

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

## 2016-440

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

**B01D 53/34** (2006.01)

**B01D 53/84** (2006.01)

**C12N 1/20** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **18.07.2016**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **31.01.2018**

(Věstník č. 5/2018)

(71) Přihlašovatel:  
DEKONTA, a.s., Stehelčevy, CZ  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích,  
Přírodovědecká fakulta, České Budějovice, CZ

(72) Původce:  
Ing. Tereza Hnátková, Ph.D., Praha 6, CZ  
Mgr. Michal Šereš, Praha 6, CZ  
Ing. Jiří Bárta, Ph.D., Tábor, CZ  
Mgr. Pavla Staňková, Kyšice, CZ  
Mgr. Hana Bošková, Nýrsko, CZ

(74) Zástupce:  
PatentCentrum Sedlák & Partners s.r.o., Husova 5,  
370 01 České Budějovice

(54) Název přihlášky vynálezu:  
**Způsob biologického čištění odpadního  
vzduchu, biofilm, nosné médium a náplň  
biofiltru k provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:  
Vynález se týká způsobu biologického čištění  
odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než  
35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo  
jejich derivátů, biofilmu, nosného média a náplně  
biofiltru k provádění tohoto způsobu. Nosné  
médium biofiltru je obohaceno těkavou organickou  
kyselinou jako sekundárním zdrojem energie pro  
imobilizované mikroorganismy. Biofilm je tvořen  
bakteriální směsí termofilního kmenu  
*Geobacillus caldxylosilyticus* BGSC W98A1 a  
termotolerantního kmenu *Aeribacillus pallidus*  
v poměru v rozmezí 1:5 až 5:1 a odpadní vzduch je  
do biofiltru přiváděn v teplotním rozmezí 35 až 75  
°C.

CZ 2016 - 440 A3

## Způsob biologického čištění odpadního vzduchu, biofilm, nosné médium a náplň biofiltru k provádění tohoto způsobu

PV 2016-440

### Oblast techniky

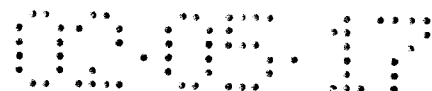
Vynález se týká biologického čištění odpadního vzduchu od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů pomocí biofiltru v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C a dále se týká náplně biofiltru, která je tvořena nosným médiem a biofilmem.

### Dosavadní stav techniky

S problémy se zápachem se potýká jak řada průmyslových továren a výrobních hal, ale i některé procesy na čistírnách odpadních vod. Pro čištění vzduchu od těkavých organických látek a pachových látek se využívá řada metod. Jednu ze známých metod pro odstranění těkavých organických látek a pachových látek ze vzduchu představuje biologické čištění odpadních plynů, což je moderní způsob čištění organického znečištění využívající enzymatického vybavení mikroorganismů, díky němuž dokáží rozkládat nežádoucí organické látky obsažené v plynech. Dobře popsaná a prověřená technologie na čištění vzduchu, resp. odstranění zápachu je biologický filtr neboli biofiltr.

Základní princip bioremediační technologie biofiltrů vychází ze schopnosti některých mikroorganismů využívat těkavé organické látky či pachové látky na organické bázi jako zdroj uhlíku a energie pro svůj růst. Díky těmto procesům jsou pak tyto látky rozkládány na neškodné produkty. Na znečištěných lokalitách či v dopravních trasách kontaminovaných teplými plyny, resp. vzdušnin lze často pozorovat výskyt mikroorganismů adaptovaných na přítomný polutant. Koncentrace polutantu však nebývá v prostředí dostatečně vysoká k jejich účinnému odstranění. Nízká dostupnost polutantu pro mikroorganismy může být dána jejich malou rozpustností ve vodě, která je ovlivněna salinitou nebo změnami teplot. Další příčinou může být např. nedostatek minerálních živin nebo nepřítomnost vhodného elektronového akceptoru - např.  $O_2$  v případě aerobních pochodů.

Biofiltry představují uměle vytvořené prostředí, které odstraňuje organické i anorganické polutanty nejenom ze vzduchu, a to na principu biologického odbourávání v mikrobiálním biofilmu na nosném médiu. Nosné médium je často tvořeno organickými materiály, které umožňují přichycení a růst mikroorganismů, jimž pachové látky slouží jako živiny. Zapáchající látky musejí být rovněž zachyceny na nosné médium, proto médium musí mít co největší plochu. Vzhledem k tomu, že mikroorganismy potřebují vodu, je nutno udržovat



náplň biofiltru vlhkou. Tímto způsobem se odstraňuje zápach ze vzdušiny, který je prostřednictvím vzduchotechniky sveden z jednotlivých částí provozu. Dosažené ekologické přínosy spočívají zejména ve snižování emisí zápachu.

Specifické požadavky týkající se úpravy horkého odpadního vzduchu je třeba posoudit v následujících průmyslových oblastech, které byly identifikovány jako nejvíce relevantní pro inovativní koncepci termofilní biofiltrace: kompostování; zařízení pro sušení krmiv; sušení odpadního kalu; sušárny jídla a ovoce, pražírny kávy, udírny; výroby barev a laků; farmy, zejména prasečí, skládky zejména odpadních materiálů. Odpadní plyny z těchto provozů představují často směs desítek až stovek těkavých organických látek z nich přibližně jedna čtvrtina představuje látky senzory aktivní neboli zapáchající (O'Neill a Phillips, 1992).

Výhodné řešení představuje využití termofilních mikroorganismů pro odstraňování těkavých organických látek a pachových látek z horkého odpadního vzduchu. Termofilní mikroorganismy patří mezi významné degradéry organických sloučenin a většinou se řadí mezi prokaryota. Optimální teplota jejich růstu je vyšší než 45 °C, obvykle kolem 50 až 60 °C, u některých druhů bakterií dokonce až 80 °C a některé druhy extrémních termofilů z domény Archaea rostou i při teplotách vyšších než 100 °C. Pokud ovšem teplota prostředí klesne pod 40 °C, tak se růst většiny termofilních bakterií zcela zastaví. Hlavní výhodou představují vysoce stabilní enzymy, které jsou aktivní i při vysokých teplotách. Teplota má vliv na rychlost chemických reakcí, při jejím zvýšení o 10 °C se rychlost reakce změní 1,5 až 3 krát. Termofilní enzymy tím pádem představují skupinu perspektivních enzymů, které se dají využívat i v technologických procesech, které probíhají za vysokých teplot, čímž se snižuje kontaminace při výrobním procesu a není nutno vzdušninu před vstupem do biofiltru energeticky náročně chladit.

