

Environmentální aspekty průmyslových činností

(04c)

Technologie na ochranu čistoty ovzduší
Odlučování tuhých částic, absorpce, adsorpce
Exhalace z dopravy

Ivan Holoubek

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

holoubek@recetox.muni.cz; <http://recetox.muni.cz>



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Záchyt tuhých příměsí

Technicky většinou dobře řešitelné

Emise tuhých částic:

- ↪ opracování kamene
- ↪ zpracování zeminy
- ↪ metalurgie
- ↪ energetika

Záchyt tuhých příměsí

Nežádoucí:

- ↪ Spalovny – ekologicky
- ↪ Chemický průmysl - technologicky

Důležité vlastnosti:

- ↪ velikost – 0,01 – 1000 μm
- ↪ částice jedné velikosti – mono-disperzní systém – výjimečně
- ↪ částice – různé – polydisperzní systém

Záchyt tuhých příměsí

Princip třídění

Postupné vynášení částic ze základního souboru plynem nebo kapalinou o postupně zvyšované rychlosti

Prach

Koncentrace, měrná hmotnost, lepivost, abrasivost

Odlučovače

Tvar částic, měrný povrch, permitivita, elektrický náboj a odpor, smáčivost, explozivnost...

Záchyt tuhých příměsí

Zařízení:

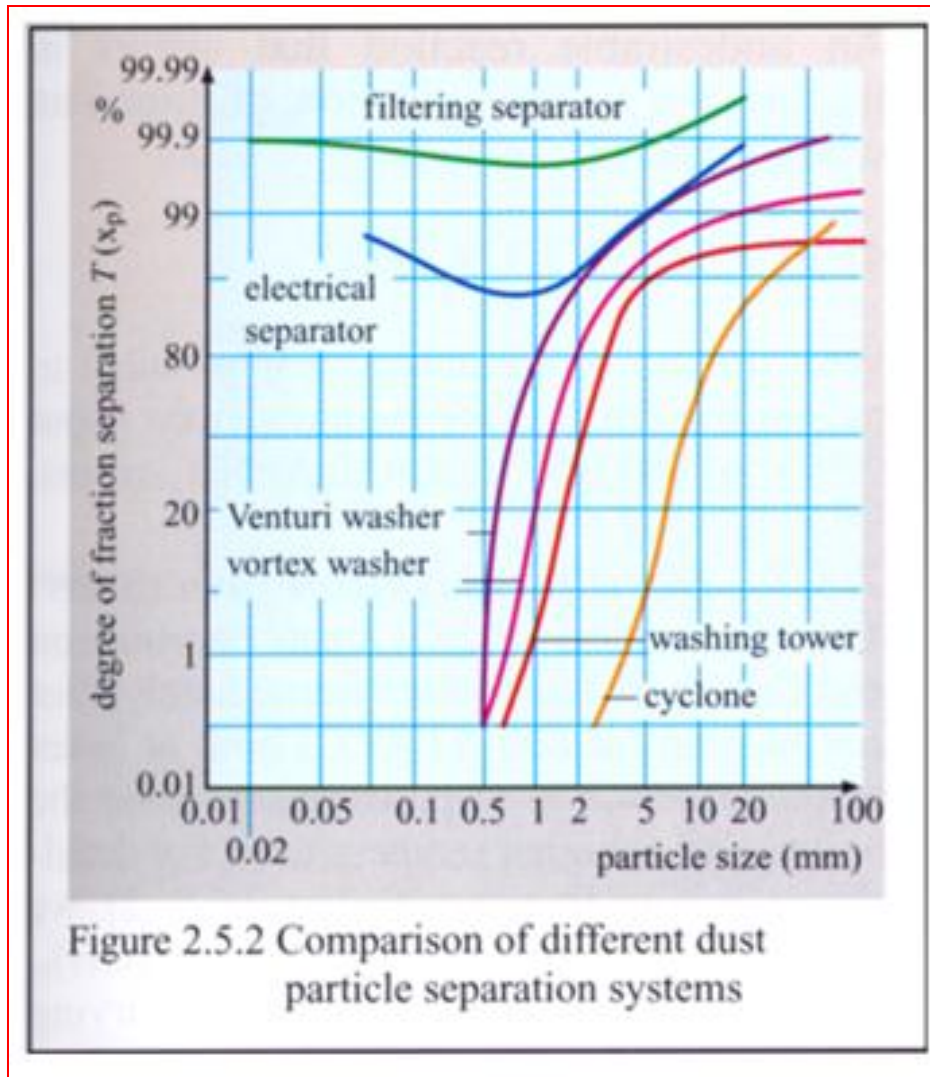
- ↪ Odlučovače mechanické – suché, mokré
- ↪ Odlučovače elektrické – suché, mokré
- ↪ Filtry

Účinnost odlučovačů:

Celková odlučivost – váhová % odloučeného prachu + celkové množství prachu

Frakční odlučivost – odloučení určité frakce o určité velikosti

Mez odlučivosti – rozměr částice, P₅₀, kdy je frakční odlučivost rovná 50%



Záchyt tuhých příměsí

1) Mechanické

Usazovací komory – gravitace – nepoužívají se < 70%

Virové odlučovače – využití odstředivé síly – cyklony - 80% -
universální – neschopnost odloučit velmi jemné frakce (< 2 –
10 µm)

Multicyklony:

- ↪ Žaluziové
- ↪ Mokrý - hladinový 80 - 99%
- ↪ Virnikové

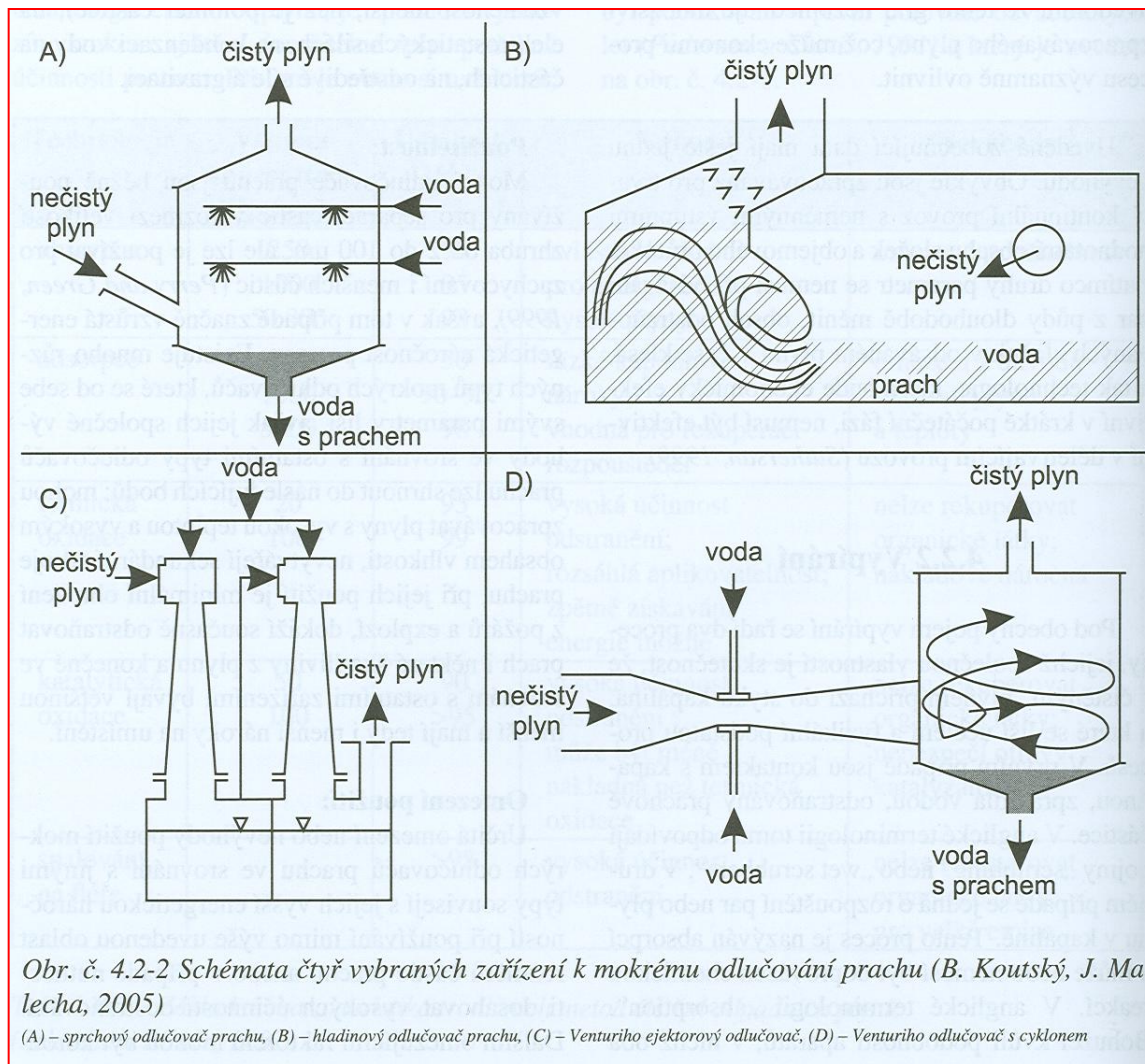
Venturiho pračka – 99,9%

Záchyt tuhých příměsí

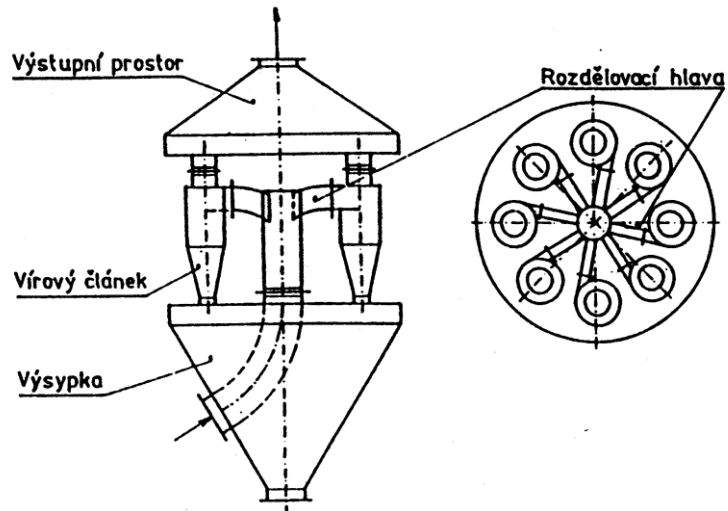
- 2) **Elektrické** – využití přitažlivých sil mezi elektricky nabitými částicemi prachu a opačně nabitou sběrací elektrodou – 99,9%

- 3) **Filtry** – 99,9%

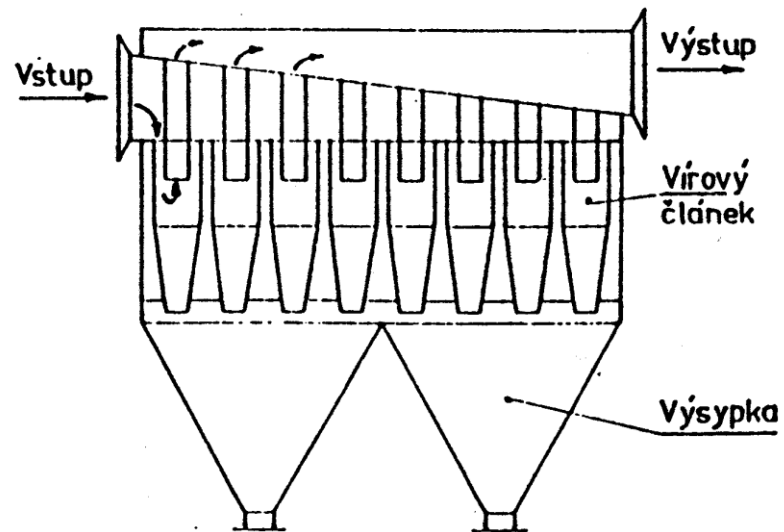
Vybraná zařízení k mokrému odloučení prachu



