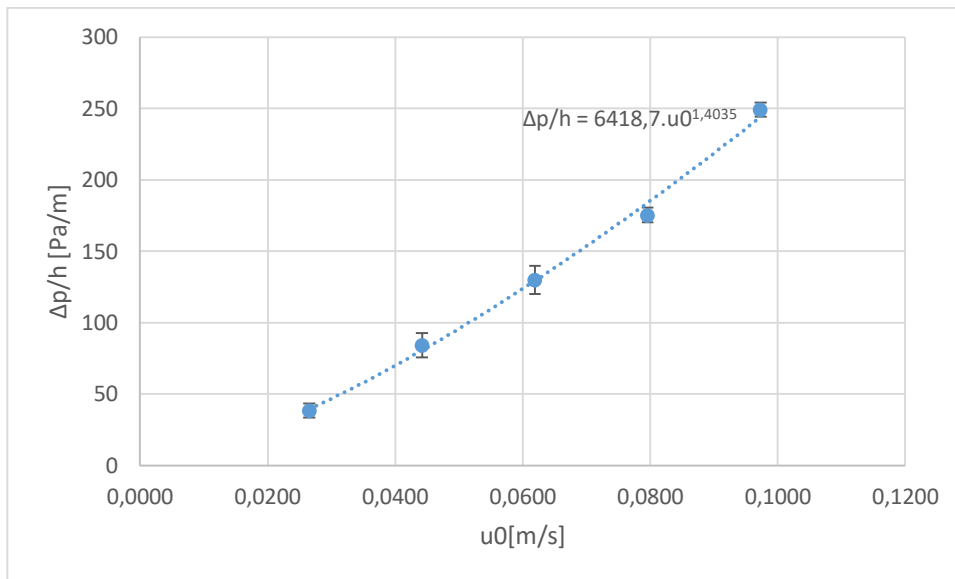
V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
11000	65	89	24	235	253	0,0031	0,0973	1332	21692
9000	68	85	17	166	179	0,0025	0,0796	1090	22953
7000	70	83	13	127	137	0,0019	0,0619	848	29015
5000	73	81	8	78	84	0,0014	0,0442	606	34997
3000	75	79	4	39	42	0,0008	0,0265	363	48606

Průměrné hodnoty

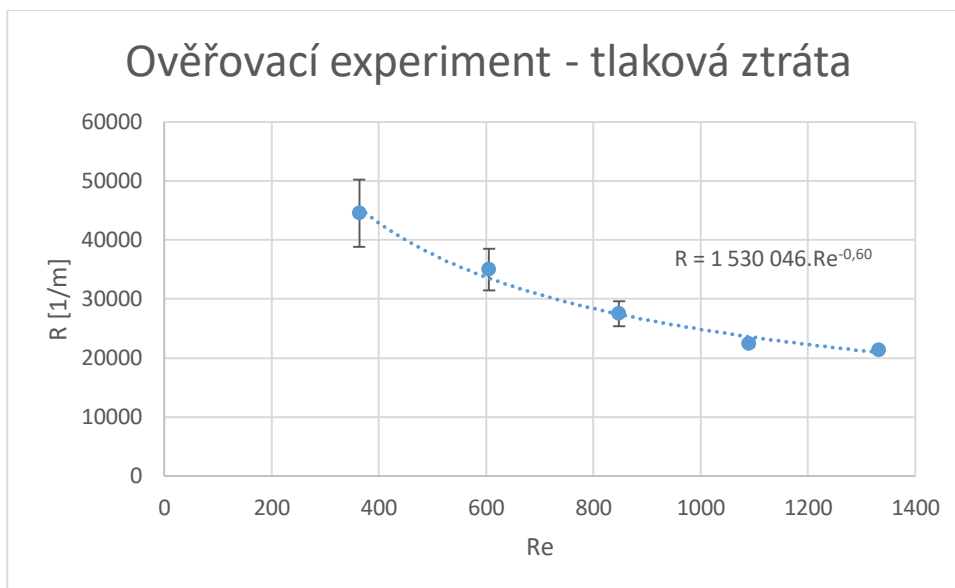
V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
11000	65	89	24	232	249	0,0031	0,0973	1332	21391
9000	68	85	17	163	175	0,0025	0,0796	1090	22503
7000	71	83	12	121	130	0,0019	0,0619	848	27527
5000	73	81	8	78	84	0,0014	0,0442	606	34997
3000	75	79	4	36	39	0,0008	0,0265	363	44556