Řešení na bázi termofilních biofiltrů pro odstranění těkavých organických látek a pachových látek ze vzduchu jsou již známá. Dokument KR 2003/0090369 popisuje biofiltr využívající termofilní kmeny bakterií *Bacillus thermoleovorans* rozkládající zejména sirovodík, benzen a toluen za vysoké teploty. Obdobné řešení popisují americké přihlášky vynálezu US 2010/233790 či US 2009/0093042, kde biodegradace těkavých organických látek ze vzduchu probíhá v teplotním rozmezí 50 až 85 °C. Nevýhody takto uspořádaných biofiltrů představují zejména vysoké náklady na udržení konstantní vysoké teploty. Termofilní mikroorganismy vyžadují poměrně vysoké teploty pro svůj růst a množení a i nepatrný pokles teploty prostředí pod hranici jejich optima má za následek zastavení růstu a množení většiny termofilních mikroorganismů, čímž se stává daný biofiltr nefunkční. Navíc při jakýchkoli technologických odstávkách je tedy nutné řešit zajištění dodání příslušných technologických

parametrů, jako je teplotní režim, vlhkost aj. danému biofiltru. Další nevýhodou je, že výše popsané termofilní technologie využívají čisté bakteriální kmeny, které mnohem hůře odolávají teplotním výkyvům oproti směsným populacím, přirozeně se vyskytujících v přírodě. Většina termofilních druhů na degradaci musí spolupracovat, tzv. syntrofie, aby získaly co možná nejvíce energie pro růst. Jedná se hlavně o zástupce z anaerobních rodů *Syntrophothermus*, *Methanothermobacter*, *Pelotomaculum* nebo *Desulfotomaculum*. Z aerobních termofilních bakterií byly popsány zástupci z kmene *Firmicutes* (např. *Geobacillus*, *Thermus* a *Paenibacillus*).

Jeden z největších problémů v oblasti odstraňování těkavých organických sloučenin ze vzduchu představují těkavé organické kyseliny, a to zejména kyselina propionová. Tato karboxylová kyselina dráždí sliznice, při nadýchání vede ke vzniku edému v dýchacím traktu, leptá kůži, ústa, hrdlo, může vést k oslepnutí či perforaci jícnu a žaludku. Při úniku do životního prostředí představuje nebezpečnou zátěž. Je zapotřebí pokrýt uniklou kapalinu absorpčním materiálem, jako je např. vermikulit, písek či zemina, následně shromáždit do krytých kontejnerů a nechat zlikvidovat specializovanou firmou, neboť běžnými způsoby není možné kyselinu propionovou z životního prostředí odstranit.

Úkolem vynálezu je odstranit výše uvedené nedostatky a vytvořit způsob čištění odpadního vzduchu od těkavých organických látek, jejich derivátů či pachových látek, který by účinně a jednoduše odstraňoval tyto sloučeniny ze vzduchu, který by výhodně řešil problém s kolísáním teplot mezi termofilním a mezofilním provozem či problem s jeho vysycháním, jeho provoz by byl z ekonomického i časového hlediska výhodný, a který by umožňoval jednoduchou a levnou intenzifikaci procesu odstraňování polutantů ze vzduchu, zejména těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů, a to kyseliny propionové, jejíž běžně známé způsoby odstraňování jsou náročné a komplikované.

### Podstata vynálezu

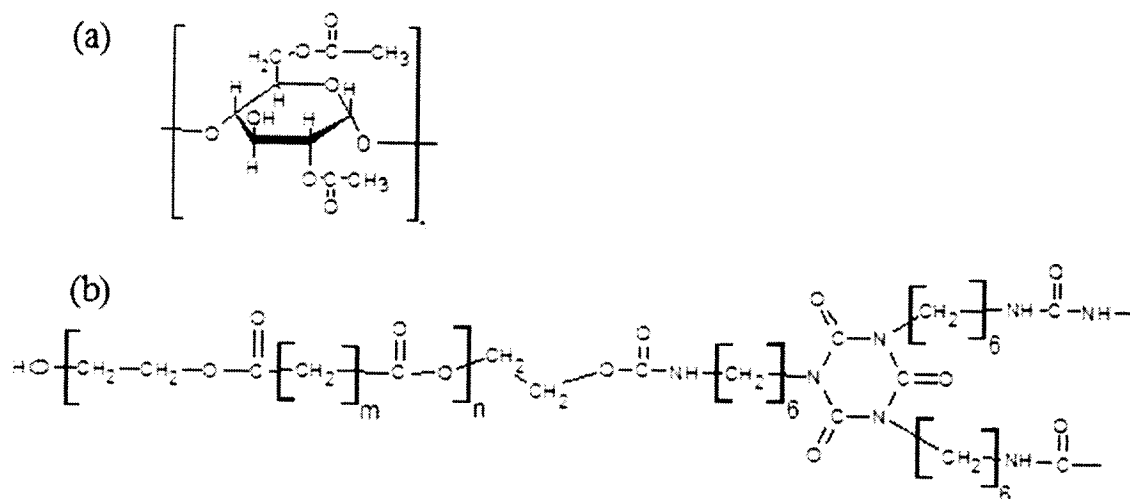
Výše uvedené nedostatky odstraňuje způsob biologického čištění odpadního vzduchu od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů v biofiltru, biofilm, nosné médium a náplň biofiltru k provádění tohoto způsobu podle tohoto vynálezu. Při způsobu biologického čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 30 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů se odpadní vzduch přivádí do biofiltru na nosné médium, které je tvořeno biodegradabilním materiálem na bázi polyuretanové pěny a opatřeno biofilmem, který je tvořen imobilizovanými mikroorganismy schopnými odstraňovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty. Podstata vynálezu spočívá v tom, že nosné médium se

obohatí těkavou organickou kyselinou jako sekundárním zdrojem energie pro imobilizované mikroorganismy a jako biofilm se použije bakteriální směs termofilního kmenu *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a termotolerantní kmenu *Aeribacillus pallidus* v poměru dle teplotního provozního režimu zařízení v rozmezí 1:5 až 5:1. Odpadní vzduch se přivádí do biofiltru v teplotním rozmezí 35 až 75 °C.

Díky použité směsi mikroorganismů obsahující termofilní i termotolerantní kmen, dochází k odstraňování těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů při vyšších teplotách odpadního vzduchu, kdy odpadá proces chlazení odpadního vzduchu, který by byl potřebný pro běžné odstraňování polutantů ze vzduchu, ale zároveň díky přítomnosti termotolerantního kmene dochází k odstraňování těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů i při poklesu teploty, kdy dochází k útlumu aktivity termofilního kmene a ke zvýšení aktivity termotolerantního kmene. Velkou výhodou tohoto uspořádání je zkrácení adaptační neboli iniciální fáze biofiltru. Adaptační fáze mikroorganismů, kdy dochází k přizpůsobování buněk novému prostředí, je nastavením podmínek zkrácena na minimum. Tím dochází k velké úspoře času a nákladů na časovou prodlevu mezi startem procesu a plně funkčním procesem odbourávání těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů v biofiltru.