Záchyt tuhých příměsí

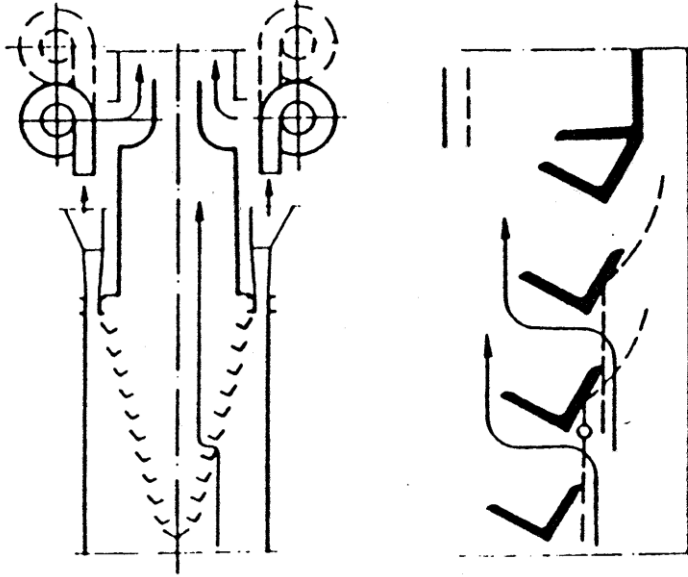


Obr.47. Skupinový odlučovač složený z tečných článků

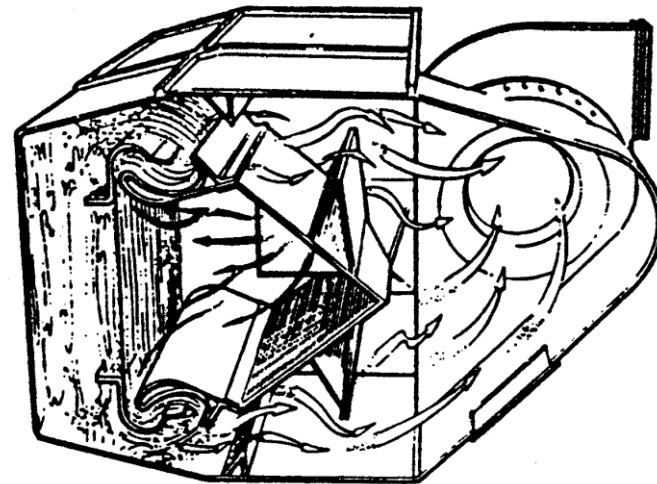


Obr.48. Skupinový odlučovač složený z osových článků

Záchyt tuhých příměsí

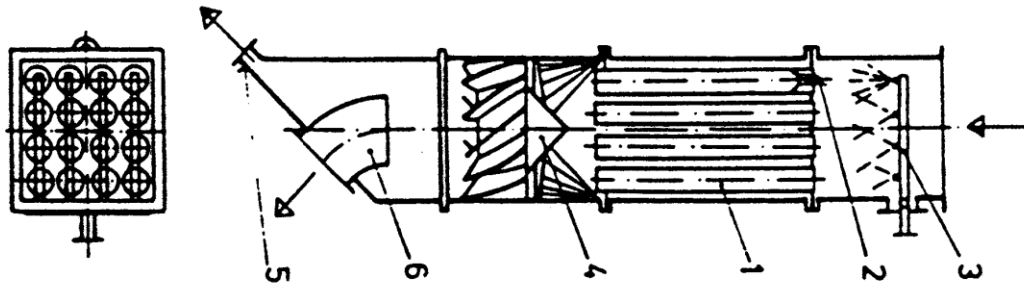


Obr.49. žaluziový odlučovač

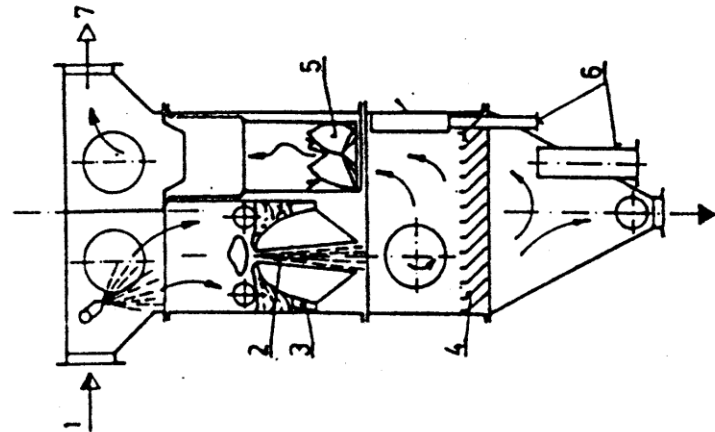


Obr.50. Princip funkce hladinového odlučovače

Záchyt tuhých příměsí

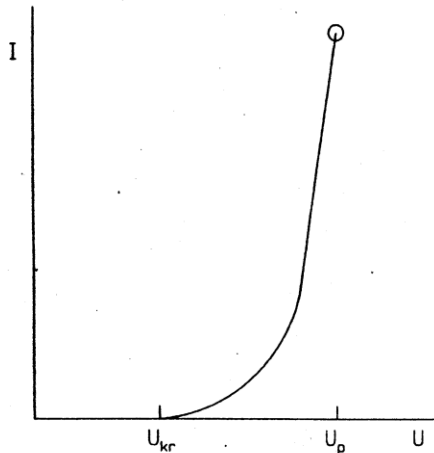


Obr.51. Mokrý vírníkový odlučovač

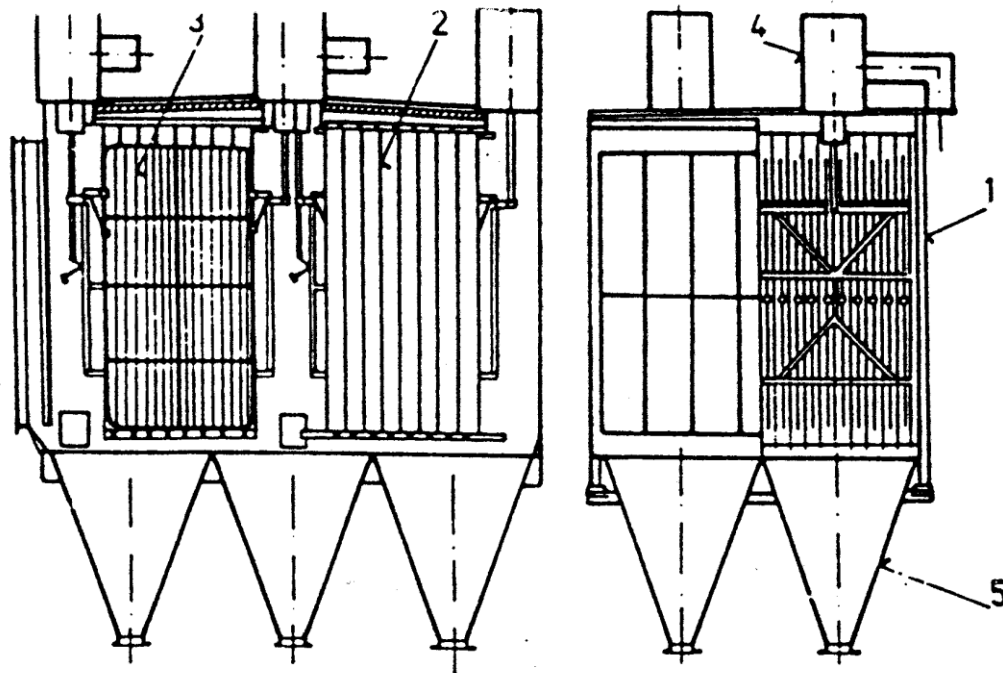


Obr.52. Odlučovač s Venturiho trubicí obdélníkového průřezu

Záchyt tuhých příměsí



Obr.53. Typická voltampérová charakteristika korony



Obr.54. Řez horizontálním komorovým elektroodlučovačem

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| 1 - skříň | 4 - budky zavěšení ioniz. elektrod |
| 2 - sběrací elektrody | 5 - výsypka |
| 3 - ionizační elektrody | |

Záchyt tuhých příměsí

(3) Filtry

↪ **Keramické** – dočišťování plynů s nízkým obsahem tuhých příměsí

↪ **Látkové**

- **hadicové** - hadice z filtrační látky, různé délky a průměru
- **kapsové** – kapsy s drátěnou vložkou

Záchyt tuhých příměsí

Regenerace zaprášené látky (pro oba typy)

- ↪ filtry se zpětným profukováním čistým plynem, a to za chodu nebo při odstavené komoře
- ↪ filtry s mechanickým oklepáváním příp. se zpětným profukováním za chodu nebo při odstaveném filtru
- ↪ filtry s regenerací vibracemi mechanickým zdrojem nebo ultrazvukem
- ↪ filtry s regenerací stlačeným vzduchem za chodu nebo v klidu

Plošné zatížení filtru – objem plynu za minutu prošlý 1 m² plochy filtru

S rostoucím zatížením roste tlaková ztráta

Možné plošné zatížení filtru závisí také na způsobu regenerace

~ 0,4 – 2 m³.m⁻².min⁻¹

Provozní parametry zařízení pro vypírání prachu z plynu

	Odlučovač s pevným ložem	Odlučovač s Venturiho ejektorem	Pračka s hladinovou sprchou	Venturiho pračka
rozměry částic prachu, μm^*	0,7–1,5	0,8–0,9	0,1–0,5	0,05–0,2
relativní rychlost, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	1	10–25	8–20	40–150
tlaková ztráta, kPa	0,2–2,5		1,5–2,8	3–20
potřeba vody, $\text{dm}^3\cdot\text{m}^{-3}$	0,05–5	5–20		0,5–5
potřeba energie kWh/1000 m^3	0,2–1,5	1,2–3	1–2	1,5–6

Tab. č. 4.2-2 Příklad provozních parametrů zařízení pro vypírání prachu z plynu (Wolf a kol., 2002)

Ostatní exhalace

Domácí topeniště – náhrada tuhých paliv plynnými, elektrickými a centrálním zásobováním

Exhalace z průmyslových podniků

Velká variabilita zdrojů

↪ Typ a koncentrace produkované škodliviny

↪ Emisní podmínky

- množství odplynů
- jejich teplota, tlak, složení
- obsah tuhých příměsí
- obsah agresivních látek

Metody likvidace škodlivin v odpadních plynech

↪ mokré – absorpce

↪ suché – adsorpce
- termická likvidace
- katalytická likvidace

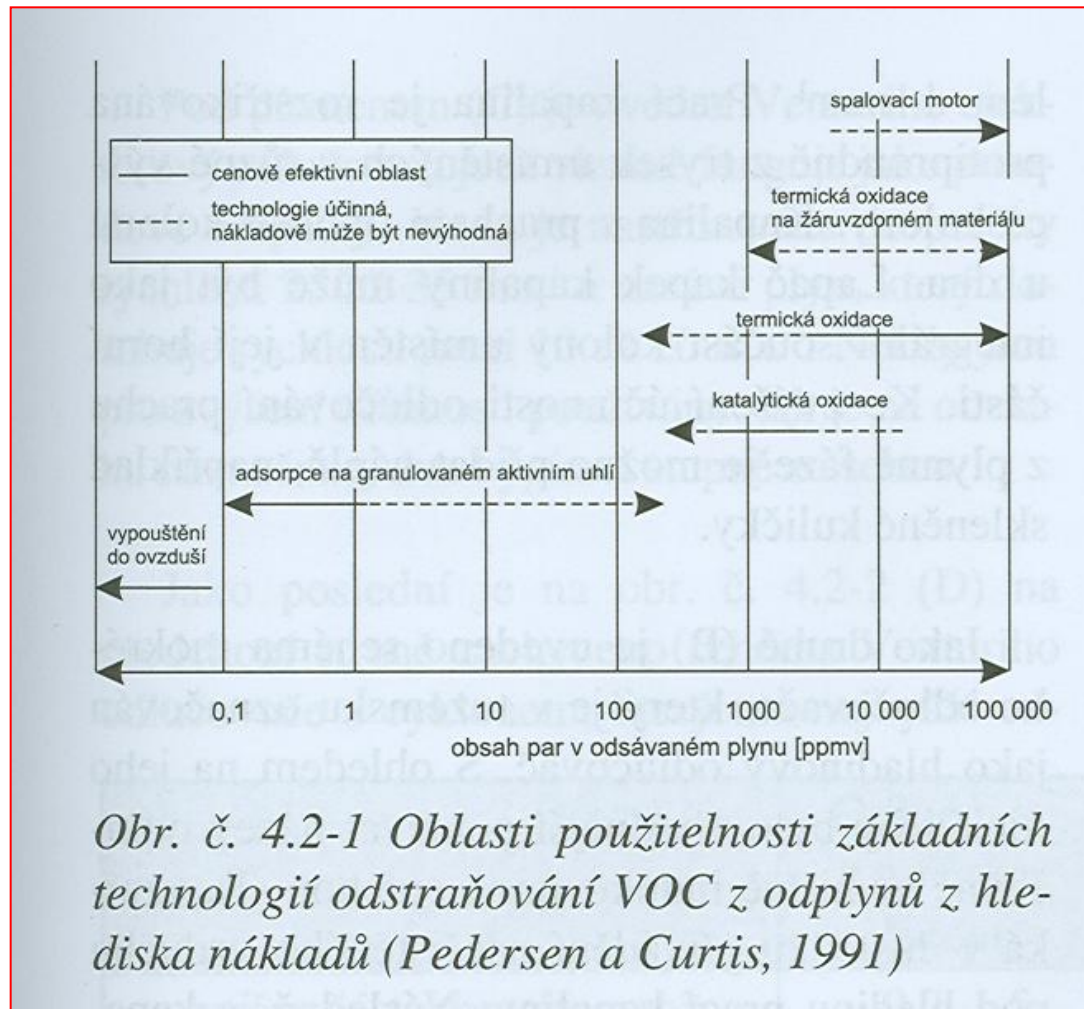
↪ biologické

Základní charakteristika tradičních metod čištění odpadních plynů

Technologie	Vstupní koncentrace [ppmv]	Účinnost [%]	Výhody	Nevýhody
absorpce	250	90	zvláště vhodná pro anorganické kyselé plyny	omezená použitelnost
	1000	95		
	50 000	98		
adsorpce	200	50	nízké kapitálové nároky; vhodná pro rekuperaci rozpouštědel	omezení z důvodů vlhkosti plynu a teploty
	1000	90–95		
	5000	98		
termická oxidace	20	95	vysoká účinnost odstranění; rozsáhlá aplikovatelnost; zpětné získávání energie možné	nelze rekuperovat organické látky; nákladově náročná
	100	99		
katalytická oxidace	50	90	vysoká účinnost odstranění; může být méně nákladná než termická oxidace	nelze rekuperovat organické látky; nebezpečí otravy katalyzátorů
	100	>95		
spalování na fléře		>98	vysoká účinnost odstranění	nelze rekuperovat organické látky; pro velké emise

Tab. č. 4.2-1 Základní charakteristika tradičních metod čištění odpadních plynů
(Schnelle a Brown, 2002)

Oblast použitelnosti základních technologií odstraňování VOCs z odplynů z hlediska nákladů



Absorpce

Proces zpracování plynu, při kterém některá z jeho složek odchází ze zařízení rozpuštěná v prací kapalině.

Hnací síla:

Rozdíl mezi koncentrací složky v plynné fázi a rovnovážnou koncentrací v plynné fázi, odpovídající obsahu složky v kapalně fázi za dané teploty \Rightarrow nejvyšší při nulové C v roztoku \Rightarrow výhodně chemická vazba složky z roztoku

C složky převedené do roztoku za jednotku času = funkce (c , T , velikosti plochy styku obou fází, době zdržení v absorbéru, hydrodynamických podmínek)

Prací roztok – možná regenerace (vyšší T)

Absorpce

Princip:

Absorpce je difuzní proces přestupu hmoty, při kterém je rozpustná plynná složka odstraňována z proudu plynu rozpouštěním v kapalném rozpouštědle. Absorpční proces může být bez chemické nebo s chemickou reakcí, s recirkulací nebo bez recirkulace kapalné fáze. Hnací silou absorpce je rozdíl koncentrací rozpouštěné složky v plynné a kapalné fázi. Je-li hnací síla kladná, dochází k absorpci, je-li hnací síla negativní, dochází k desorpci, tj. k přestupu rozpouštěné složky zpět do plynné fáze. Jaké množství látky adsorbované se rozpustí, je vyjadřováno rozdělovacím koeficientem definovaným vztahem

$$H = \frac{c_l}{c_g} \quad [4.2-1]$$

kde

H rozdělovací koeficient

c_l rovnovážná koncentrace složky
v kapalné fázi [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

c_g rovnovážná koncentrace v plynné fázi
[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Absorpce

Absorpce

Maximální účinnost, co největší zdržení, plocha styku při co největší intenzitě proudění z obou fází – co nejmenší tlaková ztráta, co nejmenší prostorové, materiálové, finanční nároky.

Plocha styku obou fází

- ↪ kapalný film na povrchu speciální náplně - výplňové kolony - nejčastější
- ↪ plynové bubliny v absorpční kapalině - patrové kolony
- ↪ kapky absorpční kapaliny - sprchové kolony, Venturiho pračky

Absorpce

- ↪ **výplňové a zejména sprchové** - levnější, menší tlaková ztráta
- ↪ **patrové** mohou pracovat s nástřikem kapaliny proměnným širokých mezích
- ↪ pro práci kapaliny s vyšším obsahem tuhých nečistot nebo suspenze jsou vhodné sprchové, př. patrové kolony, výplňové se snadno zanášejí
- ↪ je-li absorpční proces provázen výraznými tepelnými změnami – ohřev či chlazení se nejlépe provádí v patrových kolonách

váha, pořizovací náklady:

sprchové < výplňové < patrové

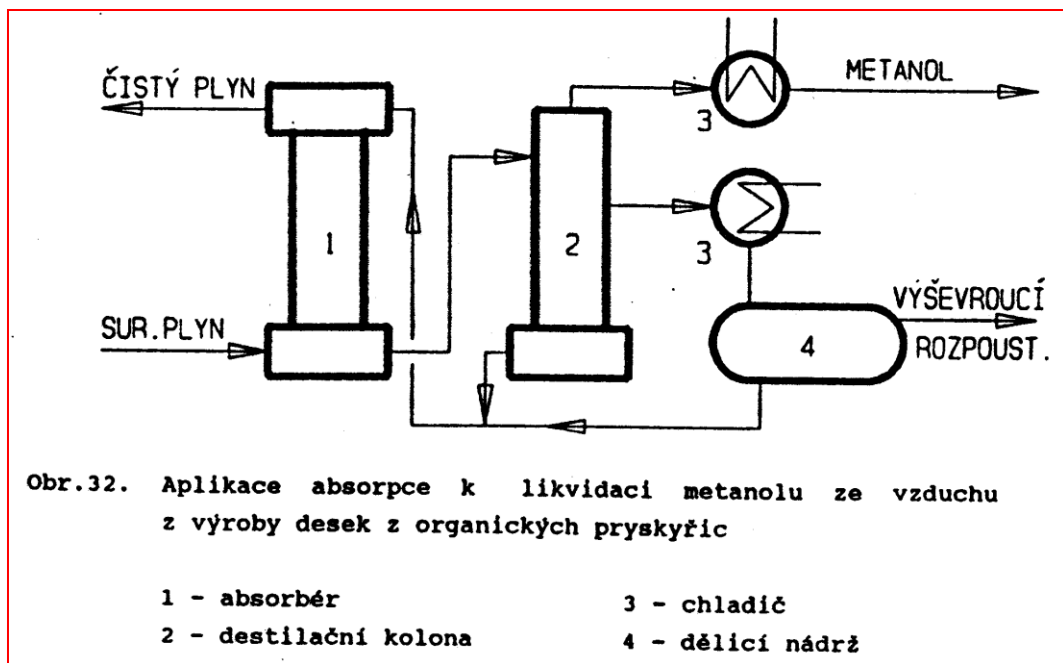
- ↪ **pračky – pro malý výkon**

Absorpce

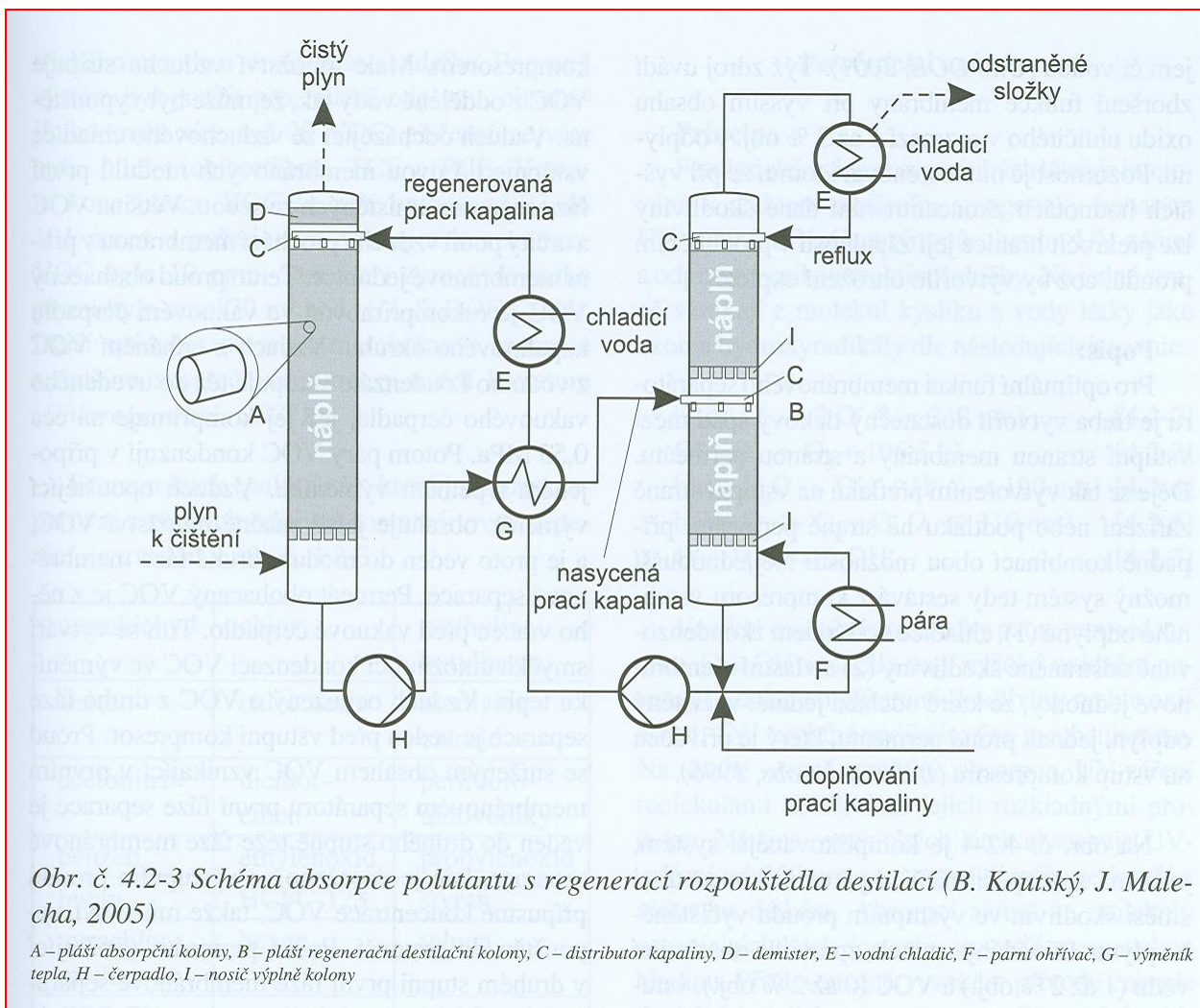
Absorpce:

- ↪ pokud je nežádoucí znovuzískání produktu
- ↪ při vysokých koncentracích
- ↪ nemožnost účinné adsorpce (CO, HCN, HCl)
- ↪ při obsahu zanášejících látek (dehet)

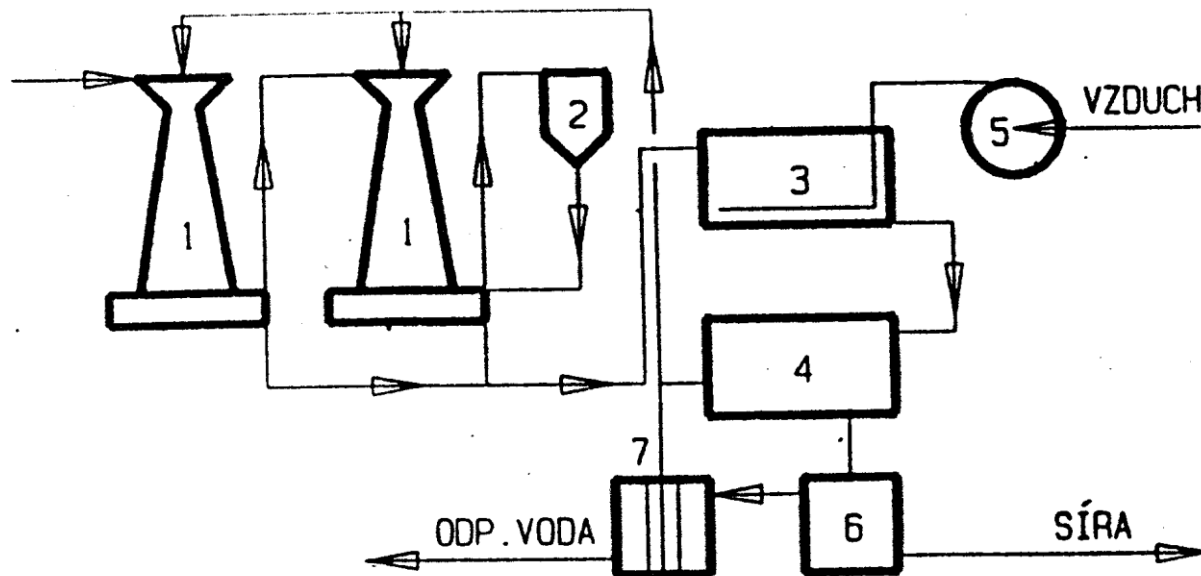
Velké množství CH_3OH ,
zbytky pryskyřice
absorpce regenerace
 CH_3OH – kryje finanční
náklady



Absorpce s regenerací rozpouštědla destilací



Absorpce



Obr.33. Schema absorpční likvidace sulfanu v kyselém plynu

1 - Venturiho pračka

2 - odlučovač kapek

3 - oxidační nádrž

7 - osmotické oddělení solí

4 - usazovací nádrž

5 - dmyhadlo

6 - filtrace

Adsorpce

4.2.6 Adsorpce

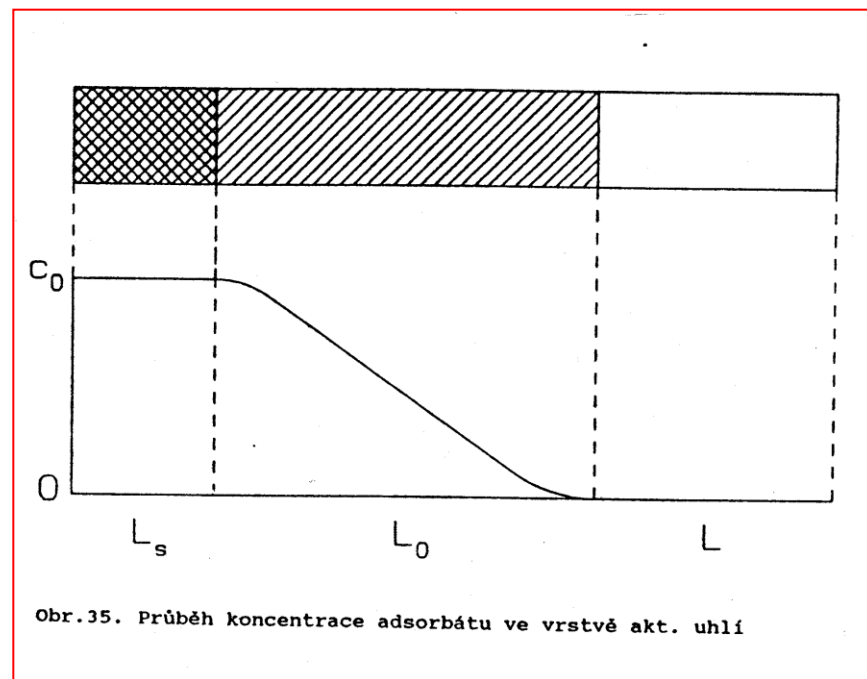
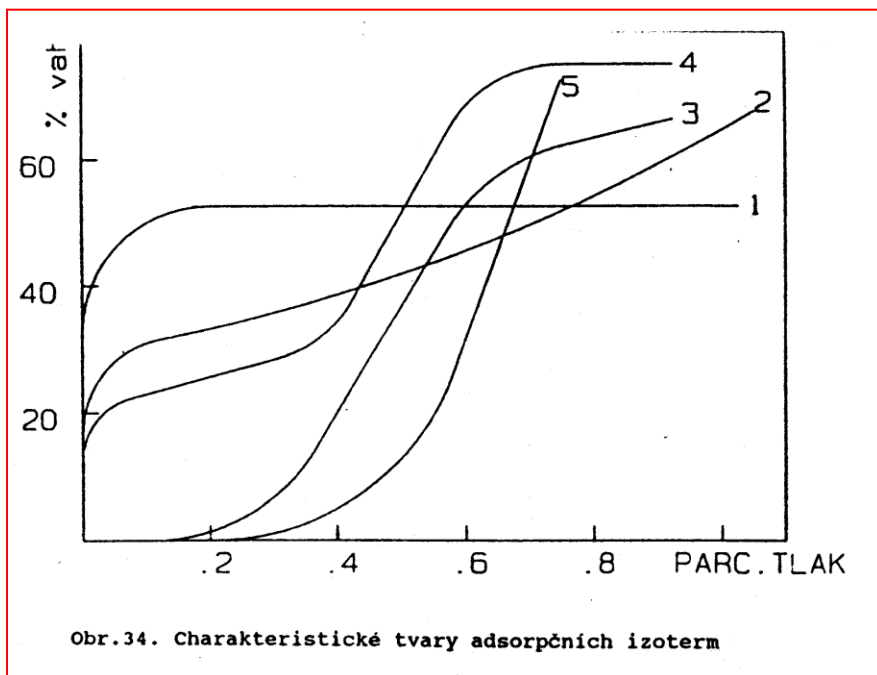
Princip:

Adsorpce je proces, při kterém jsou molekuly polutantu separovány z plynné fáze zachycováním na povrchu fáze pevné. Adsorbující pevná látka je označována jako adsorbent, adsorbovaná látka jako adsorbát. Opačný proces, kdy hmota přechází z pevné látky do fáze plynné, je nazýván desorpce. Desorpce se řídí stejnými zákony jako adsorpce. Síly, které drží adsorbát na povrchu adsorbentu, mohou být jak fyzikální, tak chemické povahy. Vlastní proces je exotermní, tj. uvolňuje se při něm teplo.

Adsorpce

Adsorpce – vázání zachycené látky na povrchu (fyzikální, chemické síly)

Rovnováha = funkce (T, povrchové a chemické vlastnosti sorbentu)



Adsorpce

Použitelnost:

Adsorpcí se odstraňují z plynů, par nebo kapalin některé ze složek, které jsou v nich obsaženy. Adsorpce je používána zejména tehdy, když

- zachycený polutant je vhodný pro opětovné použití;
- koncentrace polutantu je velmi malá;
- polutant nemůže být spalován (např. radioaktivní plyny);
- polutant je jedovatý;
- je to ekonomicky výhodné ve srovnání s ostatními metodami eliminace polutantů z emisních proudů.

Omezení použití:

Předpokladem úspěšné aplikace adsorpce daného polutantu je jeho afinita k použitému adsorbentu. Při nízké afinitě je adsorpční kapacita malá, při příliš vysoké je obtížné adsorbát desorbovat. Druhý případ nevádí, pokud se jedná o jednorázovou neregenerativní adsorpci. Nevhodné je

použití adsorpce v takových případech, kdy zachycovaná látka na povrchu adsorbentu polymerizuje nebo se rozkládá za vzniku nedesorbující látky. Tím dochází k blokování adsorpčního povrchu a snižování adsorpční kapacity. Adsorpce je exotermní, tzn. že se při ní uvolňuje teplo. Tato skutečnost a to, že aktivní uhlí může na svém povrchu katalyticky podporovat oxidaci některých látek, může vést až k tomu, že dojde k zahoření a případně i vyhoření lože aktivního uhlí. K látkám na aktivním uhlí snadno oxidovatelným, které jsou nositeli tohoto ohrožení, patří zejména ketony a terpentýn (U.S. EPA, 1999). Pokud je

Adsorpční zařízení

Adsorpční zařízení

Adsorpční zařízení pro separaci složek z plynné fáze jsou členěna do dvou jednoznačně vymezených oblastí a přechodové fáze podle obsahu separovaných složek. Je-li jejich obsah větší než 10 % hm., jedná se o velkoobjemovou separaci, při obsahu pod 3 % hm. se jedná o čištění plynu. Dále zmíněné procesy velkoobjemové separace budou ze zřejmých důvodů zmíněny pouze stručně, zatímco druhé kategorii bude věnována pozornost podstatně větší.

Pro svoji jednoduchost a robustnost jsou v průmyslu velmi rozšířeny adsorbéry s pevnou vrstvou adsorbentu. Zachycené látky jsou zde zpravidla desorbovány zvýšením teploty nebo snížením tlaku.

Pro velké objemové průtoky čištěného plynu s relativně nízkým obsahem odstraňované složky jsou používány rotační adsorbéry s horizontálně nebo vertikálně situovaným rotorem a s duálním prouděním čištěného plynu. Rotační adsorbéry jsou používány téměř výhradně k zakoncentrovávání odstraňovaných složek před jejich kondenzací nebo spálením. Jsou proto stavěny jako integrální součást zařízení konečného zpracování zachycovaných látek.

Adsorpční zařízení

Adsorbéry s pohyblivou vrstvou adsorbentu jsou např. adsorbéry se sesuvnou vrstvou s křížovým nebo protiproudým tokem plynu, adsorbéry s fluidizující vrstvou nebo adsorbéry s vrstvou v únosu. Příkladem použití adsorbérů s vrstvou v únosu je odstraňování dioxinů a furanů ze spalín ve spalovnách odpadů. Ostatní typy adsorbérů jsou používány spíše pro velkoobjemové separace. Existují i výjimky pro čištění plynů, jako jsou např. technologie firmy Kureha (*Bathen, 2004*), které využívají pohyblivou vrstvu adsorbentu, ve které je však použito speciální kuličkové aktivní uhlí téže firmy (*Bathen, 2004*). Toto aktivní uhlí je charakteristické velkou odolností vůči otěru.

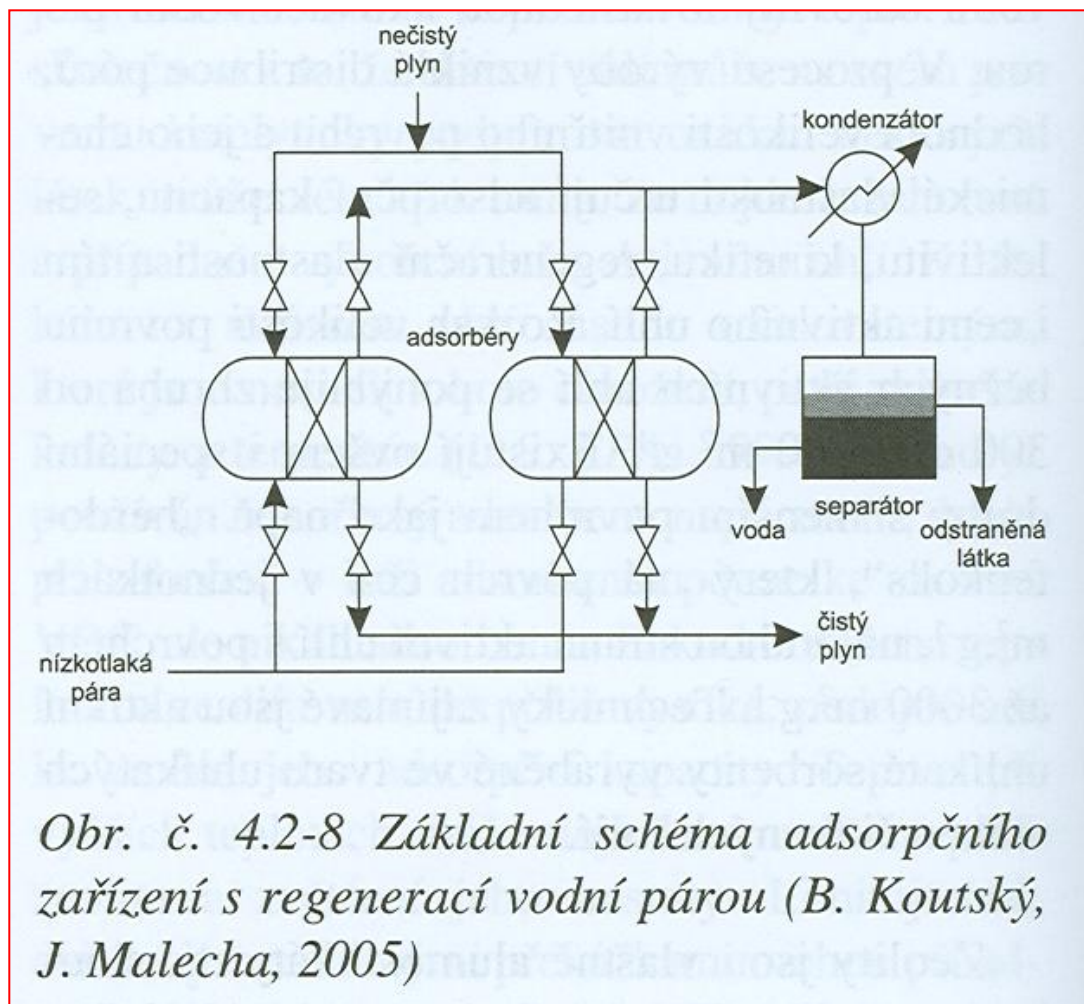
Důležitou součástí adsorpčních technologií je zpracování nasyceného adsorbentu. Obecně jsou rozlišovány tři: regenerace, reaktivace a likvidace. Pod likvidací se ještě skrývají depozice a pro aktivní uhlí navíc spálení. První dva pojmy jsou někdy zaměňovány, ale korektní výklad je

následující. Regenerace je odstranění zachyceného adsorbátu bez jeho destrukce, reaktivace je odstranění zachyceného adsorbátu z povrchu adsorbentu, při kterém za vysokých teplot dochází k destrukci adsorbátu a k reaktivaci aktivního uhlí. Která z uvedených tří možností se použije, je převážně otázka ekonomická, ale často i technicko-ekologická. Nelze např. reaktivovat nebo spalovat aktivní uhlí, na němž byly zachyceny radioaktivní látky. Jiným příkladem je obtížnost nebo praktická neproveditelnost regenerace aktivního uhlí, na němž jsou zachyceny polymerující látky, jako např. styren apod. Naproti tomu, je-li desorbát cennou látkou a nebrání tomu jiné okolnosti, provádí se regenerace adsorbentu.

