



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZPŮSOBY FILTRACE VZDUCHU AIR FILTRATION METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ VALENTA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HEJČÍK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Valenta Jiří

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Způsoby filtrace vzduchu

v anglickém jazyce:

Air filtration methods

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis konstrukce filtračních jednotek a vlastností separačních materiálů, používaných v praxi pro filtraci vzduchu.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provedení rešerše konstrukčních řešení filtračních jednotek a vlastností separačních materiálů, používaných v praxi pro filtraci vzduchu.

Seznam odborné literatury:

www.mann-hummel.com

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Hejčík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 12.11.2009



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce poskytuje přehled o používaných metodách při filtraci průmyslového vzduchu. Práce se skládá z těchto 5 hlavních částí- suché a mokré mechanické odlučovače, elektrické odlučovače, látkové filtry a filtrační materiály.

Klíčová slova

mechanické odlučovače, elektrické odlučovače, látkové filtry, filtrační materiály

Abstract

Bachelor thesis provides an overview of the methods used in industrial air filtration. The work consists of the 5 main parts of dry and wet mechanical separators, electric precipitators, fabric filters and filter media.

Key words

Mechanical separators, electric precipitators, fabric filters and filter media

Bibliografická citace

Valenta, Jiří. *Způsoby filtrace vzduchu*. Brno, 2010. 46 s.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta
strojní, 2010. Vedoucí práce Ing. Jiří Hejčík

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou diplomovou práci na téma **Způsoby filtrace vzduchu** vypracoval samostatně a použil jsem pouze literatury a pramenů, uvedených v seznamu použitých zdrojů.

14. 10. 2010

.....
Jiří Valenta

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Jiřímu Hejčíkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Abstrakt	5
Bibliografická citace.....	6
Prohlášení	7
Poděkování	8
Obsah	9
Úvod	10
Metody filtrace vzduchu	11
Suché mechanické odlučovače	11
Tíhové komory	11
Prašníky	12
Žaluziové odlučovače	13
Rotační odlučovače.....	14
Cyklónové odlučovače	17
Vírové odlučovače s obvodovým zrychlením	25
Vírové odlučovače se zrnitou vrstvou	26
Mokré mechanické odlučovače	27
Sprchové věže s náplní a bez náplně	27
Mokré vírové odlučovače	27
Mokré vírníkové odlučovače	28
Pěnové odlučovače	29
Hladinové odlučovače	30
Proudové odlučovače.....	31
Mokré rotační odlučovače	34
Elektrické odlučovače.....	34
Látkové filtry	40
Filtrační materiály.....	42
Závěr.....	44
Seznam použitých zdrojů.....	45
Seznam použitých zkratk a symbolů	46

Úvod

Vzduch jako směs plynů tvoří zemskou atmosféru, která sahá do výšky cca 1000 km. Má zásadní význam pro veškeré chemické, fyzikální a biologické procesy na zemi. V nižších vrstvách se prakticky nevyskytuje v čisté podobě. Obsahuje různé množství cizorodých látek, které představují jeho znečištění. Na něm se podílí jak příroda (vzdušná eroze, vulkanická činnost a emise z organických procesů živých organismů), tak i lidská činnost. Znečištění vzduchu není rovnoměrné, narůstá v místech s velkou koncentrací obyvatel a průmyslové výroby. Průmyslová výroba je významným zdrojem znečištění ovzduší. S rostoucí průmyslovou výrobou narůstal historicky i společenský tlak na snižování průmyslových exhalací a začaly se rozvíjet potřebné technologie.

Čištění vzduchu se rozvíjí ve dvou oblastech.

První oblastí je čištění atmosférického vzduchu na požadovanou čistotu s ohledem na jeho další využití. Jedná se především o vzduch užívaný ve větracích systémech budov, jak v občanské výstavbě, tak i průmyslové výrobě nebo o čištění atmosférického vzduchu pro další zpracování. K čištění se používají tzv. atmosférické vzduchové filtry.

Druhou oblastí je čištění vzduchu od znečištění před jeho vrácením do ovzduší. Jedná se o vzduch, který byl znehodnocen ve výrobním procesu. Přípustná úroveň znečištění je legislativně ošetřena, jsou stanoveny limity přípustného znečištění, které nesmí být překročeny. V ČR platí zákon 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a návazné vyhlášky, které stanovují limity pro tzv. stacionární zdroje emisí.

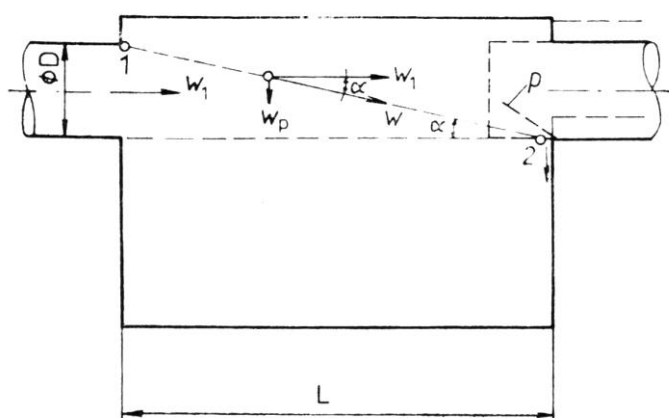
Metody filtrace vzduchu

Suché mechanické odlučovače

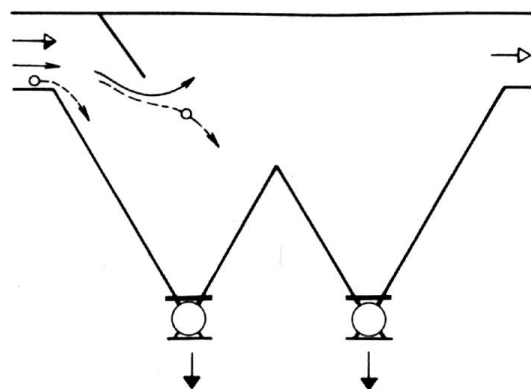
Tíhové komory

Nejjednodušším druhem odlučovače jsou tíhové komory, někdy, též nazývané usazovací komory. Pro použití jako odlučovače mají nízkou účinnost, proto se většinou používají jen jako lapače těžších kusů, např. dřevěného odpadu. [1,2]

