

Provozování půdních biofiltrů v podmínkách zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu

Brno 2007

Název	Provozování půdních biofiltrů v podmínkách zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu	
Objednatel	Česká republika - Ministerstvo zemědělství Praha 1, Těšnov 17, PSČ 117 05 Odbor bezpečnosti potravin, environmentálního rozvoje a prevence znečištění IČO: 00020478	
Důvěrnost, copyright a kopírování	Důvěrné sdělení. Tento dokument byl zpracován na základě Smlouvy o dílo č. 16/IPPC/2007. Obsah nesmí být poskytován třetím stranám za jiných podmínek, než jak je uvedeno ve smlouvě.	
Jednací číslo	PM/ED/310707	
Zpráva číslo	310707/MZe/MZLU/IPPC	
Status zprávy	Vydání 1	
Zhotovitel	Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně Institut celoživotního vzdělávání ve spolupráci s Ústavem zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Brno, Zemědělská 1, PSČ 613 00	
Hlavní řešitelé Spoluřešitel	Dr.Ing. Petr Marada, Ing. Petra Auterská, CSc. prof.ing. Jan Mareček , DrSc.	
Vypracovali Revidovala	Jméno	Datum
	Dr.Ing. Petr Marada, Ing.Petra Auterská, CSc. Ing. Šárka Štrachotová	31.7. 2007 31.7. 2007

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Biofiltrace obecně	7
2.1	Historie biofiltrace.....	8
2.2	Princip biodegradace	8
2.3	Biologicky odbouratelné látky	9
2.4	Princip biofiltrace	10
	Kdy je nevhodné použití biofiltrace	13
2.5	Popis biofiltru.....	14
	Přívod odpadního vzduchu.....	16
	Nosič biomasy	16
	Bakteriální kultura.....	18
	Nutrienty.....	19
	Pufr pH	19
	Teplota.....	19
	Vlhkost nosiče	20
	Problémy při špatné kvalitě náplně	20
2.6	Konstrukce biofiltrů	22
2.7	Vliv biofiltrů na životní prostředí.....	25
3	Charakteristika biofiltrů v asanačních podnicích	26
3.1	Současný stav biofiltrů	27
3.2	Projektování nových biofiltrů.....	28
3.3	Provozní podmínky biofiltrů	28
	pH.....	29
	Tlaková ztráta	29
	Hodnoty nutrientů	29
	Stav mineralizace substrátu	30
	Kontrola mikroorganismů	30
3.4	Provozní řád při provozu biofiltrů.....	30
3.5	Metodický postup při výměně náplně biofiltru	34
	Příprava náplně.....	34
4	Nové perspektivní techniky.....	35
5	Seznam obrázků, grafů a tabulek	40
	Obrázky	40
	Grafy.....	40
	Tabulky.....	40
6	Použitá literatura	41

Tento dokument byl vypracován na základě Smlouvy o dílo č.16/IPPC/2007 Mendelovou zemědělskou a lesnickou univerzitou v Brně jako jeden z funkčních úkolů Technické pracovní skupiny č. 6.5, kterou zřídilo Ministerstvo zemědělství (MZe) pro podporu a uplatňování zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění, integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o IPPC).

Předmětem řešení je Etapa 1) Provozování půdních biofiltrů v podmínkách zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu s důrazem na **založení a obnovu vsázky (náplně) biofiltru, analýzy jednotlivých sorbetů (kúr), náhradní řešení čištění kontaminované vzdušiny v době odstávky biofiltru – metodický postup.**

1. Úvod

Součástí provozu zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu (převážně asanačních podniků) v České republice jsou různé koncové technologie, které minimalizují negativní vlivy těchto zařízení na životní prostředí. Jednou z nejvýznamnějších technologií je biologický filtr na snižování pachových emisí vzdušiny „odtažené“ z výrobních prostor, ve kterých se nakládá s vedlejšími živočišnými produkty a živočišným odpadem.

Biologické čištění odpadních plynů je moderní způsob čištění organického znečištění, využívající enzymatického vybavení mikroorganismů na rozklad nežádoucích organických látek obsažených v plynech. Tohoto principu lze však využít jen u takových látek, které jsou biologicky odbouratelné, při určité rychlosti biodegradace.

Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách (BREF) pro zařízení na odstraňování nebo využití konfiskátů živočišného původu a živočišného odpadu pojednává v kapitole „Obecné metody použitelné na úrovni instalovaných zařízení“ o biofiltrech takto:

Biologické filtry obsahují rozvod vzduchu a nosné médium, které je často tvořeno organickými materiály, které mohou nést rostoucí mikroorganismy, jimž slouží pachové látky jako živiny. Tímto způsobem se odstraňuje zápach ze vzdušiny, která je prostřednictvím vzduchotechniky svedena z jednotlivých částí provozu. Zapáchající látky musejí být zachyceny na nosné médium, proto médium musí mít co největší plochu. Vzhledem k tomu, že mikroorganismy rovněž potřebují vodu, je nutno udržovat vzduch vlhký.

Dosažené ekologické přínosy spočívají ve snižování emisí zápachu, které jsou s ohledem na zájmy zainteresovaných stran (občané bydlící v okolí, politické strany, nevládní organizace) významné. Průměrná účinnost biofiltrů u asanačních podniků je uváděna mezi 60 a 99 %, pokud jde o eliminaci zapáchajících látek z odsávaného vzduchu z provozu těchto zařízení.

Biofiltry se považují za vhodná zařízení pro velké objemy vzdušiny.

Na základě popisu této nejlepší dostupné techniky, praktických zkušeností provozovatelů biofiltrů v rámci asanační technologie a v neposlední řadě potřeby kontrolních orgánů je velmi potřebné stanovit bližší podmínky pro řízení tohoto environmentálního aspektu. Jedná se především o stanovení :

- vhodné náplně biofiltru, způsobu výměny náplně biofiltru.
- standardu pro provoz biofiltrů (typy kůr, vhodné kmeny bakterií, pH, atd.) a
- metodiky při periodické výměně náplně biofiltru.

Zpracování bližších podmínek provozu biofiltrů je dále žádáno dalšími potencionálními zpracovateli vedlejších živočišných produktů a živočišných odpadů typu bioplynových stanic a kompostáren, které jsou nuceny též řídit významné environmentální aspekty s vlivy na ovzduší a dodatečně dovybavují své provozní technologie o zařízení typu biofiltrů.

2. Biofiltrace obecně

Biofiltrace vzduchu je technologie, která se vzhledem ke zdokonalování, inovacím a také nízkým provozním nákladům, stává stále častěji používanou technologií pro eliminaci těkavých organických látek, některých anorganických polutantů. Nejčastěji jsou technologie biofiltrů využívány tam, kde se vyskytují nízké koncentrace biologicky odbouratelných látek, avšak látek, které jsou výrazné svým zápachem již při velmi nízkých koncentracích. Biofiltrace je ekonomickou a účinnou metodou především pro odstraňování nízkých koncentrací škodlivých a nežádoucích látek z odpadních plynů.

Příklad oblastí služeb a průmyslu, kde lze s výhodou biofiltraci aplikovat a polutanty, které lze biofiltrací odstraňovat, jsou uvedeny v tabulce č. 1. Tento přehled zahrnuje realizované biofiltry u nás i v zahraničí. Naše zkušenosti ukazují, že biofiltry jsou schopné velmi účinně odstraňovat i směsné kontaminace organických a anorganických polutantů, například zápachové látky z ČOV, odpadní vzduch z praní ovčí vlny a pod. Podobné zkušenosti jsou popsány i v odborné literatuře (Moe a Oi, 2004).

Tabulka 1 Praktické aplikace biofiltrace vzdušnin (bulletin ASSANATIVO VETERINARIA, 1986, Department of Trade and Industry, 2004, U.S. EPA, 2000, Deshusses, 1997, Viesturs a kol., 2004, Adler, 2001, Yuwono a Schulze-Lammers, 2004)

Průmysl, služby	Polutanty odstraňované biofiltrací
Asanační podniky	oxidované nebo dehydrogenované aldehydy, masné kyseliny, sirovodík, amoniak, sirouhlík, merkaptany, sulfidy (dimethylsulfid, dimethyldisulfid) a další (triethylamin, amoniak, S-methylmethanthiosulfát, methylcyklohexan, cykloheptatrien)
Praní vlny	Amoniak, sirovodík, dimethylsulfid, dimethyldisulfid, diethylamin, methylmerkaptan,
Kožedělný	Ethylacetát, butylacetát, aceton, toleun, ethanol
Kompostování	Sirovodík, amoniak, terpeny, aminy, masné kyseliny, merkaptany
Výroba pekařského droždí	Ethanol, aldehydy, ketony
Mechanicko-biologická úprava bioodpadů	Sirovodík, amoniak, masné kyseliny, aminy
Chov hospodářských zvířat	sirovodík, amoniak, masné kyseliny, kyselina máselná, aminy, methylsulfidy
Masný průmysl	Aldehydy (zapáchající), organické kyseliny, sirovodík, amoniak
Kalové hospodářství ČOV	methanthiol, sirovodík, dimethylsulfid, dimethyldisulfid, triethylamin, amoniak, S-methylmethanthiosulfát, methylcyklohexan, cykloheptatrien

2.1 Historie biofiltrace

Historické použití biofiltrace není přesně doloženo. Nicméně jsou v odborné literatuře citovány pokusy biologicky eliminovat sirovodík ze vzduchu z čistírny odpadních vod v Německu na biologickém filtru již v roce 1923 (Wani a kol., 1997). Praktické používání biofiltrů se rozšířilo až po 2. světové válce zejména v Německu, Nizozemí, Velké Británii a Japonsku. V USA je doložena první instalace provozního biofiltru v roce 1953 v Long Beach v Kalifornii (Ottengraf, 1986), kde byl používán pro odstranění zápachu. Na konci padesátých let minulého století již bylo instalováno v Evropě několik desítek provozních biofiltrů.

Stavba biofiltrů v České republice začala dle studií projektové dokumentace v období 80. let minulého století především právě u asanačních podniků (tehdejších ústavů) a byla inspirována německými a rakouskými zkušenostmi. Další rozvoj pokračoval postupně a v současné době lze odhadnout celkový počet provozovaných biofiltrů na několik desítek. Lze ovšem konstatovat, že některá zařízení jsou navržena velmi nekvalitně a svoji funkci plní jen částečně.

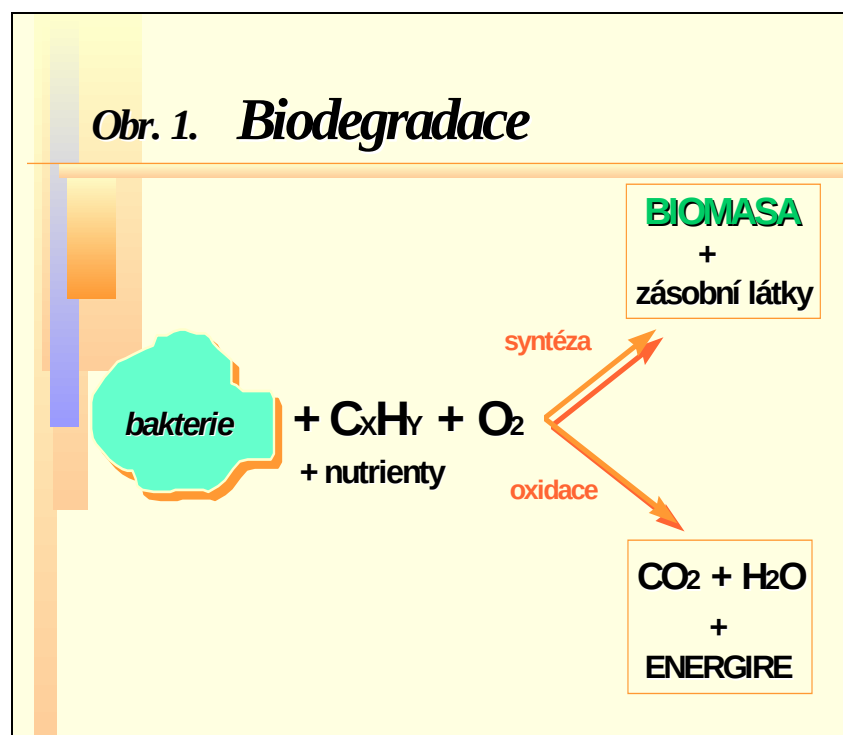
2.2 Princip biodegradace

Biofiltrace patří mezi biotechnologie, kdy je vzduch znečištěný organickými, resp. anorganickými pachovými látkami vyčištěn pomocí aktivity mikroorganismů imobilizovaných na pevném nosiči. Rozklad biologicky rozložitelných organických látek, resp. anorganických látek pomocí mikroorganismů se nazývá biodegradace.