Mezi těkavými organickými kyselinami bývá nejčastěji zastoupena kyselina propionová a kyselina máselná. Směs mikroorganismů *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a *Aeribacillus pallidus* představuje velice účinnou jednotku pro odstraňování kyseliny propionové ze vzduchu, jejíž odbourávání představuje velký problém v různých průmyslových odvětvích.

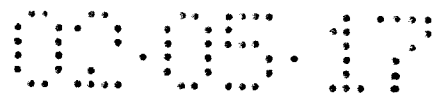
Pro zvýšení degradační účinnosti bude využita polyuretanová pěna, která se připraví ze směsi alifatického polyisokyanátu a polyesterových polyolů v hmotn. poměru 3:1 až 1:3 s přídavkem škrobových derivátů v množství 10 až 50 % hmotn. Poměrové složení těchto složek pozitivně ovlivňuje adhezi buněk mikroorganismů na povrch nosného média. Na základě povrchového náboje buněk, tzv. zeta potenciálu a hydrofobicity povrchu buňky představuje toto složení vhodnou hydrofobicitu povrchu, díky kterému buňky mikroorganismů adorují na povrch takto připraveného nosného média. Struktura acetylovaného škrobu (a) a polyuretanové pěny (b) je znázorněno na následujícím schématu:



Předmětem vynálezu je rovněž biofilm k provádění způsobu podle tohoto vynálezu pro biologické čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů, tvořený mikroorganismy schopnými degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty, který je imobilizovaný na nosném médiu biofiltru vytvořeném z biodegradabilního materiálu na bázi polyuretanové pěny. Podstata vynálezu spočívá v tom, že mikroorganismy tvořící biofilm jsou tvořeny směsí termofilního kmenu *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a termotolerantního kmenu *Aeribacillus pallidus* v poměru 1:5 až 5:1. Takto uspořádaná směs je schopna degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty v širokém teplotním rozmezí, čímž představuje ekonomicky výhodné řešení, neboť dochází k degradaci při vyšších teplotách díky termofilnímu kmenu, ale i při poklesu teplot díky termotolerantnímu kmenu.

Ve výhodném provedení je poměr *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a *Aeribacillus pallidus* v biofilmu v rozmezí 1:2 či 2:1. V provozním režimu při horní hranici teplotního intervalu, tedy při teplotách v rozmezí 70 až 75 °C je s výhodou vybrán poměr *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a *Aeribacillus pallidus* v biofilmu 2:1. Při vyšších teplotách je aktivní termofilní kmen, z toho důvodu je zastoupení tohoto mikroorganismu v biofilmu větší. V provozním režimu při dolní hranici teplotního intervalu, tedy při teplotách v rozmezí 35 až 40 °C je s výhodou vybrán poměr *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a *Aeribacillus pallidus* v biofilmu 1:2. Při nižších teplotách je více aktivní termotolerantní kmen, proto je výhodné vyšší zastoupení tohoto mikroorganismu v biofilmu.

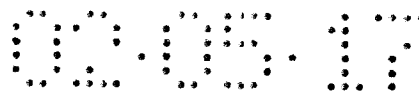
Předmětem vynálezu je také nosné médium biofiltru k provádění způsobu podle tohoto vynálezu pro imobilizaci mikroorganismů schopných degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty z odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C, které je



vytvořené z biodegradabilního materiálu na bázi polyuretanové pěny. Podstata vynálezu spočívá v tom, že polyuretanová pěna je na bázi alifatického polyisokyanátu a polyesterových polyolů tvořící směs s těkavou organickou kyselinou. Těkavá organická kyselina navíc představuje sekundární zdroj energie pro imobilizované mikroorganismy. Ve výhodném provedení je těkavá organická kyselina vybrána ze skupiny kyselin, jako kyselina propionová a kyselina máselná. V nejvýhodnějším provedení je těkavá organická kyselina vybrána kyselina propionová.

Předmětem vynálezu je rovněž náplň biofiltru k provádění způsobu podle tohoto vynálezu pro biologické čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů. Náplň biofiltru sestává z biofilmu tvořeného mikroorganismy schopnými degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty, a z nosného média, na němž je biofilm imobilizován. Nosné médium je vytvořeno z biodegradabilního materiálu na bázi polyuretanové pěny, pro biologické čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů. Podstata vynálezu spočívá v tom, že biofilm je tvořen směsí termofilního kmenu *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a termotolerantního kmenu *Aeribacillus pallidus* v poměru v rozmezí 1:5 až 5:1 a polyuretanová pěna nosného média je na bázi alifatického polyisokyanátu a polyesterových polyolů tvořící směs s těkavou organickou kyselinou, přičemž těkavá organická kyselina tvoří sekundární zdroj energie pro imobilizované mikroorganismy.

Výhody způsobu biologického čištění odpadního vzduchu od těkavých organických látek podle tohoto vynálezu představuje účinné a jednoduché odstraňování těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů z odpadního vzduchu v různém teplotním rozmezí. Jeho provoz je ekonomicky výhodný, neboť odpadá krok chlazení odpadního vzduchu opouštějící průmyslová zařízení díky termofilním mikroorganismům přítomným v biofiltru a zároveň provoz není přerušen, dojde-li k poklesu teploty díky termotolerantním mikroorganismům. Zároveň je tímto způsobem dosaženo zkrácení adaptační fáze biofiltru, doby plného provozu biofiltru je dosaženo ve velmi krátkém časovém rozmezí. Tím dochází k intenzifikaci procesu odstraňování těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů z odpadního vzduchu, jejichž běžné odstraňování je náročné, drahé a komplikované.



### Objasnění výkresů

Uvedený vynález bude blíže objasněn na následujících vyobrazeních, kde:

- obr. 1 znázorňuje graf vlivu složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k podmínkám provozu,
- obr. 2 znázorňuje graf rozvoje metabolického potenciálu na vybranou skupinu polutantů metodou cílené adaptace inokula v závislosti na finální aplikaci adicí polutantu jako sekundárního zdroje uhlíku a energie do kultivačního média,
- obr. 3 znázorňuje graf závislosti biochemické spotřeby kyslíku *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmenem BGSC W98A1 imobilizovaném na nosiči PUR A při 50 °C na čase,
- obr. 4 znázorňuje graf závislosti biochemické spotřeby kyslíku *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmenem BGSC W98A1 imobilizovaném na nosiči PUR A při 40 °C na čase,
- obr. 5 znázorňuje graf závislosti biochemické spotřeby kyslíku kmenem *Aeribacillus pallidus* imobilizovaném na nosiči PUR A při 50 °C na čase,
- obr. 6 zobrazuje diagram koncentrací testovaných plyných směsí v kontinuálně provozovaném biofiltru.