Předpokládá se, že částice je ve vstupním průřezu komory (obr.1) v poloze 1 a má-li být odloučena, musí přejít do polohy 2 výstupního otvoru. Ke zvýšení vlivu pádové rychlosti a poklesu turbulentní difuze se využívá snížení postupové rychlosti proudění z cca $10\text{--}25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v potrubí na hodnoty okolo $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. U jemnější částice v řádu desítek μm bychom tohoto efektu dosáhli až u komory značně velkých rozměrů. [1,2]

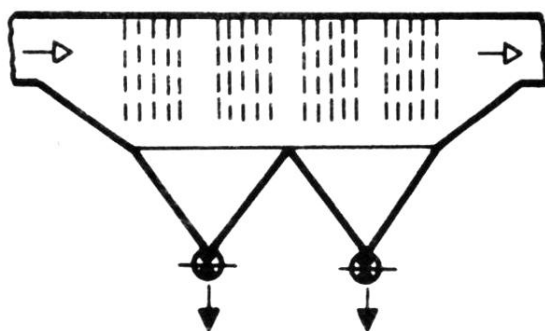


Obr.1 [2]

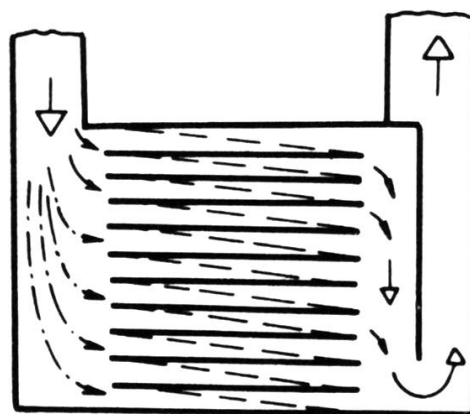


Obr.2 [1]

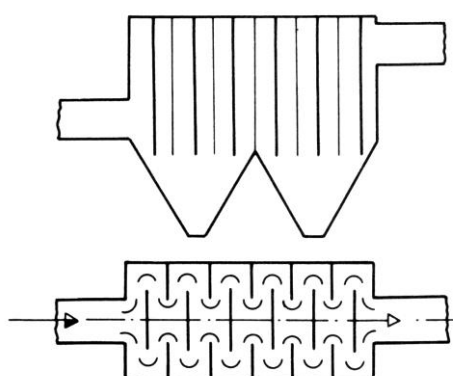
Zvýšení účinnosti lze dosáhnout vestavbou přepážky na vstupu (obr.2), v průběhu (obr. 3-5), na výstupu (obr. 1) nebo přesunutím výstupního otvoru do vyšší polohy (obr. 5,6). Překážkami vloženými do průběhu komory se snažíme částice přímo zachytit. U překážek na vstupu dochází ke změně směru proudění. Tím pádem, podobně jako v cyklónu, k využití setrvačnosti. [1,2,3]



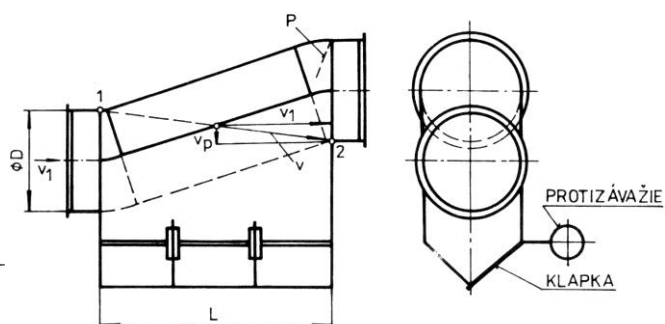
Obr.3 [3]



Obr.4 [3]



Obr.5 [3]

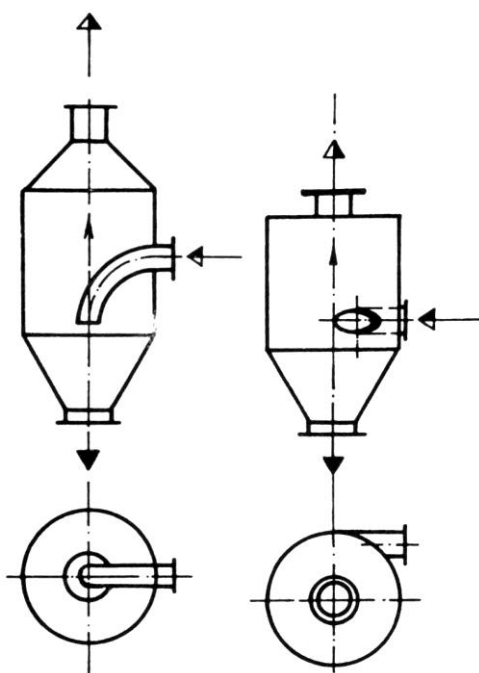


Obr.6 [4]

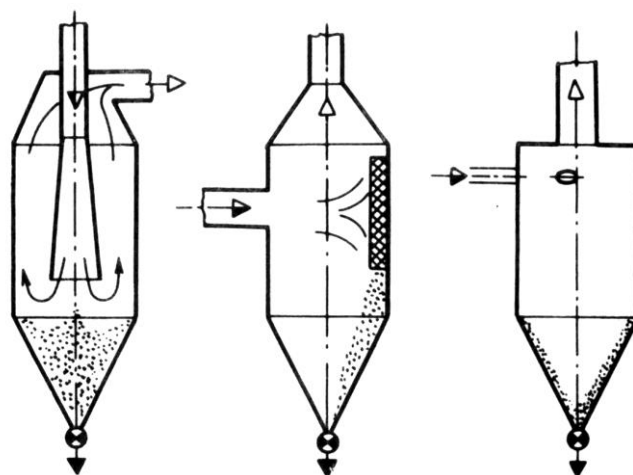
Jejich třídící účinek je dán rozměry komory a velikostí pádové rychlosti zachycených částic.