Mikroorganismy schopné biodegradace organických látek se vyskytují běžně v prostředí kolem nás - voda, půda, vzduch. Jako nejznámější příklad lze uvést klasické biologické čistírny odpadních vod. První biologická ČOV vznikla obyčejným provzdušňováním městských splašků. Po určité době se vytvořilo optimální společenství mikroorganismů, které bylo schopno snižovat organické znečištění. Obecně se takto chová celá příroda a tento proces „samočištění“ je jen přirozený koloběh uhlíku. Biologicky rozložitelná je za určitých podmínek většina organického materiálu.

Biodegradaci organické látky lze jednoduše schematicky popsat, obr.1. Bakterie využívá organickou látku, tzv. substrát, jako zdroj energie a uhlíku pro syntézu zásobních látek a nových buněk. Tedy, část substrátu se spotřebuje na tvorbu nové buněčné hmoty (biomasy), zbylou část buňka oxiduje za vzniku energie na neškodný oxid uhličitý a vodu.

Někdy dochází při průchodu vzdušiny biofiltrem pouze k částečnému rozkladu molekuly polutantu na meziproducty, které často mívají nižší intenzitu zápachu než původní vzdušina. Některé anorganické polutanty v ovzduší jsou za přítomnosti organických látek biologicky oxidovány na soli, které jsou akumulovány v loži biofiltru (například sirovodík na síran, amoniak na dusičnany nebo dusitany).



Obrázek 1 Schéma biodegradace

2.3 Biologicky odbouratelné látky

V odpadním vzduchu jsou pomocí biofiltru rozkládány především biologicky snadno odbouratelné organické látky. Za určitých specifických podmínek jsou pomocí mikroorganismů odbourávány i některé anorganické látky, jako jsou amoniak a sirovodík. Látky, které jsou biologicky odbouratelné, ať už organické nebo anorganické, nazýváme biodegradabilní látky. Podmínkou biodegradace je, že

odstraňované látky jsou alespoň částečně rozpustné ve vodním prostředí. Čím lépe jsou látky rozpustné ve vodě, tím bývá větší pravděpodobnost snadné biodegradace.

Organické látky a výše uvedené anorganické látky jsou obvykle látky s nízkým čichovým prahem, tedy látky, které mohou zapáchat i při velmi nízkých koncentracích. Koncentrace některých polutantů, při kterých lze identifikovat zápach, mohou být až 10^{-9} mg.m⁻³. Často velmi intenzivní zápach bývá tvořen směsí několika desítek organických látek o nízkých koncentracích. V případě zpracování živočišného odpadu jsou to zejména nízké mastné kyseliny, aminy a anorganické látky jako je sirovodík a amoniak.

Rychlost biologického odbourávání jednotlivých látek je dána mnoha faktory, mezi které patří především skladba molekuly, typ mikroorganismů, které umí danou molekulu využít, fyzikální a chemické prostředí, ve kterém k biodegradacím dochází.

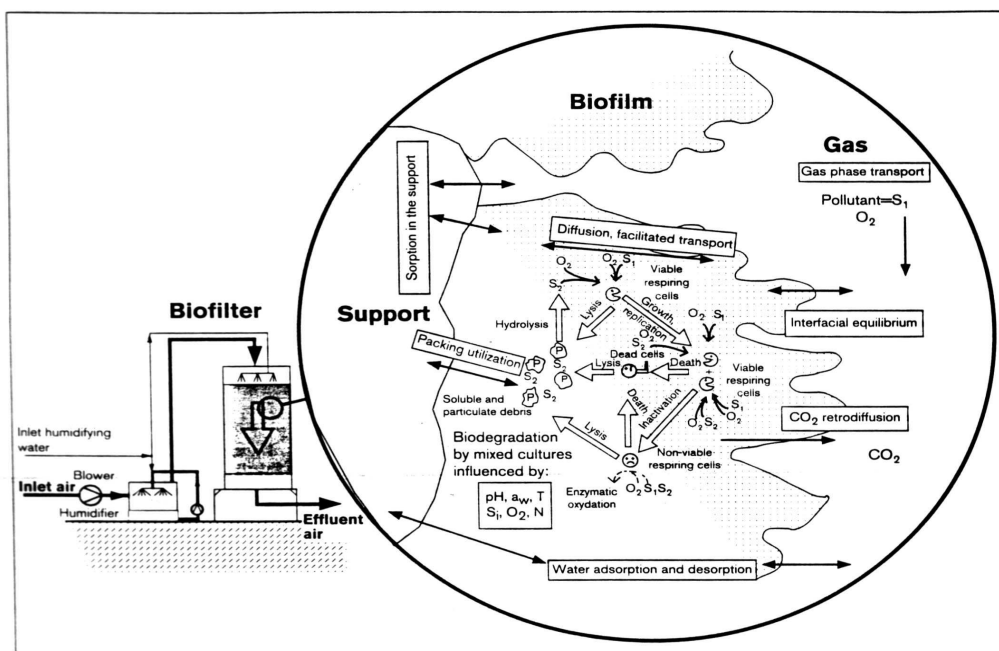
U některých látek je však rychlost biodegradace velice nízká, někdy je zapotřebí výrazně specifických podmínek (např. anaerobní prostředí, vyšší teploty, změna pH apod.), někdy jsou meziprodukty biodegradace toxičtější než výchozí látka a pak je likvidace biodegradacemi zcela nevhodná (např. biodegradace polyaromátů).

Vzhledem k tomu, že pachové látky se vyskytují často v přiměřeně nízkých koncentracích a často patří mezi látky biologicky snadno odbouratelné, je biofiltrace optimálním řešením eliminace pachových látek.

2.4 Princip biofiltrace

Vzduch vstupující do biofiltru obsahuje molekuly polutantů. Tyto molekuly se sorbují na povrchu biofilmu, který se vytváří na pevných částicích náplně. Celý proces je velmi komplikovaný a je dobře patrný z obrázku 2.

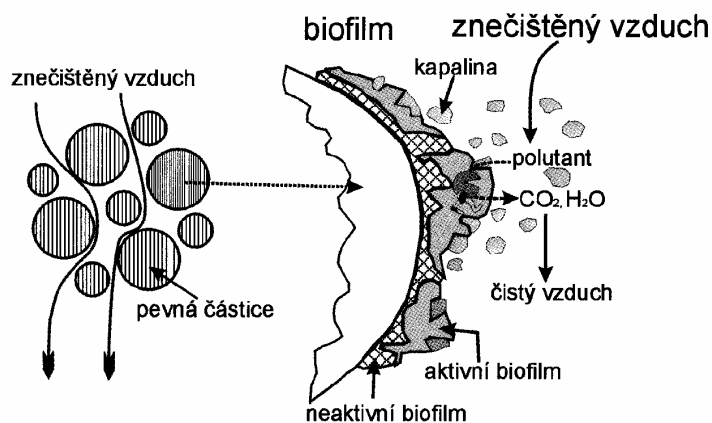
Figure 1



The biofiltration principle, the fate of pollutants during the process, and the physiological states (inspired from [12]) of the process culture. a_w , water activity; N, nutrients (N, P, K, and trace elements); S_1 , primary substrates (pollutants); S_2 , secondary substrates.

Obrázek 2 Charakter reakcí při průchodu kontaminantu ložem biofiltru

Na nosiči uvnitř biofiltru jsou imobilizovány mikroorganismy, které tvoří tzv. biofilm, slabou vrstvičku, ve které dochází k samotné biodegradaci. Biofilm je tvořen převážně bakteriemi, obsahuje však i nižší houby, prvoky a bezobratlé. Prvoci a bezobratlí se zpravidla živí bakteriemi a nižšími houbami. Odstraňování polutantů je několikastupňový proces. Prvním krokem je rozpouštění molekul polutantu v kapalně fázi (ve vodě), následuje transport molekuly biofilmem k bakteriální buňce a transport molekuly přes buněčnou membránu do bakterie, kde dochází k samotnému metabolismu a rozkladu polutantu. Získaná energie oxidací polutantu se využívá v buňce k syntéze buněčné hmoty a rozmnožování (obr. č. 3).



Obrázek 3 Princip biofilmu (Matějů V., 2006)

Těkavé organické polutanty mají většinou velmi malé molekuly stejně tak jako sirovodík a amoniak. Koncentrace polutantu jsou malé, tlak plynu je nízký, takže je možné předpokládat ideální chování. Rychlosti proudění nejsou vysoké, takže proudění je laminární. Pro přenos kontaminantu ze vzduchu do kapalné fáze se používá dvoufilmová teorie popsaná následující rovnicí:

$$M_j = K_L a (C_{s_j} - C_{l_j})$$

Kde

M_j	Rychlost přenosu hmoty látky i [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]
K_L	Koeficient rychlosti přenosu hmoty [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
a	Specifický povrch náplně [$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$]
C_{s_j}	Koncentrace látky v kapalné fázi za rovnovážných podmínek [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]
C_{l_j}	Aktuální koncentrace látky v kapalné fázi [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

Rovnovážná koncentrace se odvozuje z Henryho zákona. Reakční rychlost v biofilmu se řídí Monodovou kinetikou. Pokud je biofiltr provozován za správných podmínek, je přenos hmoty limitujícím rychlostním faktorem. Toto přestává platit, pokud je biofiltr látkově přetěžován. (Schroeder, 2002).

Výše uvedený vztah lze zjednodušeně popsat tak, že každá látka má jinou rychlost přestupu do buňky pro konkrétní mikroorganismus a konkrétní podmínky. Pro některé látky, které mají pevnou chemickou vazbu, jako jsou merkaptany, sirovodík, aromáty apod. je potřebná delší doba kontaktu kontaminantu s konkrétními mikroorganismy, které je umí využít. Často je problém mnohem složitější. V biofiltru se nikdy nevyskytuje jedna čistá kultura mikroorganismu, ale zpravidla jsou to mikroorganizmy, které žijí v biofiltru v různých vzájemných vztazích zajišťujících rovnováhu procesu (symbioza, komercialismus, antagonismus apod.). Některé mikroorganismy umí molekulu pouze naštípnout a využít jen část molekuly. Vzniklý meziprodukt mohou například odstranit jiné druhy mikroorganismů. Proto je velmi důležitý parametr - doba zdržení vzdušiny v biofiltru .

Druhým významným parametrem určujícím účinnost biofiltru je tzv. látkové zatížení, tedy hodnota, která určuje, kolik polutantu je možné pomocí biodegradace dané látky odstranit za časovou jednotku. Jinými slovy, vysoké koncentrace polutantu mohou

způsobit např. otravu substrátem (polutantem) nebo se účinnost biofiltrace výrazně sníží.