Tabulka 2 Naměřené a vypočítané hodnoty - jednofázový tok

## Grafy naměřených dat



Graf 1 Primární naměřená data – jednofázový tok



Graf 2 Závislost odporu porézni vrstvy na Reynoldsově čísle - jednofázový tok

### 3.3. Dvofázový tok

$t_{H2O} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(teplota vody v u-trubici)
$\rho_{H2O} = 998 \text{ kg.m}^3$	(hustota vody)
$D = 200 \text{ mm}$	(průměr jednotky)
$g = 9,81 \text{ m.s}^2$	(gravitační zrychlení)
$h = 0,93 \text{ m}$	(výška náplně)
$\rho_{vz} = 1,23 \text{ kg.m}^3$	(hustota vzduchu při teplotě $15,5^{\circ}\text{C}$ )
$\mu_{vz} = 17,97 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$	(dynamická viskozita vzduchu při teplotě $15,5^{\circ}\text{C}$ )
$h = 930 \text{ mm}$	(výška náplně)
$V = 11000 \text{ l/h}$	(průtok vzduchu)
$H_1 = 65 \text{ mm}$	(výška hladiny u-trubice)
$H_2 = 88 \text{ mm}$	(výška hladiny u-trubice)
$V_{zk} = 36 \text{ l/h}$	(intenzita skrápění)

Výpočty jsou stejné jako u jednofázového toku.

### Měření č. 1

V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
1000	75	79	4	39	42	0,0003	0,0088	121	437457
2000	71	85	14	137	147	0,0006	0,0177	242	382775
3000	68	89	21	206	221	0,0008	0,0265	363	255183
4000	63	94	31	304	326	0,0011	0,0354	484	211893
5000	54	104	50	490	526	0,0014	0,0442	606	218729
6000	40	116	76	744	800	0,0017	0,0531	727	230880

### Měření č. 2

V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
1000	75	80	5	49	53	0,0003	0,0088	121	546822
2000	73	82	9	88	95	0,0006	0,0177	242	246070
3000	68	88	20	196	211	0,0008	0,0265	363	243032
4000	65	92	27	264	284	0,0011	0,0354	484	184552
5000	56	102	46	450	484	0,0014	0,0442	606	201230
6000	43	114	71	695	747	0,0017	0,0531	727	215691

### Měření č. 3

V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
1000	75	79	4	39	42	0,0003	0,0088	121	437457
2000	72	84	12	117	126	0,0006	0,0177	242	328093
3000	67	90	23	225	242	0,0008	0,0265	363	279487
4000	65	93	28	274	295	0,0011	0,0354	484	191388
5000	55	104	49	480	516	0,0014	0,0442	606	214354
6000	43	114	71	695	747	0,0017	0,0531	727	215691