Prašníky

Jsou přechodem mezi usazovacími komorami a cyklony. Využívají jednak zdokonalení usazovací komory použitím setrvačné síly s častou změnou směru proudění a zároveň tečný či osový vstup do velkoprostorové komory (obr. 7,8). [1,3]



Obr.7 [4]



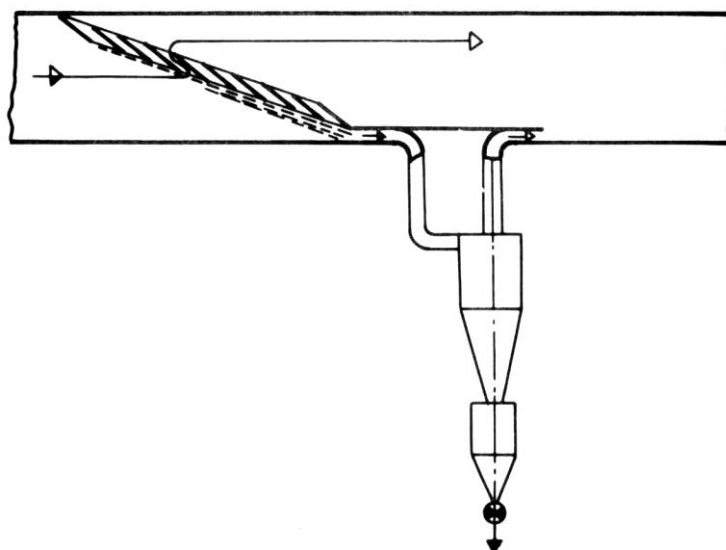
Obr.8 [3]

Žaluziové odlučovače

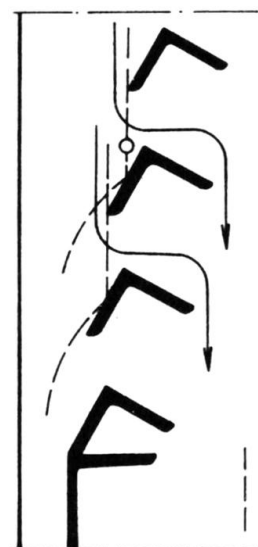
Žaluziové odlučovače rovněž využívají setrvačných sil (obr. 9). Bývají vestavěné v potrubí převážně hranatého průřezu a jsou tvořené buď úhelníky nebo plechovými profily. Žaluzie mění směr proudění zaprášeného plynu, přitom částice nesledují dráhu plynu, ale narazí na následující list. Částice se buď posune po listu dokud nedojde k jejímu smetení a přeskočení na další list nebo odskočí ihned na další list (obr. 10). Tak se částice pohybují směrem ke konečnému odběru plynu na konci žaluzie, odkud plyn putuje do cyklonu, kde se prach teprve odloučí. Odlučivost žaluziového odlučovače je tedy limitována odlučivostí použitého cyklonu a žaluzie slouží jen ke zvýšení koncentrace v té části plynu, která je vedena do cyklonu. Ve skutečnosti bude ovšem třídící účinek žaluziového odlučovače horší než u samotného cyklonu, neboť samotná žaluzie značnou část prachu propustí, takže ten se do cyklonu vůbec nedostane. [1,3]

Část plynu se odebírá z hlavního proudu do cyklonu. Ten má větší odpor než žaluzie a samovolné proudění by bylo nedostatečné. Potřebný tlakový spád se vytvoří buď

ventilátorem nebo ejektorem v hlavním tahu za žaluzií (obr. 11).
[1]

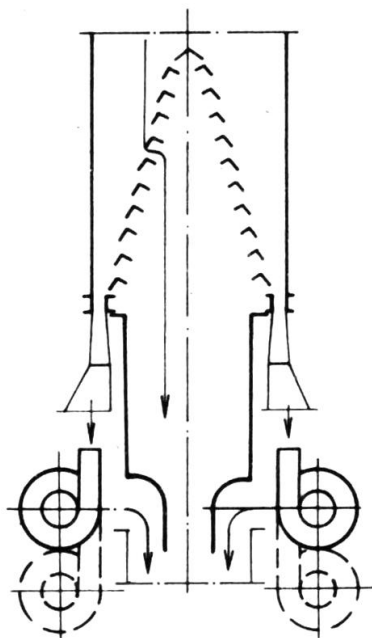


Obr.9 [3]

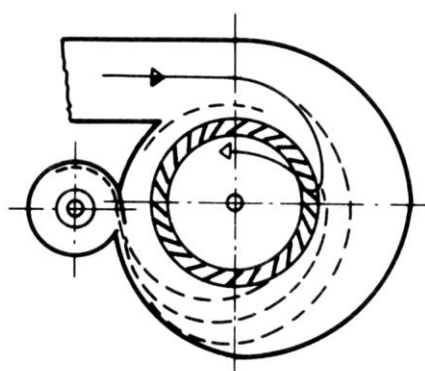


Obr. 10 [1]

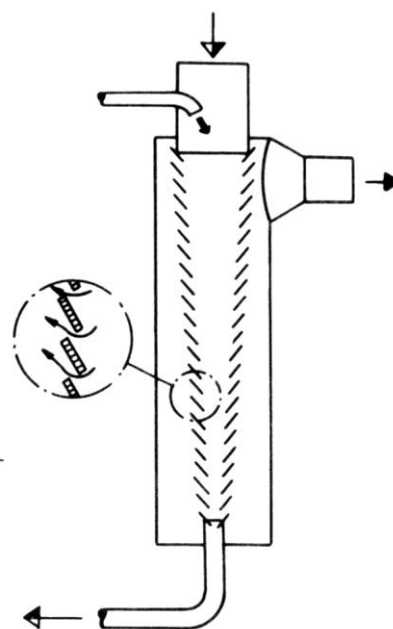
Žaluziové odlučovače nemusí být nutně použité jako vestavba do potrubí, ale i jako samostatná zařízení kruhového či hranatého průřezu (obr.12).



