

Centrum environmentálního výzkumu:
Odpadové a oběhové hospodářství
a environmentální bezpečnost



Workshop
**DEKONTAMINAČNÍ
TECHNOLOGIE**
Stávající možnosti a metody
v oblasti sanací
kontaminovaných míst

23. 1. 2025, Ústav pro životní prostředí, PřF UK



T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Biofiltrace odpadních plynů

Martin Halecký, VŠCHT Praha
Ústav biotechnologie
Laboratoř bioinženýrství

Druhy látek znečišťujících ovzduší

Primární znečišťující látky

= emise

- přímá nebo nepřímá toxicita
- nepříjemný zápach
- účast na atmosférických reakcích

Anorganické

- anorganické plynné znečišťující látky NH_3 , H_2S , NO_x , SO_2 , CO , CO_2
- toxické kovy (olovo, kadmium a měď)
- radioaktivní znečišťující látky
- anorganický polétavý prach
- pachy (NH_3 , H_2S)

Organické

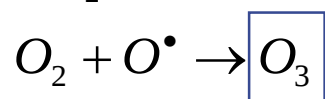
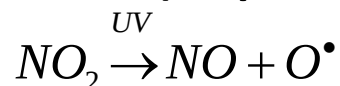
- těkavé organické látky – (Volatile Organic Compounds) VOCs
- uhlovodíky, alkoholy, aldehydy, ketony, karboxylové kyseliny
- chlorované sloučeniny
- fluorochloruhlovodíky (CFC)
- organický polétavý prach
- pachy (organické sloučeniny síry)

Druhy látek znečišťujících ovzduší

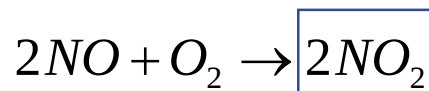
Sekundární znečišťující látky

Reakce jsou vzájemně propojeny

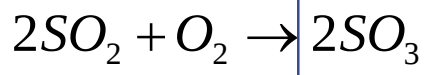
- **přízemní (troposférický) ozon**



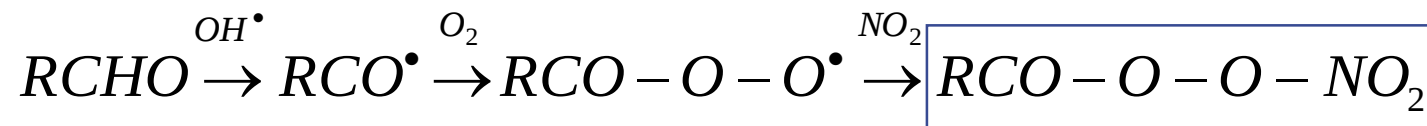
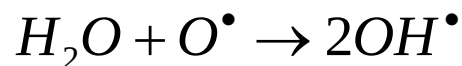
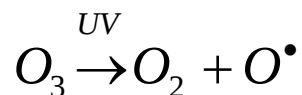
- **NO₂**



- **SO₃**

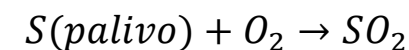
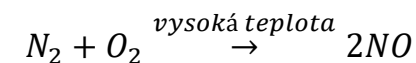


- **peroxyacetylnitrát (PAN) a peroxybenzoylnitrát (PBzN)** *velmi toxické!*



R = CH₃ peroxyacetylnitrát; R = C₆H₅ peroxybenzoylnitrát.

NO and SO₂ – spalování



Dopady látek znečišťujících ovzduší

- zesílení skleníkového efektu (CO_2 , CH_4)
- poškozování ozonové vrstvy (chlorované uhlovodíky)
- acidifikace (NO_2 , SO_2 , SO_3)
- tvorba smogu (fotochemické reakce)
- eutrofizace (nadbytek N v přírodních ekosystémech)
- lidské zdraví (onemocnění dýchacích cest, hromadění v těle)
- zdraví ekosystémů (změny v přírodních ekosystémech)

Hlavní zdroje plynných znečišťujících látek

Průmysl

- těžba a zpracování fosilních paliv
- výroba (těkavých) chemikálií
- použití (těkavých) chemikálií (styren, aceton, rozpouštědla barev...)
- potravinářský průmysl (extrakční prostředky, zápach - pražírny...)
- dřevozpracující průmysl (výroba dřevovláknitých desek – formaldehyd, α -pinen...)
- čištění odpadních vod (H_2S , uhlovodíky, zápach)

Zemědělství

- živočišná výroba (H_2S , NH_3 , VOC, pachy) *rozklad biomasy*
- kompostování, biologické zpracování odpadů (H_2S , NH_3 , VOC, zápach)

Ekologické havárie

Examples of Pollutants

Typické znečištění ovzduší:

komplexnější směsi znečišťujících látek s různou biologickou rozložitelností, biotoxicitou a fyzikálně-chemickými vlastnostmi (přenos hmoty) = problémy při čištění

- **Uhlovodíkové směsi** (nafta - alkany s krátkým nebo dlouhým řetězcem)
- **Benzinové páry** (alifatické látky + aromáty + okysličené sloučeniny)
- **Směs styrenu a acetonu** (aceton jako rozpouštědlo polystyrenu)
- **Odpadní vzduch z výroby dřevovláknitých desek** (formaldehyd + α -pinen)
- **Odpadní vzduch z odpadních vod** (H_2S , NH_3 , VOC, pachové sloučeniny)
- **Rozpouštědla barev** Směs kyslíkatých alifatických látek (methylethylketony a methyl isobutylketony, aceton a n-butylacetát) a aromatických látek (toluen, xyleny)

Charakterizace znečištění ovzduší

- znečištění ovzduší nemá hranice
- transport atmosférou po celém světě
- ovlivňují velké plochy
- nemožné odstranění, pokud se dostane do atmosféry
- v některých případech přetrvávající a velmi nebezpečné znečištění (chlorované složky - ozonová díra)
- vznik sekundárního znečištění (smog)

Atmosféra je jako celek je reálně nedokontaminovatelná.

→ zdroje znečišťujících látek by měly být vybaveny dekontaminační technologií

Metody čištění odpadního vzduchu

Fyzikálně-chemické metody

- sorpce - *aktivní uhlí, zeolit* (možnost opětovného použití polutantů)
- termické spalování
- katalytické spalování
- (kryo)kondenzace (možnost opětovného použití polutantů)
- praní plynů
 - absorpční kolona (s vhodným rozpouštědlem)
 - kyselé praní (roztok kyseliny (sírové) - pro NH_3 ...)
 - alkalické praní (roztok hydroxidu - pro H_2S , SO_2 ...)

Typicky (spíše) vysoké investiční a provozní náklady.