### Příklady uskutečnění vynálezu

Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní případy uskutečnění vynálezu jsou představovány pro ilustraci, nikoliv jako omezení vynálezu na uvedené příklady. Odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zajistit za použití rutinního experimentování větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním vynálezu, která jsou zde popsána. I tyto ekvivalenty budou zahrnuty v rozsahu následujících patentových nároků.

Kultivace mikroorganismů je prováděna v zařízení Microplate Reader ELx808, kde je sledována schopnost růstu mikroorganismů v jednotlivých modelových roztocích vybraných polutantů ve třech opakováních a zároveň probíhá kontrolní kultivace, tzn. bez přídavku zdroje uhlíku a energie. Růst mikroorganismů je vyjádřen jako změna optické density neboli O. D., která se měří automaticky každou půl hodinu při vlnových délkách 450 a 630 nm. Inokula jsou připravována submerzní kultivací mikroorganismů v médiu zvoleném dle charakteru pokusu s přídavkem zdroje uhlíku a energie o odpovídající koncentraci. Data jsou hodnocena na základě přímých ukazatelů, a to nárůstu či poklesu optické density kultivačního média v závislosti na definovaném složení modelového roztoku, což umožňuje vyhodnotit stimulační či inhibiční účinek tohoto roztoku na danou mikrobiální populaci. Za projev stimulačního účinku testovaného roztoku je považován nárůst optické density, naopak za projev inhibičního účinku testovaného roztoku je považován pokles optické density.



Kultivace jsou současně testovány na zařízení Oxitop, které umožňuje měření vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při aerobní kultivaci. CO<sub>2</sub> je jímán do roztoku hydroxidu sodného. Tím dochází v uzavřené kultivační nádobě k poklesu tlaku, který odpovídá spotřebovanému O<sub>2</sub>. Podle stavové rovnice pak lze přepočítat pokles parciálního tlaku O<sub>2</sub> na spotřebu kyslíku bakteriemi. Veškeré pokusy byly prováděny ve 3 opakováních. Naměřená data byla následně proložena modelem růstu bakterií v programu GraphPad Prism 4.0 a spočítány příslušné růstové parametry (tj. specifická růstová rychlost a délka lag neboli adaptační fáze).

V následujících příkladech provedení 1 až 8 byl testován vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k podmínkám provozu – průměrné teplotě.

### Příklad 1

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 : *Aeribacillus pallidus* v poměru 2:1 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 50 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500$  mg/L, přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **A** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

### Příklad 2

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 : *Aeribacillus pallidus* v poměru 1:2 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 50 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500$  mg/L, přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **B** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

### Příklad 3

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 50 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla

použita v koncentraci  $c = 500$  mg/L, přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **C** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

#### **Příklad 4**

Inokulum *Aeribacillus pallidus* bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 50 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500$  mg/L, přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **D** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

#### **Příklad 5**

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 : *Aeribacillus pallidus* v poměru 2:1 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500$  mg/L, přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **E** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

#### **Příklad 6**

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 : *Aeribacillus pallidus* v poměru 1:2 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500$  mg/L, přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **F** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

#### **Příklad 7**

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace.

Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **G** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

### **Příklad 8**

Inokulum *Aeribacillus pallidus* bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 1 je křivkou **H** znázorněn nárůst mikrobiální populace za čas charakterizující vliv složení inokula na průběh adaptační fáze ve vztahu k teplotě.

Cíleně volený poměr zástupců dvou bakteriálních rodů - *Geobacillus* a *Aeribacillus* s prokazatelnou schopností růstové kompetice v dané škále teplotních růstových podmínek pozitivně ovlivňuje růstovou rychlost inokula a celkový nárůst mikrobiální populace v průběhu procesu biofiltrace, jak je zobrazeno na obr. 1. Toto navýšení může být až dvojnásobné.

V další skupině příkladů 9 až 14 byl testován rozvoj metabolického potenciálu na vybranou skupinu polutantů metodou cílené adaptace inokula v závislosti na finální aplikaci adicí polutantu jako sekundárního zdroje uhlíku a energie do kultivačního média.

### **Příklad 9**

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A s glukózou a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 2 je křivkou **I** znázorněna průběh růstu mikroorganismů za daných podmínek.

### **Příklad 10**

Inokulum *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A se zabudovanou kyselinou propionovou a

následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 2 je křivkou J znázorněna průběh růstu mikroorganismů za daných podmínek.

#### **Příklad 11**

Inokulum *Aeribacillus pallidus* bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A s glukózou a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 2 je křivkou K znázorněna průběh růstu mikroorganismů za daných podmínek.

#### **Příklad 12**

Inokulum *Aeribacillus pallidus* bylo imobilizováno na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A se zabudovanou kyselinou propionovou a následně konzervováno metodou lyofilizace. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 2 je křivkou L znázorněna průběh růstu mikroorganismů za daných podmínek.

#### **Příklad 13**

Inokulum *Geobacillus caldxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 a inokulum *Aeribacillus pallidus* použitá v poměru 1:1 byla imobilizována na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A s glukózou a následně konzervována metodou lyofilizace. Takto připravená směs kultur s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 2 je křivkou M znázorněna průběh růstu mikroorganismů za daných podmínek.

#### **Příklad 14**

Inokulum *Geobacillus caldxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 a inokulum *Aeribacillus pallidus* použitá v poměru 1:1 byla imobilizována na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A

se zabudovanou kyselinou propionovou a následně konzervována metodou lyofilizace. Takto připravená směs kultur s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 40 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Na obr. 2 je křivkou **N** znázorněna průběh růstu mikroorganismů za daných podmínek.

Tabulka 1: Nárůst optické denzity odpovídající nárůstu mikroorganismů v příkladech 9 až 14 za 24 hodin.

	Př. 9	Př. 10	Př. 11	Př. 12	Př. 13	Př. 14
Nárůst O.D. (630 nm)	0,21	0,39	0,29	0,60	0,39	0,41

Rozvoj metabolického potenciálu na vybranou skupinu polutantů metodou cílené adaptace inokula v závislosti na finální aplikaci adicí polutantu jako sekundárního zdroje uhlíku a energie do kultivačního média pozitivně ovlivňuje růstovou rychlost inokula na vybraném polutantu, tedy kyselině propionové, a to o 85 % (*Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1) až 106 % (*Aeribacillus pallidus*) oproti kontrole kultivované na snadno rozložitelném substrátu jakožto zdroji uhlíku a energie, tedy glukóze, a to i v případě, že teplotní režim kultivovaného kmene neodpovídá jeho optimu. Výsledky příkladů 9 až 14 jsou znázorněny na obr. 2.