Obr. 11 [1]



Obr.12 [3]

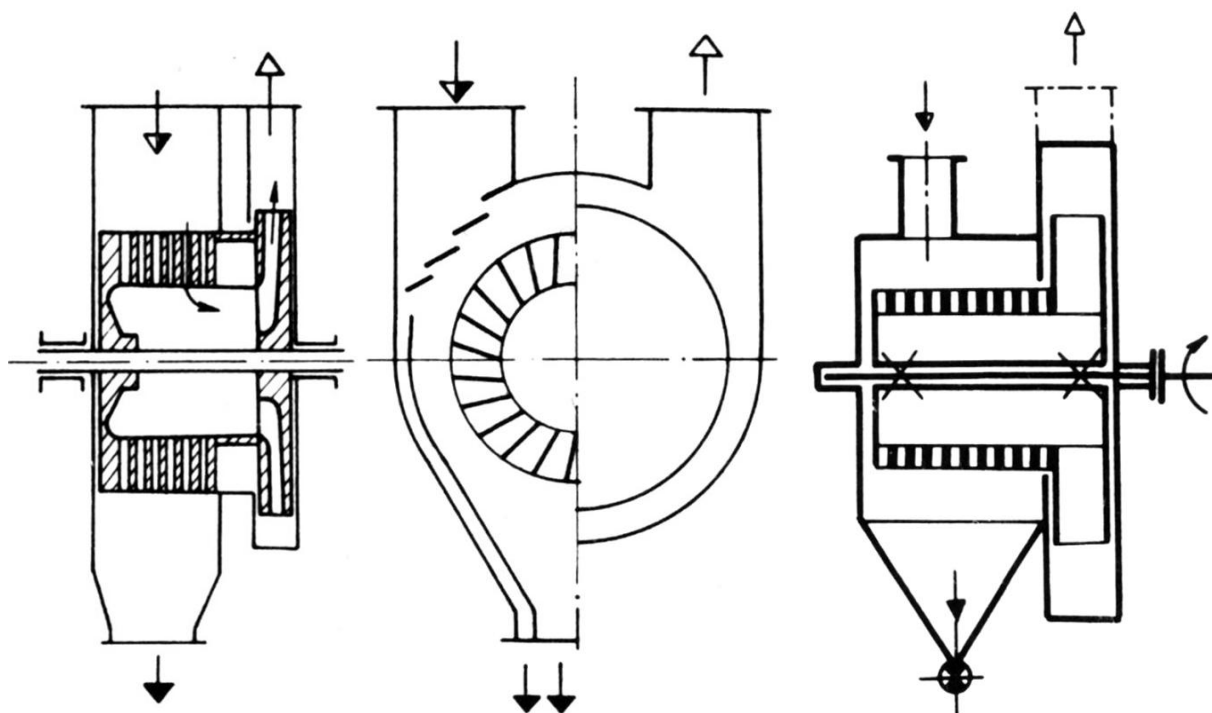


Rotační odlučovače

Oproti ostatním mechanickým odlučovačům zde část odlučovače (kolo) vykonává rotační pohyb. Prakticky se používají jen typy odlučovačů, kde je kolo spojeno přímo (na

jednom hřídeli) s kolem ventilátoru a celek je uložen ve společné skříni. [1]

Rotační odlučovače dále dělíme na typy odstředivkové a ventilátorové. U odstředivkových prochází znečištěný plyn kolem, kde otvory v rotoru neprochází částice mající větší setrvačnost než plyn. Tím se plyn čistí, a poté vstupuje do kola ventilátoru (obr. 13,14). Podle výrobku americké firmy AAF Roto-Clone, která však používá tento název i pro odlučovače bez rotačních částí, se někdy tento typ nesprávně nazývá rotoklon, a dokonce se ho často užívá pro všechny rotační odlučovače. Ventilátorový typ vychází konstrukčně z odstředivkového typu. Má však jediné rotující kolo s upravenými lopatkami k odvádění prachu do odděleného prostoru ve spirální skříni (obr. 15,16). Zároveň tedy vykonává funkci ventilační i odlučovací. [1, 3]

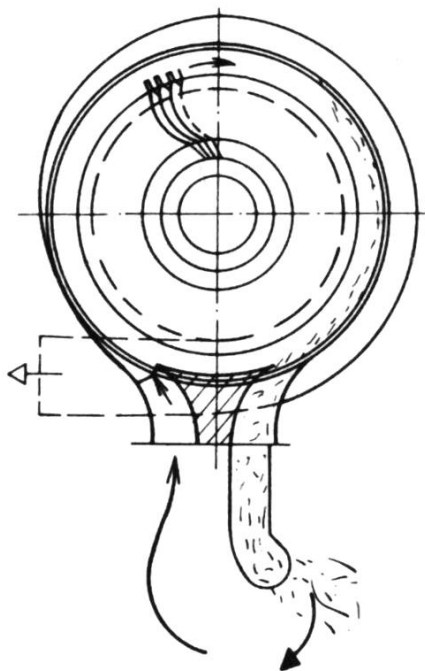


Obr.13 [1]

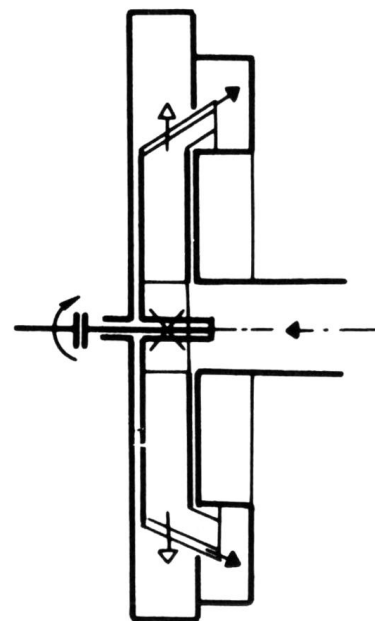
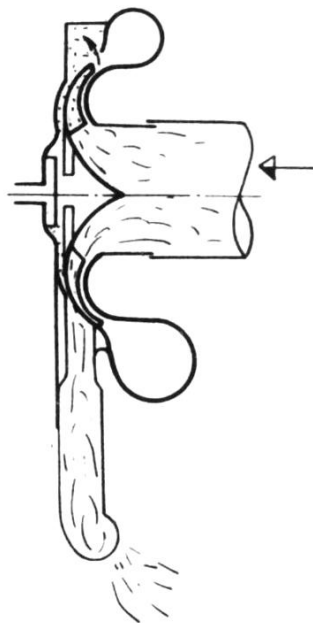
Obr.14 [3]

Existují i rotační odlučovače, které vyžadují připojení samostatného ventilátoru na potrubí. Jde tedy pouze o rotující skloněný buben, kde se částice vlivem výsledného zrychlení dostává na stěnu, odkud se odvádí a vyčištěný plyn odchází středem bubnu (obr. 17). Tyto odlučovače se dnes používají minimálně. [1,3]