Typicky se používá v případech:

- špatně degradovatelné nebo nedegrovatelné polutanty
- vysoké koncentrace (inhibiční pro buňky)
- nízký průtok vzduchu

= podmínky
nevhodné pro
biologické metody

Metody čištění odpadního vzduchu

Biologické metody

Řízený biologický rozklad polutantů vhodnými mikroorganismy v bioreaktorech.

Biofilmové reaktory (imobilizované buňky)

- biologický zkrápěný filtr
- biofiltr

Reaktory s volnými buňkami (suspendované buňky)

- probublávaná kolona nebo airlift
- bioscruber
- míchaný reaktor

Náplňové materiály

- **speciální produkt** (Pall kroužky)
- **vhodný produkt** (Poraver – původně tepelně izolační materiál)
- **produkt se specifickými vlastnostmi** (sorpce apod.) (biouhel (biochar), aktivní uhlí, zeolit)
- **odpady** (dřevní štěpka, kůra, kompost)

Organické materiály

- kompost
- dřevní štěpka
- kůra
- rašelina
- kokosová vlákna

typicky lokální, levné, obnovitelné a snadno zpracovatelné po použití ale proměnlivé a jen částečně definované vlastnosti měnící se s časem

Anorganické materiály

- plastové, skleněné nebo keramické kroužky nebo jiné tvary
- perlit
- rozdrčené pneumatiky
- expandovaná břidlice

typicky stálé a jasně definované (často specifické) vlastnosti ale drahé a těžko zpracovatelné po použití

Uzavřený biofiltr

⇨ průtok vody
→ Průtok vzduchu

Charakterizace

- nízký obsah vody
- souběžná absorpce (přenos hmoty) a biodegradace

(*tenká* vrstva vody na částicích →
nízký odpor proti přestupu hmoty
hydrofobních znečišťujících látek)

Konstrukce bioreaktoru a degradéři

- typicky malý průřez a velká výška (válec)
- náplňový materiál (obvykle anorganický) pokrytý biofilmem

Polutanty

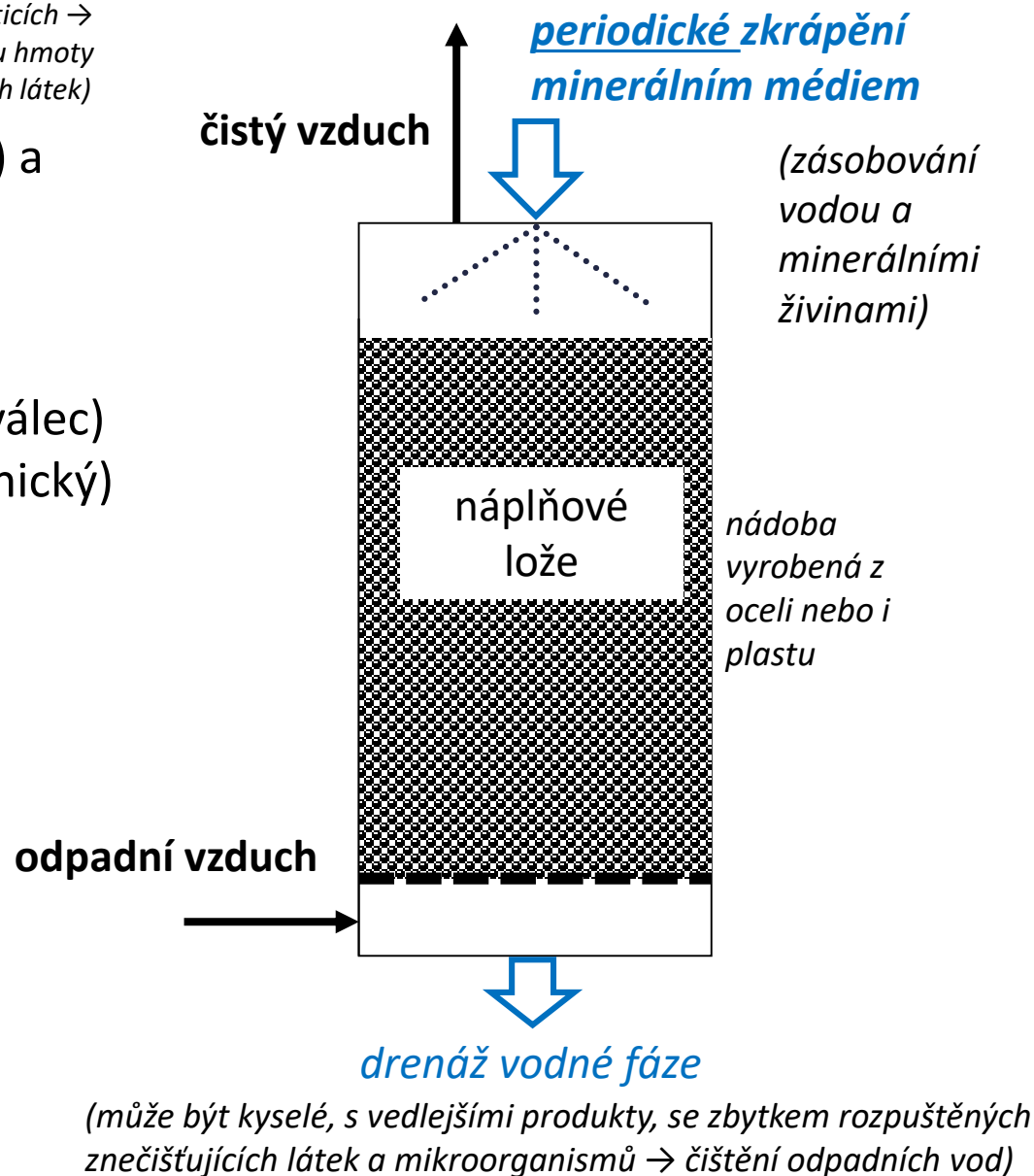
vše (vhodný pro hůře rozpustné)

Řízení procesu

relativně špatné

Relativní náklady

nízké (jednoduchý reaktor)



Otevřený Biofiltr

Konstrukce bioreaktoru a degradéři

- typicky velký průřez a malá výška (obdoba kontejneru)
- náplňový materiál (obvykle organický) pokrytý biofilmem

Polutanty

vše (vhodný pro hůře rozpustné)