Třetí skupina příkladů 15 a 16 ilustruje navýšení účinnosti biofiltrační technologie využití biodegradovatelného plastu s adicí polutantu jakožto nosného média biofiltru

### Příklad 15

Obr. 3 znázorňuje biochemickou spotřebu kyslíku *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmenem BGSC W98A1 imobilizovaného na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A bez adice kyseliny propionové křivkou **P** a biochemickou spotřebu kyslíku *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmenem BGSC W98A1 imobilizovaného na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A se zabudovanou kyselinou propionovou křivkou **Q**. Takto připravená směs kultur s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 50 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové. Obdobný test byl proveden se stejným kmenem v prostředí s teplotou 40 °C, jak je zobrazeno na obr. 4 křivkami **Q** a **R**.

Tabulka 2: Vyhodnocení testů z příkladu 15.

<b><i>Geobacillus caldoxylosilyticus</i> kmen BGSC W98A1 (50°C)</b>	<b>Lag fáze (h)</b>	<b>růstová rychlost (mg O<sub>2</sub>/L/h)</b>	<b><i>smodch</i></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
kyselina propionová (500mg/L)+pěna PUR A	15.1	32.5	0.2	0.99
kyselina propionová (500mg/L)	11.0	28.5	0.3	0.99
pěna PUR A	NA	0.015	0.002	0.12

Tabulka 3: Vyhodnocení testů z příkladu 15.

<b><i>Geobacillus caldoxylosilyticus</i> kmen BGSC W98A1 (40°C)</b>	<b>Lag fáze (h)</b>	<b>růstová rychlost (mg O<sub>2</sub>/L/h)</b>	<b><i>smodch</i></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
kyselina propionová (500mg/L)+pěna PUR A	10.9	1.8	8.2	0.007
kyselina propionová (500mg/L)	NA	0.9	1.5	0.75
pěna PUR A	NA	NA	NA	NA

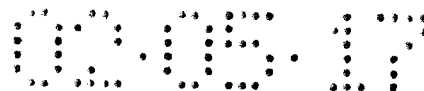
Kmen *Geobacillus caldoxylosilyticus* kmen BGSC W98A1 vykazuje v přítomnosti nosiče vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A se zabudovanou kyselinou propionovou vyšší degradační rychlost k testovaným polutantům, tedy kyselině propionové. U kyseliny propionové se jedná o navýšení rychlosti degradace při teplotě kultivace 50 °C o 14 %, jak je znázorněno na obr. 3. Při teplotě kultivace 40 °C, jak bylo testováno v příkladech 9 až 14, došlo k výrazně menšímu nárůstu oproti 50 °C. Přítomnost biodegradovatelné pěny PUR A však zvýšila růstovou rychlost o 100 %, jak zobrazuje obr. 4.

### Příklad 16

Obr. 5 znázorňuje biochemickou spotřebu kyslíku kmenem *Aeribacillus pallidus* imobilizovaným na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A bez adice kyseliny propionové křivkou **I** a biochemickou spotřebu kyslíku *Aeribacillus pallidus* imobilizovaným na nosiči vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A se zabudovanou kyselinou propionovou křivkou **S**. Takto připravená kultura s počáteční O.D. = 0,1 při teplotě kultivace 50 °C byla následně využita v degradačním testu při degradaci kyseliny propionové. Kyselina propionová byla použita v koncentraci  $c = 500 \text{ mg/L}$ , přičemž jako kontrola byl použit ten samý degradační test v suspenzi bez přítomnosti kyseliny propionové.

Tabulka 4: Vyhodnocení testů z příkladu 16.

<b><i>Aeribacillus pallidus</i> (50°C)</b>	<b>Lag fáze (h)</b>	<b>růstová rychlost (mg O<sub>2</sub>/L/h)</b>	<b><i>smodch</i></b>	<b>R<sup>2</sup></b>
kyselina propionová (500mg/L)+pěna PUR A	1.2	6.6	1.5	0.51
kyselina propionová (500mg/L)	0.6	7.9	0.7	0.83
pěna PUR A	39.2	0.8	0.3	0.08



Kmen *Aeribacillus pallidus* vykazuje v přítomnosti nosiče vytvořeného z polyuretanové pěny PUR A se zabudovanou kyselinou propionovou při 50°C výrazně nižší rychlost spotřeby kyslíku než kmen *Geobacillus caldxylosilyticus* kmen BGSC W98A1. V kombinaci s polyuretanovou pěnou PUR A má dvakrát delší lag neboli adaptační fázi, ale srovnatelnou rychlost růstu, tj. spotřebu kyslíku. To je znázorněno na obr. 5.

Vzhledem k vysoké degradační rychlosti k testovanému polutantu, tedy kyselině propionové, její adicí do nosného média u obou testovaných kmenů, které jsou imobilizovány společně na nosném médiu pro degradaci kyseliny propionové a jiných těkavých organických polutantů je tento efekt prokázán i v přítomnosti obou těchto kmenů.

Další skupina příkladů 17 až 24 ilustruje eliminaci organických těkavých látek v biofiltru simulující variabilitu kvality výstupního odpadního plynu ze zařízení.

Příklady testovaných plyných směsí v kontinuálně provozovaném biofiltru, kde výsledky testovaných plyných směsí znázorňuje obr. 6, kde křivka **V** znázorňuje vstupní koncentraci plynu a křivka **W** znázorňuje výstupní koncentraci plynu. Obr. 6 zobrazuje výsledky testovaných plyných směsí v kontinuálně provozovaném biofiltru, kde **1** představuje směs butanolu a kyseliny máselné v poměru 10:1, **2** představuje směs butanolu a kyseliny máselné v poměru 2:1, **3** představuje směs butanolu a kyseliny máselné v poměru 1:1, **4** představuje čistou kyselinu máselnou, **5** představuje směs butanolu a tetramethylaminu v poměru 10:1 a **6** představuje směs butanolu a tetramethylaminu v poměru 5:1.

#### **Příklad 17**

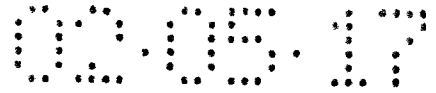
Testovaná byla plyná směs v kontinuálně provozovaném biofiltru, kde hmotnostní poměr kyseliny máselné a butanolu je 1:1. Hodnota PID byla na 40 mg.m<sup>-3</sup>; RE = 100 %.