Značnou výhodou rotačních odlučovačů je prostorová úspornost. Konstrukčně se jedná jen o poněkud zvětšený a upravený ventilátor s výsypkou. Naproti tomu vlastní výroba je podstatně složitější než u ostatních druhů mechanických odlučovačů. [1]

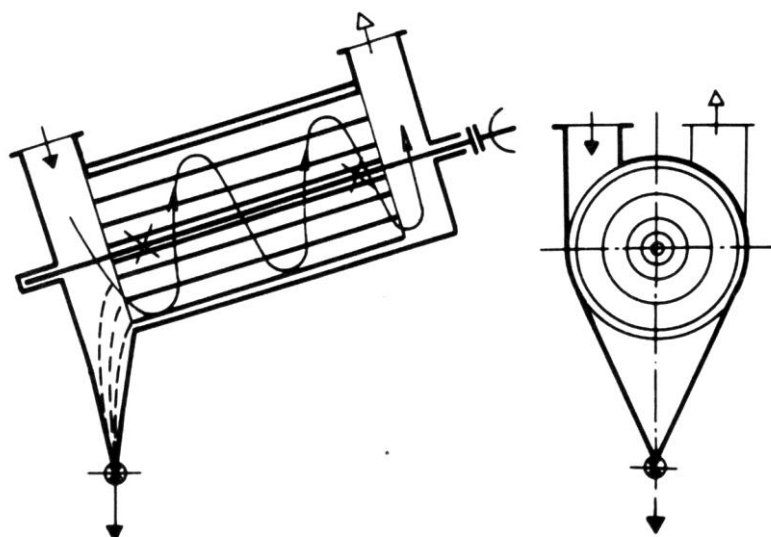


Obr.15 [1]



Obr.16 [3]

U nás se rotační odlučovače téměř nevyskytují, ale v zahraničí jsou obvyklé pro jednotkové odlučování, např. ve slévárnách. Teoretická účinnost rotačních odlučovačů by mohla být větší než u cyklonu, jelikož zde vzniká Coriolisovo zrychlení z přítomnosti prvotního unášivého rotačního pohybu (rotace kola), a tím pádem větší odlučovací síly působící na částici. Z důvodu obtížně proveditelného přímého měření intenzity turbulence nebo rychlostního pole v rotujícím poli však nelze zjistit, jak vypadá působení těchto negativních činitelů. Ty jsou možná jednou z příčin, proč při praktických pokusech nebyl potvrzen předpoklad značně vyšší odlučivosti než u nejlepších cyklonů. [1, 3]



Obr.17 [3]

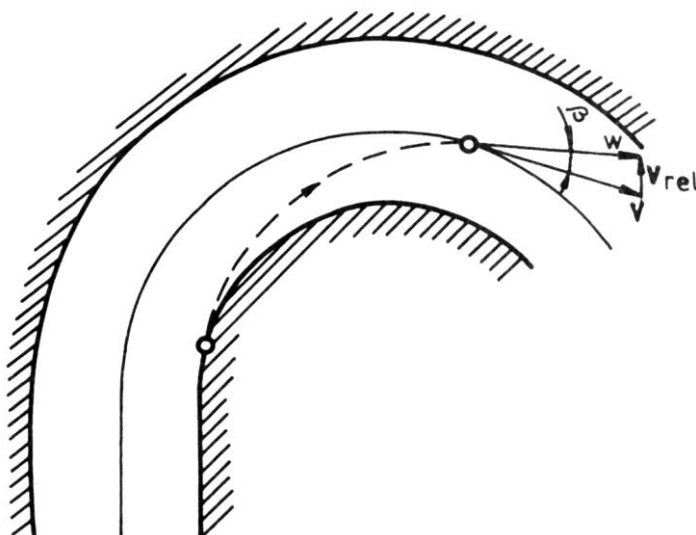
Cyklónové odlučovače

Cyklóny neboli vírové odlučovače využívají k odlučování pouze působení gravitačních a setrvačných sil. Tyto síly jsou dané rozdílem hustoty vzduchu a hustoty tuhých částic. V cyklónu se využívá zakřivení dráhy, při němž se částice vychyluje radiálním směrem, tj. směrem ke stěně. Dráhy částice a proudu nosného plynu se protínají pod velmi malým úhlem (obr.18). Absolutní rychlost částice lze zapsat ve tvaru

$$\vec{v}_w = \vec{v} + \vec{v}_{rel}, \quad (1)$$

kde $\vec{v}$ je rychlost plynu mající směr tečny ke svému průběhu a $\vec{v}_{rel}$ je relativní rychlost vyjadřující vzájemnou rychlost pohybu částice vůči vzdušině. Hodnota rychlosti v_{rel} vyjadřuje odpor prostředí proti pohybu částice. Tato vzájemná silová vazba mezi částicí a prostředím dosahuje velmi malých hodnot. Pokud ji zanedbáme, budeme předpokládat poloměr křivosti obou drah za rovný a i absolutní hodnoty rychlosti ve směru tečen za shodné. Pak výsledné zrychlení působící na částici můžeme vyjádřit ve tvaru

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}^2}{r} = \frac{\vec{v}_w^2}{r} \quad (2)$$



Obr.18 [4]

Částice se tedy pohybuje po vodorovné rovině v poli odstředivého zrychlení. Samotná rychlost v_{rel} je ekvivalentem pádové rychlosti, avšak namísto gravitace působí zrychlení odstředivé. Pro ni tedy platí vztah

$$v_{rel} = v_k' = \frac{\rho_m \cdot a}{18\eta} \cdot \frac{v_w^2}{r} \quad (3)$$

Rychlost v_k' z toho vztahu lze nazvat odlučovací, jelikož přivádí částice ke stěně cyklónu. Ke zjištění této rychlosti je třeba určit závislost rychlosti v_w na poloměru. Průběh rychlosti v_w lze vidět na obrázku 19 (zde v_u), kde jsou zobrazeny 2 odlišné oblasti. První, označená I, je oblastí proudění potencionálního víru v obvodové části. Zde se fiktivní částice otáčí kolem vlastní osy stejnou úhlovou rychlostí, ale s opačným smyslem, než má pohyb kolem vlastní osy. Rychlost lze teoreticky vyjádřit rovnicí

$$v_u \cdot r = konst \quad (4)$$

U skutečných cyklónů je rychlostní profil určen vztahem

$$v_u \cdot r^\kappa = C, \quad (5)$$

kde κ se pohybuje okolo 0,5 a konstanta C je pro cyklon o $\varnothing 315\text{mm}$ rovna 150, při průtoku $Q = 1200\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Druhá oblast vyjadřuje rotační proudění v jádře víru okolo osy se stálou polohou k ose otáčení. Mimo to se zde ještě projevuje vliv