Řízení procesu

relativně špatné

Relativní náklady

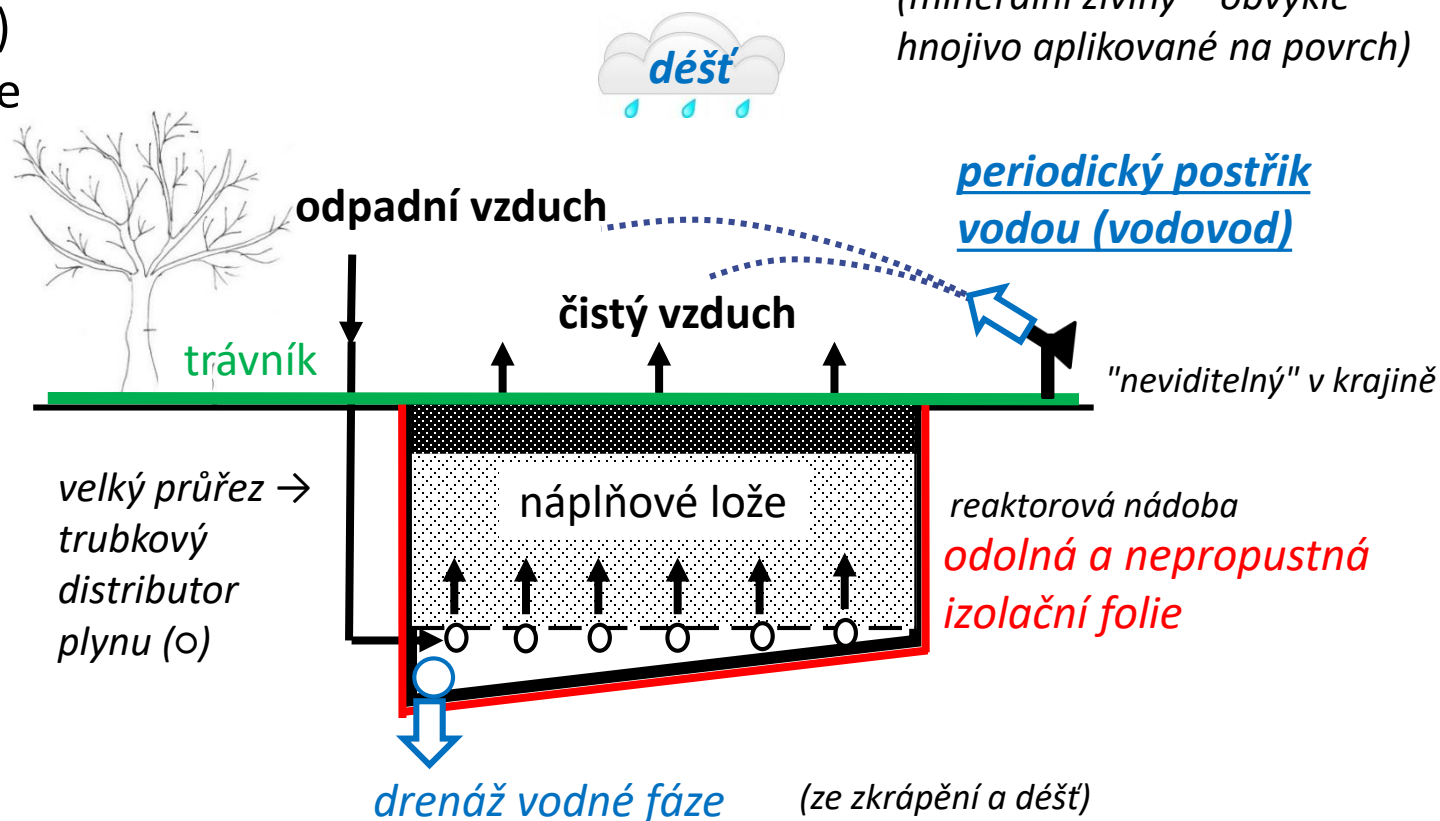
nízké (jednoduchý reaktor)

Charakterizace

- nízký obsah vody
- souběžná absorpce (přenos hmoty) a biodegradace

(tenká vrstva vody na částicích →
nízký odpor proti přestupu hmoty
hydrofobních znečišťujících látek)

(minerální živiny - obvykle
hnojivo aplikované na povrch)



(může být kyselé, s vedlejšími produkty, se zbytkem rozpuštěných znečišťujících látek a mikroorganismů → čištění odpadních vod)

Zkrápěný biologický filtr

⇒ průtok vody
→ Průtok vzduchu

Konstrukce bioreaktoru a degradéři

- typicky malý průřez a velká výška (válec)
- náplňový materiál (obvykle dobře definované anorganické kroužky*) pokrytý biofilmem

Charakterizace

- vysoký obsah vody (kontinuálně proudící médium)
- souběžná absorpce (přenos hmoty) a biodegradace

Polutanty

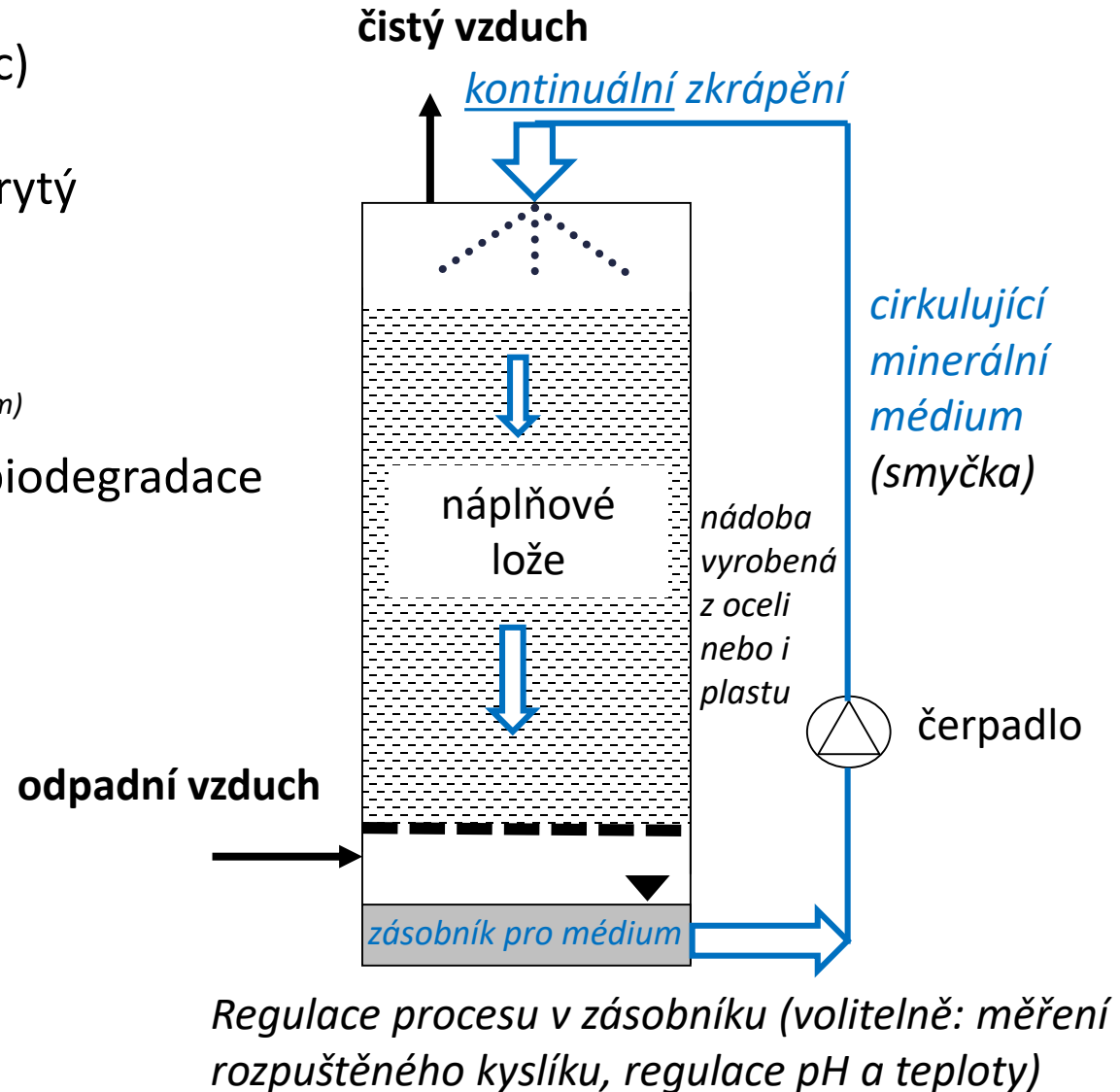
vše (vhodný pro lépe rozpustné)