Adsorpční zařízení

K regeneraci nasyceného adsorbentu, tj. k desorpci adsorbátu, jsou využívány tři základní principy. Při prvním se využívá zvýšení teploty v systému. Je označován zkratkou TSA podle anglického „temperature swing adsorption“. Druhý využívá k témuž účelu poklesu systémového tlaku. Zkratka PSA odpovídá sousloví „pressure swing adsorption“. Třetí vychází z poklesu koncentrace a je označován CSA (composition swing adsorption). V adsorpčních jednotkách může být využita kombinace více principů. Pro systémy s plynnou fází jsou téměř výhradně systémy s TSA a PSA, přičemž pro účely čištění plynů jde zpravidla o TSA. Naproti tomu při adsorpci z vodních roztoků se používá CSA.

Adsorpční zařízení



Obr. č. 4.2-8 Základní schéma adsorpčního zařízení s regenerací vodní párou (B. Koutský, J. Malecha, 2005)

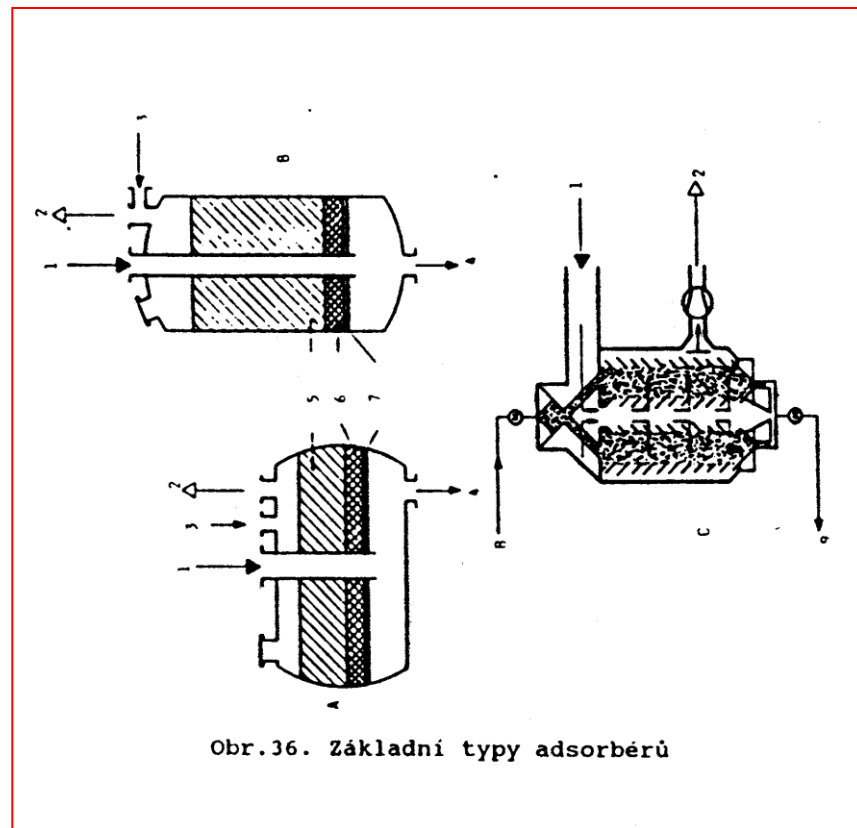
Adsorpce

Regenerace teplem (inertní plyn)

Technické provedení adsorpce –
zrnité adsorbenty v pevném
loži horizontálním či
vertikálním

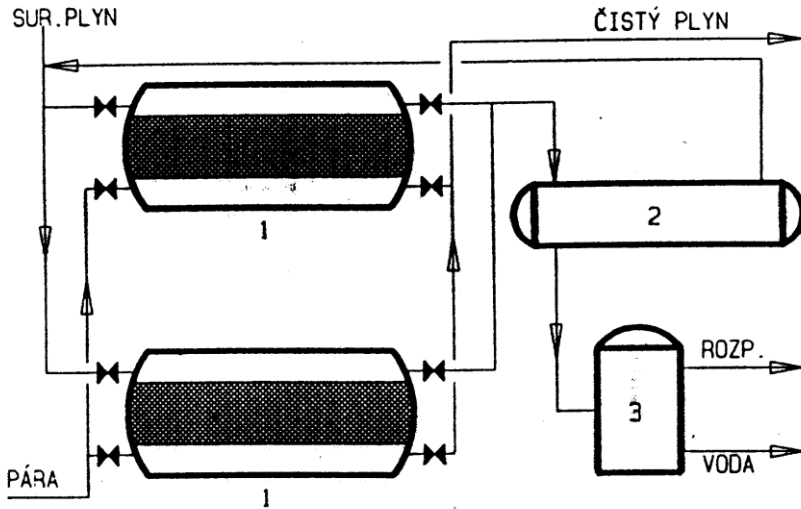
Sorbent – přímo uložen - vrstva
granulátu (rozdělení plynu
do vrstvy sorbentu)

Pro plyny s tuhými příměsemi -
kontinuální adsorpce
v pohyblivém loži - cirkulace
zbavuje plyn prachu a otěru

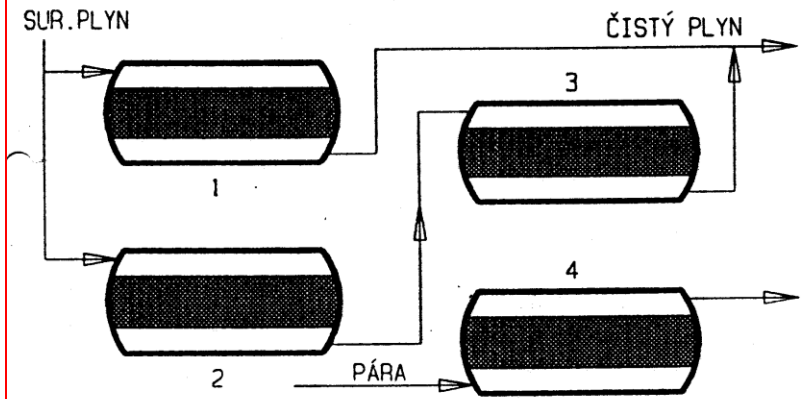


Obr.36. Základní typy adsorbérů

Adsorpce



Obr. 37. Jednoduché adsorpční zařízení pro čištění odplynů z lakoven
1 - adsorbér 2 - kondenzátor 3 - dělicí nádrž



Obr. 38. Schema zapojení čtyř adsorbérů.

- 1 - adsorbér čerstvě regenerovaný
- 2 - adsorbér částečně nasycený
- 3 - adsorbér chlazený po regeneraci
- 4 - adsorbér regenerovaný

Cyklický charakter – adsorpce –
desorpce proto musí být
minimálně dva (ne u pohyblivého
lože)

Adsorpce

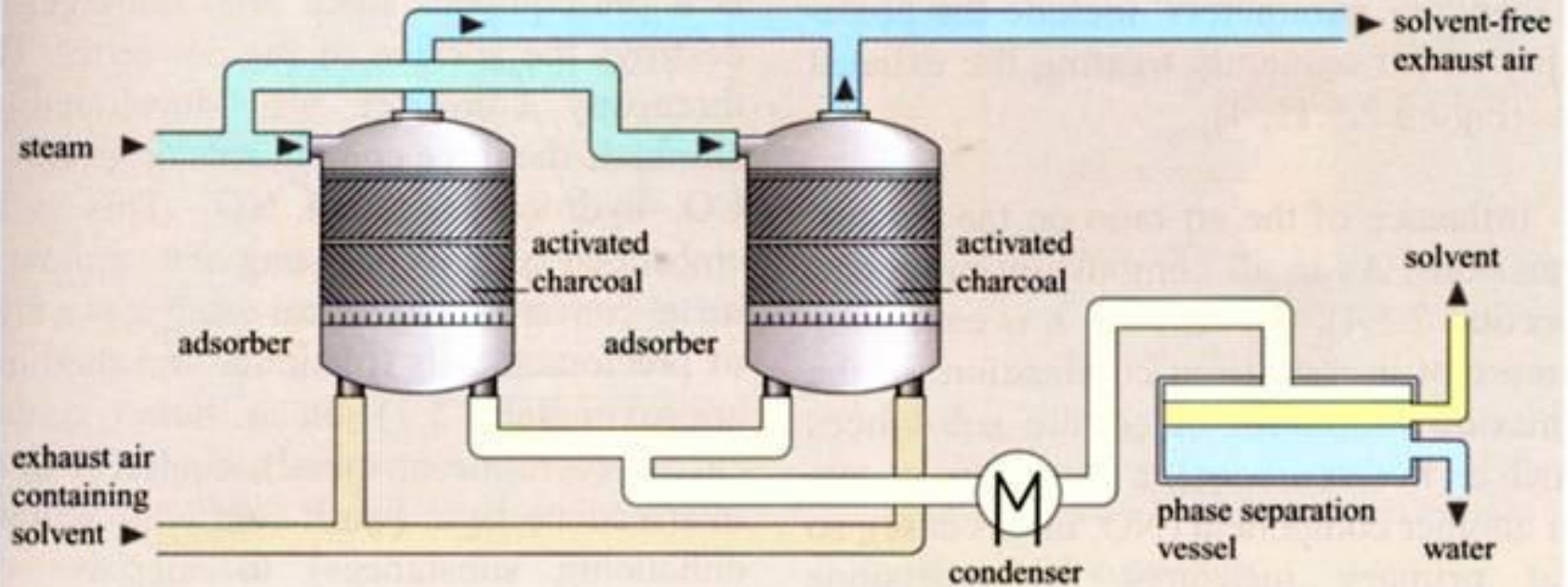


Figure 2.5.9 Adsorption plant for solvent recovery

Membránová separace

4.2.3 Membránové separace

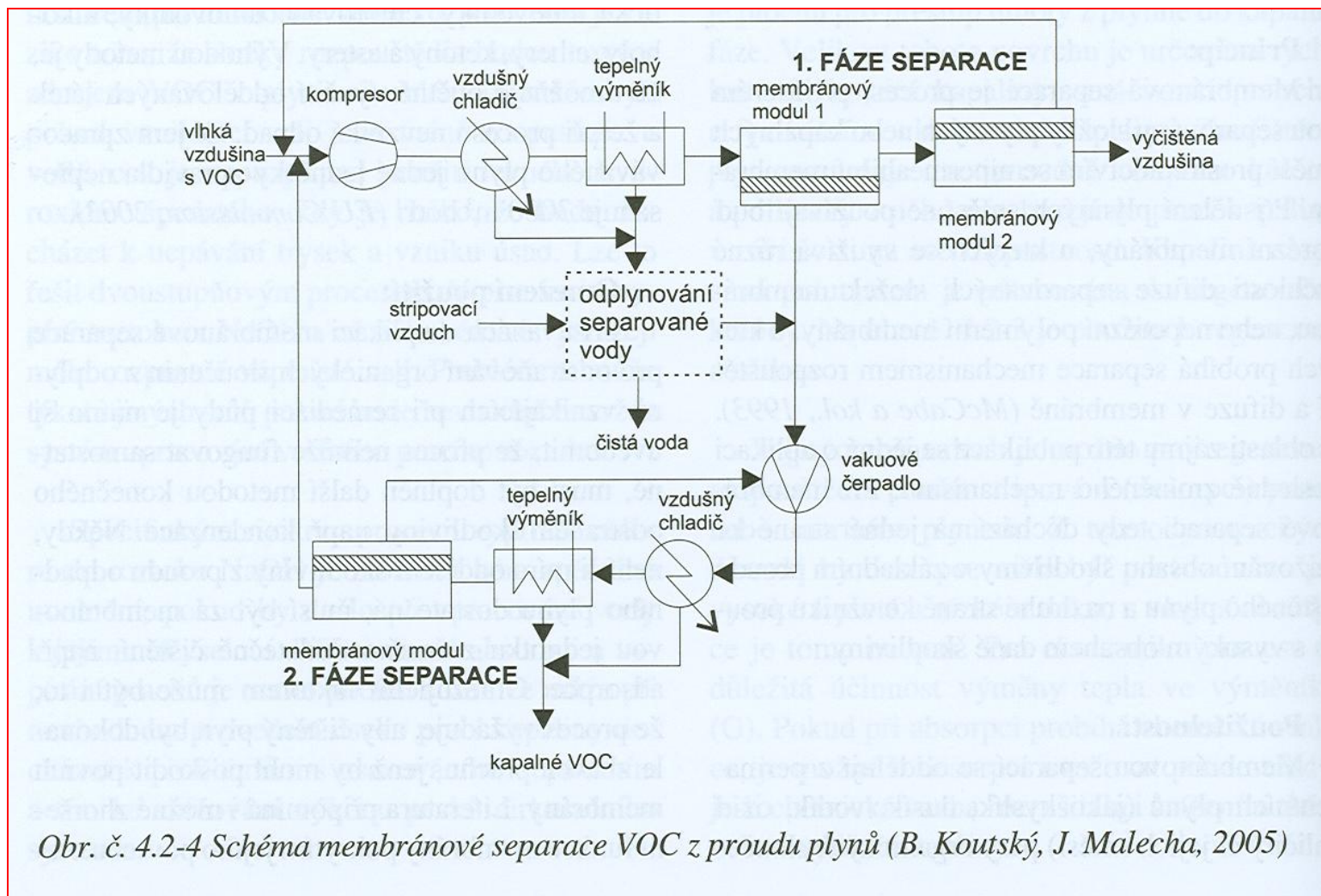
Princip:

Membránová separace je proces, při kterém jsou separovány složky plynných nebo kapalných směsí prostřednictvím semipermeabilní membrány. Při dělení plynných směsí se používají buď porézní membrány, u kterých se využívá různé rychlosti difuze separovaných složek membránou, nebo neporézní polymerní membrány, u kterých probíhá separace mechanismem rozpouštění a difuze v membráně (*McCabe a kol., 1993*). V oblasti zájmu této publikace se jedná o aplikaci posledně zmíněného mechanismu. Při membránové separaci tedy dochází na jedné straně ke snižování obsahu škodliviny v základním proudu čištěného plynu a na druhé straně ke vzniku proudu s vysokým obsahem dané škodliviny.

Použitelnost:

Membránovou separací se oddělují z permanentních plynů (jako kyslík, dusík, vodík, oxid uhličitý či jejich směsi) páry organických sloučenin. Separovat lze hlavně alkany, olefiny, aromatické uhlovodíky, chlorované uhlovodíky, alkoholy, ethery, ketony a estery. Výhodou metody je, že umožňuje opětné využití oddělovaných látek a že při procesu nevzniká odpad. Objem zpracovávaného plynu jedné jednotky zpravidla nepřesahuje $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ (*EU Commission, 2003*).