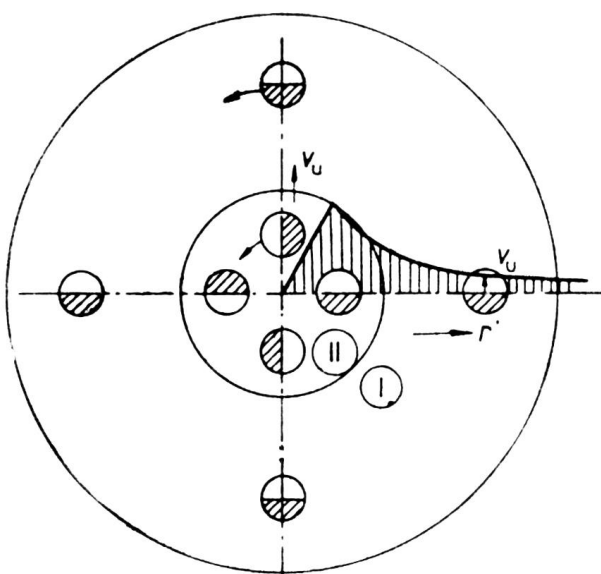
mezní vrstvy na stěně cyklónu. Odstředivé zrychlení lze v I oblasti vyjádřit vztahem

$$\bar{a} = \text{konst.} \cdot \frac{1}{r^3} \quad (6)$$

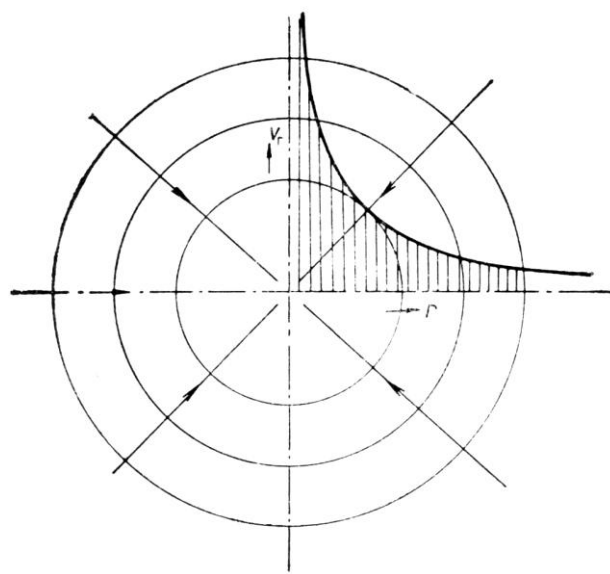
a v II oblasti vztahem

$$\bar{a} = \omega^2 \cdot r, \quad (7)$$

kde ω je uhlová rychlost. Protože toto zrychlení se snižujícím se poloměrem klesá, je malá pravděpodobnost, že se v této II oblasti částice odloučí. [1,2,4]



Obr.19 [2]



Obr.20 [2]

Další sílu způsobuje vlastní centrální výstup. Jedná se o sílu dostředivou, která působí proti směru odlučovací rychlosti. Pokud si ji představíme jako propad (obr. 20) a složíme ji s předchozí představou víru dostaneme výsledné proudění vzdušiny na obrázku 21. Jelikož je cyklón prostorový útvar a předpokládáme nutně i prostorový pohyb vzdušiny, vyskytuje se zde i osová. Ta u vratného typu cyklónu působí v obou směrech (obr. 23). Po této představě lze najít plošnou hranici mezi vnitřním vzestupným a vnějším sestupným proudem v cyklónu (obr. 22), kde je vzestupná rychlost $v_z=0$. Pokud je částice stržena do vnitřního proudu, pak je vymetena výstupním otvorem ven z cyklónu. Poměr mezi sestupným a vzestupným proudem lze zvýšit ve prospěch sestupného snížením poloměru r_a výstupní trubky, čímž se zároveň i prodlouží vzdálenost Δr

(obr. 23) a částice musí pro úlet urazit delší dráhu radiálním směrem. Ve skutečném cyklonu se zvláště při filtraci jemných částic výrazně projevuje turbulentní proudění, které se ve výše zmíněném proudnicovém obraze neuvažuje. Tímto ztrácí proudnicová představa smysl pro reálné výpočty a nabývá spíše modelového charakteru. Turbulentní proudění zde získává vlastnosti turbulentní difúze, kdy se mísí hmoty jednotlivých proudnic. Při pokusných měřeních na výše zmíněném cyklonu o $\varnothing 315\text{mm}$ dosahovaly hodnoty fluktuačních rychlostí řádově 5 až 10 % rychlosti základní, v blízkosti stěny a u výmetného otvoru ještě více. Zvláště u částice velikosti pod $5\text{ }\mu\text{m}$ docházelo v důsledku jejich malé setrvačnosti k značnému fluktuačnímu ovlivnění. Při působení odstředivého zrychlení velikosti 500 g , což odpovídá měřenému místu, byla naměřena pádová rychlost $v_p = 0,375\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro částici velikosti $a = 5\text{ }\mu\text{m}$ při standartním průtoku $Q_m = 1\text{ }000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Odpovídající příčná fluktuační složka v tomtéž místě byla změřena $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, což je tedy téměř o 1 řád vyšší. U menších částic dochází ještě k výraznému prohloubení tohoto rozdílu. [1,2]