#### **Příklad 18**

Testovaná byla plyná směs v kontinuálně provozovaném biofiltru, kde vstupní koncentrace směsi obsahující kyselinu máselnou a butanol v poměru 1:1 o hodnotě PID 88 mg.m<sup>-3</sup>, RE = 80 %.

#### **Příklad 19**

Příklad testované plyné směsi v kontinuálně provozovaném biofiltru, která obsahovala čistou kyselinu máselnou, kde vstupní koncentrace směsi o hodnotě PID 30 mg.m<sup>-3</sup>, RE = 100 %.

**Příklad 20**

Testovaná byla plynná směs v kontinuálně provozovaném biofiltru, která obsahovala čistou kyselinu máselnou. PID 30 mg.m<sup>-3</sup>; RE = 100 %

**Příklad 21**

Testovaná byla plynná směs v kontinuálně provozovaném biofiltru, která obsahovala kyselinu máselnou. PID 50 mg.m<sup>-3</sup>; RE = 100 %

Vhodnost použití biofiltru k odstraňování těkavých organických látek byla potvrzena nejen měřením výstupní koncentrace organických látek fotoionizačním detektorem (PID) a sledováním účinností eliminace, ale i senzorickým testováním výstupní vzduchu.

Průmyslová využitelnost

Způsob biologického čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů podle tohoto vynálezu lze využít v různých průmyslových odvětvích, která produkují plyny s organickými polutanty znečišťující prostředí. Největší uplatnění řešení dle tohoto vynálezu nalézá ve spalovnách, kompostárnách, udírnách či čistírnách odpadních vod.



## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob biologického čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů, při kterém se odpadní vzduch přivádí do biofiltru na nosné médium tvořené biodegradabilním materiálem na bázi polyuretanové pěny a opatřené biofilmem tvořeným imobilizovanými mikroorganismy schopnými odstraňovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že nosné médium se obohatí těkavou organickou kyselinou jako sekundárním zdrojem energie pro imobilizované mikroorganismy a jako biofilm se použije bakteriální směs termofilního kmenu *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a termotolerantního kmenu *Aeribacillus pallidus* v poměru v rozmezí 1:5 až 5:1, přičemž odpadní vzduch se přivádí do biofiltru v teplotním rozmezí 35 až 75 °C.
2. Způsob podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že těkavá organická kyselina je ze skupiny: kyselina propionová a kyselina máselná.
3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že těkavá organická kyselina je kyselina propionová.
4. Způsob podle některého z nároků 1 až 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že polyuretanová pěna se připraví ze směsi alifatického polyisokyanátu a polyesterových polyolů v hmotn. poměru 3:1 až 1:3 s přidavkem škrobových derivátů v množství 10 až 50 % hmotn.
5. Biofilm k provádění způsobu podle některého z nároků 1 až 4, tvořený mikroorganismy schopnými degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty, imobilizovaný na nosném médiu biofiltru vytvořeném z biodegradabilního materiálu na bázi polyuretanové pěny, pro biologické čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že mikroorganismy tvořící biofilm jsou tvořeny směsí termofilního kmenu *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a termotolerantního kmenu *Aeribacillus pallidus* v poměru v rozmezí 1:5 až 5:1.
6. Biofilm podle nároku 5, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že poměr *Geobacillus caldoxylosilyticus* BGSC W98A1 a *Aeribacillus pallidus* v biofilmu je 2:1.