Membránová separace



Využitelnost membránové separace

acetaldehyd	chlor	methyliso- butylketon
aceton	chloroform	methylen- chlorid
acetonitril	dichlor- ethen	perfluoro- uhlovodíky
benzen	ethylenoxid	propylenoxid
butan	HCFC-123	styren
tetrachlor- methan	hexan	toluen
CFC-11	methanol	trichlorethen
CFC-12	methyl- bromid	vinylchlorid
CFC-113	methyl- chlorid	xyleny

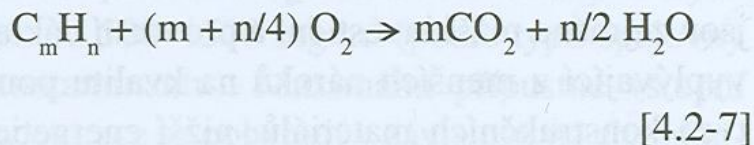
*Tab. č. 4.2-3 Polutanty, které mohou být sepa-
rovány z odplynů prostřednictvím membránové
separace (Simmons a kol., 1994)*

Spalování

4.2.7 Spalování

Princip technologie a definice:

Pro čištění půdního vzduchu a kontaminovaných vzdušin vznikajících při aplikaci řady sanačních postupů lze často s výhodou využít technologii spalování, jejíž princip spočívá v exotermní oxidaci přítomných organických škodlivin vzdušným kyslíkem. Nejběžnější je spalování těkavých nehalogenovaných uhlovodíků, které probíhá obecně podle následující rovnice:



V praxi se uplatňují dvě základní metody spalování kontaminovaných vzdušin: termická oxidace (konvenční spalování); katalytické spalování.

Termická oxidace je proces založený na přímém spalování kontaminovaných vzdušin v plameni vzniklém hořením fosilních a ušlechtilých paliv (zemní plyn, nafta, topný olej apod.). Spalovací proces obvykle probíhá při teplotách 650 až 850 °C. V případě obsahu persistentních škodlivin v čištěných vzdušinách (např. dioxiny, polychlorované bifenoly apod.) může oxidační teplota dosahovat až 1200 °C.

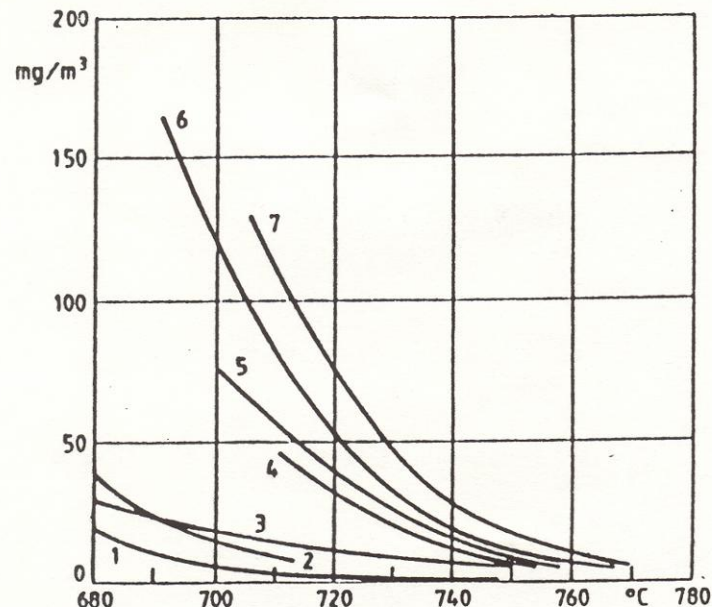
Katalytické spalování je proces, který využívá skutečnosti, že při kontaktu plynů s katalyzátorem dochází k oxidaci přítomných organických škodlivin rychleji a při nižší teplotě než v případě termické oxidace (obvykle 300 až 650 °C). Množství uvolněného tepla a produkty katalytického spalování jsou přitom stejné jako v případě konvenčního spalování (Metry, 1982).

Spalování a katalytická oxidace

Pokud není zachycená látka
využitelná – spalování (600 –
1 000 °C)

Účinnost = funkce (T, doby
zdržení, obsahu kyslíku)

Prakticky – přidávání odpadního
plynu do spalovacího
vzduchu

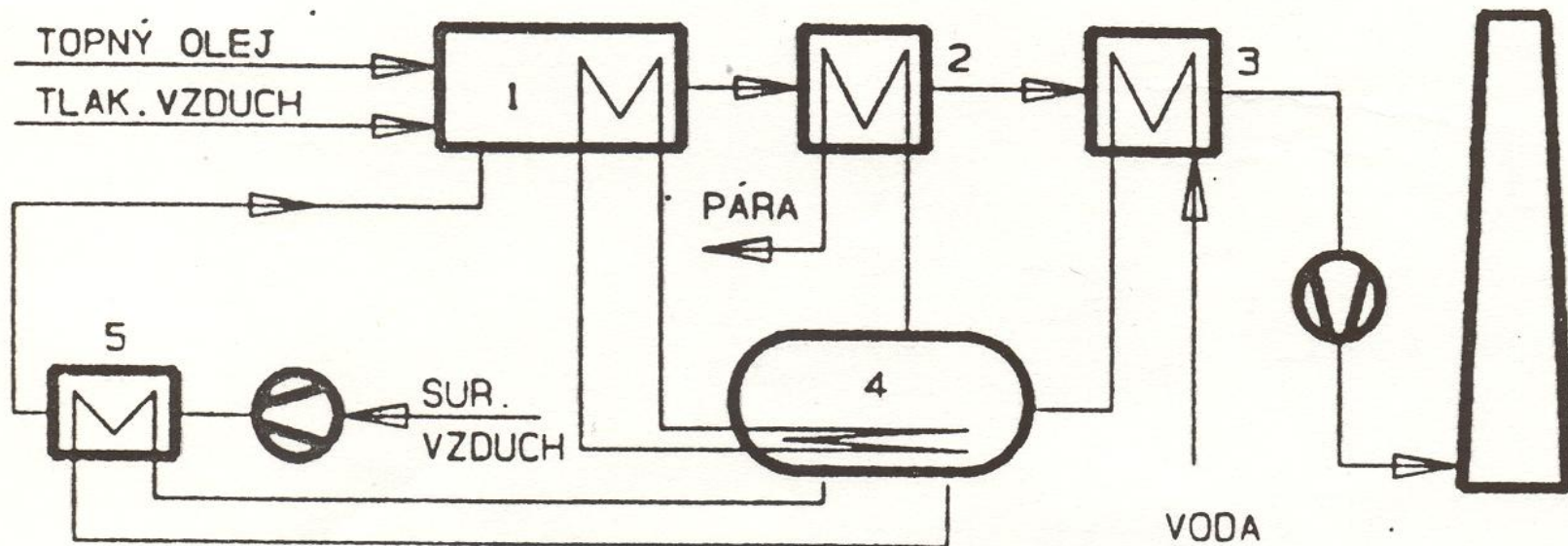


Obr.40. Účinnost spálení některých látek v závislosti na teplotě
(doba zdržení 0.7 s)

Koncentrace v surovém plynu (g/m³):

1 CO	1.25	5 etylacetát	17
2 dioktylfthalát	1.30	6 n-heptan	4.9
3 dimethylformamid	8	7 metylisobutylketon	5
4 metylacetát	9.2		

Spalování a katalytická oxidace



Obr.41. Termické spalování odpadů z výroby laminátů

1 - spal.komora

2 - přehřivač

4 - kotel

3 - ohřivač napájecí vody

5 - předehřivač plynu

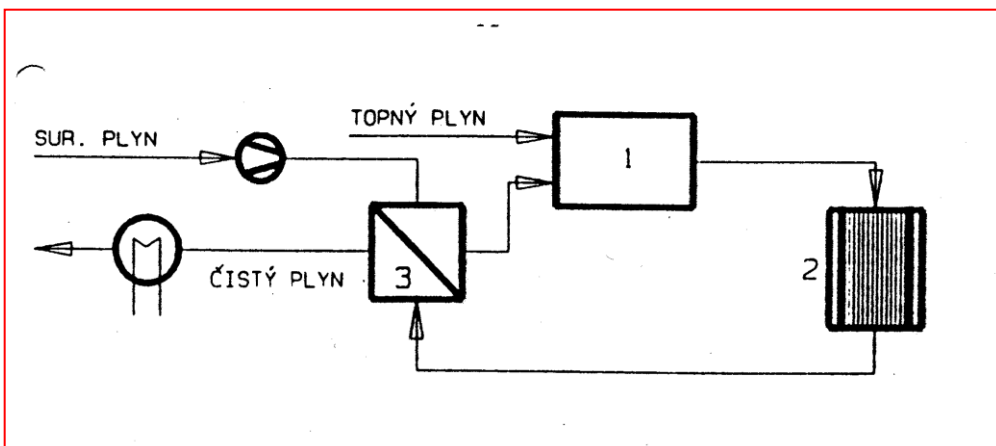
Spalování a katalytická oxidace

Použití katalyzátoru – snížení reakční teploty až o polovinu za současného zvýšení reakční rychlosti – katalyzátory na bázi drahých kovů – účinnější vysoká cena, náchylnost k otravě

Katalyzátory na nosiči (kovy, keramické)

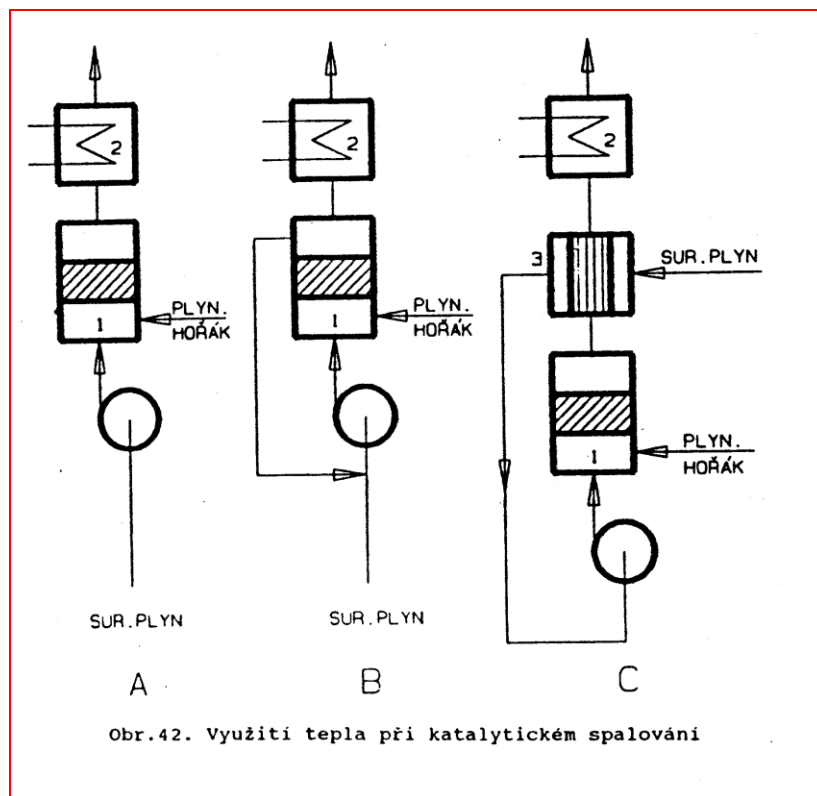
Kat – Pt, Rh, Pd – jejich směsi

T = 200 – 400 °C, jiné kovy – 500 – 900 °C



Obr.43. Typické schéma jednotky katalytického spalování

1 - spal.komora 2 - kat.reaktor 3 - výměník



Obr.42. Využití tepla při katalytickém spalování

Oxidace

Oxidace je nejdůležitějším destrukčním procesem v oblasti čistění plynů.

Pokročilé technologie:

- ↪ Technologie fotolytické oxidace
- ↪ Technologie fotokatalytické oxidace

Vysokoenergetická destrukce

4.2.5 Vysokoenergetická destrukce

Princip:

Vysokoenergetická destrukce (VED) je destrukční proces probíhající v netermální plazmě, která je někdy též nazývána nerovnovážnou nebo „studenou“ plazmou. Plazma může být vytvářena řadou různých způsobů (Chang, 2001). Pro účely této publikace je nejdůležitější aplikace plazmy vznikající výbojem v reaktoru s dielektrickou bariérou.

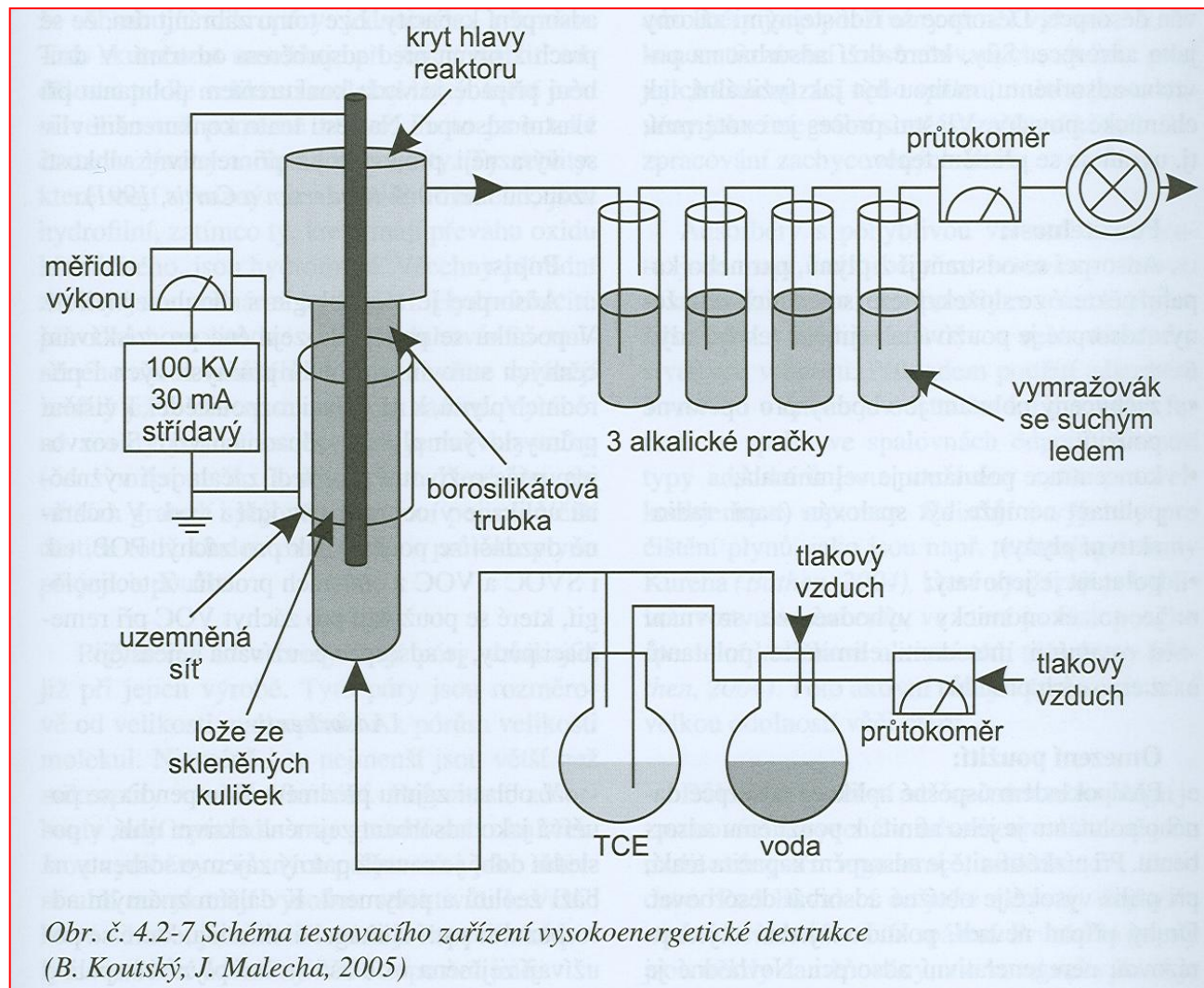
Plazma je vytvářena přiváděním střídavého elektrického proudu nebo pulzujícího stejnosměrného proudu na dvě elektrody, mezi které je vložena zmíněná dielektrická bariéra, která zabrání vzniku termální plazmy. Je-li mezi elektrody přiveden plyn obsahující kyslík nebo vodu, dochází ke vzniku ozonu a velmi reaktivních radikálů (O_3 , O^{\bullet} , OH a O_2H^{\bullet}), které destrukují přítomné organické sloučeniny. Mohou vznikat různé meziprodukty, avšak proces je veden tak, aby konečným produktem byl oxid uhličitý nebo voda. Protože některé produkty destrukce není možné vypouštět do atmosféry (např. HCl), je za plazmovou jednotku zpravidla zařazeno vypírací zařízení.