Podobně jako u ostatních odlučovacích zařízení patří mezi hlavní funkční parametry odlučivost a tlaková ztráta. Odlučivost udává schopnost cyklónu zachytit částici vstupujícího prachu a k tomu je nutné dodat určitou energii, zde vyjádřenou tlakovou ztrátou. Odlučivost je jeden ze základních parametrů pro konstrukci zařízení. Typ cyklónu se s ohledem na odlučivost volí podle granulometrického složení odlučovaného prachu a potřebné celkové odlučivosti. U každého cyklónu lze sestavit křivku frakční odlučivosti (obr. 24), která nám udává, jakou část z monodisperzního prachu určité velikosti dokáže odloučit. Pokud známe i křivku zbytkového prachu Z_p vystupujícího z odlučovače, pak můžeme užitím vztahu dle Lapple-Böhma určit početně nebo graficky (obr. 25) celkovou odlučivost Q_c . Je důležité poznamenat, že křivka frakční odlučivosti je stanovována vždy pro určitou měrnou hmotnost plynu ρ ,

hmotnost prachu ρ_m a teplotu t . Pokud máme k dispozici křivku zbytku prachu pro jinou hmotnost prachu ρ_m , pak ji lze přepočítat podle vztahu

$$a_1\sqrt{\rho_1} = a\sqrt{\rho} \quad (8)$$

na stejnou měrnou hmotnost plynu, jako má křivka frakční odlučivosti Q_f . Také křivku Q_f můžeme přibližně přepočítat pro jiné průměry cyklónu či pro jiný průtok. Vycházíme přitom ze Stokesova vztahu

$$Stk = \frac{v_D \cdot v_k'}{g \cdot D}, \quad (9)$$

u kterého musíme zachovat rovnost Stokesova čísla pro oba dva stavy. v_D v tomto vztahu vyjadřuje fiktivní rychlost, kterou by vzduch procházel při proudění potrubím o průměru cyklónu a vypočítá se ze vztahu

$$v_D = \frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot D} \quad (10)$$

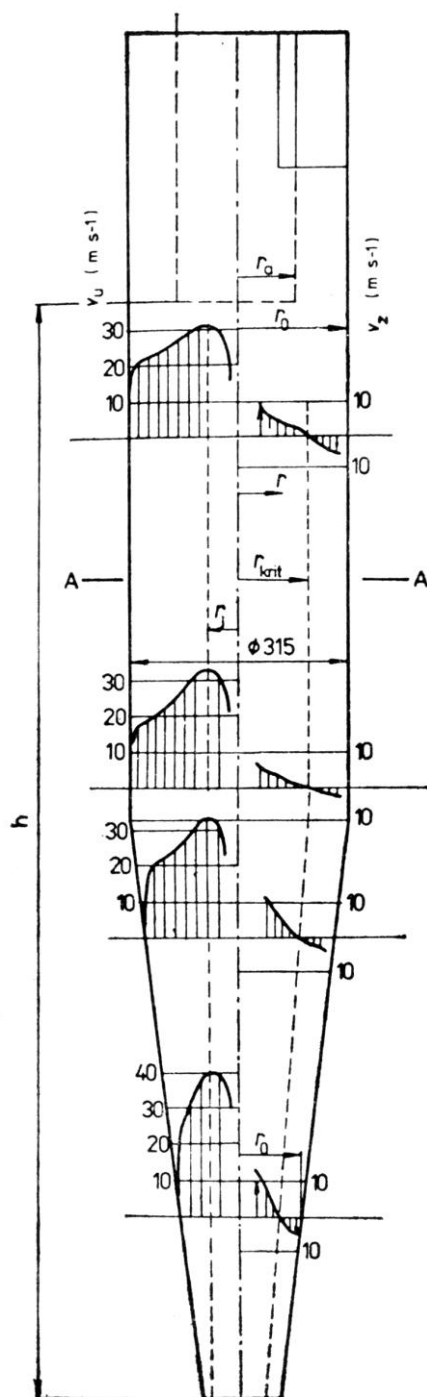
kde Q je průtok a D je průměr cyklónu. Všechny výpočty vycházející z křivek Q_f a Z_p užíváme jen pro prachy, u kterých byly granulometrické rozборы zjištěny některou z metod založenou na pádové rychlosti. Druhým funkčním parametrem je tlaková ztráta. Nejčastěji bývá vyjadřována vztahem

$$\Delta p = \xi_D \frac{v_D^2}{2} \rho, \quad (11)$$

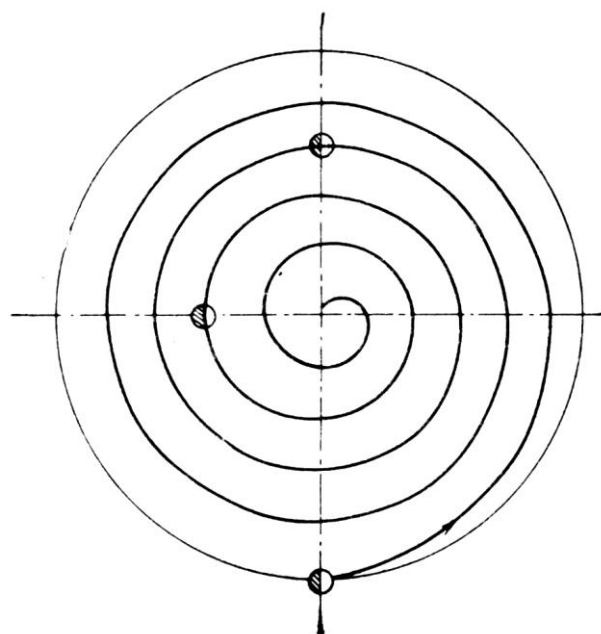
kde ξ_D značí součinitel odporu vztaženého na postupnou, fiktivní rychlost v_D v potrubí o průměru cyklónu. [1,2]

Základní rozdělení samostatných cyklónů může být podle typu vstupu a tím i způsobu, jakým je plyn uveden do šroubovitého pohybu. Rozeznáváme cyklóny s tečným vstupem do válcové části (obr. 26) nebo s vestavbou (lopatkový vírník) do válce, kterou plyn protéká tzv. osové cyklóny. Ty lze podle průtoku dělit na cyklóny s vratným tokem (obr. 27-28) a cyklóny s přímým tokem (obr. 29). V případě potřeby zvýšeného průtoku můžeme řadit cyklony paralelně na společný sběrač prachu (obr. 30)- skupinový odlučovač nebo je možné vytvářet