Řízení procesu

dobré

Relativní náklady

střední



Použití zkrápěného biologického filtru

Vhodný zejména pro čištění odpadních plynů obsahujících:

- těkavé karboxylové kyseliny *másečná, propionová... (zápach)* → pokles pH
- sírné a chlorované znečišťující látky

Sírné polutanty



methylmerkaptane (CH_3SH)

dimethyldisulfid ($\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$)

*(zapáchající a toxické
sloučeniny vznikající při
rozkladu organické hmoty)*

aerobní
biodegradace



→ zásadní pokles pH

***zkrápěný biologický filtr**
umožňuje efektivní regulaci pH*

Těkavé chlorované uhlovodíky

aerobní
biodegradace



→ zásadní pokles pH

Průmyslový biofiltr a zkrápěný biologický filtr

uzavřený biofiltr



mobilní kombinovaný biofiltr a zkrápěný biologický filtr



zkrápěný biologický filtr

Průmyslový biofiltr

Modifikace (současný přístup)

Uzavřený biofiltr - kontejner



kappe-inc.com



<http://sh-umwelt.de/>

Otevřený biofiltr - kontejner



www.mena-water.com

Reaktorová nádoba vyrobená typicky z plastového materiálu (PP)

Bioscrubr

Konstrukce bioreaktoru a degradéři

- **absorpční věž** pro absorpci polutantů do vodného média; malý průřez a velká výška
- **míchaný reaktor** s aktivovaným kalem – regenerace vodného absorpčního média

Polutanty

velmi dobře rozpustné

(polutant není kontinuálně odstraňován biologickým rozkladem = rychlé nasycení cirkulujícího média polutantem)

Řízení procesu

velmi dobré (oddělené absorpční a biodegradční procesy – lze účinně řídit nezávisle)

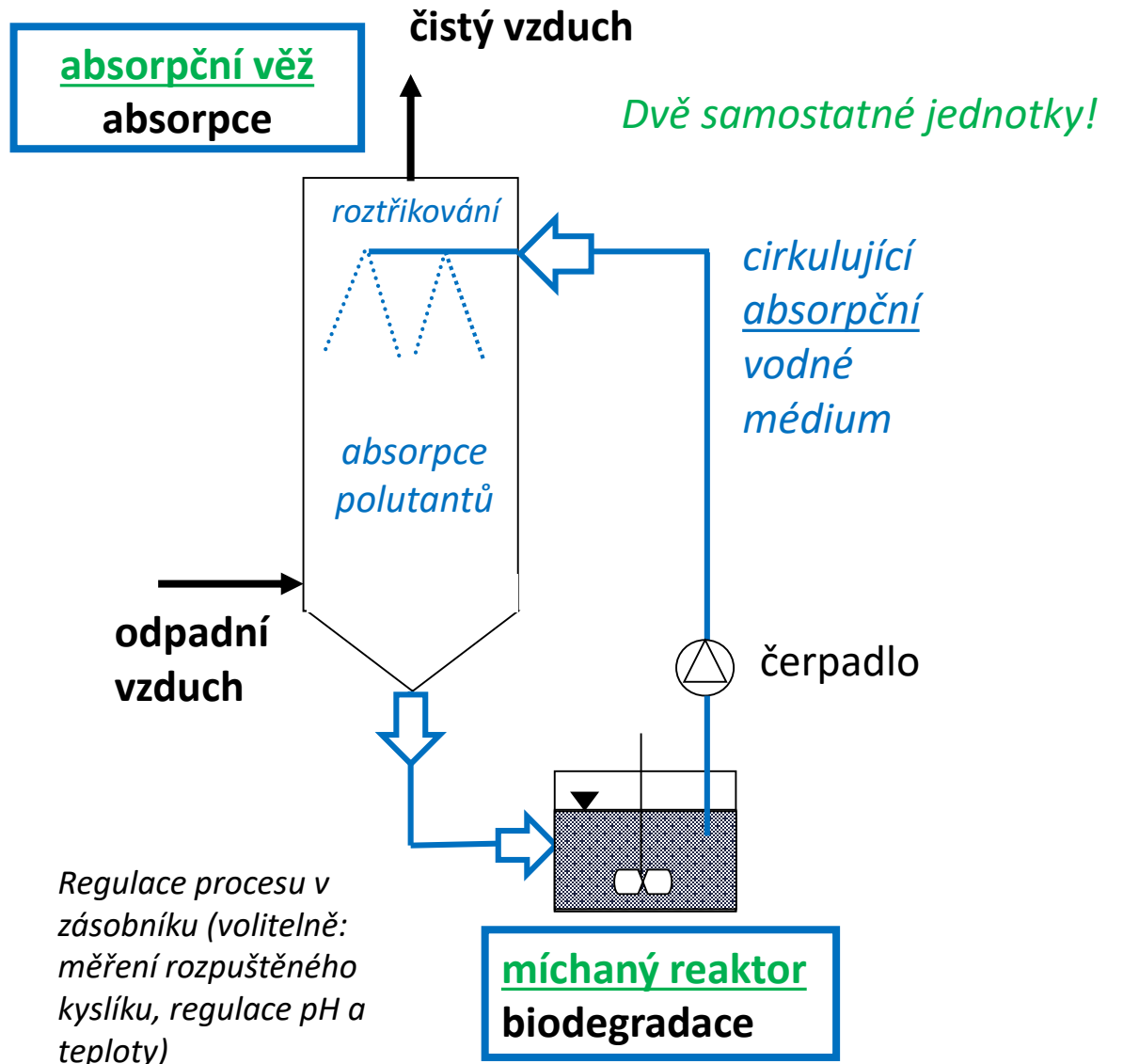
Relativní náklady

vysoké
(velmi složitý proces)