Použitelnost:

Škodliviny, které mohou být zneškodňovány prostřednictvím technologie VED, jsou reprezentovány zejména VOC a SVOC. Je možné ji aplikovat i na anorganické polutanty, jako jsou oxidy dusíku nebo síry.

Technologie je užitečná zejména pro destrukci organických látek a chlorovaných uhlovodíků, např. TCE, PCE, tetrachlormethanu, TCA, motorové nafty, benzínu (FRTR, 2004), 1,1,1-trichlorethanu (Agnihotri a kol., 2004), benzenu (Cal a Schluep, 2001) apod. Účinnost odstranění může být velmi vysoká, tak např. pro TCE se uvádí destrukční účinnost až 99,9 % a pro PCE mezi 90 až 95 % (CPEO, 2002).

Vysokoenergetická destrukce

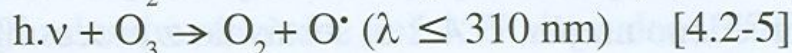
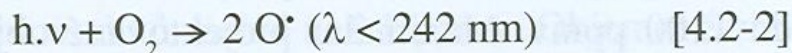


Fotolytická oxidace

Fotolytická oxidace

Princip:

Fotolytická oxidace organických látek je iniciována v reaktoru ozářením energeticky bohatým UV-zářením. Vzájemným působením UV-záření a odplynu vznikají reaktivní složky. Na jedné straně vznikají z molekul kyslíku a vody látky jako ozon a hydroxyradikály dle následujících rovnic.



Vzniklé oxidační prostředky ozon, peroxid vodíku, O^\bullet a OH^\bullet radikály mají vysoký oxidační potenciál a dokážou přítomné škodliviny rychle oxidovat. Děj probíhá radikálovým mechanismem. Na druhé straně probíhá absorpce UV-záření molekulami škodlivin a jejich rozkladnými produkty. Většina organických látek absorbuje UV-záření od 260 nm ve stoupající míře ke kratším vlnovým délkám. Absorpcí záření se molekuly organických látek dostanou na vyšší energetickou hladinu. Při dostatečně vysokém přívodu energie dochází k jejich rozpadu a vzniku reaktivních radikálů. V konečné fázi vedou homogenně probíhající reakce ke tvorbě oxidu uhličitého, vody a příp. dalších složek, jako např. halogenvodíky.

Použitelnost:

FLO, která je někdy též nazývána fotolytická destrukce, je určena zejména pro ropné a pro halogenované uhlovodíky (*NFESC, 1998*). Existuje např. technologie pro zneškodňování 1,2-DCE, TCE, PCE a toluenu (*U.S. EPA, 1998a*).

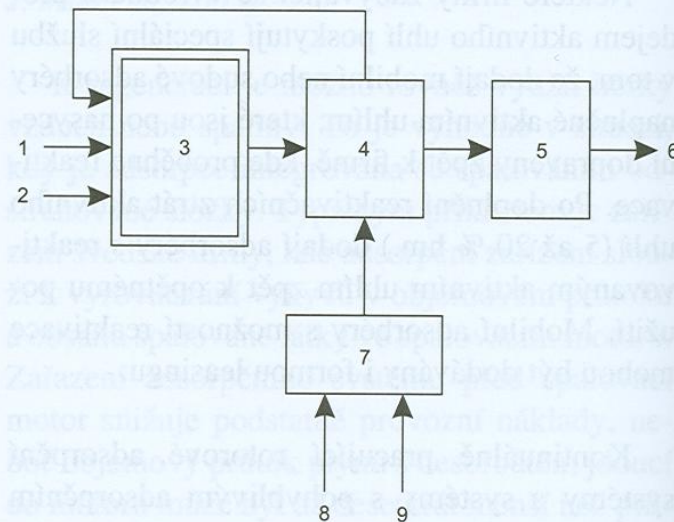
Termická oxidace/spalování

Popis:

Termická oxidace

Typické zařízení určené k termické oxidaci kontaminovaných vzdušin je znázorněno na obr. č. 4.2-9. Sestává z ventilátoru zajišťujícího proudění vzdušin technologickým systémem, spalovací komory se žáruvzdornou vyzdívkou a jedním nebo více hořáky, ventilátoru pro dodávání vzduchu do hořáku, výměníku tepla a komínu pro vypouštění spalin. Vzhledem k tomu, že provoz systému vyžaduje spalování přídavného paliva, je třeba vybudovat také potřebné přípojky a zázemí (zásobníky kapalných paliv, redukční stanice plynu apod.).

Kontaminované vzdušiny vstupující do systému jsou nejdříve naředěny přídavným vzduchem tak, aby koncentrace organických škodlivin byla pod úroveň odpovídající 25 % jejich dolní meze výbušnosti, poté přehřátý ve výměníku tepla a vháněny do spalovací komory, kde dochází k termické destrukci kontaminantů. V případě spalování halogenovaných sloučenin musí být do systému zařazen také stupeň čištění spalin (mokrý/alkalická vypírka, sorpce apod.). Při čištění kontaminovaných vzdušin metodou termické oxidace je běžně dosahováno účinnosti vyšší než 99,9 % (Metry, 1982).



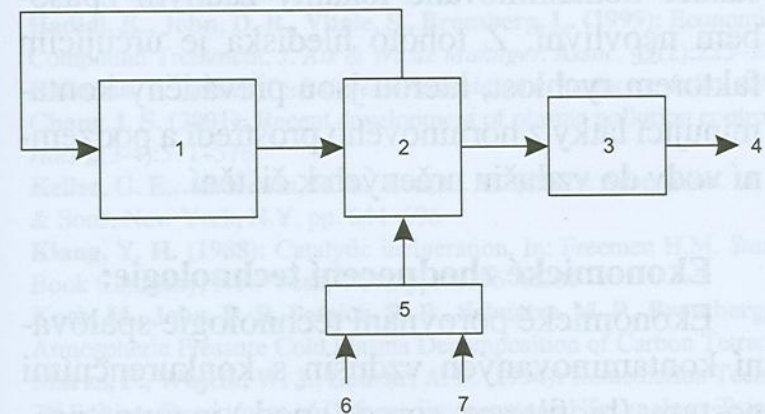
Obr. č. 4.2-9 Technologické schéma termické oxidace (R. Raschman, 2005)

1 – vzduch, 2 – palivo, 3 – spalovací komora s hořákem, 4 – tepelný výměník, 5 – čištění emisí, 6 – výstup do atmosféry, 7 – ventilátor, 8 – kontaminovaná vzdušina, 9 – přídavný vzduch

Termická oxidace/katalytické spalování

Katalytické spalování

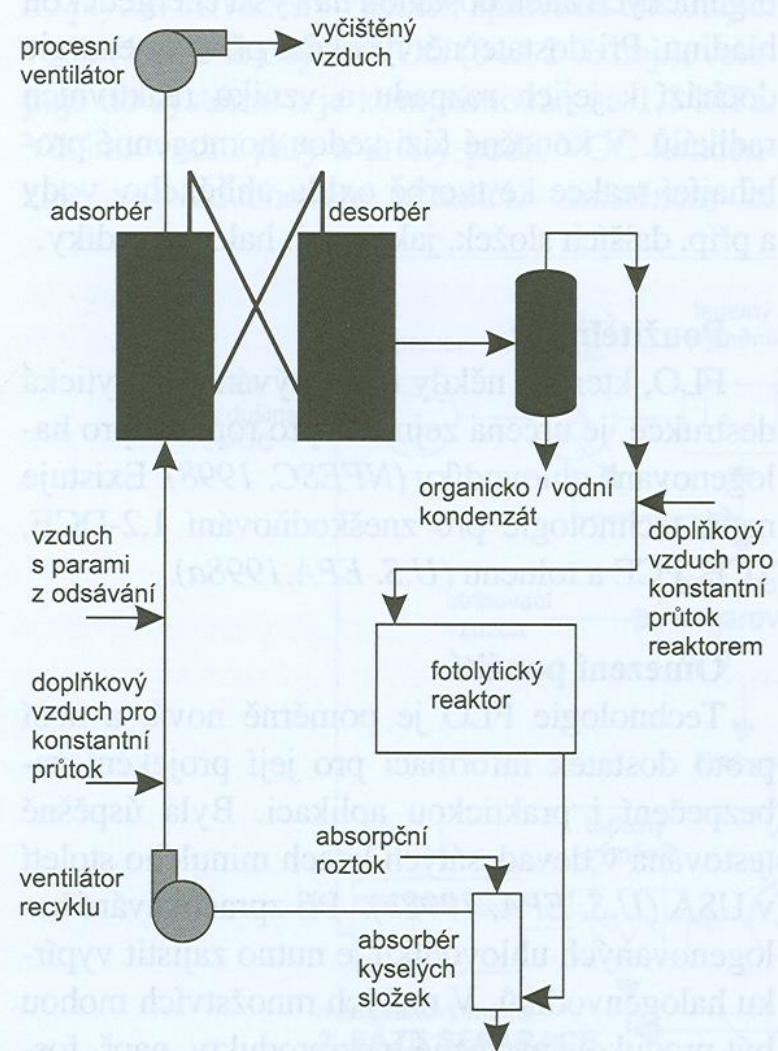
V případě katalytického spalování je rychlost oxidační reakce zvýšena adsorpcí molekul plynů vstupujících do reakce na aktivním povrchu katalyzátoru. Většina katalytických oxidačních reakcí je velmi rychlá a obvykle probíhá na vnějším povrchu katalyzátoru. Velmi velký vnitřní povrch katalyzátoru proto významně nelepšuje parametry spalovacího procesu.



Obr. č. 4.2-10 Technologické schéma katalytického spalování (R. Raschman, 2005)

1 – katalytická spalovací jednotka, 2 – tepelný výměník/topný systém, 3 – kontrola emisí, 4 – výstup do atmosféry, 5 – ventilátor, 6 – kontaminovaná vzdušina, 7 – přídavný vzduch

Fotolytická oxidace



Obr. č. 4.2-5 Schéma fotolytické oxidace par VOC odsávaných z půdy (B. Koutský, J. Malecha, 2005)

Fotokatalytická oxidace

Princip:

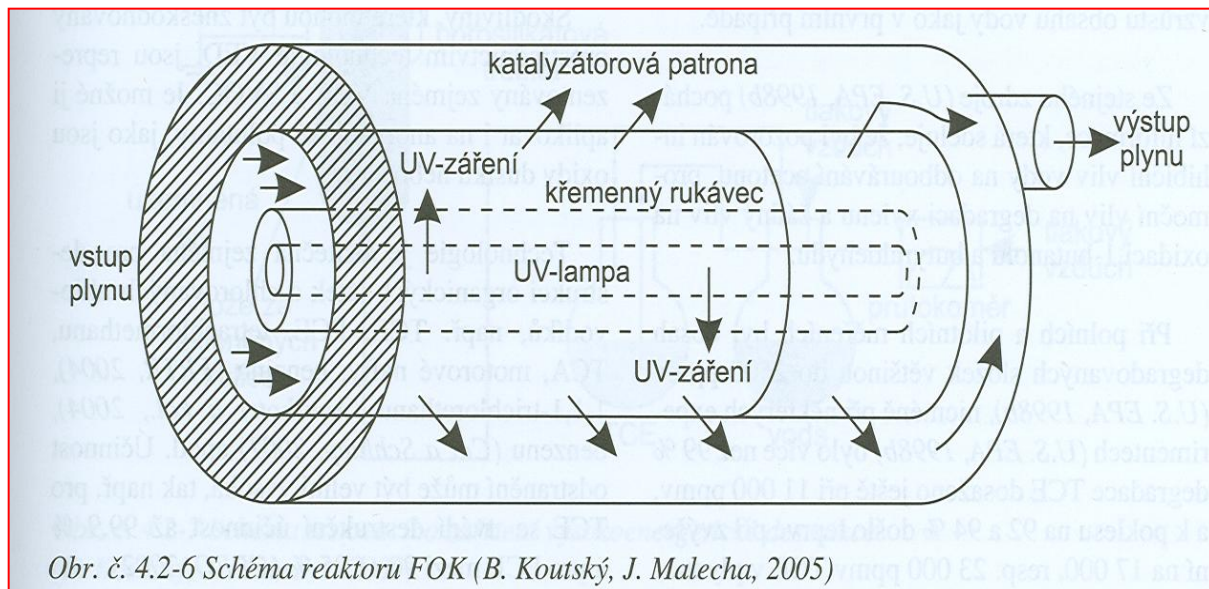
FKO je proces, který využívá UV-zářeni a polovodičového katalyzátoru k tvorbě vysoce reaktivních radikálů, jako jsou hydroxylový radikál (OH^{\bullet}), peroxy (HO_2^{\bullet}) nebo superoxid ($\text{O}_2^{\bullet-}$). Z nich je nejreaktivnější hydroxylový radikál OH^{\bullet} , který reaguje prakticky s jakoukoli organickou látkou, a to o několik řádů rychleji než běžné oxidanty typu ozonu nebo peroxidu vodíku. Proces probíhá podobným mechanismem, jak bylo popsáno výše u FLO, je však díky působení katalyzátorů podstatně intenzivnější.

Použitelnost:

FKO je použitelná nejen pro ropné a pro halogenované uhlovodíky, ale i pro další látky, jako jsou alkoholy, ketony, pachové látky (Völker, 2003), nitroglycerin (U.S. ACE, 1999) apod.

Omezení použití:

I když je FKO používána podstatně více než FLO, není stále dostatek spolehlivých podkladů pro projektování. Při zpracovávání halogenovaných uhlovodíků je nutno zajistit vypírku halogenvodíků. V případě přidávání chemických oxidantů pro zvýšení výkonu mohou tyto v případě nadměrného množství působit jako likvidátory radikálů.



Základní charakteristiky tradičních metod čištění odpadních plynů

Technologie	Vstupní koncentrace [ppmv]	Účinnost [%]	Výhody	Nevýhody
absorpce	250 1000 50 000	90 95 98	zvláště vhodná pro anorganické kyselé plyny	omezená použitelnost
adsorpce	200 1000 5000	50 90–95 98	nízké kapitálové nároky; vhodná pro rekuperaci rozpouštědel	omezení z důvodů vlhkosti plynu a teploty
termická oxidace	20 100	95 99	vysoká účinnost odstranění; rozsáhlá aplikovatelnost; zpětné získávání energie možné	nelze rekuperovat organické látky; nákladově náročná
katalytická oxidace	50 100	90 >95	vysoká účinnost odstranění; může být méně nákladná než termická oxidace	nelze rekuperovat organické látky; nebezpečí otravy katalyzátorů
spalování na fléře		>98	vysoká účinnost odstranění	nelze rekuperovat organické látky; pro velké emise

Tab. č. 4.2-1 Základní charakteristika tradičních metod čištění odpadních plynů
(Schnelle a Brown, 2002)

Biologické postupy

- ↪ **Likvidace škodlivin** ve vodné fázi působením mikroorganismů
- ↪ Škodliviny musí být převoditelné do roztoku
- ↪ Biologicky nezávadné produkty, nízké investiční a provozní náklady
- ↪ **Biologické filtry**
- ↪ **Biologické pračky**