Kdy je nevhodné použití biofiltrace

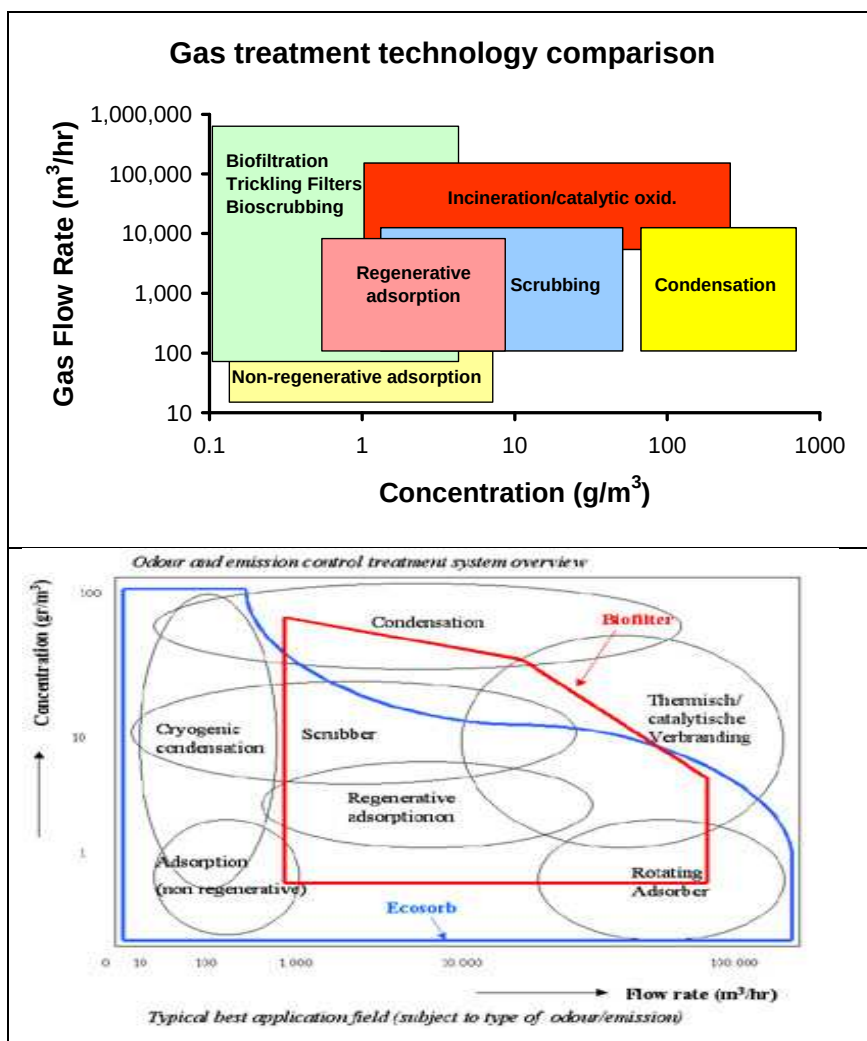
- Pro látky s nízkou schopností adsorpce
- Pro látky nerozpustné ve vodě
- Pro látky biologicky odbouratelné za dlouhou dobu
- Pro látky, které mohou být toxické vůči mikroorganismům
- Pro extrémně nízké koncentrace polutantu, které mohou být příčinou nedostatečného mikrobiálního osídlení náplně biofiltru

Velké kolísání vstupních koncentrací není pro biofiltraci vhodné, neboť mikrobiální populace v biofiltrační náplni nejsou schopné rychle reagovat na prudké kolísání koncentrace škodlivin v proudu vzdušiny. Adler (Adler, 2001) doporučuje biofiltraci vzduchu s nižšími koncentracemi polutantů (do 1500 ppm objemových – to však závisí na kvalitě odstraňovaných látek a výstupních limitech a může proto široce kolísat) a nižšími průtokovými rychlostmi (obecně od 10 000 do 75 000 Nm³.h⁻¹)

Biofiltry lze využít pro eliminaci organických těkavých polutantů a zápachových látek v nízkých koncentracích. Obecně se uvádí hranice do 1000 ppm objemových (Schroeder, 2002), provozně však pracují biofiltry se vstupními koncentracemi až 5000 ppm objemových. Reálná vstupní koncentrace polutantů závisí ve většině případů na druhu polutantu, jeho biologické odbouratelnosti a konkrétních ekonomických podmínkách. Při vyšších koncentracích polutantů (zhruba nad 1500 až 2000 ppm objemových) se stávají konkurenční metody (termická a katalytická oxidace, oxidace indukovaná UV světlem, skrubry) z ekonomické hlediska výhodnější.

Porovnání biofiltrace s jinými technologiemi znázorňují dva grafy, které ukazují, kdy je ekonomicky výhodné použít tu kterou konkrétní technologii.

Grafy 1 a 2 Ekonomicky výhodné využití technologií pro různé průtoky a koncentrace organických látek



2.5 Popis biofiltru

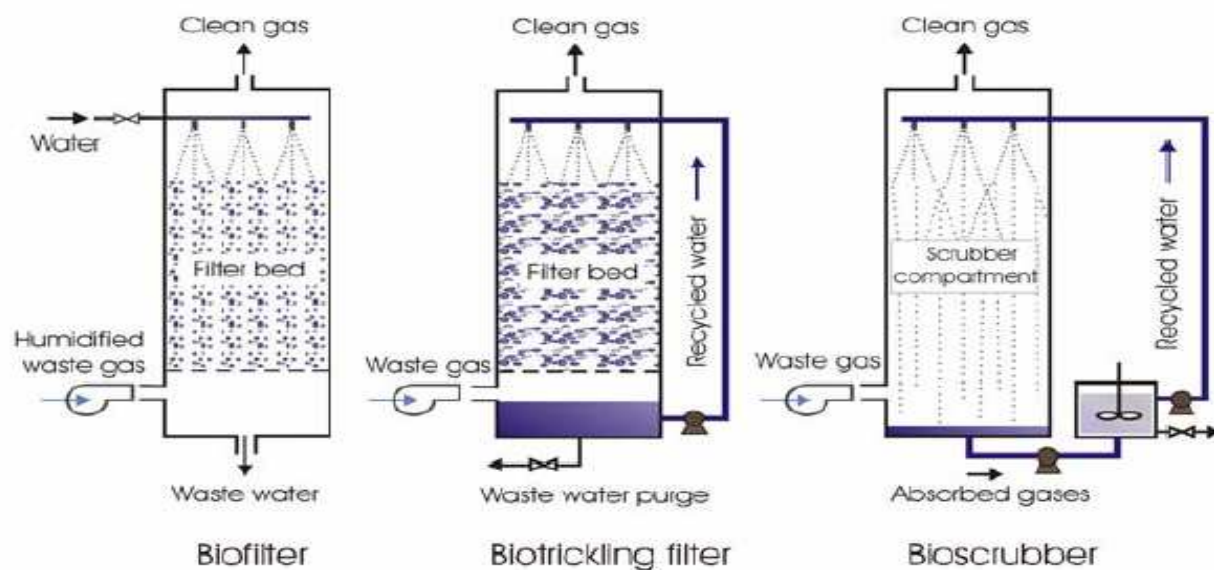
Biofiltry jsou zařízení, ve kterých jsou regulované podmínky a kde dochází ke styku organických polutantů v odpadním vzduchu látek s mikroorganismy,

Biofiltry jsou koncipovány tak, že vzduch je tlačěn do nádoby (nádrže biofiltru) zpravidla přes mezidno, které má za účel uklidnit proud vzdušiny do laminárního proudění, do vrstvy lože (náplně) s mikrobiální kulturou.

Základní typy biofiltrů jsou 3:

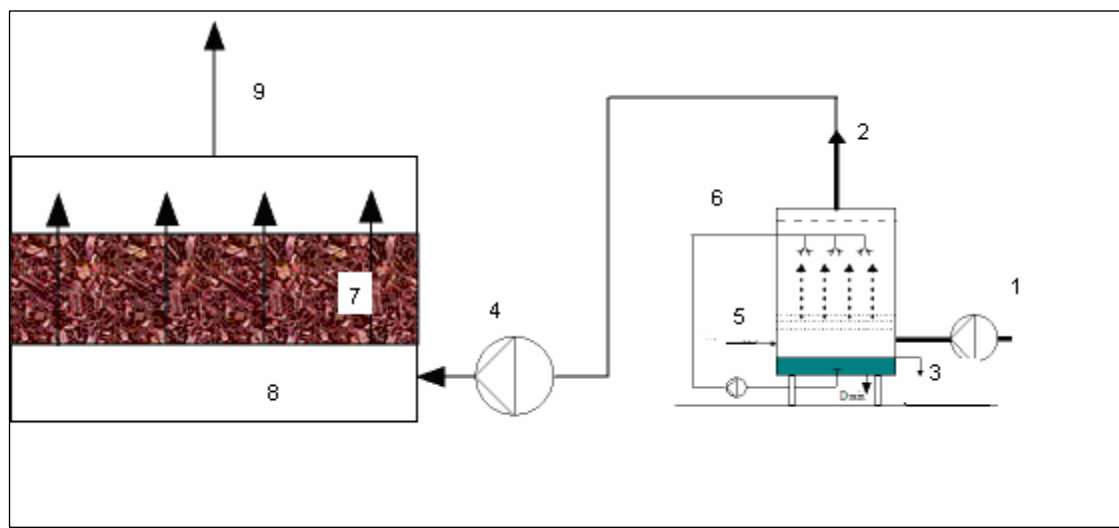
1. Biofiltr s pevným ložem
2. Biologická pračka (bioskruber)
3. Biofiltr se zkrápěným ložem

Princip jednotlivých typů biofiltrů je schematicky uveden na obr. 4



Obrázek 4 Typy biofiltrace

Nejčastěji využívané systémy jsou biofiltry s pevným ložem. Princip klasického biofiltru s pevným ložem ukazuje obrázek č. 5.



Obrázek 5 Schéma biofiltru (Auterská P, 2006)

1...Přívod odpadního vzduchu, 2...zvlhčený vzduch po průchodu vodní pračkou, zbavený pevných nečistot a částečně pachových látek, 3...přepad znečištěné odpadní vody, 4...ventilátor, 5...přívod čisté vody, 6...recirkulace prací vody, 7...náplň biofiltru, 8...rozvod odpadního vzduchu, 9...vyčištěný odpadní vzduch.

Přívod odpadního vzduchu

Odpadní vzduch je do biofiltru zpravidla tlačěn do dna biofiltru. Tento systém je z hlediska kinetiky sorpce škodlivin na povrch náplně biofiltru vhodnější než systém, kdy je vzdušina odsávána až za biofiltrem

Odpadní vzduch je zpravidla zvlhčován ve vodních pračkách před vlastním vstupem do biofiltru. Předřazené pračky jsou vhodné především tam, kde je vzdušina znečištěna tuhými nečistotami, kapénkami tuku či barev. Tyto látky se ve vodních pračkách ve velkém množství odloučí a sníží zatížení biofiltru. Účinnost vodních praček bývá cca 60-80%.

Zvlhčený vzduch je nutný z důvodu přestupu polutantu k mikroorganismům přes kapalnou prostředí, ve kterém je polutant rozpustný.

Nosič biomasy

Obecně lze shrnout funkce nosiče biomasy takto:

- Je zásobárnou vody
- Zásobuje mikroorganismy látkami nezbytnými pro jejich činnost, které nejsou obsaženy v přiváděné vzdušnině
- Slouží k vyrovnávání kolísání koncentrace polutantů přiváděných do biofiltru, ke snížení kolísání teploty, vlhkosti a musí udržovat téměř konstantní pH
- Musí být schopné sorbovat polutanty
- Musí zásobovat mikroorganismy živinami v době odstávky biofiltru
- Umožňuje zásobení mikroorganismů kyslíkem

Nosič biomasy musí mít dostatečnou porozitu a dostatečný objem dutin. Porozita by se měla pohybovat v rozmezí 40 % až 60 %. Materiály pro odstraňování zápachu ze zemědělských zdrojů mají porozitu až 90 %. Obě vlastnosti přizpívají k nízké tlakové ztrátě a malému odporu pro procházející vzdušinu. Porozita ovlivňuje odvádění vody a tím vyšuje přestup kyslíku.

Pro vytváření dostatečné plochy biofilmu je nezbytný velký specifický povrch materiálu. Velký specifický povrch také podporuje přenos hmoty (zejména polutantu

a kyslíku) z plynné fáze do bifilmu. Běžné náplně ho mají v rozmezí 100 až 800 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$.

Náplň může být tvořena přírodními materiály jako je například kůra stromů, štěpky, kokosová vlákna, rašelina, humus apod., anebo inertními materiály jako je zeolit, aktivní uhlí, umělohmotné vestavby a podobně.

Náplň z přírodního materiálu musí mít:

- Dostatečný podíl organické látky, kde jsou dostatečně zastoupeny potřebné nutriety a mikronutrienty potřebné pro mikroorganismy.
- Dostatečné množství tzv. pufru (stabilizátoru) pH
- Musí být dostatečně porézní, aby se minimalizovaly tlakové ztráty při průniku odpadního vzduchu přes lože biofiltru.

Materiál náplně biofiltru s pevným ložem musí mít vysokou vodní kapacitu (schopnost zadržovat vodu), aby nedocházelo k rychlému vysychání.

Přírodní nosič nesmí podléhat rychlému biologickému rozkladu. Pokud nosič podléhá rychlému biologickému rozkladu, zkracuje se životnost filtračního lože a zvyšuje se tlaková ztráta biofiltru.

Syntetický materiál nosiče musí být nejdříve testován na substrát, který má být odstraňován, protože ne všechny bakteriální kultury mohou růst na stejném materiálu. Některé jsou schopny růst na PVC, některé nikoliv a naopak pro vysoké koncentrace polutantu je například vhodné jako nosič použít aktivní uhlí.

Další požadované vlastnosti lože biofiltru:

- Lože biofiltru by nemělo samo o sobě zapáchat
- Musí mít nízkou cenu
- Po použití ho musí být snadné a levné zlikvidovat

Příklady nosičů ukazuje obrázek 6.