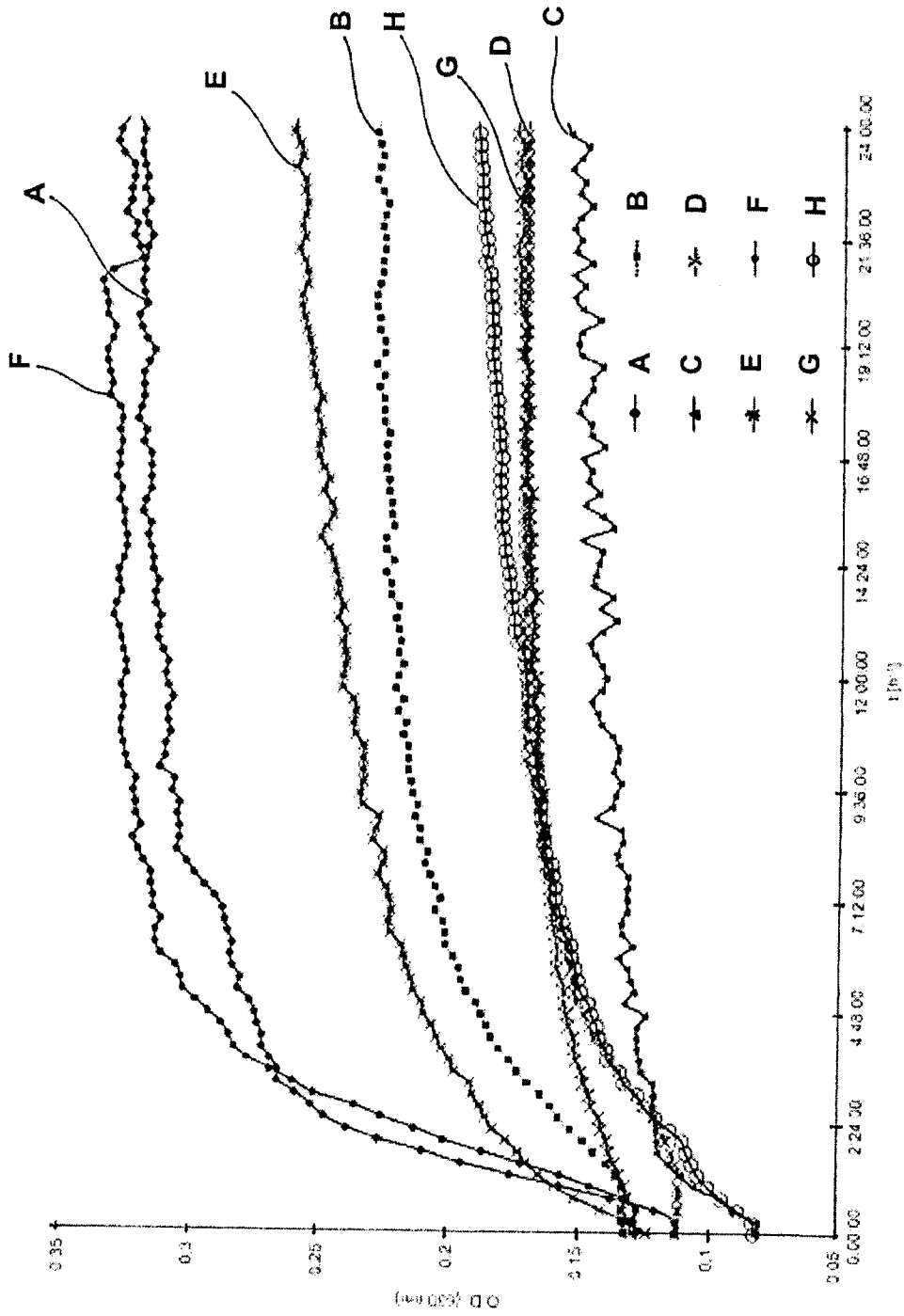


7. Biofilm podle nároku 5, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že poměr *Geobacillus caldxylosilyticus* BGSC W98A1 a *Aeribacillus pallidus* v biofilmu je 1:2.
8. Nosné médium biofiltru k provádění způsobu podle některého z nároků 1 až 4, pro imobilizaci mikroorganismů schopných degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty z odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C, vytvořené z biodegradabilního materiálu na bázi polyuretanové pěny, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že polyuretanová pěna je na bázi alifatického polyisokyanátu a polyesterových polyolů tvořící směs s těkavou organickou kyselinou, přičemž těkavá organická kyselina tvoří sekundární zdroj energie pro imobilizované mikroorganismy.
9. Nosné médium podle nároku 8, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že těkavá organická kyselina je ze skupiny: kyselina propionová a kyselina máselná.
10. Nosné médium podle nároku 8 nebo 9, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že těkavá organická kyselina je kyselina propionová.
11. Náplň biofiltru k provádění způsobu podle některého z nároků 1 až 4, pro biologické čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů, sestávající z biofilmu tvořeného mikroorganismy schopnými degradovat těkavé organické kyseliny a/nebo jejich deriváty, a z nosného média, na němž je biofilm imobilizován, přičemž nosné médium je vytvořeno z biodegradabilního materiálu na bázi polyuretanové pěny, pro biologické čištění odpadního vzduchu v prostředí s teplotou vyšší než 35 °C od těkavých organických kyselin a/nebo jejich derivátů, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že biofilm je tvořen směsí termofilního kmenu *Geobacillus caldxylosilyticus* BGSC W98A1 a termotolerantního kmenu *Aeribacillus pallidus* v poměru v rozmezí 1:5 až 5:1 a polyuretanová pěna nosného média je na bázi alifatického polyisokyanátu a polyesterových polyolů tvořící směs s těkavou organickou kyselinou a/nebo jejich derivátů, přičemž těkavá organická kyselina a/nebo její derivát tvoří sekundární zdroj energie pro imobilizované mikroorganismy.