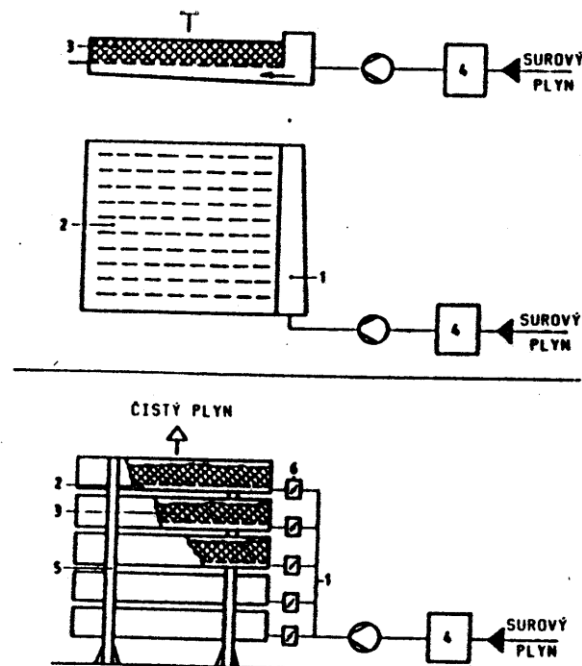
Biologické postupy

Biologické filtry - nosičem mikroorganismů

Pevná fáze – kompost, rašelina, stromová kůra

Adsorpce spojená s biologickým odbouráním zachycených škodlivin mikroorganismy

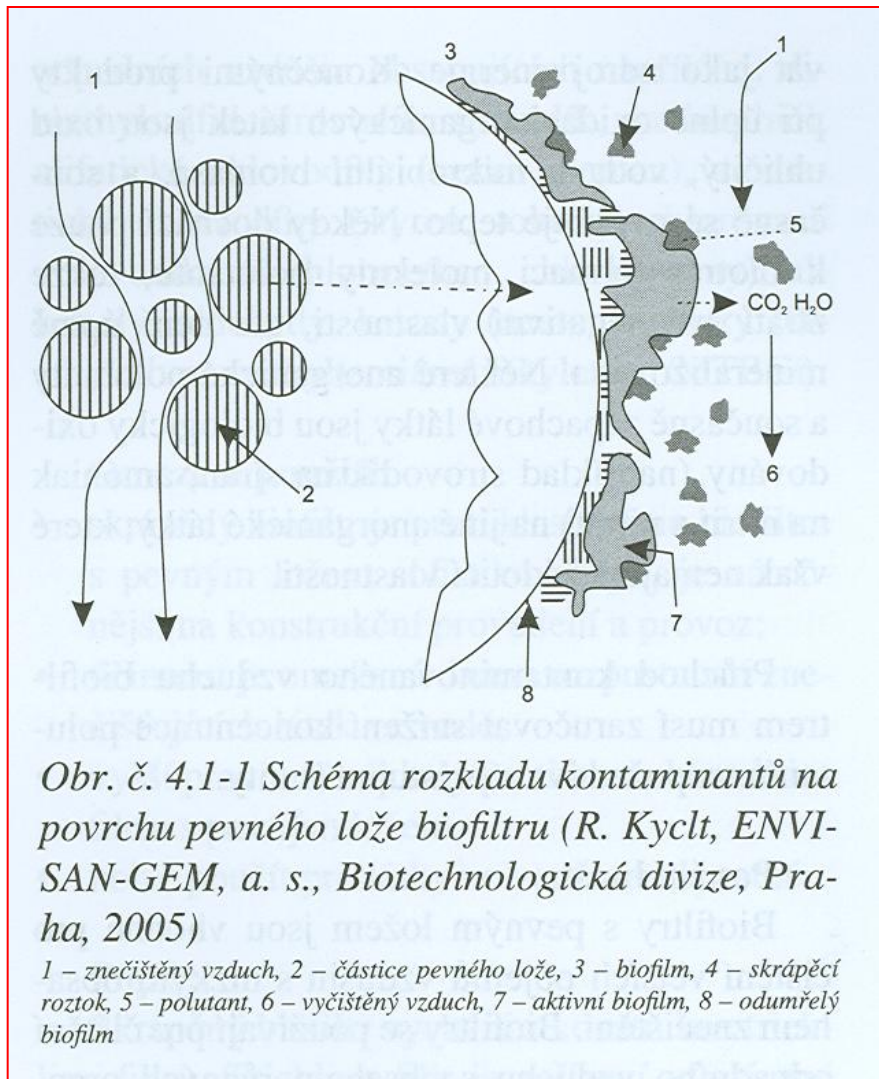
Pro likvidaci organických zápachů účinnost 90 - 90° C



Obr.44. Plošné a etážové provedení biofiltru

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1 - rozdělovací kanál | 4 - vlhčení plynu |
| 2 - rošt | 5 - nosná konstrukce |
| 3 - filtr. vrstva | 6 - regulační klapky |

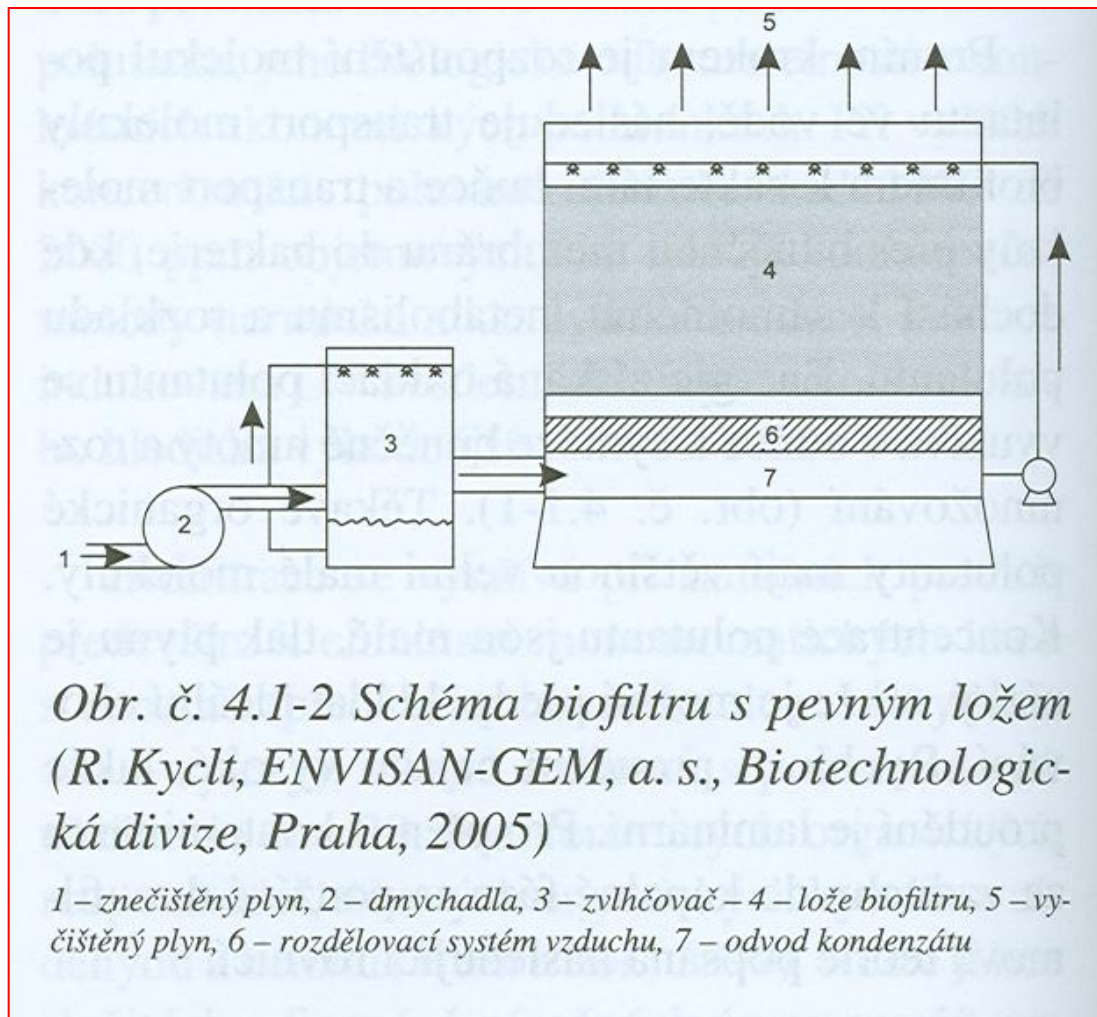
Biologické postupy



Obr. č. 4.1-1 Schéma rozkladu kontaminantů na povrchu pevného lože biofiltru (R. Kycłt, ENVI-SAN-GEM, a. s., Biotechnologická divize, Praha, 2005)

1 – znečištěný vzduch, 2 – částice pevného lože, 3 – biofilm, 4 – skrápěcí roztok, 5 – polutant, 6 – vyčištěný vzduch, 7 – aktivní biofilm, 8 – odumřelý biofilm

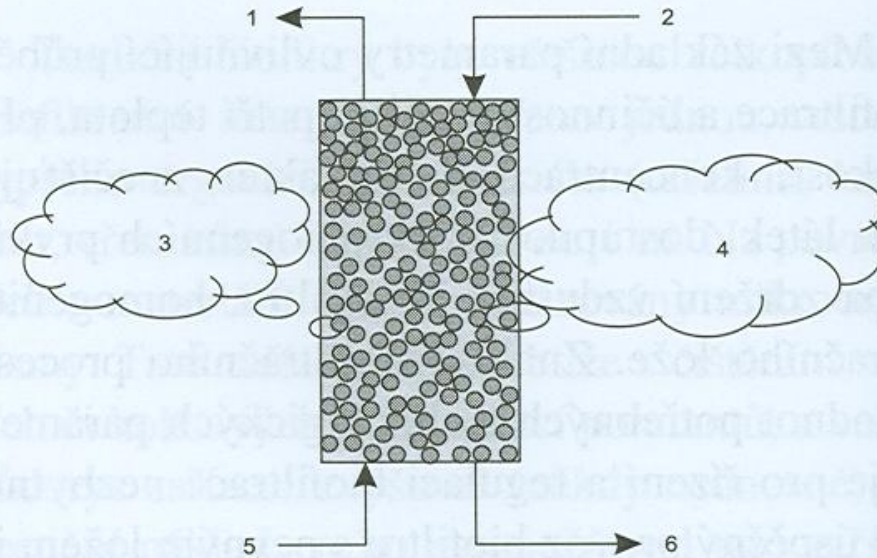
Biologické postupy



*Obr. č. 4.1-2 Schéma biofiltru s pevným ložem
(R. Kycłt, ENVISAN-GEM, a. s., Biotechnologická divize, Praha, 2005)*

1 – znečištěný plyn, 2 – dmychadla, 3 – zvlhčovač – 4 – lože biofiltru, 5 – vyčištěný plyn, 6 – rozdělovací systém vzduchu, 7 – odvod kondenzátu

Biologické postupy



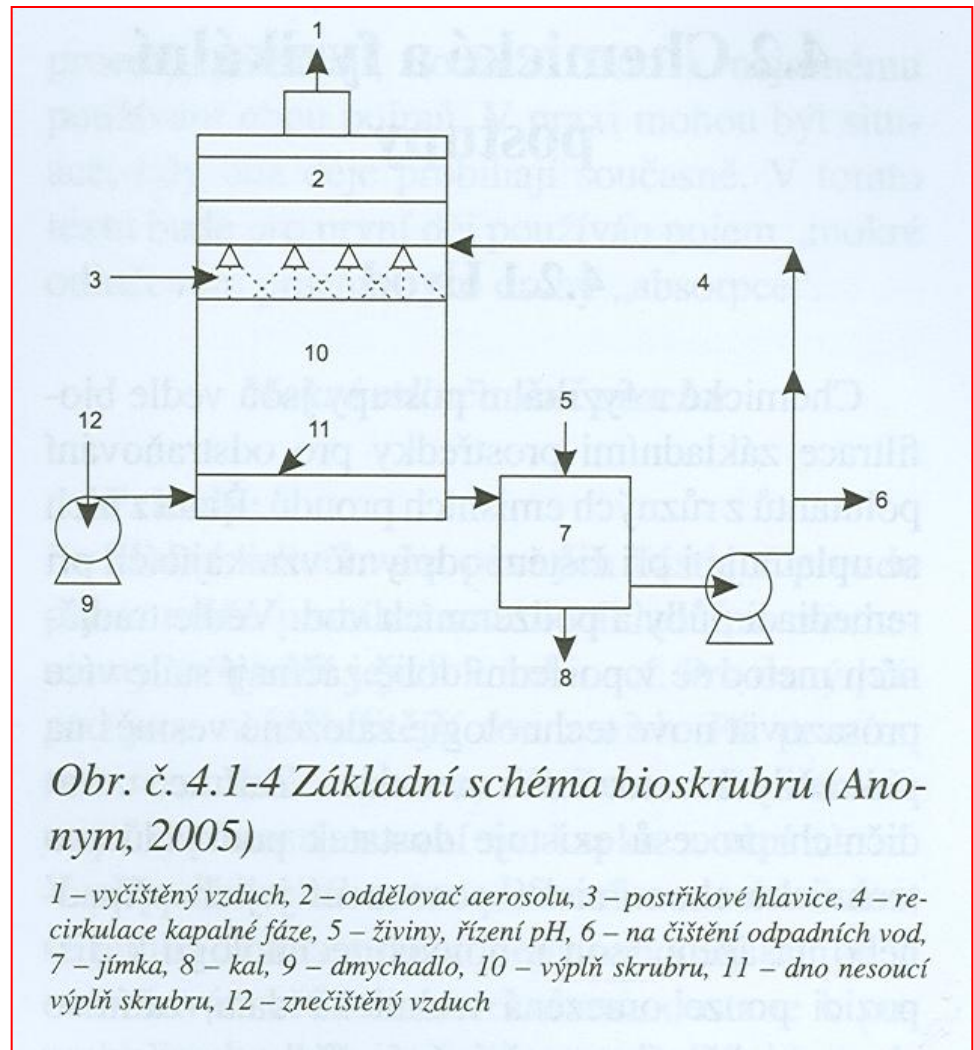
Obr. č. 4.1-3 Schéma skrápěného biofiltru
(R. Kyclet, ENVISAN-GEM, a. s., Biotechnologická divize, Praha, 2005)

1 – čistý vzduch, 2 – voda a makrobiotické prvky, 3 – biologické reakce,
4 – náplň biofiltru, na které se vytváří biofilm, 5 – vzduch s polutanty,
6 – voda a oxidační produkty

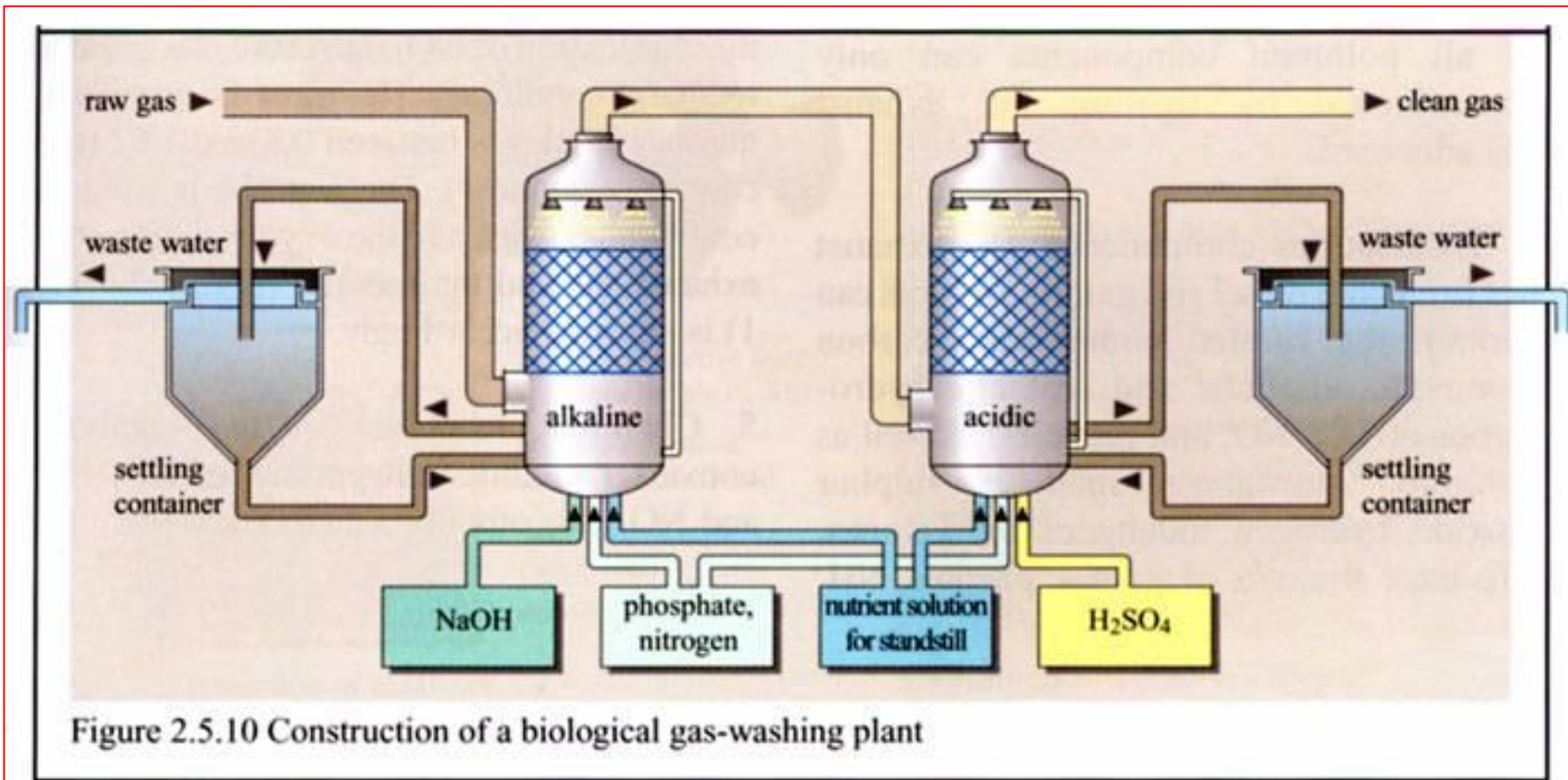
Biologické postupy

Biologické pračky – škodliviny jsou převáděny do roztoku ve sprchových nebo výplňových pračkách a současně jsou odbourávány mikroorganismy přežívajícími v roztoku