Obrázek 6 Typy nosičů biomasy

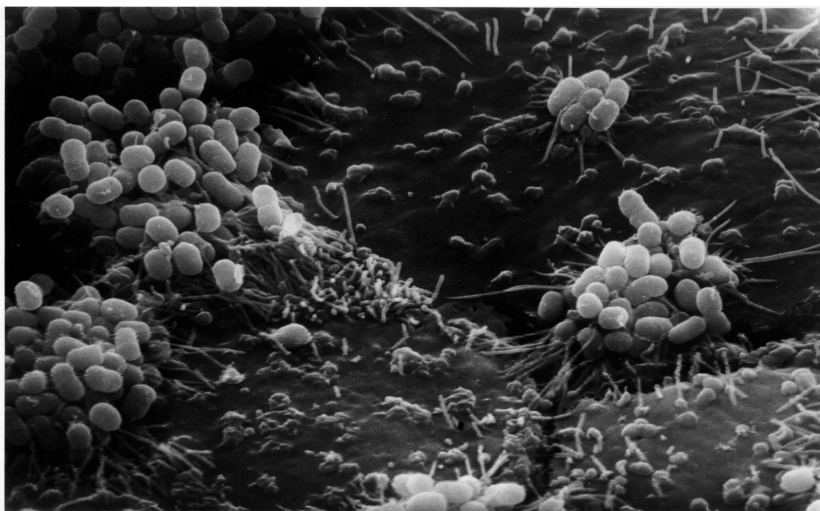
		
Přírodní substrát, kde převažuje kůra	Plastové vestavby	Aktivní uhlí

Bakteriální kultura

V procesu biofiltrace se na nosiči, při dodržení obecných podmínek, za určitou dobu vytvoří sama biologická kultura mikroorganismů, která je schopna rozkládat přiváděné biodegradabilní znečištění. Tento způsob zapracování biofiltru je však zdoluhavý a rovnováha se ustaví zpravidla až za 2-3 měsíce.

U biofiltrů pracujících v technologiích, kde jsou součástí technologií biologické čistírny odpadních vod čistící podobné polutanty v odpadních vodách, je vhodné biofiltry zaočkovat biologickým kalem z těchto čistíren odpadních vod, neboť kal tvoří mikroorganismy, které mají upravený enzymatický systém právě pro rozklad daných polutantů.

U specifického znečištění jsou kultivovány směsné bakteriální kultury pro určitý typ organických skupin látek jako např. mastné kyseliny, aromatické látky, tzv. BETOX (benzen toluen xylen), aminy apod. v laboratořích. Tyto skupiny mikroorganismů mají potom schopnost rychlé adaptace v biofiltrech a biofiltr se dostává na stoprocentní výkon v průběhu několika (2-10) dnů. Pro kultivaci není nikdy vhodná bakteriální monokultura, která je velmi náchylná na sterilní prostředí a velmi rychle dochází k mutacím při kontaminaci jinými mikroorganismy, které se v systému prosadí. Fotografie z elektronového mikroskopu imobilizované kultury bakterií ukazuje obrázek 7.



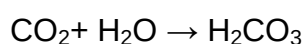
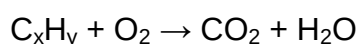
Obrázek 7 Fotografie mikroorganismů imobilizovaných na pevném nosiči biofilru el

Nutrienty

Nutrienty jako dusík a fosfor jsou nutné pro tvorbu nové buněčné hmoty, stejně tak jako mikronutrienty (draslík, hořčík, kobalt, molybden, měď apod.). V případě syntetických materiálů je potřeba tyto látky do systému dodávat.

Pufr pH

Jak již bylo uvedeno v kapitole "princip biodegradace", je základní reakce biodegradace organických látek:



přičemž H_2CO_3 je slabá kyselina uhličitá. Čím více se odstraní organických látek, tím více vzniká v systému kyseliny uhličitě, která snižuje pH lože. Při určité hodnotě pH se zpravidla blokuje biodegradace a může dojít až ke kolapsu systému. Proto je hodnota pH přírodního lože velmi důležitá. U syntetického lože bývá pH upravováno už při přidavku nutrietů.

Teplota

Pro biodegradaci běžných provozů je čištěn odpadní vzduch při teplotách 10-25°C. Ovšem i extrémní teploty mají vliv na účinnost biofiltrace. U běžných typů mikrobiologických kultur se při teplotě pod 10 °C exponenciálně snižuje aktivita

těchto mikroorganismů. Lože biofitru umístěné v zemi zpravila nepromrzá, protože do biofiltru vstupuje teplý vzduch. Problém může nastat, pokud jsou mikroorganismy vystaveny teplotě plynu krátkodobě (v rozmezí minut - dní) nad 40 °C. V tomto případě dochází u běžných kultur k nedostatečné výměně kyslíku a k lyzy bakterií a následné sterilizaci biofiltru.

Samozřejmě existují termofilní mikroorganismy, které dokáží odstraňovat polutanty i při vyšších teplotách, ale to už se jedná o speciální případy biodegradace.

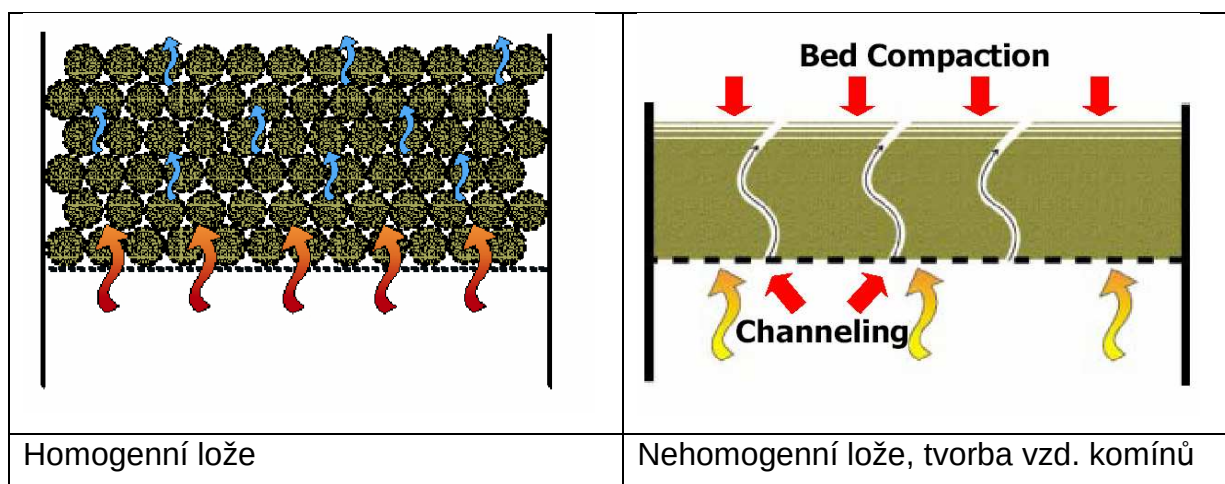
Vlhkost nosiče

Jak bylo již uvedeno, pro dobrý přestup polutantu k mikroorganismům je nutná dostatečná vlhkost lože. Vhodná hodnota je 60-80 %. Samotné předřazené pračky vzduchu nejsou často schopny tuto podmínku zajistit. To se stává v případech, kdy se jedná o velkoplošné biofiltry, o biofiltry které čistí teplý suchý vzduch, otevřené biofiltry v letních horkých dnech. Proto je vhodné konstruovat jako součást biofiltrů též povrchové zkrápění. Náplň se zkrápí vodou nebo roztokem živin, popřípadě střídavě.

Problémy při špatné kvalitě náplně

Při použití přírodního substrátu dochází v průběhu provozu k mineralizaci lože, sesedání lože, zvyšování tlakové ztráty na loži, k vysychání lože a k zarůstání lože mikroorganismy v prostorách dobře zvlhčovaných. Tyto faktory vedou k tvorbě tzv. vzdušných komínů, tedy míst kde je nižší tlaková ztráta. Tato místa propustí více čištěného vzduchu, zvýší se rychlost proudění vzduchu, vzniká větší proschnutí místa, tím se ještě více sníží tlaková ztráta. Vzduch proudí cestou nejmenšího odporu, tedy tímto vzduchovým komínem. Snižuje se doba kontaktu kontaminované vzdušiny s ložem biofiltru, navíc proschlá místa neobsahují aktivní mikroorganismy. Tím dochází k úniku velkého množství nevyčištěného vzduchu a snižuje se účinnost biofiltru.

Příklady proudění v nehomogenním, špatně propustném biofiltru a biofiltru s homogenní náplní ukazuje obrázek 8.

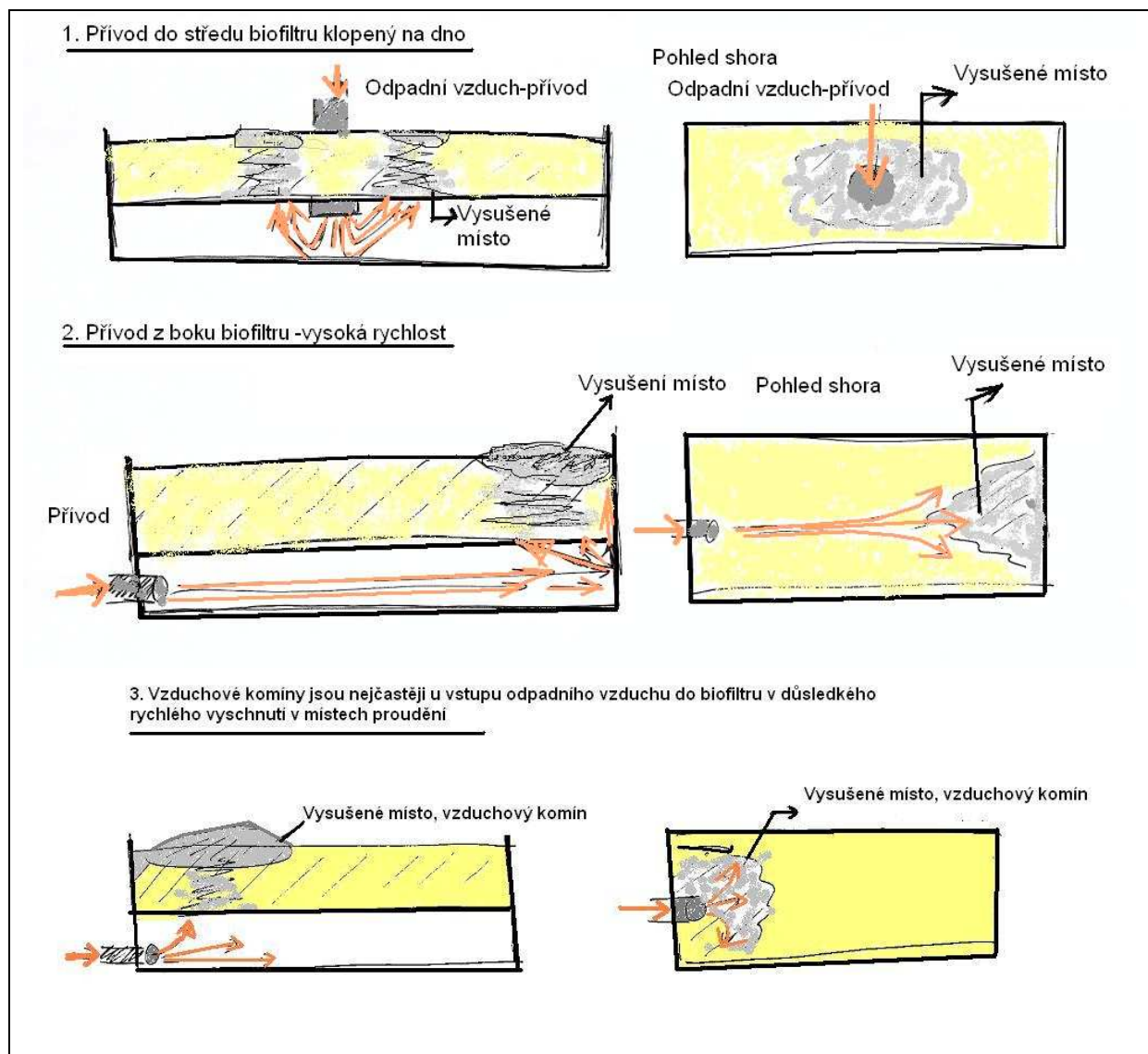


Obrázek 8 Příklad proudění vzdušiny v homogenní a nehomogenní náplni biofiltru

Důvody tvorby vzduchových komínů v loži biofiltry:

- Kvalita distribuce odpadního vzduchu pod dno lože. Rychlost proudění vzduchu pod dno biofiltru a jeho distribuce by měla splňovat podmínku zajištění rovnoměrného laminárního proudění po celém loži biofiltru.
- Důležitá je homogenita nosiče biomasy. Nevyrovnaný povrch a nehomogenita vede k rozdílným tlakovým ztrátám ve vrstvě náplně a dochází opět k tvorbě vzduchových komínů.
- Nemalou roli hraje i rovnoměrné zvlhčení lože biofiltru.