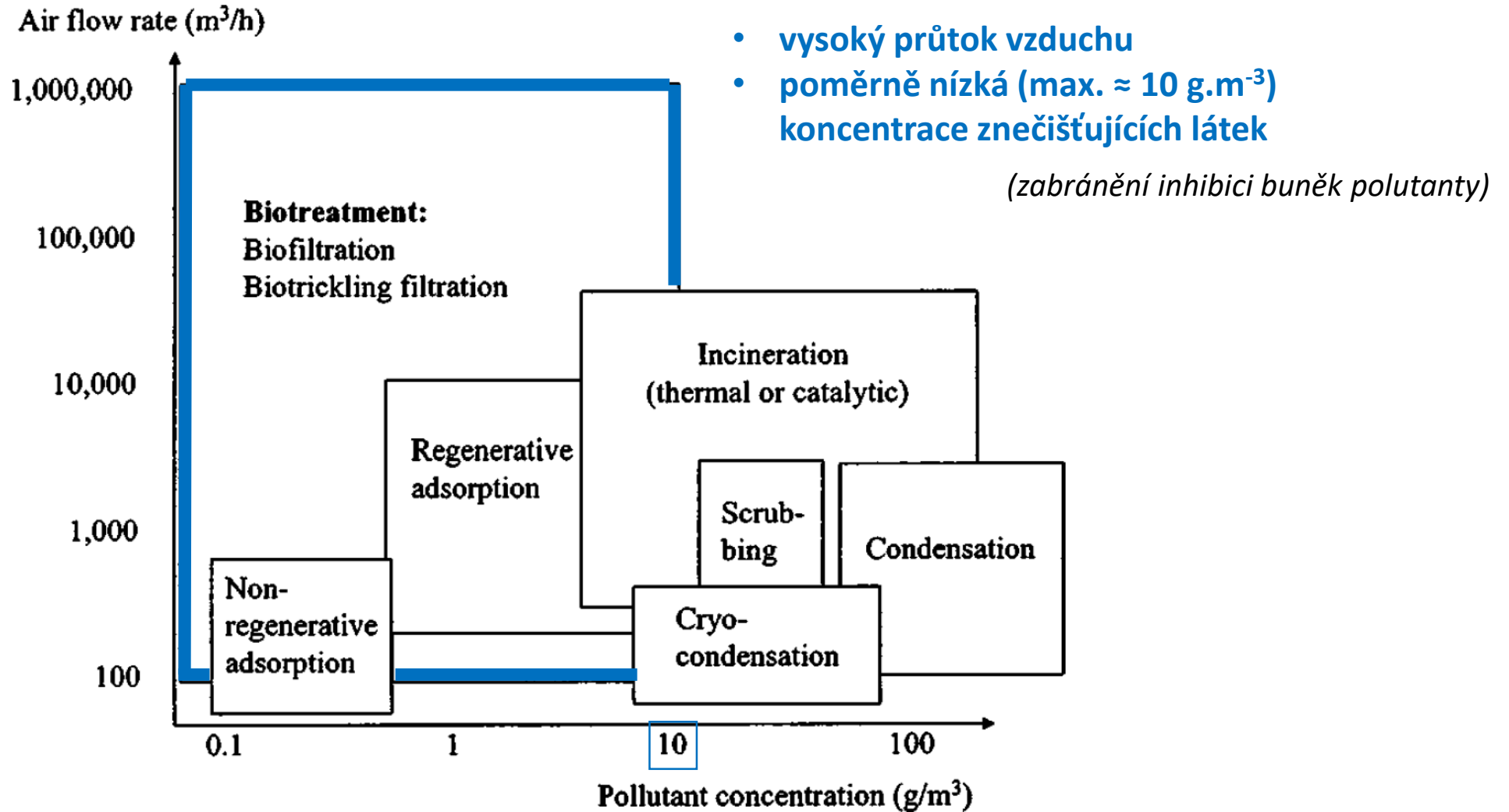
Charakterizace

- vysoký obsah vody
- oddělená absorpce a biologická degradace

⇨ průtok vody
→ Průtok vzduchu



Použitelnost biologických technik



Trendy v čištění odpadních plynů

V současné době máme velmi dobré znalosti o jednotlivých bioreaktorech/biotechnikách

Velmi dobrá znalost

- jejich výhod a nevýhod
- vhodné oblasti použití
- probíhajících procesů

→ omezené možnosti zlepšení konvenčních biotechnik

Současné trendy

Objevování provozních výhod integrace nebiologických a biologických procesů.

využití synergií integrovaných procesů

Integrované procesy

Kombinace bioreaktoru a bioreaktoru

- biofiltr-biofiltr
- zkrápěný biologický filtr-biofiltr

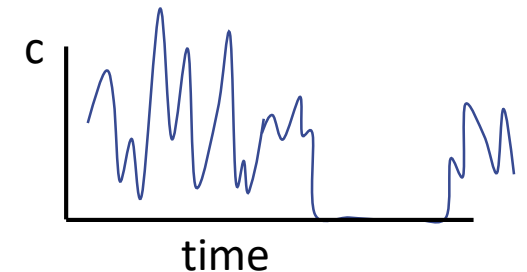
Kombinace chemických/fyzikálních reaktorů a bioreaktorů

- adsorpční předúprava + bioreaktor
- UV předúprava + bioreaktor
- vícefázové bioreaktory