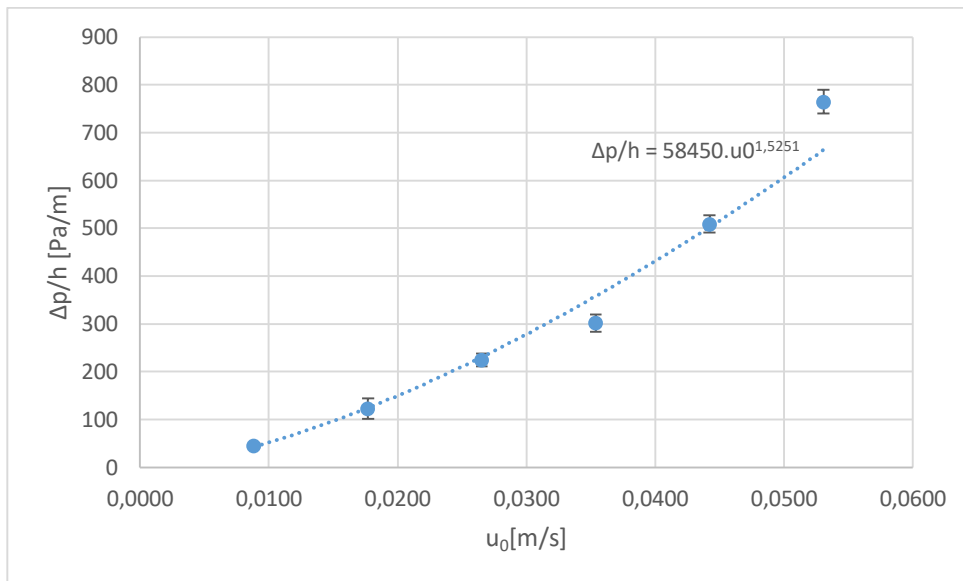
### Průměrné hodnoty

V [l/h]	H1 [mm]	H2 [mm]	$\Delta H$ [mm]	$\Delta p$ [Pa]	$\Delta p/h$ [Pa/m]	V [m <sup>3</sup> /s]	$u_0$ [m/s]	Re	R [1/m]
1000	75	79	4	42	46	0,0003	0,0088	121	473912
2000	72	84	12	114	123	0,0006	0,0177	242	318979
3000	68	89	21	209	225	0,0008	0,0265	363	259234
4000	64	93	29	281	302	0,0011	0,0354	484	195944
5000	55	103	48	473	509	0,0014	0,0442	606	211438

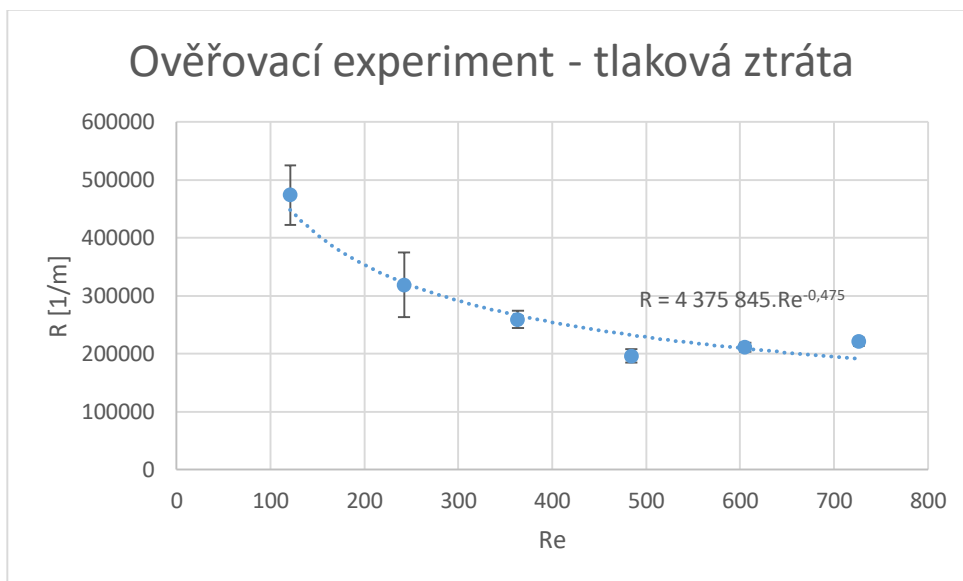
Tabulka 3 Naměřené a vypočítané hodnoty - dvoufázový tok