Všechny tyto faktory snižují účinnost biofiltrů, ale současně jsou podstatou problému při vzorkování vyčištěného vzduchu na biofiltrech. Příklady proudění vzduchu ukazuje obrázek č. 9.

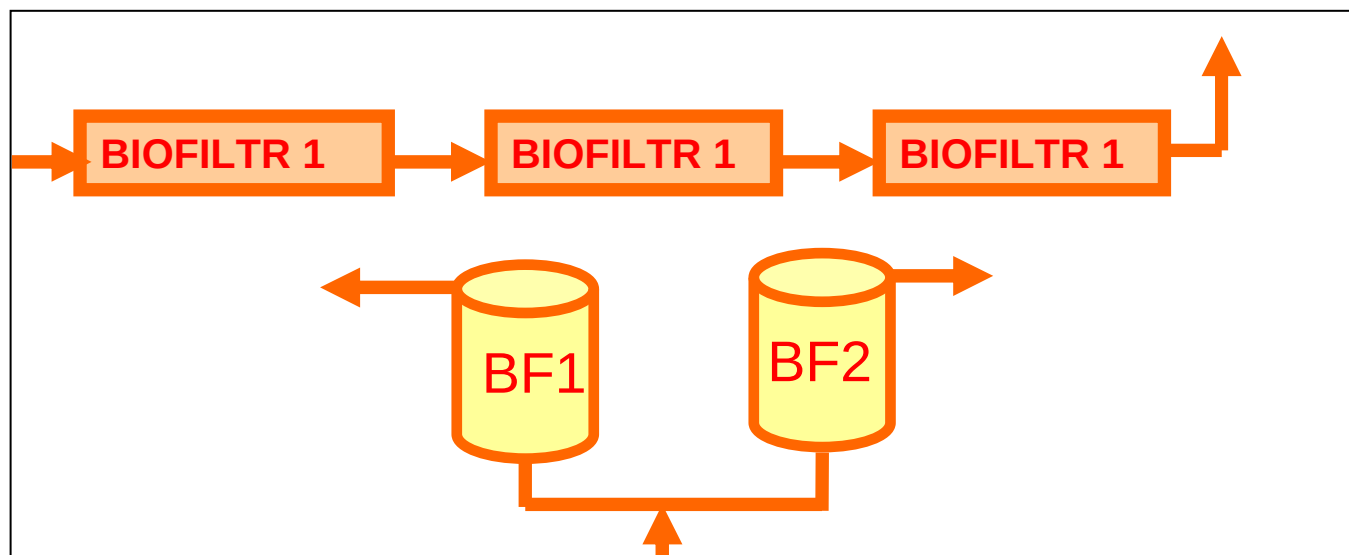


Obrázek 9 Příklady nesprávné funkce rozvodu vzdušiny pod ložem a průchodu filtračním materiálem (Auterská, 2006)

I přes všechny snahy o minimalizaci vzduchových komínů neexistuje ideální biofiltr, který by nějaká "hluchá" místa neměl. Důležité je maximálně eliminovat všechny faktory, které mají vliv na tvorbu vzduchových komínů a tím zvýšit účinnost biofiltru.

2.6 Konstrukce biofiltrů

Biofiltry mohou mít různé tvary, velikosti či mohou pracovat jako otevřené podzemní jednotky vybavené rozvodem vzduchu, obr. 11. Biofiltry lze zkonstruovat s vhodným náplňovým ložem tak, aby se snížily jeho prostorové nároky či jako vícenásobné současně pracující jednotky, obr. 10:



Obrázek 10 Schéma možného zapojení biofiltrů

Vzhledem k parametrům technologie - laminární proudění vzduchu ložem, nízká tlaková ztráta, dostatečná doba zdržení v loži biofiltru a hmotnostní zatížení lože - byly původní biofiltry projektovány jako velkoplošné jednotky.



Obrázek 11 Příklad výstavby zemního biofiltru

Biofiltrační lože bylo tvořeno jednou vrstvou kyprého organického materiálu (rašelina, kompost, vřes, kůra) s mocností do 1 m. Tato zařízení měla obtíže s čištěním vyšších nebo kolísavých koncentrací polutantů a velký půdorys zařízení zvyšoval (někdy až neúnosně) investiční náklady, nebo neumožňoval umístit takto velké biofiltry do průmyslových závodů s omezenou volnou plochou pro jeho stavbu.

Biofiltry nové generace využívají filtrační lože s novým složením a řízeným procesem biodegradace, jako je kontrola živin, pH, mineralizace nosiče, kontrola tlakové ztráty a mikrobiální rozbory. To umožňuje zvýšení účinnosti biofiltrace. Kontrola mikrobiálního osídlení biofiltru a sledování kultivačních podmínek umožňuje využití biofiltrace pro další polutanty. Při nedostatku místa, či pro vysoké koncentrace se osvědčily několikapatrové biofiltry.

Pro stavbu biofiltru jsou nejdůležitější vzduchotechnické parametry a hydraulika proudění vzdušiny. Proto je potřeba dbát na dobrou distribuci vzduchu na dně biofiltru. Vyvarovat se přívodu vzduchu shora na dno biofiltru, kdy kinetická energie okamžitě vynáší vzdušinu v úzkém proudu v jednom místě biofiltru. U menších podlouhlých staveb je vhodná rozložená distribuce vzduchu podél celého biofiltru.

Častým problémem je vysychání biofiltru u stěn nádrže, které je způsobeno nižším odporem lože podél stěn. V takovémto případě je vhodné umístit na rošt u stěn cca. 10 cm izolace ohrnuté na stěnu biofiltru, aby proudění nemohlo probíhat těsně podél stěn.

Z hlediska principu sorpce se používají převážně střednětlaké výtlačné ventilátory. Z hlediska tlakové ztráty se stále dodržuje výška filtračního lože 1-1,2 m.

Výška umístění roštu nade dnem bývá zpravidla 0,5 m. Rošty mohou být vyrobeny z různých materiálů. Důležité je, aby nepodléhaly korozi a v průběhu provozu se nebortily. Z materiálů u menších biofiltrů se osvědčily plasty, u velkých biofiltrů se osvědčily panelové rošty, na které může vjíždět mechanizace při kypření či výměně lože.

Zakrytí biofiltru se využívá v případě umístění technologie v bytové zástavbě. Komín ze zastřešeného biofiltru bývá vyveden nad střechu objektu, aby docházelo k lepšímu rozptýlu zbytkového polutantu. Zakrytí je vhodné provádět tak, aby byl biofiltr lehce přístupný pro kontrolu pH, vlhkosti apod. a aby byla snadná demontáž v případě zkypření, nebo výměny substrátu. V praxi se neosvědčilo vzhledem k

problematické manipulaci zakrytí biofiltru plachtou. Zakrytí musí být provedeno tak, aby bylo možné aplikovat povrchový postřik z důvodu akvarijního zvlhčování lože. Zkrápění biofiltru je vždy vhodným doplňkem technologie. Dostatečné zvlhčení lože, nikoliv přelití, zvyšuje účinnost biofiltrace. Nadměrné přelívání biofiltračního lože může vést k vymývání mikroorganismů do odpadní vody, vede k nadbytečné odpadní vodě a může mít za následek zrychlení mineralizace nosiče a rychlejší zhutnění lože. Nadměrné vlhčení také zvyšuje tlakovou ztrátu na biofiltru

2.7 Vliv biofiltrů na životní prostředí

Jedním z často používaných argumentů proti aplikaci biofiltrů je otázka emise mikroorganismů z biofiltru. Touto otázkou se zabýval rozsáhlý výzkum mimo jiné iniciovaný v SRN, kde biofiltrace slouží u velkého počtu zařízení pro mechanicko-biologickou úpravu bioodpadů a kompostáren. Výsledky těchto zkoušek ukázaly, že emise mikroorganismů jsou velmi malé a prakticky nemají negativní vliv na životní prostředí (Kummer, 2004). Nezanedbatelná je (při špatném řízení procesu) i produkce odpadní (kondenzované, proteklé) vody jímané ze dna biofiltru. Také je nutné počítat s odpadem z použitého filtračního materiálu, který může být za určitých podmínek kompostován.

Platné právní požadavky pro ochranu ovzduší stanovuje zákon č. 86/2000 Sb. o ovzduší v platném znění, Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 356/2002 Sb., v platném znění, kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování a Nařízení vlády č. 615/2006, o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Dále potom vyhlášky č. 362/2006 Sb. a 363/2006 Sb., které řeší problematiku pachových látek.

Obecně platí limity pro vyjmenované polutanty jako je amoniak, sirovodík, organické látky a dále zdroje nesmí obtěžovat pachovými látkami. Biofiltrace patří k uznávané BAT technologii pro eliminaci výše uvedených polutantů.

3 . Charakteristika biofiltrů v asanačních podnicích

V asanačních procesech vzniká mnoho pachových látek způsobených rozkladem živočišných těl. Pachové látky jsou tvořeny zejména nízkými mastnými kyselinami a jejich aldehydy a ketony, amoniakem, popřípadě aminosloučeninami, sirovodíkem a merkaptany.

Největším zdrojem pachových látek v procesu asanace jsou brýdové páry. Ty jsou čištěny spolu s dalšími odtahy z procesu v systému dezodorizace. Dezodorizace je v asanačních podnicích převážně řešena biofiltrací pomocí půdního biofiltru s předřazenou vodní pračkou.

Ve vodní pračce se pomocí provozní vody oddělují ze vzdušiny mechanické částice jako je prachový úlet, např. zbytky chlupů a peří a tukové částice. Zde také dochází k syčení vzdušiny vodní parou, která je důležitá pro vlhčení náplně půdního filtru. Vlivem zkrápění je také odpadní vzdušina zchlazena na min 40°C. Z vodní pračky, umístěné ve strojovně dezodorizace, je vypraná a nasycená vzdušina odváděna podzemními vzduchotechnickými kanály do komor pod ložem biofiltru.

Vzdušina, která je zavedena z pračky do rozváděcího systému půdního filtru, proudí filtrační vrstvou nízkou rychlostí, přičemž se škodlivé a zapáchající látky zachytí na filtrační materiály různými mechanismy – rozpouštěním, absorpcí a chemisorpcí a dochází k biodegradaci. Vyčištěná vzdušina potom volně proudí volně do ovzduší.

Biofiltry jsou řešeny většinou nad úrovní terénu prostřednictvím železo-betonových van, kde na dřevěném roštu (nejlépe z modřínového dřeva) je ve vrstvě tloušťky cca 1 m navrstvena aktivní absorpční látka. Vany biofiltrů jsou vyspádovány směrem ke kanalizačním vpustím, kde je svedena odpadní voda z biofiltru (srážková atmosferická voda a voda z vlhčení náplně).

Vana musí být opatřena kontrolním systémem z důvodu sledování těsnosti (propustnosti) a dále systémem umožňujícím odběr odpadní vody za účelem monitorování klíčových indikátorů provozu této koncové technologie (především pH).

Pro usnadnění manipulace s náplní biofiltru se doporučuje vybudovat ve stěnách biofiltrů manipulačními otvory.

3.1 Současný stav biofiltrů

Téměř ve všech českých, v současnosti provozovaných asanačních ústavech je využívána k čištění emisí pachových látek biofiltrace. Při výstavbě biofiltrů na asanačních ústavech byly stavby projektovány na základě empirických dat a hodnot vzduchotechnických parametrů, jako je například rychlost proudění vzduchu.