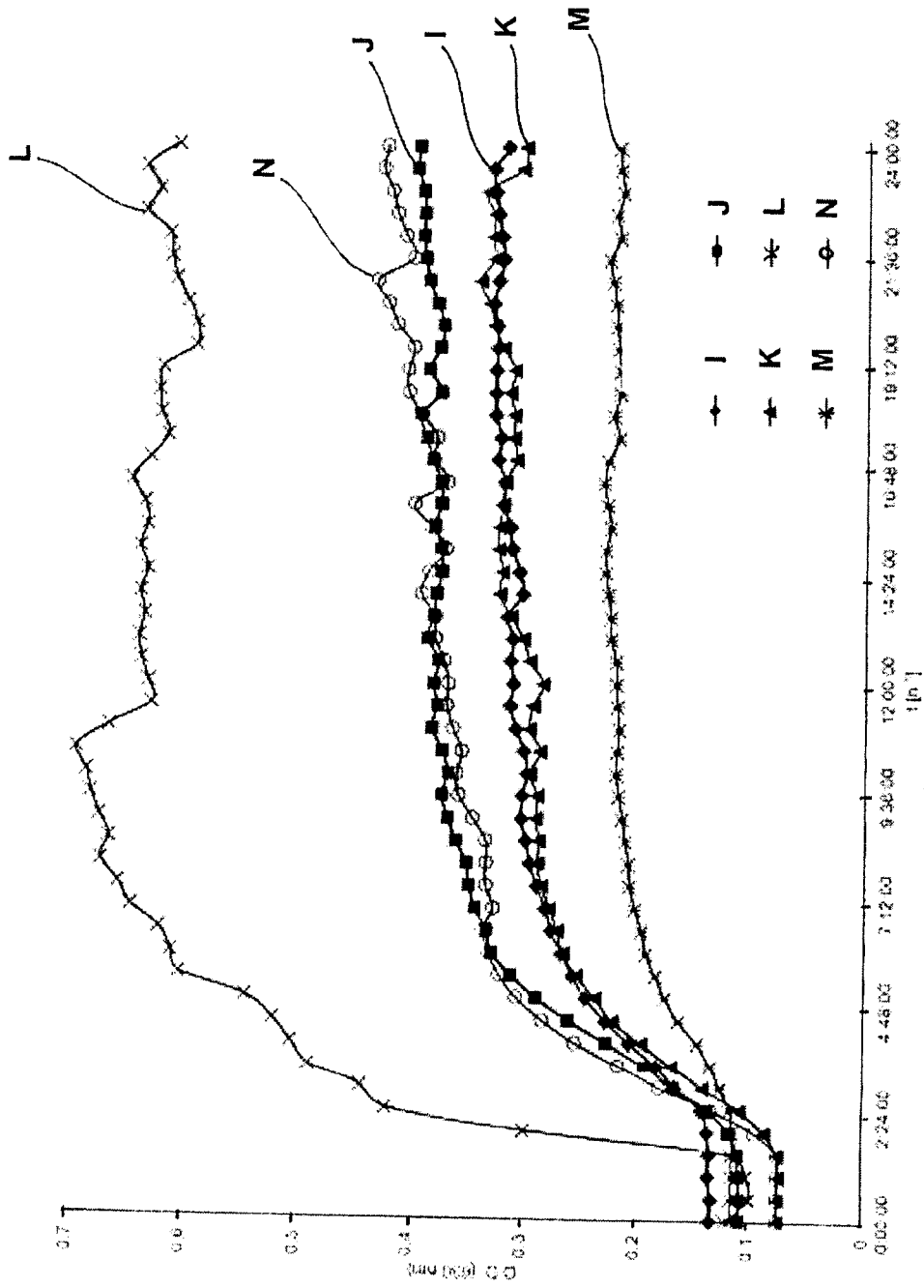
116

1807-18

PV 2016-440



OBR. 1

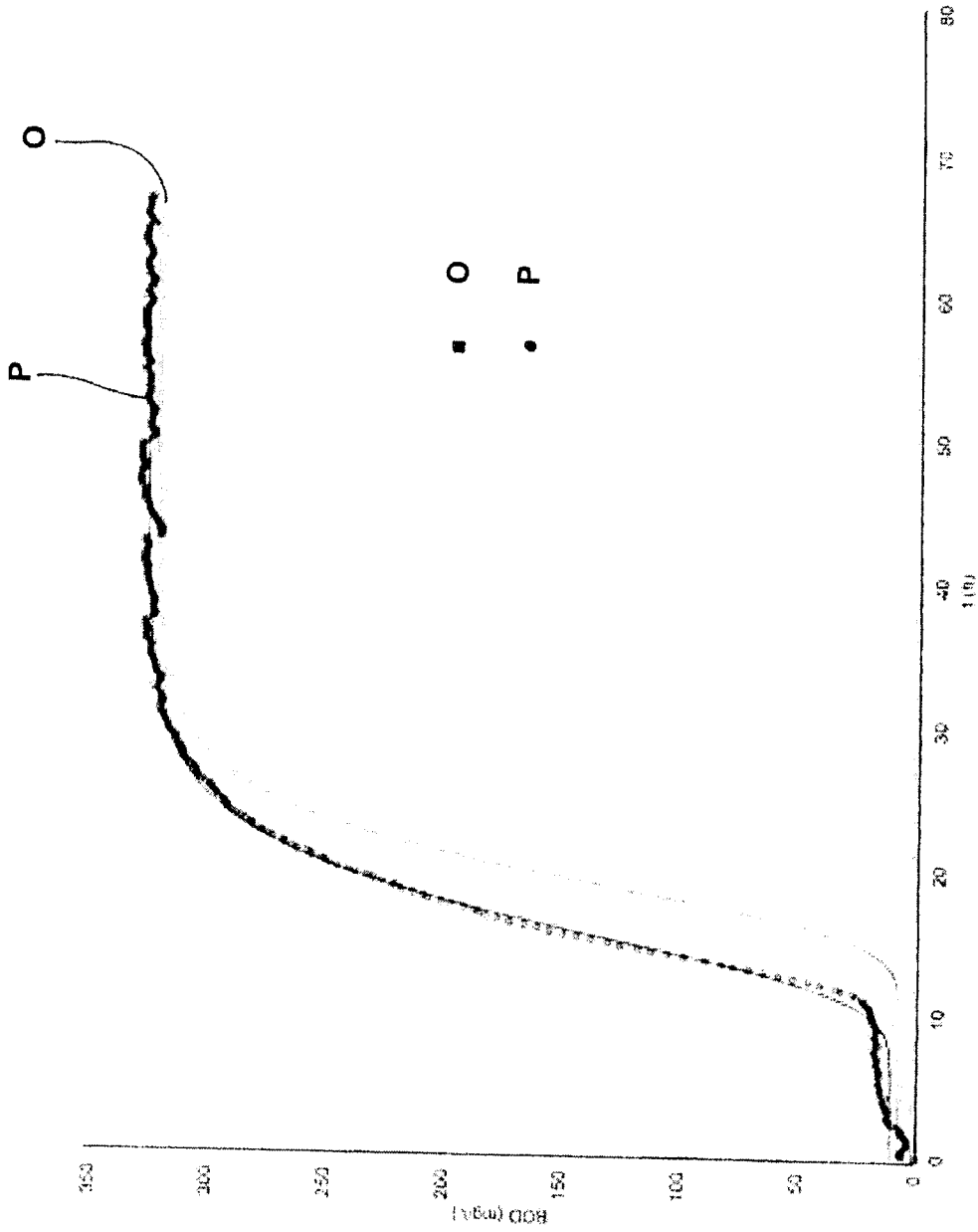


OBR. 2

3/6

18.07.16

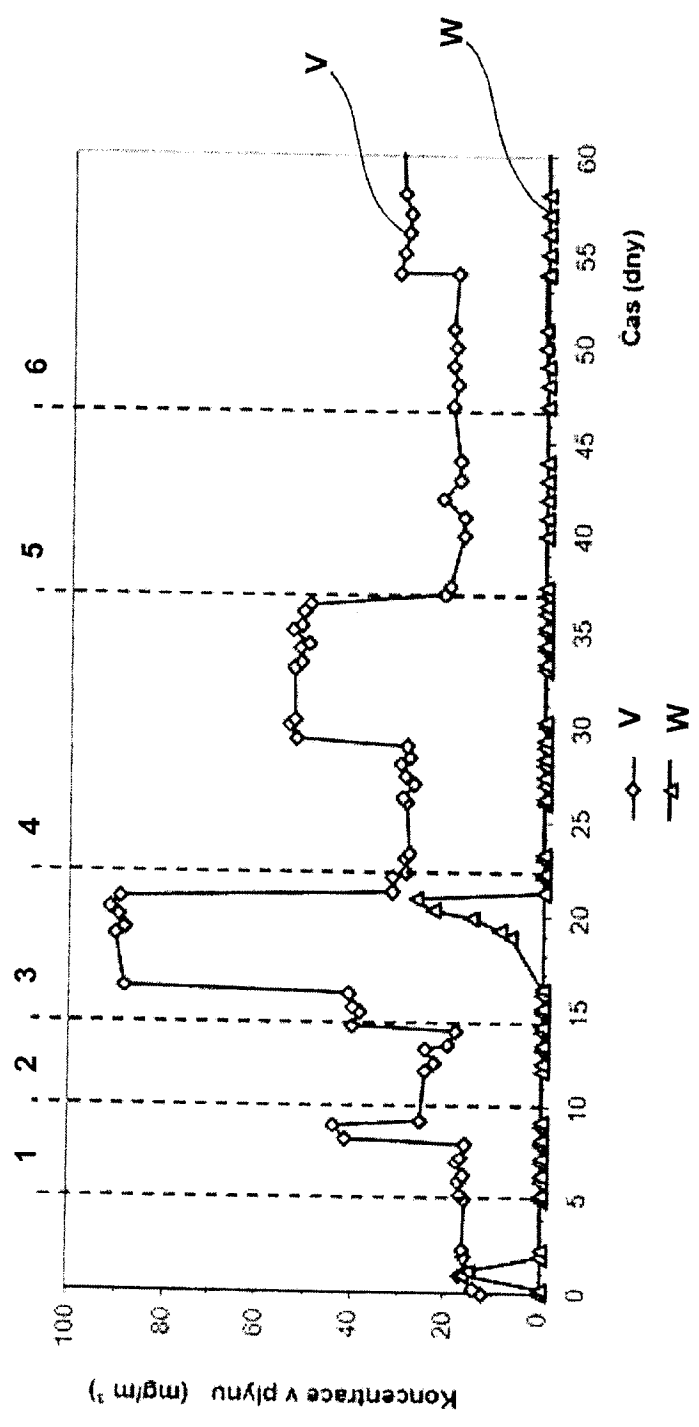
PV 2016-443



OBR. 3







OBR. 6