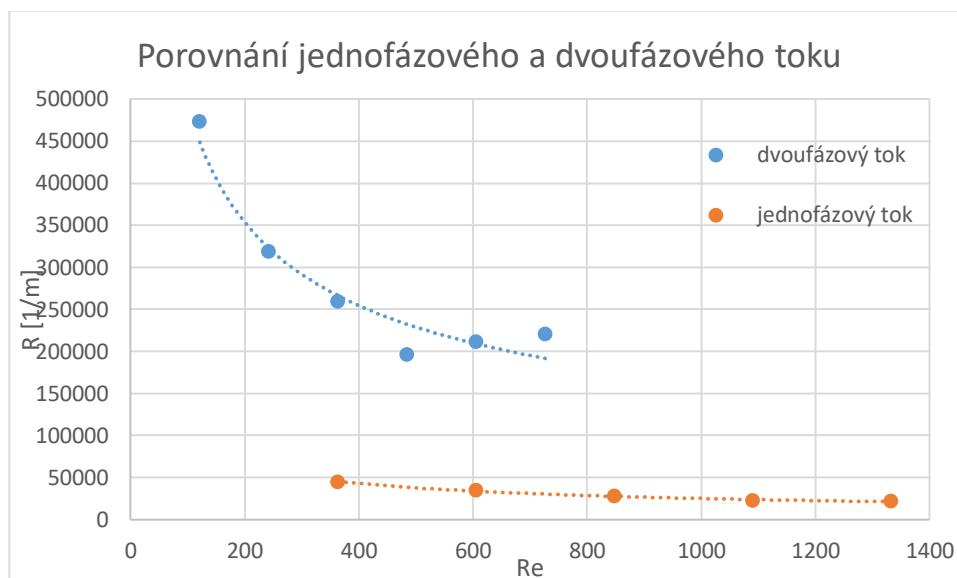
## Grafy naměřených dat



Graf 3 Primární naměřená data - dvoufázový tok



Graf 4 Závislost odporu porézni vrstvy na Reynoldsově čísle - dvoufázový tok



Graf 5 Porovnání jednofázového a dvoufázového toku

## Závěr praktické části

Jednofázový tok:

Mezním stavem (mez úletu) pro jednofázový průtok by byl příliš vysoký průtok vzduchu, při kterém by začaly odlétat částice biomasy. Já jsem tohoto stavu v měření nedosáhl.

Výpočet odporu porézní vrstvy:  $R = 1\,530\,046 \cdot Re^{-0,6}$  pro  $Re < 250; 1400 >$

Intenzita skrápění plynem  $V < 3000; 11000 >$  l/h

Dvoufázový tok:

Hodnoty průtoku plynu  $V = 5000-6000$  l/h jsem určil jako kritické. Při těchto hodnotách jsem se dostal na mez zahlcení. Proto jsem určil hodnotu  $V = 5000$  l/h jako maximální možný průtok plynu. Z porovnávacího grafu je patrné, že odpor porézní vrstvy  $R$  je při dvoufázovém toku až 10x větší než jednofázovém. Měření probíhalo za konstantního skrápění kapalinou  $V = 36$  l/h.

Výpočet odporu porézní vrstvy:  $R = 4\,375\,845 \cdot Re^{-0,475}$  pro  $Re < 100; 800 >$

Intenzita skrápění plynem  $V < 1000; 6000 >$  l/h

# Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval biofiltračními jednotkami na čištění plynů. Cílem mé práce bylo stručně popsat funkci biofiltračních jednotek, sestavit rešerši z různých patentových uspořádání a na závěr proměřit tlakovou ztrátu na laboratorním biofiltru.

Nejprve jsem popsal princip fungování biofiltrů, jejich využití v průmyslových aplikacích, stanovil, jaké jsou výhody a nevýhody oproti jiným způsobům čištění plynů a sestavil jsem popis jednotlivých částí biofiltrační jednotky.

V patentové rešerši jsem zhotovil seznam biofiltračních jednotek, které se od sebe liší konstrukčním uspořádáním, náplní nebo funkcí. Dále jsem popsal distributory kapaliny a plynu. Distributorem kapaliny je nejčastěji soustava trysek, aby byl zaručen rovnoměrný nátok kapaliny.

Cíl mé práce byl splněn a myslím si, že přínosem této bakalářské práce je experimentální měření a následné vyhodnocení tlakových ztrát pro jednofázové a dvoufázové zapojení. Sestavil jsem závislost odporu porézní vrstvy na Reynoldsově čísle. Dalším přínosem této práce je určení mezního stavu (meze zahlcení) pro dvoufázové zapojení. Znal jsem přesnou hodnotu maximálního průtoku kapaliny takovou, aby to pro organismy bylo přínosné. Stanovil jsem, jaká je mezní hodnota průtoku plynu. Tyto naměřené hodnoty se dají dále využít pro návrh čerpadla pro odlišné biofiltrační jednotky.

# Seznam použitých zdrojů

MATĚJŮ, Vít: Biofiltrace vzduchu. *Biom.cz* [online]. 2005-01-31 [cit. 2018-07-08]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biofiltrace-vzduchu>>. ISSN: 1801-2655.

AUTERSKÁ Petra. *Vypracování návrhu metodiky měření zápachu na biofiltrech* [online]. MZLU v Brně. Brno 2006. 17 s. [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: <http://www.cschi.cz/odour/files/0910-seminar/MZLU-ODOUR-Biofiltry.pdf>

MARADA, Petr a Petra AUTERSKÁ. *Provozování půdních biofiltrů v podmínkách zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu* [online]. MZLU v Brně. Brno 2007. 45 s. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/32358/Zalozeni\\_a\\_obnova\\_vsazky\\_finale.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/32358/Zalozeni_a_obnova_vsazky_finale.pdf)