Z již provedených realizací především v podmínkách asanačních podniků (např. ASAP Věž, AGRIS Medlov, ASAVET Biřkov) je známo, že projekce těchto zařízení vycházela často pouze z empirických vztahů, čímž docházelo při návrhu biofiltrů k jejich poddimenzování, takže třeba již zcela nové zařízení začalo pracovat jako přetížené. Důvodem je často podcenění úvodního monitoringu nebo jeho nesprávné provedení. Parametry některých, dosud dobře pracujících biofiltrů, jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Technologické parametry dobře pracujících biofiltrů na asanačních ústavech

Asanační ústavy						Hmot.t ok	Doba zdržení	Rychl. Proud.	Hydraul. zatíž.	hmotn. zat.
BIOFILTRY	plocha, m ²	výška, m	V, m ³	Q, m ³ /hod	c (VOC), mg/m ³	kg/hod	t, sek	m/s	m ³ m ⁻² h ⁻¹	kgm ⁻³ h ⁻¹
ASAP1	150	1	150	20 000	434	8,68	27,00	0,037	133,33	0,058
ASAP2	900	1	900	80 000	400	32,00	40,50	0,025	88,89	0,036
ASAVET	700	1	700	60 000	300	18,00	42,00	0,024	85,71	0,026
AGRIS	630	1	630	40 000	642	5,6	56,70	0,018	63,49	0,009

Přes vysokou účinnost biofiltrů při čištění pachových látek odchází z biofiltrů emise o různých koncentracích pachových látek. Emise pachů unikajících z biofiltru byly kvantifikovány, aby bylo možné říci, jak biofiltr pracuje a zda je dostatečný. (Auterská, 2006). Měřením byla prokázána nerovnoměrná distribuce vzduchu ve dnu biofiltru a častá tvorba vzduchových komínů u biofiltrů, které nebyly dodatečně zvlhčovány na povrchu lože.

3.2 Projektování nových biofiltrú

Při návrhu biofiltrú v jiných procesech, kde nejsou empirická data k dispozici, se často stává, že úvodní monitoring je zaměřen pouze na cílové polutanty (například sirovodík, merkaptany, amoniak, apod.), avšak neberou se v úvahu další přítomné organické látky v odpadním vzduchu jako například nízké mastné kyseliny a jejich deriváty, které však biofiltr rovněž zatěžují (jsou biologicky odbouratelné). Při návrzích biofiltrú bylo doposud jen zřídka počítáno s biologickými aspekty.

Pro správný návrh biofiltru je nutné dát do souvislosti všechny skutečnosti a potřeby nutné pro biodegradaci dané vzdušiny. Například samotný sirovodík nebo amoniak nebude biologicky odbouratelný, pokud v systému nebude dostatek biologicky snadno využitelných organických látek. Při návrhu biofiltru je třeba vzít v úvahu i biodegradační (eventuálně biotransformační) rychlosti jednotlivých polutantú a navrhnout systém podle rychlosti nejpomalejšího procesu, dále potřeby pH, živin, teploty, kyslíku, vlhkosti a dalších parametrú. Jinak nebudou dodrženy potřebné doby zdržení a nebude dosaženo požadované účinnosti.

3.3 Provozní podmínky biofiltrú

Jak již bylo uvedeno výše, jsou biofiltry na provoz relativně nenáročná zařízení. I přes to provoz biofiltrú vyžaduje minimální kontrolu procesu.

Technologické parametry podléhající nutné kontrole ze strany provozovatele:

Vlhkost

Nejdůležitější a nejčastější kontrola pro dobrý chod biofiltrú je kontrola vlhkosti lože. Zběžnou vizuální kontrolou a hmatem lze snadno zkontrolovat vlhkost náplně. Pro zpřesnění je možné použít vlhkoměr. Vlhkost lože by se měla pohybovat mezi **60-80 procenty**. Systém pracuje i při 40 % vlhkosti náplně, ale je náchylný k tvorbě vzduchových komínú a k prosychání.

Kontrola by měla probíhat minimálně **3x týdně**.

Řešení: V případě nutnosti je vhodný povrchový postřik lože.

pH

Jak již bylo zmíněno, tvorbou oxidu uhličitého a následně kyseliny uhličitě se snižuje hodnota pH v loži biofiltru. Pro biofiltraci v asanačních ústavech lze za kritickou považovat hodnotu **pH = 4**. Kontrola pH by měla být sledována buď v kondenzátu z biofiltru nebo výluhem spodní části nosiče.

Kontrola by měla probíhat minimálně **1x měsíčně**.

Řešení: V případě nízkého pH zajistit promísení stávajícího substrátu s hrubě mletým vápencem o frakci min 2 mm. Množství 25 kg/m³.

Tlaková ztráta

Změna tlakové ztráty vypovídá o mineralizaci a sesednutí lože filtru, které má za následek tvorbu vzduchových komínů. Změna tlakové ztráty o **30 %** vzhledem k původní hodnotě vyžaduje minimálně celkové zkyprění lože biofiltru.

Kontrola by měla probíhat minimálně **1x měsíčně**.

Řešení: Zkyprění lože biofiltru

Hodnoty nutrientů

Při dlouhodobém provozu biofiltrů může dojít v některých případech ke snížení základních nutrietů potřebných pro správnou funkci mikroorganismů. Jsou to především dusík a fosfor. Kontrola probíhá tak, že se odebere zhruba 0,5 l reprezentativního vzorku z lože biofiltru (od spodu až na povrch lože) a nechá se v odborné laboratoři analyzovat koncentrace celkového fosforu, dusičnanů, dusitanů a amonných iontů. Z výsledků je odborník schopen analyzovat stav biofiltru z hlediska potřeby živin, ale i třeba také posoudit kyslíkové poměry uvnitř biofiltru a stav jeho přetížení organickými látkami.

Kontrola by měla probíhat minimálně **1x ročně**.

Řešení: Na základě analytických rozborů posoudí specialista přes biotechnologie a navrhne formu a přídavek chybějících prvků.

Stav mineralizace substrátu

To je kontrola, laicky řečeno, jak moc se substrát změní v nevýživnou hmotu z hlediska původních organických látek zakotvených v nosiči. Dostatečná hodnota je 40% organické hmoty v nosiči.

Kontrola by měla probíhat minimálně **1x ročně**.

Řešení: Na základě analytických rozborů posoudí specialista přes biotechnologie. V případě nevhodného poměru navrhne výměnu nosiče.

Kontrola mikroorganismů

Provádět tuto kontrolu je nutné proto, aby bylo patrné osídlení biofiltru odpovídajícími mikroorganismy. Kontrola probíhá tak, že se odebere zhruba 0,5 l reprezentativního vzorku z lože biofiltru (od spodu až na povrch lože) a nechá se v odborné laboratoři analyzovat na aerobní a anaerobní heterotrofní mikroorganismy. Z výsledků je odborník schopen analyzovat nejen stav biofiltru, ale také posoudit kyslíkové poměry uvnitř biofiltru a stav jeho přetížení organickými látkami. Dostatečná hodnota aerobních heterotrofních mikroorganismů je **10^8 KTJ g_{s.h.}⁻¹** (KTJ - kolonii tvořící jednotka)

Kontrola by měla probíhat minimálně **1x ročně**.

Řešení: Na základě analytických rozborů posoudí specialista přes biotechnologie. V případě problémů navrhne zaočkování novou vhodnou kulturou..

Pro kvalitní provoz biofiltrů je vhodné biofiltry 1-2 x ročně zkypřit.

3.4 Provozní řád při provozu biofiltrů

V tomto ohledu je potřeba odlišit provozní řád biofiltrů ve smyslu zákona o ovzduší 86/2002 Sb. v platném znění, dle přílohy 9 vyhlášky č. 356/2002, kdy je provozní řád zpracován ve smyslu tzv. "SOUBORU TECHNICKOPROVOZNÍCH PARAMETRŮ A TECHNICKOORGANIZAČNÍCH OPATŘENÍ K ZAJIŠTĚNÍ PROVOZU ZDROJE

ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ V TRVALÉM PROVOZU" a provozní řád ve smyslu provozních předpisů pro provoz biofiltrů.

Provozní řád půdního biofiltru ve smyslu provozních předpisů je tvořen na základě technicko provozní dokumentace dodané dodavatelem zařízení a dále požadavků právních předpisů, z nichž konkrétní požadavky na tuto řídicí dokumentaci specifikují standardy pro ochranu ovzduší.

Dokumentace provozního řádu musí být řízená. Provozní řád musí být:

- schválen na základě správnosti před vlastním vydáním (provádí statutární zástupce společnosti);
- přezkoumán a aktualizován podle potřeby (zajišťuje odpovědný pracovník za provoz zařízení);
- opatřen identifikací změn a stavu po poslední revizi dokumentů (zajišťuje autor);
- dostupný pro výkonné a řídicí pracovníky (dle distribučního seznamu bude příslušná aktuální verze tam, kde je třeba);
- čitelný a snadno identifikovatelný;
- vypracován tak, aby byly k němu dostupné a aktuální související dokumenty (technická dokumentace k částem strojů, bezpečnostním listům...)
- řízen tak, aby bylo zamezeno nezamýšlené použití zastaralých výtisků a jejich vhodné označení, jestliže zůstávají zachovány pro jakékoli účely, například pro archiv apod.

Veškerá dokumentace musí být formulována jednoduše, jednoznačně a srozumitelně. Musí být čitelná, datovaná včetně dat revize a snadno přístupná, udržovaná v pořádku a po určenou dobu archivovaná. V zásadě by mělo platit, že dokumentaci zpracovává ten, kdo ji bude užívat. Dokumenty převzaté od jiných organizací musí být také řízeny.

Provozní řád půdního biofiltru ve smyslu SOUBORU TECHNICKOPROVOZNÍCH PARAMETRŮ A TECHNICKOORGANIZAČNÍCH OPATŘENÍ K ZAJIŠTĚNÍ PROVOZU ZDROJE ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ V TRVALÉM PROVOZU podléhá zvláštnímu režimu schválení vyplývajícimu z požadavků právních předpisů. Součástí procesu schvátování dokumentů orgánem státní správy může být rovněž stanovení

dalších závazných podmínek majících vliv na proces řízení dokumentů (především jejich aktualizace).

Přesně definované požadavky ne tento provozní řád a přesně definované kapitoly jsou uvedeny v příloze 9 vyhlášky MŽP č.356/2002 Sb.

Obvyklými náležitostmi dokumentace jsou

- název, identifikace (číselný kód);
- specifikace účelu;
- rozsah platnosti pro činnosti a místa;
- pojmy, zkratky, definice;
- vyznačení odpovědnosti za činnost;
- popis postupu;
- související dokumentace;
- změnové řízení;
- přílohy (rozdělovník, záznamy).

Seznámení zaměstnanců s příslušnou dokumentací musí být doložitelné (protokolováno).

Řízení záznamů

Organizace musí vytvořit a udržovat záznamy nezbytné k prokázání shody s požadavky specifikovanými v provozním řádu a související řídicí dokumentaci a k prokázání dosažených výsledků.

Záznamy musí být a musí zůstat čitelné, identifikovatelné a vysledovatelné.

Vedení záznamů o všech sledovaných charakteristikách půdního biofiltru umožňuje sledovat shodu s požadavky právních předpisů a podmínek regulačních orgánů. Zaznamenávání výsledků environmentálních činností je základem pro interní (podávání zpráv vedení) a externí komunikaci (podávání zpráv úřadům a dalším zainteresovaným na environmentálním profilu).

Záznamy se musí vést tam, kde

- vznikají problémy;
- se sleduje vývojový trend;
- pracovník provádí zásah s možným nepříznivým environmentálním dopadem;
- vedení a poskytování záznamů je požadováno právními předpisy .

Soubor záznamů může obsahovat

- individuální environmentální správní akty (záznamy o kontrolách ČIŽP) ;
- podněty a stížnosti (informace o externí komunikaci);
- záznamy o výcviku (proškolení o údržbě, obsluze, požární a havarijní připravenosti);
- údaje z monitorování (sledování účinnosti filtrace, hodnot pH odpadní vody, identifikace profuků/komínů filtrovaného vzduchu...);
- environmentální informace o výrobcích (specifikace použitého filtračního materiálu a mikrobiálních kultur);
- environmentální informace o službách (záznamy o měření pachů či jiných analýz souvisejících s biofiltrem);
- záznamy o kontrole, údržbě a kalibraci (záznamy z interních a externích auditů, deník plánované údržby, záznamy o kalibraci či ověření kontrolních, měřících a zkušebních zařízení);
- environmentální informace o dodavatelích (technologických celků..);
- záznamy o výskytu neshody (analýzy provozních problémů);
- hlášení o poruchách a haváriích (analýzy pachových epizod)
- informace o nákladech na OŽP (sledování nákladů);
- zápisy z porad vedení (tam, kde se řešil půdní biofiltr).