Absorbéry – výplňové, bublinové, pátrové, sprchové



Biologické postupy



Exhalace v dopravě

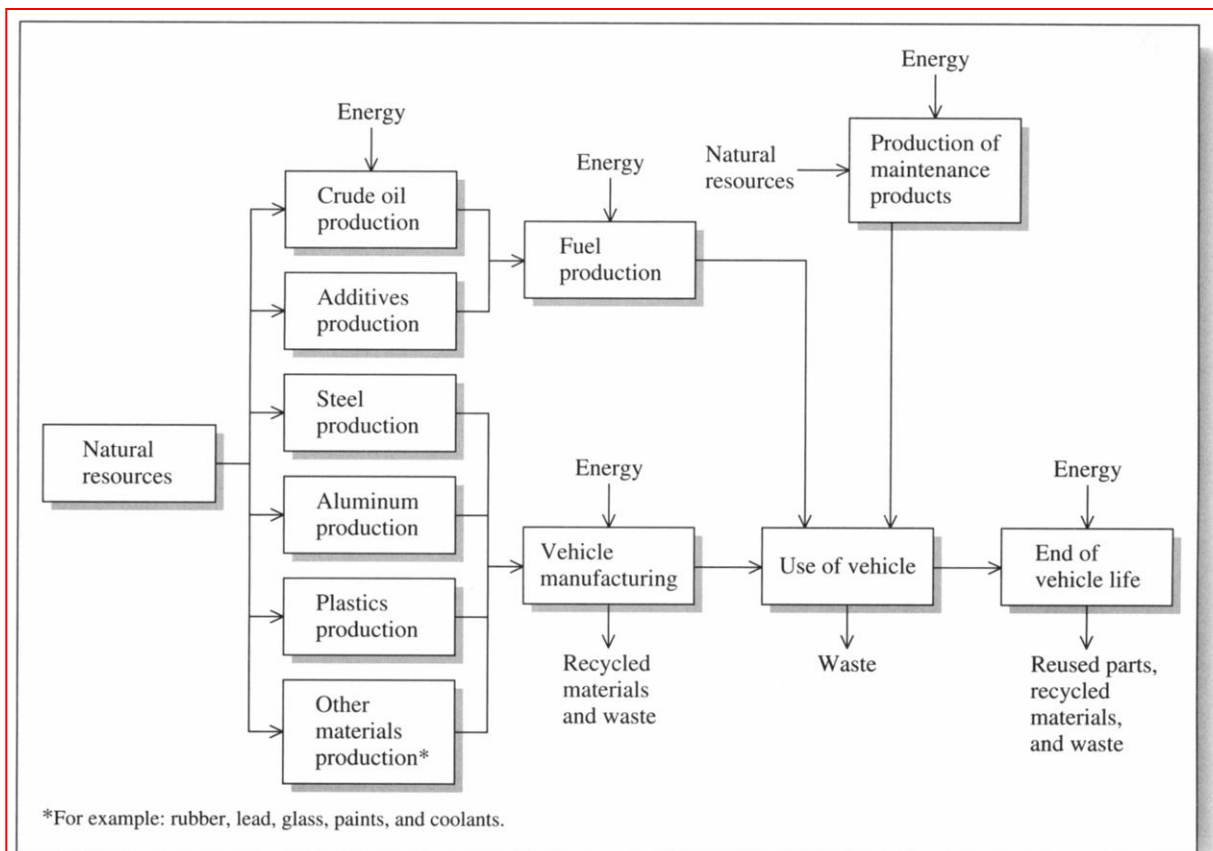


Figure 10-12

Important input and output components in life cycle assessments of motor vehicles. (Source: M. Freemantle. Total life-cycle analysis harnessed to generate "greener" automobiles. *Chemical & Engineering News* November 27, 1995: 25.)

Exhalace v dopravě

Automobilová doprava – dominantní 70 %

Největší znečišťovatel ~ 3 mld automobilů

1 vozidlo ~ 12 t škodlivin ročně

~ 700 kg CO

100 kg HCs

35 kg NO_x

PAHs, Pb, RCHO

Exhalace v dopravě

Zážehové motory – směs paliva a vzduchu je nejprve ve válci stlačena a pak zapálena elektrickou jiskrou:

- ↪ **karburační** – směs se připravuje při plnění válce
- ↪ **vstřikovací** – palivo se vstřikuje do komprimovaného vzduchu ve válci na začátku komprese

14,5 – 15 kg na 1 kg paliva

Nedokonalé spalování \Rightarrow RH, CO

Oxidace \Rightarrow RCHO, NO_x

Vysoká T, p \Rightarrow PAHs

Exhalace v dopravě

Vznětové motory - nemají karburátor ani elektrickou iniciaci – zapálení paliva – vstřikování do stlačeného vzduchu, jehož teplota kompresí dosáhla meze zápalnosti.

Nutný vysoký přebytek vzduchu:

~ 20% - tvorba sazí

~ 60% - dokonalejší spalování – více NO_x

Exhalace v dopravě

Vliv konstrukce motoru na obsah škodlivin ve výfukových plynech

Zážehové motory:

- ↪ úprava motoru
- ↪ snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech - lze kombinovat
- ↪ opatření týkající se změn ve složení paliva

Úprava motoru:

1. úpravy vedoucí ke zlepšení přípravy palivové směsi
2. zdokonalení zapalování
3. recirkulace výfukových plynů
4. snížení tolerancí ve spalovací části motoru
5. přechod na chudé směsi

Exhalace v dopravě

1. **Úpravy karburátoru nebo zavedení vstřikování paliva** ⇒ zlepšení přípravy palivové směsi ⇒ snížení emise RH, CO o 20-50%
2. **Optimalizace zapalování** ⇒ snížení emisí NO_x o 20% (při zvýšení spotřeby max. o 3%)
3. **Zpětné zavedení spalin do sání** ⇒ snížení CO₂ ve směsi ⇒ snížení T ⇒ snížení tvorby NO_x ⇒ recyklace 10 – 15% ⇒ NO_x o 30 – 50% ⇒ recyklace > 15% ⇒ zvýšení spotřeby emise RH a zhoršení jízdních vlastností

Exhalace v dopravě

4. **Snížení tolerancí ve spalovací části motoru** ⇒ snížení emise RH, CO
5. **Přechod na chudé směsi** ⇒ přebytek vzduchu ⇒ poměr skutečného vzduchu ke stechiometrii = 1,4 – 1,6 ⇒ podstatné snížení NO_x ⇒ zvýšení emise RH ⇒ zhoršení jízdních vlastností

Exhalace v dopravě

Vznětové motory

Emise škodlivin = funkce (konstrukce spalovací komory)

- ↪ osobní - motory s tlakovou předkomůrkou
- ↪ nákladní – přímý vstřik paliva do válce ⇒ nižší spotřeba, vyšší emise, hlučnost

Turbomotory – přeplňovaný vznětový motor

Spalovací vzduch je vháněn pod tlakem pomocí turbodmýchadla hnaného energií výfukových plynů

Příznivější spotřeba snížení emisí

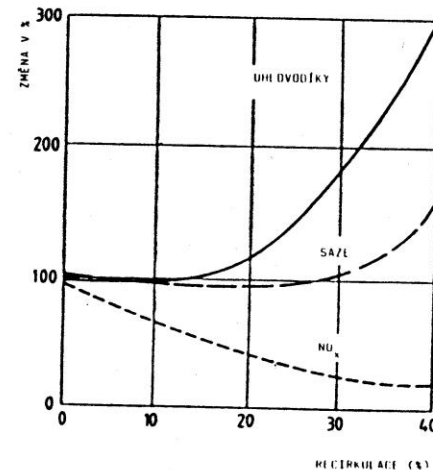
Exhalace v dopravě

Další snížení ⇒ změny konstrukce motoru

Motory s předkomůrkou ⇒ snížení NO_x ⇒ recirkulace části spalin

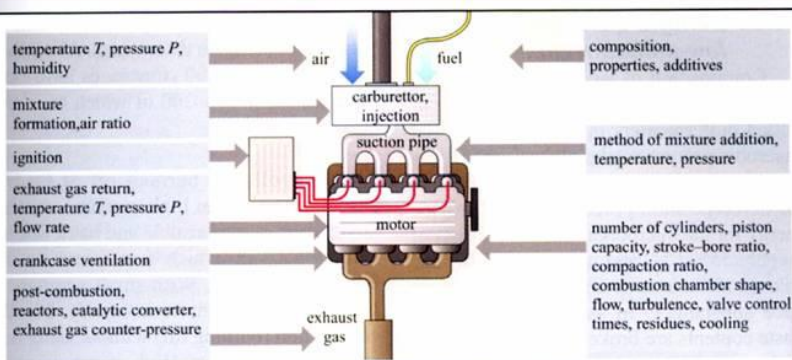
Omezení ⇒ nárůst emisí HCs, sazí

Katalytická oxidace NO_x u
vznětových motorů – nelze -
vysoký obsah O_2 ve výfukových
plynech - vysoký obsah tuhých
úletů

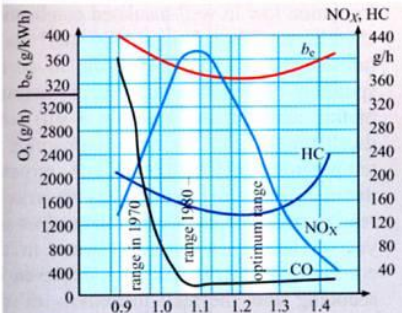


Obr.29. Vliv recirkulace výfukových plynů na jejich složení

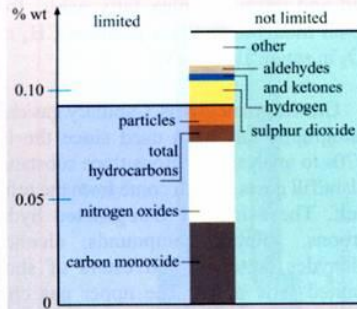
Exhalace v dopravě



1. Parameters influencing exhaust gas composition

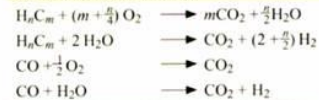


2. Air ratio and exhaust gas emissions with combustion engines

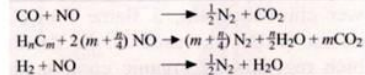


3. Exhaust gas components

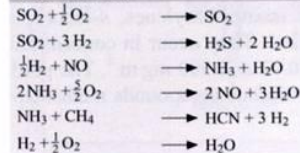
HC and CO conversion



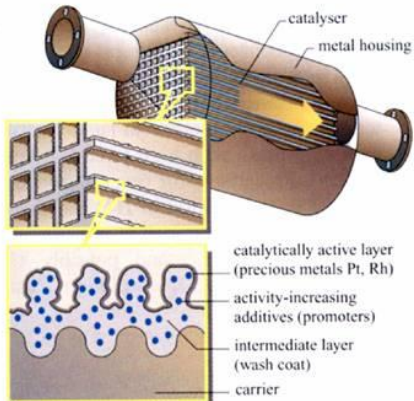
NO_x conversion



other reactions



5. Chemical reactions in catalyser



4. Construction of catalyser

Figure 2.5.11 Automobile exhaust and its cleaning

Exhalace v dopravě

Opatření na straně výfukových plynů

Zážehové motory

Termická následná oxidace – prodloužení prodlevy plynů ve výfukovém systému při co nejvyšší T přítomnosti přebytku $O_2 \Rightarrow$ snížení CO, HCs \Rightarrow obtížné zachování dostatečně vysoké T \Rightarrow nízká účinnost – 30 – 50%

Již se nepoužívá

Exhalace v dopravě

Katalytická likvidace škodlivin

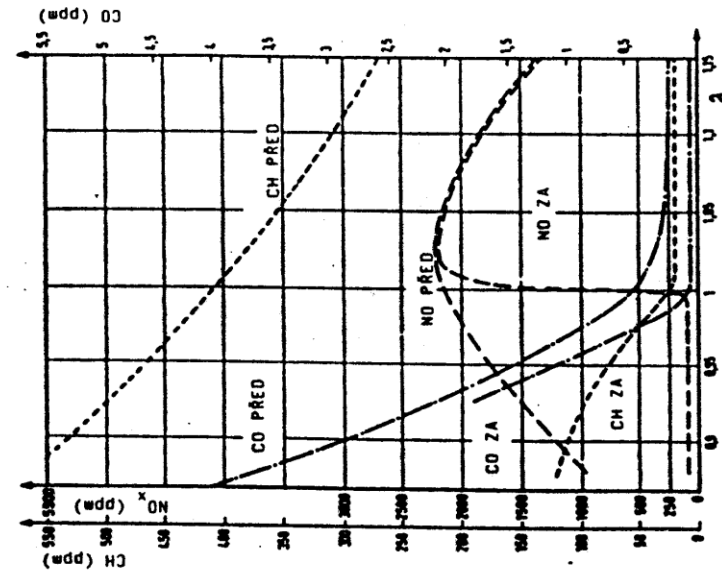
Dopálení CO, RH, NO_x
Redukce NO_x pomocí RH, CO
+ oxidace zbytku kyslíkem
Může být spojeno v jeden
Třícestný katalyzátor

λ = poměr palivo/vzduch
regulace pomocí 1 -
sondy - čidlo citlivé na
obsah O₂ ve výfukových
plynech

Signál ovládá minimálním zpožděním přípravu palivové směsi

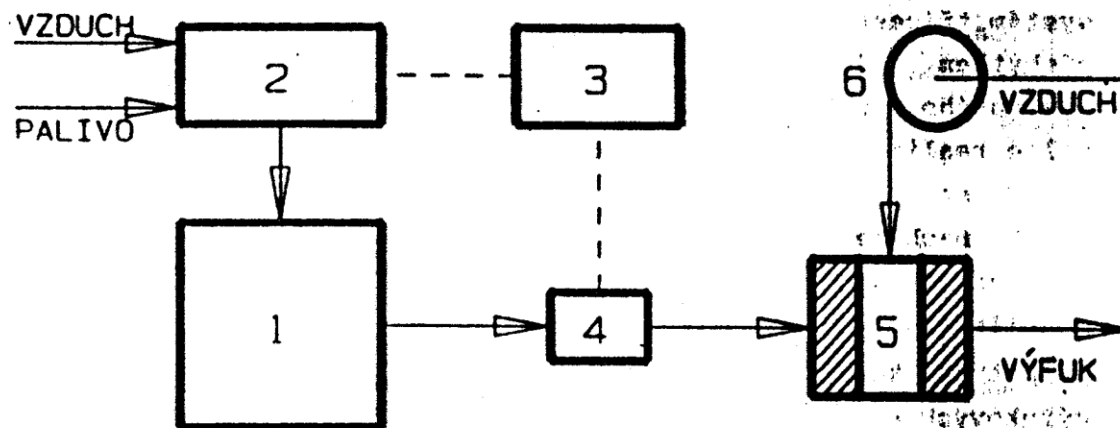
Katalyzátor – keramika voštinového typu, potažená aluminou, impregnovanou vlastním katalyzátorem – směs Pt + Rh

Bezolovnatý benzín - účinnost 80 000km



Obr.30. Účinnost třícestného katalyzátoru v závislosti na lambda

Exhalace v dopravě



Obr.31. Princip funkce třicest.katalyzátoru s dvojítým ložem

- 1 - motor
- 2 - elektromechanický karburátor
- 3 - elektronický řídicí modul
- 4 - λ -sonda
- 5 - třicestný katalyzátor s dvojítým ložem
- 6 - vzduchové dmychadlo

Exhalace v dopravě

Vznětové motory

Filtrační systémy: monolytické keramické porézní těleso nebo systém trubek ovinutých keramickými vlákny + katalyzátory pro oxidaci PAHs, zapáchajících látek

Účinnost 50 – 90%

Zanášení prachovými částicemi

Regenerace teplem $> 500^{\circ}\text{C}$



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Inovace tohoto předmětu je spolufinancována
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem
České republiky**