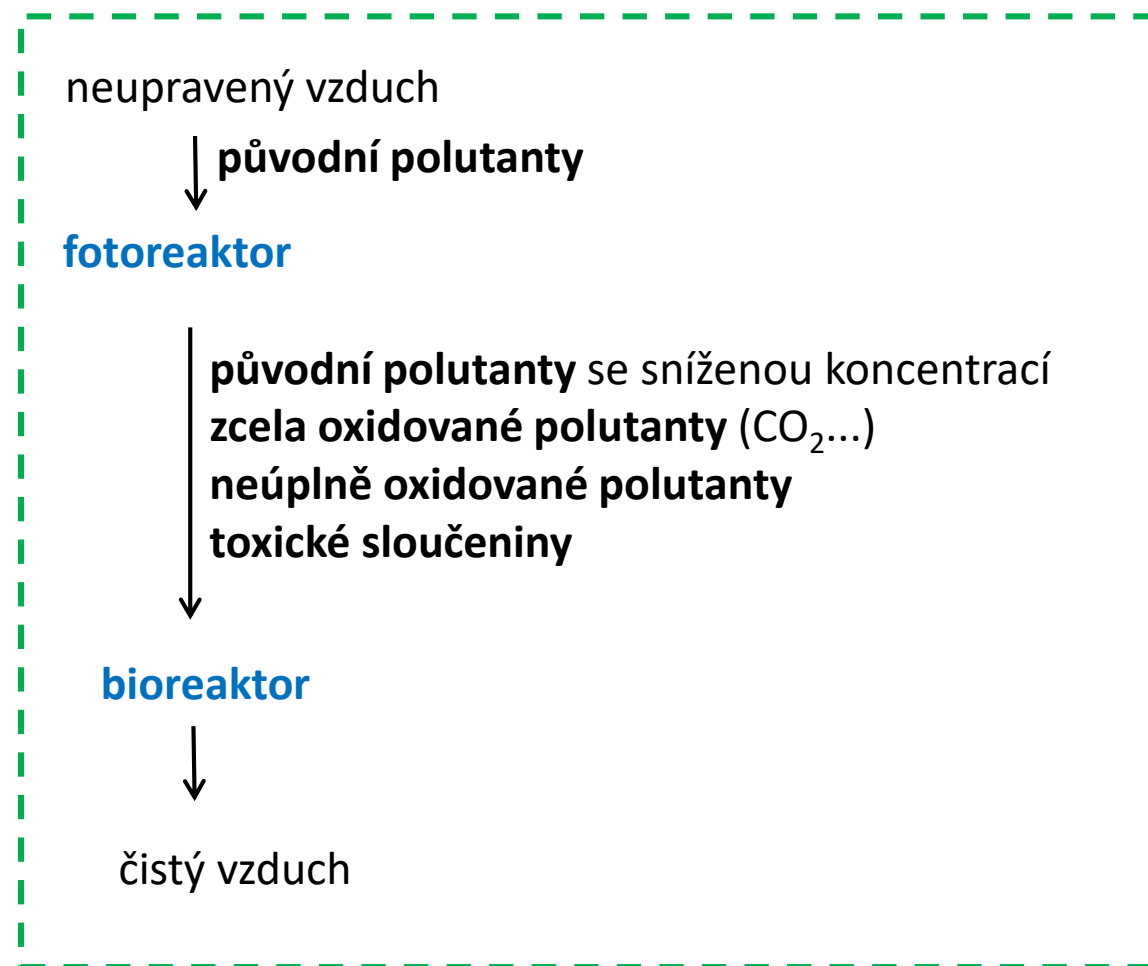
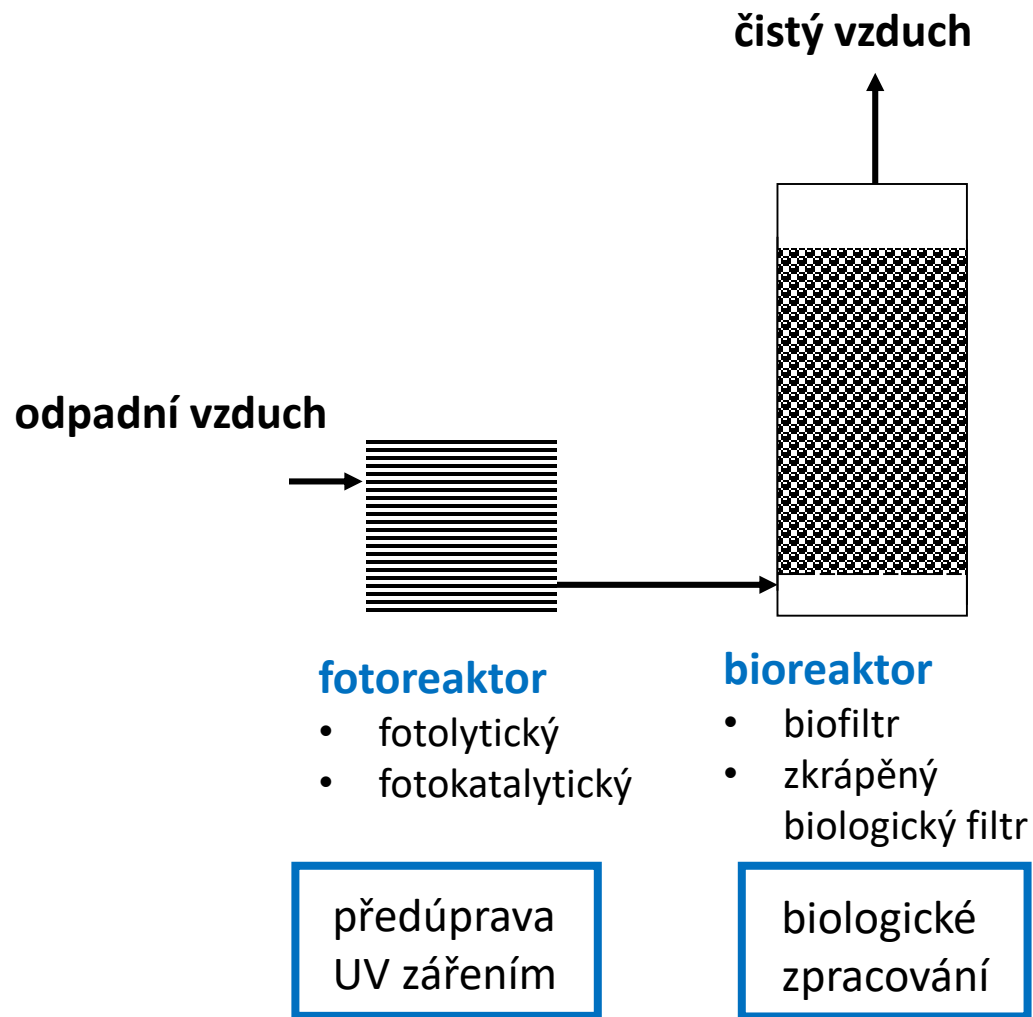
Použití integrovaných procesů

- pro parametry **překračující biologické limity**
 - toxicita polutantů
 - nízká biodegradabilita polutantů
 - inhibiční koncentrace polutantů
- **dlouhodobá doba nepoužívání** = hladovění (víkendy nebo noci v jednosměnném provozu továrny nebo periodické výroby nebo procedury)
- **kolísání** koncentrací polutantů a/nebo průtoku vzduchu
- přechodné podmínky **šokových zatížení**

Se všemi těmito podmínkami se v průmyslových aplikacích setkáváme často!