V podniku musí být informace o:

- formě provedení záznamu (listinná, elektronická);
- odpovědnost za pořízení a vyhodnocení;
- místě shromažďování;
- přístupových právech;
- archivaci (doba, místo);
- způsob ochrany před poškozením, ztrátou a zneužitím a postupy případného obnovení;

- skartace.

Rozhodnutí orgánu státní správy je z hlediska své formy záznamem, z hlediska svého obsahu (výroková část) právním požadavkem, který musí být řízen tak, aby bylo známo, co regulační orgán vyžaduje a co je ve skutečnosti prováděno.

3.5 Metodický postup při výměně náplně biofiltru

Většina biofiltrů je provozována jako dvoukomorové, tudíž v praxi se v termínu výměny náplně biofiltru odstaví pouze jedna komora (odplyny jsou filtrovány pouze přes jednu část) a ventilace (rozvod vzduchu) se seřídí tak, aby doba zdržení čištěného kontaminovaného vzduchu byla ve filtrační náplni odpovídající.

U malých biofiltrů, které takto koncipovány nejsou, se provádí výměna náplně v době odstávky technologie.

Pro výměnu náplně biofiltru jsou důležité klimatické podmínky. Vzhledem k tomu, že po nové vsázce dochází k postupnému oživení mikroorganismy (část filtračního substrátu tvoří původní materiál ze zařízení, část mikroorganismů je dodána v podobě kalu z vlastní ČOV), doporučuje se termín výměny náplně v průběhu pozdního podzimu. Předchází se riziku, že část půdního filtru nově osazeného v jarních měsících by v době, kdy hrozí množství pachových epizod, nebyla funkční. Termín zakládání biofiltru je volen také s ohledem na zápašnost surovin, která je v pozdních jarních měsících a celkově v létě velmi vysoká.

Po odtěžení již nefunkční filtrační náplně je provedena vizuální kontrola „vany“ biofiltru, roštu, na kterém je umístěna řídká tkanina, a na které bude ve vrstvě 1m umístěna vrstva nové nosné náplně.

Příprava náplně

Pro kvalitní biodegradabilitu náplně je potřeba nosič biomasy - kůru, štěpky apod. smísit s nutriety a puřem pH. Nutriety a vápenec přidávámě do nosiče v poměru:

Mletý vápenec, frakce 2 mm a větší	- 25 kg/m ³
Síran amonný:	- 15 kg/m ³
Fosfát (Na ₃ PO ₄):	- 3 kg/m ³

Směs je nutné homogenně promíchat!

Při aplikaci filtračního substrátu je nutné dbát na to, aby největší kusy náplně byly umístěny ve spodní části biofiltru - dochází k lepší distribuci kontaminovaného vzduchu do prostor lože ve spodní části biofiltru, dále na rovnoměrnost rozvržení filtrační hmoty a na zajištění, aby kontaminovaná vzdušnina neunikala profuky podél železobetonové vany. Tomuto musíme zamezit různými mechanickými zábranami volenými s ohledem na konstrukci zařízení, nejlépe gumovým nebo izolačním páskem.

Po naplnění biofiltru náplní prolijeme celý povrch rovnoměrně aktivovaným kalem z aktivace (aerobní části ČOV) podnikové čistírny odpadních vod.

Nakonec povrch biofiltru velmi opatrně zkrápíme (neproléváme vodou!), abychom nevyplavili naaplikované bakterie.

4 . Nové perspektivní techniky

Výzkumný ústav zemědělské techniky v Praze řešil v rámci výzkumného úkolu účinnost různých typů náplní biofiltrů a ověření účinnosti biotechnologických přípravků na čištění náplní biofiltrů.

V letním období roku 2005 byl na experimentální kompostárně VÚZT založený experiment, jehož cílem bylo zjistit vliv biotechnologického přípravku na účinnost biofiltru s rozdílným druhem biologické náplně.

Byly ověřovány:

biotechnologický přípravek - Amalgerol Premium

biologická náplň filtru – 1/ dřevní kůra

2/ rašelina

Pro experimentování byl využit stejný biofiltr jako v loňském roce, avšak byl rozdělen ne na tři, ale na čtyři komory (Obrázek 12).

Dvě komory byly naplněny dřevní kůrou a zbylé dvě byly naplněny rašelinou. U každé ověřované náplně byla vždy jedna ošetřena biotechnologickým přípravkem a druhá nikoli.

Výsledky měření prokázaly, že při použití biotechnologického přípravku **Amalgerol Premium** k ošetření biologické náplně **dřevní kůra** je dosaženo v některých případech dalšího snížení emisí a to přibližně:

- emise CH_4 - 0%
- emise CO_2 - 0%
- emise NH_3 - 12%
- emise H_2S - 4 %

Při použití biotechnologického přípravku **Amalgerol Premium** k ošetření biologické náplně **rašelina** je v některých případech dosaženo další snížení emisí a to přibližně:

- emise CH_4 - *nedefinováno*
- emise CO_2 - 6%
- emise NH_3 - 0%
- emise H_2S - 5%

Podrobné protokoly o naměřených hodnotách jsou založeny v dokumentaci projektu a budou využity pro tvorbu databáze biotechnologických přípravků, vhodných pro ošetřování náplní biologických filtrů.



Obrázek 12: Čtyřkomorový biofiltr před naplněním a detail komory s náplní - ošetřená dřevní kůra

Ve snaze omezit, či eliminovat tyto problematické zápašné plyny přichází mnoho komerčních firem s různými preparáty. Nabízí skupiny preparátů, které lze zařadit mezi tzv. absorbenty pachu (zápašné plyny a amoniak v prostředí absorbují). Tuto skupinu preparátů lze dále členit v závislosti na konečném produktu. Některé preparáty se chovají jako tzv. maskovací agenti, kdy dochází k překrytí pachů

příjemnější složkou vytvořeného komplexu. Jiné preparáty pak využívají schopnosti tvorby netoxické, nečinné a chemicky stálé látky, která se stává nepáchnoucí. K těmto preparátům je možno zařadit i přípravek, jehož účinek byl ověřován ve vybraném asanačním podniku jako prostředek dočišťování odplynů odcházejících z půdních biofiltrů.

Dodavatel, který tento preparát nabízí, garantuje snížení koncentrace sirnatých plynů (sirovodík, merkaptany), derivátů dusíku (amoniak, indol, skatol), stejně jako derivátů oxidu uhličitého (aldehydy, ketony, těkavé mastné kyseliny).

Z chemického hlediska se jedná o preparát vyráběný fermentací rostlinných extraktů a minerálů. Tyto přípravky, obsahující enzymy, případně emulze přírodních olejů a výtažků, jsou využívány při vlastní degradaci zápachů v instalovaných zařízeních.

Při využití výše uvedeného systému dochází ke skutečné destrukci nepříjemných zápachů a toxických směsí jako jsou NH_3 , H_2S , merkaptany, OVC, VFA, aldehydy, aminy.... Výsledná sůl je biologicky rozložitelná, netoxická pro lidi a zvířata, neboť vznikne formace stálých, nečinných a netoxických solí, které nemají negativní vlivy na jednotlivé složky životního prostředí.

Pro aplikaci tohoto preparátu je nutno využít hydraulického nebo pneumatického rozmlžovacího zařízení s volitelnou délkou rozprašovacího cyklu a s možností nastavení potřebné koncentrace aplikovaného preparátu. V závislosti na požadavcích „zkrápět, udržovat odpovídající vlhkost a kyselost“, lze za vedlejší pozitivní efekt považovat využití této koncové technologie k samotnému provozu biofiltru.

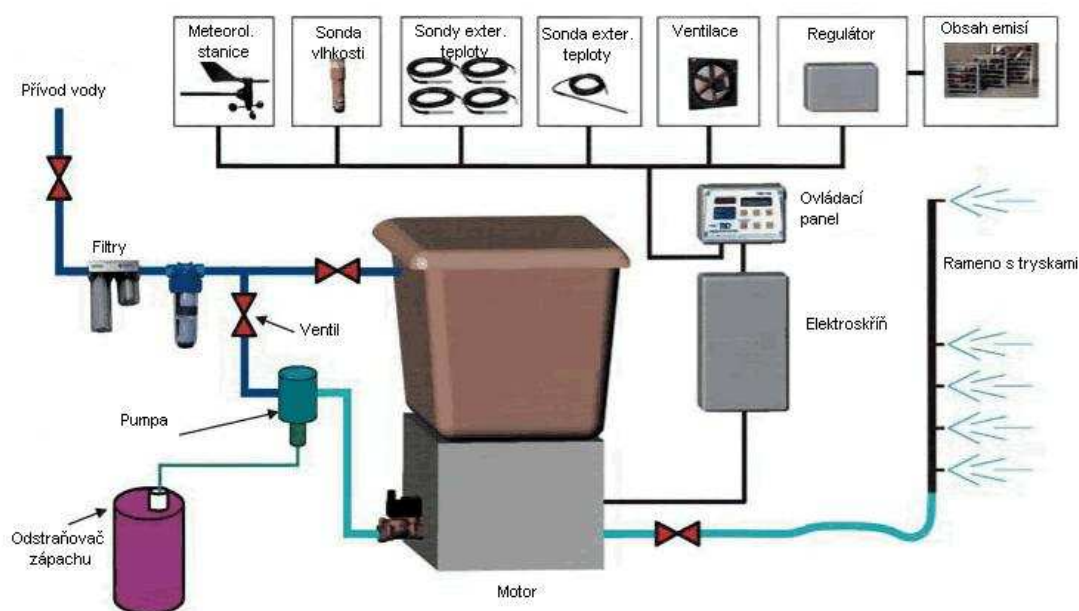
Mimo asanační podniky lze využít takto založených technologických postupů i v jiných odvětvích, kde se potýkají převážně s problematikou pachových emisí (potravinářství - zpracování masa a tuků, kožedělný a textilní průmysl, odpadové hospodářství, kompostárny, biodegradační zařízení, čistírny odpadních vod, separační linky apod.). Uplatnění lze také nalézt v papírenském průmyslu (odkalovací nádrže) při výrobě celulózy a dřevozpracujícím průmyslu.

Z důvodů abnormální pachové zátěže, problematické minimalizace, odstraňování pachových emisí a aktuálnosti problematiky vyvolané zájmem zainteresovaných stran na vlivech tohoto environmentálního aspektu bylo ověřování uplatnění rozmlžovací technologie speciálně v podmínkách asanačního podniku.

Charakteristika technologie vhodné k aplikaci preparátu:

- vysokotlaký rozmlžovací systém,
- instalované trysky přímo do prostor stáje / objektu nebo techniky potýkající se zdrojem pachových látek,
- nerezové provedení zaručující dlouhou životnost,
- možnost snadné instalace bez stavebních úprav,
- možnost cyklického mlžení – automatický cyklus,
- možnost dávkování různých koncentrátů naředěných s vodou,
- potřeba energií (elektrické 220 V, 50 Hz nebo 3 x 380 V) a vody.

Z provozních sledování vyplývá, že pro optimální funkčnost zařízení je nutno zabezpečit přívod technologické vody (min. 3 bary), přívod stlačeného vzduchu (min. 2 bary) a přívod elektrické energie (220 V, 50 Hz). Řídicí skříň je nutno vybavit regulačními prvky včetně dávkovacího čerpadla a elektro ovládáním. Podle velikosti řídicí skříně je možno použít požadovaný počet vzduchových trysek. Pro správné fungování celého zařízení je nutné zabezpečit dostatečný reakční prostor pro aplikovaný preparát (např. na odtahu vzduchotechniky).



Obrázek 13 Schéma instalace a skladba vysokotlakého rozmlžovacího zařízení

Vzhledem k tomu, že stávající účinnost správně provozovaných biofiltrů je v rozmezí 90 – 99 %, je nutno dbát důraz na prevenci, správnou provozní praxi při dezodorizaci a koncové (doplňkové) biotechnologie využívající dalších chemických látek, řešit a používat v případě provozních problémů či havarijních stavů.