APEL, William A. *Biofilter for removal of nitrogen oxides from contaminated gases under aerobic conditions*. Uděleno 1996-09-30. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US5795751A/en?q=biofilter&oq=biofilter#patentCitations>

BUELNA, Gerardo. *Biofilter for purification of waste waters and method therefor*. Uděleno 1998-07-06. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US6100081A/en?q=biofilter&oq=biofilter>  
<https://patents.google.com/patent/US6696284B2/en?q=biofilter&oq=biofilter>

HARIDAS, Ajit a Swachchha MAJUMDAR. *Biological filter for the purification of waste gases*. Uděleno 2003-05-01. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US6696284B2/en?q=biofilter&oq=biofilter>

<https://patents.google.com/patent/US6271020B1/en?q=biofilter&oq=biofilter>  
COLEMAN, Richard N. *Two-stage hybrid biofiltration*. Uděleno 1999-07-07. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US6271020B1/en?q=biofilter&oq=biofilter>

BARSHTER, Dennis Wayne a Michael Arthur DEL VECCHIO. *Biofiltration apparatus and method with chemical pre-treatment of contaminated air*. Uděleno 1996-09-13. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US5861303A/en?q=biofilter&oq=biofilter>

MALONE, Ronald F. *Floating media biofilter*. Uděleno 1991-10-31. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US5126042A/en?q=biofiltration&oq=biofiltration>

KAHLER, Brett D. a Matthew P. MCKIM. *Biological contact gas scrubber for waste gas purification*. Uděleno 1985-05-28. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US4999302A/en?q=biological&q=waste+gas&q=purification&oq=biological+waste+gas+purification>

ISCHER, Markus a Felix MOSER. *Liquid distributor for packing columns*. Uděleno 1999-11-10. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US6293526B1/en?q=liquid&q=distributor&q=column&oq=liquid+distributor+in+column>

Schematic Diagram of Conventional Biofilter. *Biofiltration of Chlorinated VOC's*. [online]. 2001 [cit. 2018-07-10]. Dostupné z: [http://www-bcf.usc.edu/~pirbazar/group\\_homepage/resear/fig1-1.jpg](http://www-bcf.usc.edu/~pirbazar/group_homepage/resear/fig1-1.jpg)

PRIYADARSHI, Sonali. *Biological Methods of Control the Air Pollution*. [online]. [cit. 2018-07-10]. Dostupné také z: <http://www.biologydiscussion.com/biotechnology/biological-methods-to-control-the-air-pollution/4960>

JAKUBEC, Matouš. *Modulární laboratorní zařízení pro stanovení procesních charakteristik dvoufázového toku*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Fakulta strojní.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Princip biofiltru (Schematic, 2001) .....	8
Obr. 2 typické lože (Priyadarshi, 2018) .....	12
Obr. 3 Schéma biofiltru na odstraňování oxidu dusičitého .....	15
Obr. 4 Schéma biofiltru na čištění odpadních vod plynů .....	16
Obr. 5 Schéma primární filtrace .....	17
Obr. 6 Schéma sekundární filtrace .....	18
Obr. 7 Schéma biofiltru – nosič biomasy kokosová vlákna .....	19
Obr. 8 Schéma biofiltru s chemickou předúpravou .....	20
Obr. 9 Schéma biofiltru s plovoucím médiem .....	21
Obr. 10 Schéma biologické pračky .....	22
Obr. 11 Distributor kapaliny .....	23
Obr. 12 Distributor plynu .....	24
Obr. 13 Schéma zapojení laboratorního biofiltru .....	25
Obr. 14 Laboratorní biofiltr .....	26
Obr. 15 Skrápění .....	26
Obr. 16 Měření průtoku vody .....	26
Obr. 17 U-trubice .....	27

## Seznam grafů

Graf 1 Primární naměřená data – jednofázový tok .....	30
Graf 2 Závislost odporu porézní vrstvy na Reynoldsově čísle - jednofázový tok .....	30
Graf 3 Primární naměřená data - dvoufázový tok.....	33
Graf 4 Závislost odporu porézní vrstvy na Reynoldsově čísle - dvoufázový tok.....	33
Graf 5 Porovnání jednofázového a dvoufázového toku .....	34

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Průmyslové aplikace (Matěju, 2005) .....	10
Tabulka 2 Naměřené a vypočítané hodnoty - jednofázový tok .....	29
Tabulka 3 Naměřené a vypočítané hodnoty - dvoufázový tok .....	32