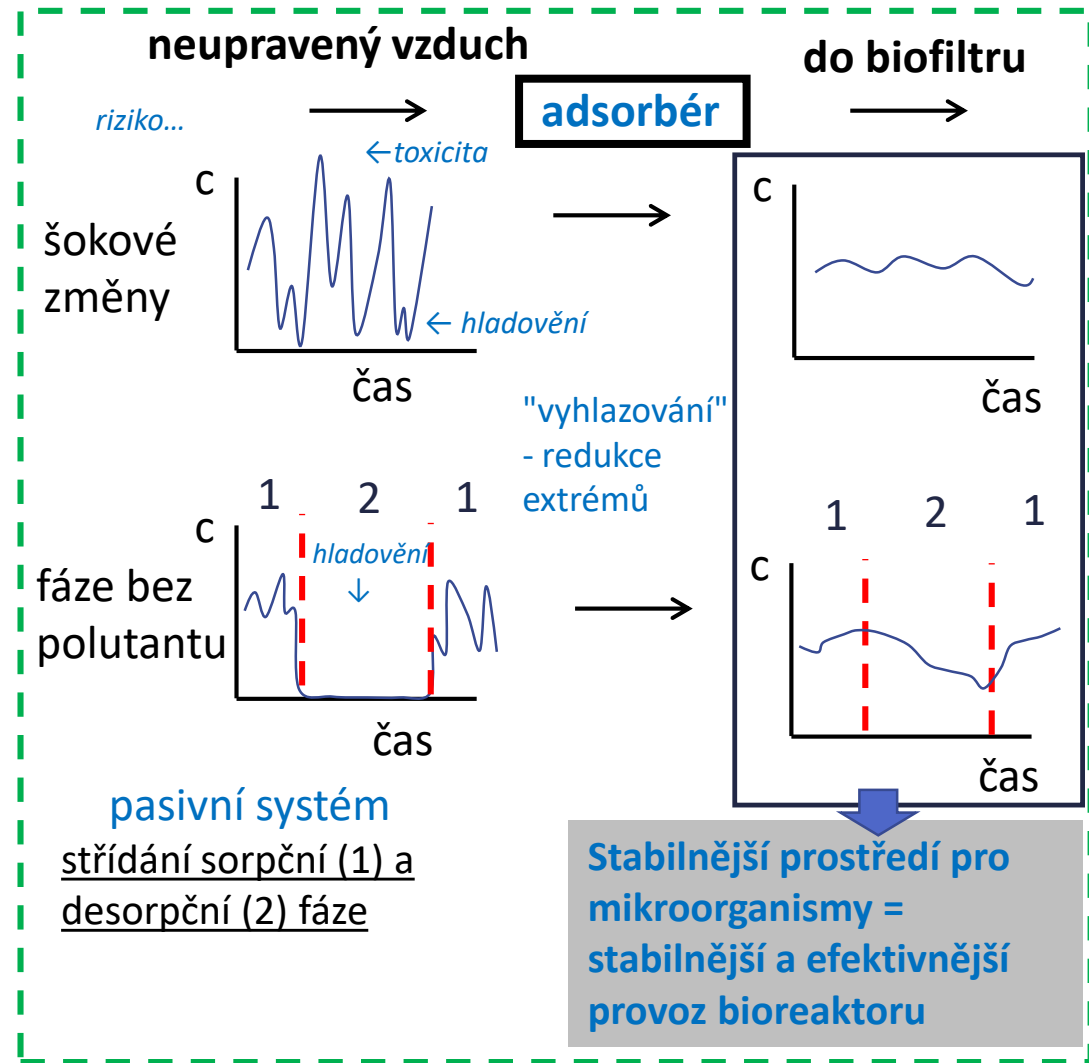
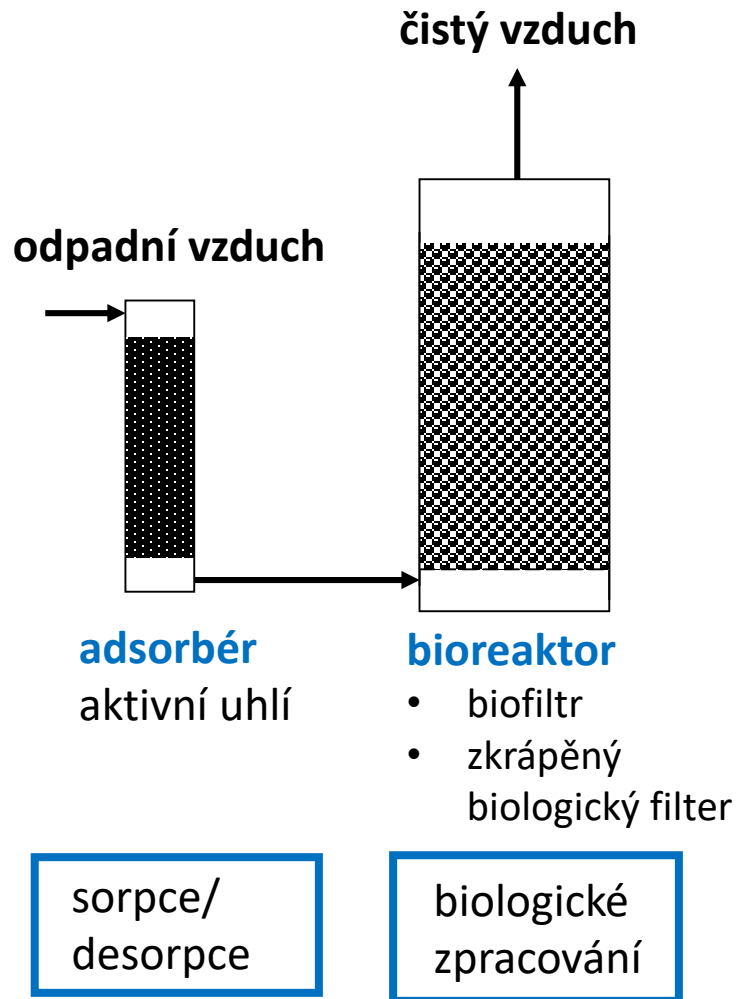


Fotoreaktor-bioreaktor



Adsorbér-bioreaktor

Adsorbér slouží jako **pasivní systém vyrovnávání zátěže** snížením zátěže znečišťujícími látkami při nárazovém zatížení na úroveň, kterou lze snadno upravit ve druhém stupni systému - bioreaktoru.