5 Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázky

Obrázek 1 Schéma biodegradace	9
Obrázek 2 Charakter reakcí při průchodu kontaminantu ložem biofiltru	11
Obrázek 3 Princip biofilmu (Matějů V., 2006)	11
Obrázek 4 Typy biofiltrace	15
Obrázek 5 Schéma biofiltru (Auterská P, 2006).....	15
Obrázek 6 Typy nosičů biomasy.....	18
Obrázek 7 Fotografie mikroorganismů imobilizovaných na pevném nosiči biofiltru el	19
Obrázek 8 Příklad proudění vzdušiny v homogenní a nehomogenní náplni biofiltru	21
Obrázek 9 Příklady nesprávné funkce rozvodu vzdušiny pod ložem a průchodu filtračním materiálem (Auterská, 2006).....	21
Obrázek 10 Schéma možného zapojení biofiltrů	23
Obrázek 11 Příklad výstavby zemního biofiltru	23
Obrázek 12: Čtyřkomorový biofiltr před naplněním a detail komory s náplní - ošetřená dřevní kůra.....	36
Obrázek 13 Schéma instalace a skladba vysokotlakého rozmlžovacího zařízení	38

Grafy

Grafy 1 a 2 Ekonomicky výhodné využití technologií pro různé průtoky a koncentrace organických látek.....	14
---	----

Tabulky

Tabulka 1 Praktické aplikace biofiltrace vzdušnin (bulletin ASSANATIVO VETERINARIA, 1986, Department of Trade and Industry, 2004 , U.S. EPA, 2000 , Deshusses, 1997 , Viesturs a kol., 2004 , Adler, 2001 , Yuwono a Schulze-Lammers, 2004)	7
Tabulka 2 Technologické parametry dobře pracujících biofiltrů na asanačních ústavech	27

6 . Použitá literatura

Adler, S.: *Biofiltration – a primer*, Chemical Engineering Progress, No. 4:33-41.2001

Arnold M., Reittu A., Von Wright A., Martinkainen P.J., Suiho M.-L.: *Bacterial degradation of styrene in waste gases using peat filter*, App. Microbiol.Biotechnol., 1997, 48 s, 738-744

Auterská P.: *Vypracování návrhu metodiky měření zápachu na biofiltrech. Zpráva o řešení funkčního úkolu pro MZe*. MZLU v Brně. Brno 2006. 19 s.

Auterská P., Hanzlík Z.: *Intenzivní výrobní proces a ekologie*. EKO. VIII. 3/97, str. 26-27

Cox H.H.J.: *Styrene removal from waste gas by the fungus Exophiala jeanselmei in biofilter*, Ph.D. Thesis, University of Groningen , 1995

Department of Trade and Industry (2004): *VOC and Odour Abatement: A review of biological abatement , technology, Government Programme BIO-WASE*

Deshusses, M. (1997): *Biological waste air treatment in biofilters*, Curr.Opinion Biotechnol. 8:335-339

Hartman S.,Tramper J., de Bont J.A.M.. *Biological waste air treatment*, Proceeding of 5 th european Congress on Biotechnology (1990, vol 2, 659-662

Kuijpers F.M.J.J.: *Biofiltration of industrial emitted styrene*, Ph.D. Thesis, Technical University of Eindhoven, 1982

Kujan P., Sobotka M., Prell A., Šafář H.: *Biosorpce těžkých kovů kvasinkou Candida utilis (Biosorption of heavy metals by yeast Candida utilis)*. 46th Conf. CHISA'99, proc. p. 96, poster no. V1.02, Srní 1999.

Kummer,V.(2004): *Mikroorganismen in die Umgebung von Bioabfallbehandlungsanlagen*, Bundesumwelterministerium, Berlin, 30. September 2004, Fachgespräch

Le Bot M. ,Bouzaza A., Martin G.,Venot S.: *Cinetique d'adsorption du styrene sur toiles de charbon actif*, Environmental Technology, 17, 819-829, 1996

Marada,P., Havlíček ,Z.: *Vysokotlaká rozmlžovací technologie jako nejlepší dostupná technika pro kategorie zařízení č. 6.5 a 6.6. dle přílohy č.1 zákona č.76/2002 Sb., o integrované prevenci, v platném znění*. EIA-IPPC-SEA – Ročník XII, číslo 1/2007, str. 26-31. ISSN 1801-6901

Marada, P., Mareček, J., Krčálová E., Auterská, P.: *Analýza úrovně pachových emisí nejlepších dostupných technik (BAT) používaných při nakládání s vedlejšími živočišnými produkty v podmínkách asanačních podniků, kompostáren, bioplynových stanic, návrh opatření pro snížení množství a koncentrace pachových emisí*. Sborník z mezinárodní vědecké konference Technika v zemědělství a potravinářství ve třetím tisíciletí, MZLU v Brně, 2007, str. 240 –247. ISBN 978-80-7375-054-1.

Marada P.a kol.: *Směrnice pro implementaci systému environmentálního managementu (EMS) v podmínkách zařízení na zneškodňování nebo zhodnocování zvířecích těl a živočišného odpadu*, ÚZPI Praha, 2006. ISBN 80-7271-167-9

Marek J., Páca J., Koutecký B., Sobotka M., Keahavarz T.: *Degradation of xylene and toluene in biofilter: Effect of pH value on characteristics of mixed microbial population. Application of Pseudomonas putida*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, submitted 1999.

Matějů, V., Kycil, R. (2004): *Biologická eliminace zápachu*, Odpadové fórum, č. 9:26-28

Matějů V.: *Biofiltrace vzduchu*. Biom.cz [online]. 2005-01-31 [cit. 2006-10-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/index.shtml?x=220910>>. ISSN: 1801-2655.

McGrath M.S., Nieuwland J.-C., von Lith C.: *Case Study: biofiltracion of styrene nad butylacetate at a dashboard manufacturer*, Environmental Progress, 1997, 18, 197-204

Moe, W.M., Qi, B. (2004) *Performance of a Fungal Biofilter Treating Gas-Phase Solvent Mixtures During Intermittent Loading*, Water Research, 38(9): 2258-2267

Ottengraf, S.P.P. (1986): *Exhaust Gas Purification, Biotechnology*, W. Schönborn, ed., VCH Publishers, 427-452, <http://www.environmental-expert.com/article/1125/article1125.htm>.

Páca J., Kujan P.: *Simultaneous phenol degradation and metal sorption by yeast population*. Mini-symposium on Microbial Degradation, Prague, Nov. 27,- Dec.1 st, , Abstr.p. 25, 1995.

Páca J., Marek J., Sobotka M.: *Development of process and bioreactors for organic pollutants degradation in the waste gases*. British Nuclear Fuels & Company Research Laboratory, Springfields, Preston PR4 OKJ, UK, 4.12.95.

Páca J. and Kujan P.: *Biological treatment of waste water contaminated by phenols and heavy metals. Biosorption and Bioremediation*, Měříň, Czech Rep., Oct. 1-4, Abstr. L1-5, 1995.

Páca J., Marek J., Sobotka M.: *Development of process and bioreactors for organic pollutant degradation in waste gases*. British Nuclear Fuels, Company Research Laboratory, Springfields, Preston, PR OKJ, UK, Dec. 4, 1995.

Páca J., Marek J., Koutecký B., Sobotka M.: *Yeast physiology under stress conditions. Biodegradation of xenobiotics from waste gases and water*. Instituto Superior Tecnico, Sessao de Biotechnologia, Lisboa 1996.

Páca J., Marek J., Koutecký B., Sobotka M.: *Development of biofiltration processes and their applications in waste gas cleaning*. Lecture A.1.3., 12 th Internat. Congr. Chemical and Process Engineering, CHISA 96, Prague 1996.

Páca J., Kujan P.: *Changes of cell physiology during simultaneous degradation of organics and heavy metal sorption*. Frühjahrstagung der Vereinigung für Allgemeine and Angewandte Mikrobiologie, Bayreuth (Germany) 1996.

Páca J., Marek J., Bryndov J., Sobotka M.: *Physiological stress and consequences of the aerobic phenol degradation*, ISEB 97, Meeting Bioremediation, Sept. 24.-27., Leipzig Germany, Lecture, 1997.

Páca J., Marek J., Weigner P., Koutecký B., Sobotka M.: *Effect of packing material properties on bio-filter characteristic*, Internat. Symp. Environmental Biotechnology, Lecture, Oostende, April 21.-23. 1997.

Páca J., Weigner P., Koutecký B., Sobotka M.: *Degradation of xylene and toluene mixture in various heights of biofilter bed*. 1er Congress International P.A.S. sur les polluants atmospheriques specifiques, 28.-30.4., Paris, Lecture, 1998.

Páca J., Marek J., Sobotka M., Schmauder H.P.: *Aerobic phenol degradation in packed bed reactors*. 13th Internat. Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 98, August 23.-28., Prague, Lecture, 1998.

Páca J., Weigner P., Koutecký B., Sobotka M.: *Analysis of solvent degradations in various heights of biofilter bed*. 4th International Symposium on Biocatalysis and Biotransformations, Giardini Naxos - Taormina, Italy 26.9.-1.10.1999, poster No. 309, 1999

Plíva P.: *Přeměna zbytkové biomasy, zejména z oblasti zemědělství, na naturální bezzátěžové produkty, využitelné v přírodním prostředí ve smyslu programu harmonizace legislativy ČR a EU*, Zpráva o řešení projektu č. QF 3148. VUZT Praha. 2005

Prell A., Šolar K., Šafář H., Fořt I., Sobotka M.: *Pilot-plant yeast growth optimisation using two types of impellers*. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 13 (4), 177-184 (1999).

Prell A.: *The use of an EasyMAP platform for the control of bioreactors*. Proc. p. 271, 2nd Scientific-Technical Conf. with Internat. Participation & trade; P 1996, PROCESS CONTROL, Horní Bečva (Czech Republic) 1996.

Prell A.: *A new control system of bioreactors in pilot-plant scale - the use of an EasyMAP platform*. Proc. Process System Engineering p.7. 12th Internat. Congr. Chemical and Process Engineering CHISA'96, Prague 1996.

Prell A., Šafář H., Sobotka M.: *Optimization of yeast biomass production using a toxic C-source controled feeding (In Czech)*. National Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'97, Lecture no. C4.2, Proc. p. 88, Srní 1997.

Prell A., Plháčková K., Sobotka M., Kyslík P.: *Production of a Glutaryl-7-Aminocephalosporanic Acid Acylase: Optimization of Pilot-Plant Fermentation Process*. 216th National Meeting of American Chemical Society, Lecture, Boston, Massachusetts, USA 1998.

Prell A., Šolar K., Šafář H., Fořt I., Sobotka M.: *Change of impellers design may improve an efficiency of yeast growth process*. 13th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA'98, Lecture No. 1041, Prague, Czech Republic 1998.

Prell A., Sobotka M.: *Process Control Automation: A Way to Higher Efficiency of Fermentation Production*. 21st Congress of the Czechoslovak Society for Microbiology, Lecture, Proc. pg. 91., Hradec Králové, Czech Republic 1998.

Prell A., Švojgr M., Šafář H., Sobotka M.: *Lower layer control of the CSTR, a basic part of the bioreactor control system*. 27th International Conference Of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare 2000, Slovakia, Proc. pg. 30, Lecture No. R16, 2000.

Prell A., Šafář H., Švojgr M., Sobotka M.: *Direct digital control of a bioreactor (in Czech)*. 4th International scientific - technical conference Process Control ŘÍP'2000, Kouty nad Desnou 2000, Proc. pg. 36, Lecture. No. 25, 2000.

Schroeder, E.D. (2002): *Trends in application of gas-phase bioreactors*, Rev/Views Environ. Sci.Bio /Technol., 1:65-74

Sobotka M., Prell A.: *Development of Microbial Biotechnologies in Pilot-Plant of the Institute of Microbiology CAS, Prague*. 216th National Meeting of American Chemical Society, Poster, Boston, Massachusetts, USA 1998.

Tonga A.P., Folstrom B.R.: *Removal of styrene from air using bench-scale biofilter and biotrickling filter reactors*, Proceedings Annual Meeting Air and Waste Management Association, 1992, 85 (vol 4)

U.S. EPA (2000): *Biosolids and residuals management fact sheet, Odor control in biosolids management*, Office of Water, EPA 832-F-00-067

Yuwono, A., Schulze Lammers, P. (2004): *Odor Pollution in the Environment and the Detection Instrumentation, Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Invited Overview Paper. Vol. VI. July, 2004.

Viesturs, U., Zarina, D., Strikauska, S., Berzins, A. (2004): *Utilization of food and woodworking by-products by composting*, Bioautomation 1:83-98

Wani, A.H., Lau, A.K., Branion, R.M.R. (1997): *Biofiltration: A promising and cost effective control technology for odors, VOCs and air toxics*, J.Environ.Sci.Health, A32(7):2027-2055

Webster T.S., Cox H.H.J., Deshusses M.A.: *Resolving operational problems encountered in the use of pilot/full-scale biotrickling filter reactor*, Environmental Progress, 1999, 18, 162-172

U.S.EPA (2003): *Using bioreactors to control air pollution*, EPA-456/R-03-003