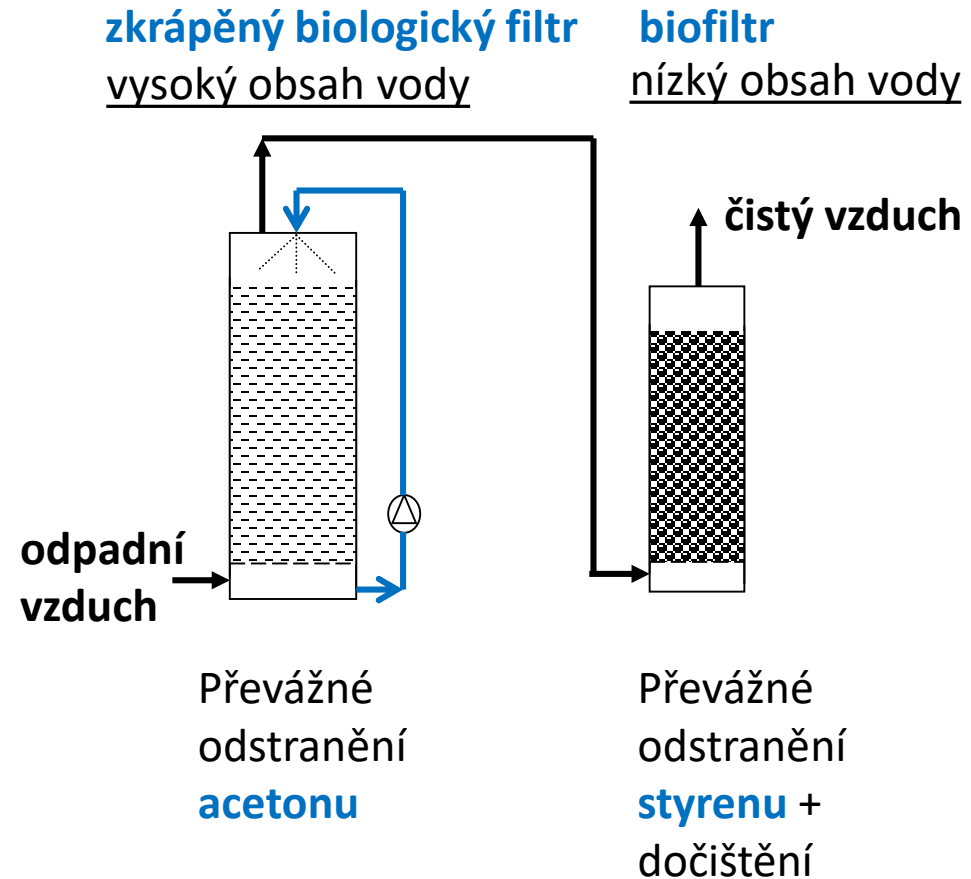
Zkrápěný biologický filter-biofiltr

Použití: směsi znečišťujících látek s různou rozpustností

Případová studie směs styrenu + acetonu

Výhody

- oddělené procesy pro různé znečišťující látky (lze nastavit nebo udržovat různé optimální podmínky)
- různé biokatalyzátory v individuálních jednotkách (specializované na konkrétní znečišťující látku = účinnější)
- lepší výkon systému při nárazovém zatížení
- malé jednotlivé jednotky (ale dvě)



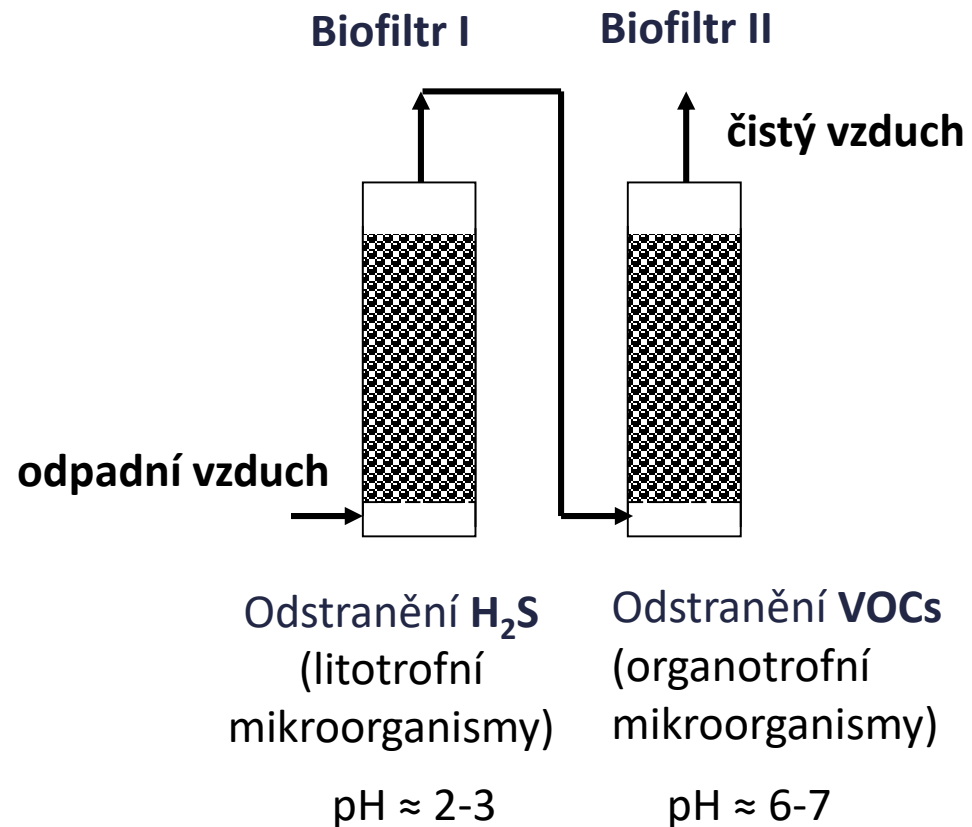
Biofiltr-Biofiltr

Použití: polutanty s různými nároky na **podmínky biologického rozkladu** ve směsi

Případová studie **emise papírenského průmyslu** - směs H_2S + VOC (metanol, formaldehyd, α -pinen)

Výhody

- oddělené procesy pro různé znečišťující látky (lze nastavit nebo udržovat různé optimální podmínky)
- různé biokatalyzátory v individuálních jednotkách (specializované na konkrétní znečišťující látku = účinnější)
- lepší výkon systému při nárazovém zatížení
- malé jednotlivé jednotky (ale dvě)



Děkuji za pozornost.