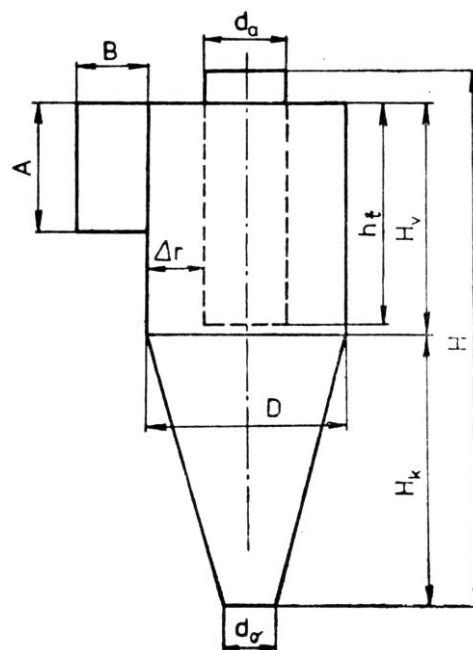
mnohočlánkové cyklónové odlučovače- multicyklony s několika desítkami až sty cyklonů v uzavřené skříni (obr. 31).
K zajímavým konstrukcím patří kombinace cyklonu s odlučovací komorou (obr. 32). [1,3]



Obr.22 [2]



Obr.21 [2]

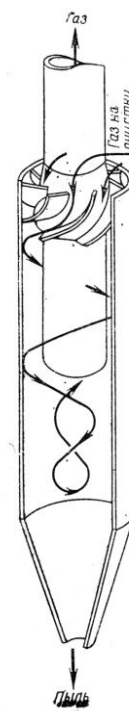
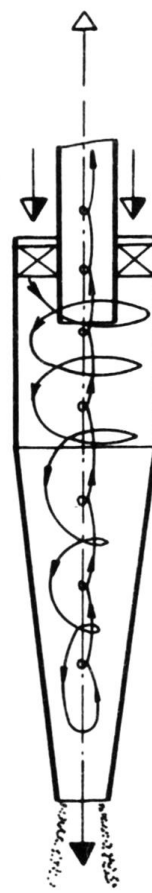
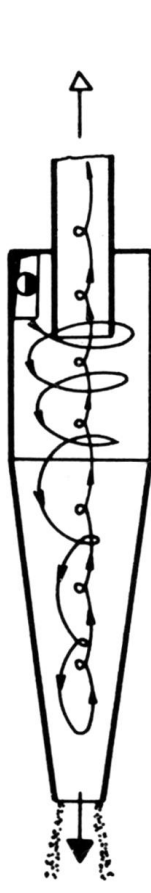
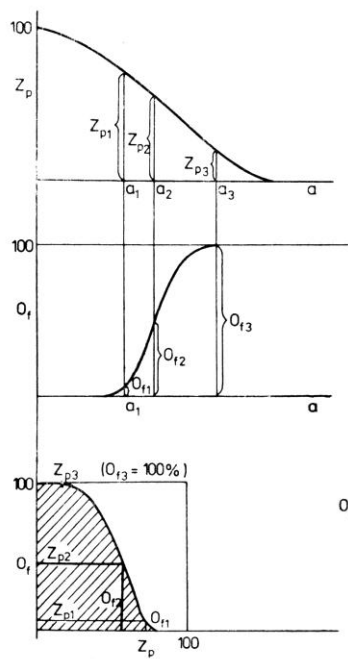
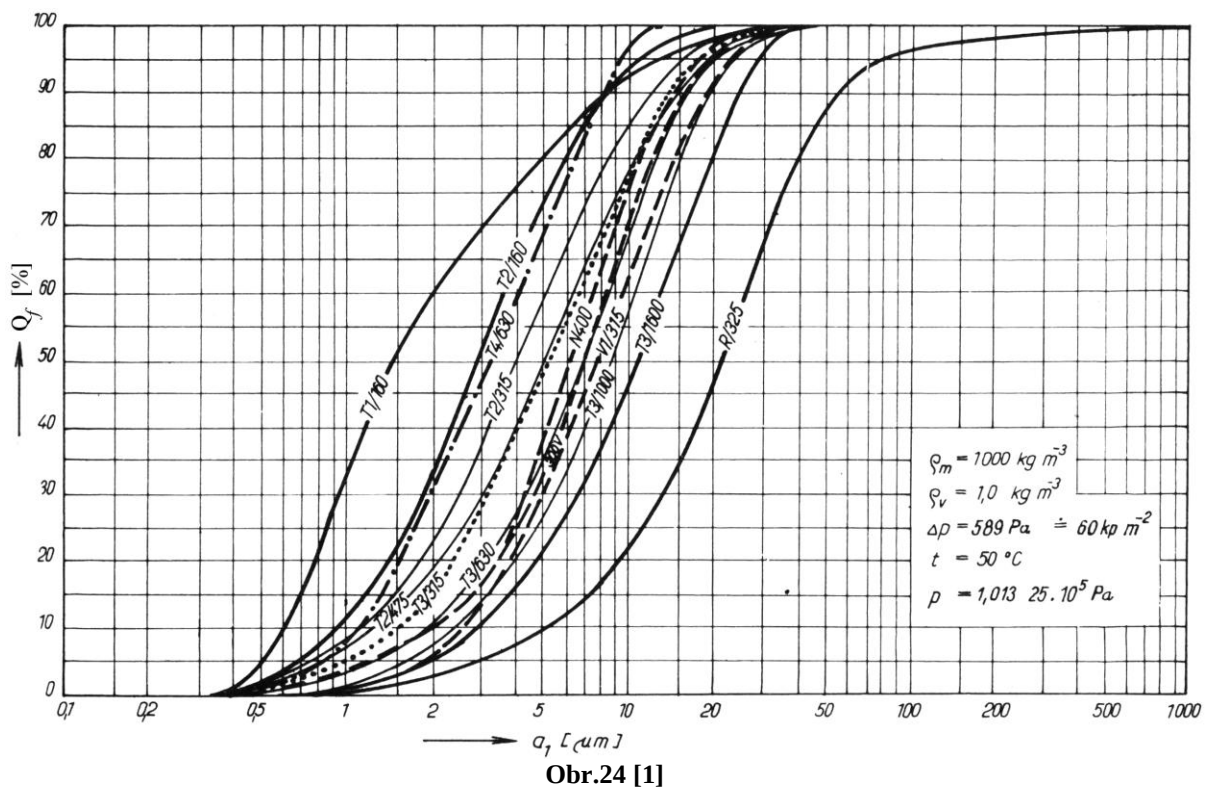


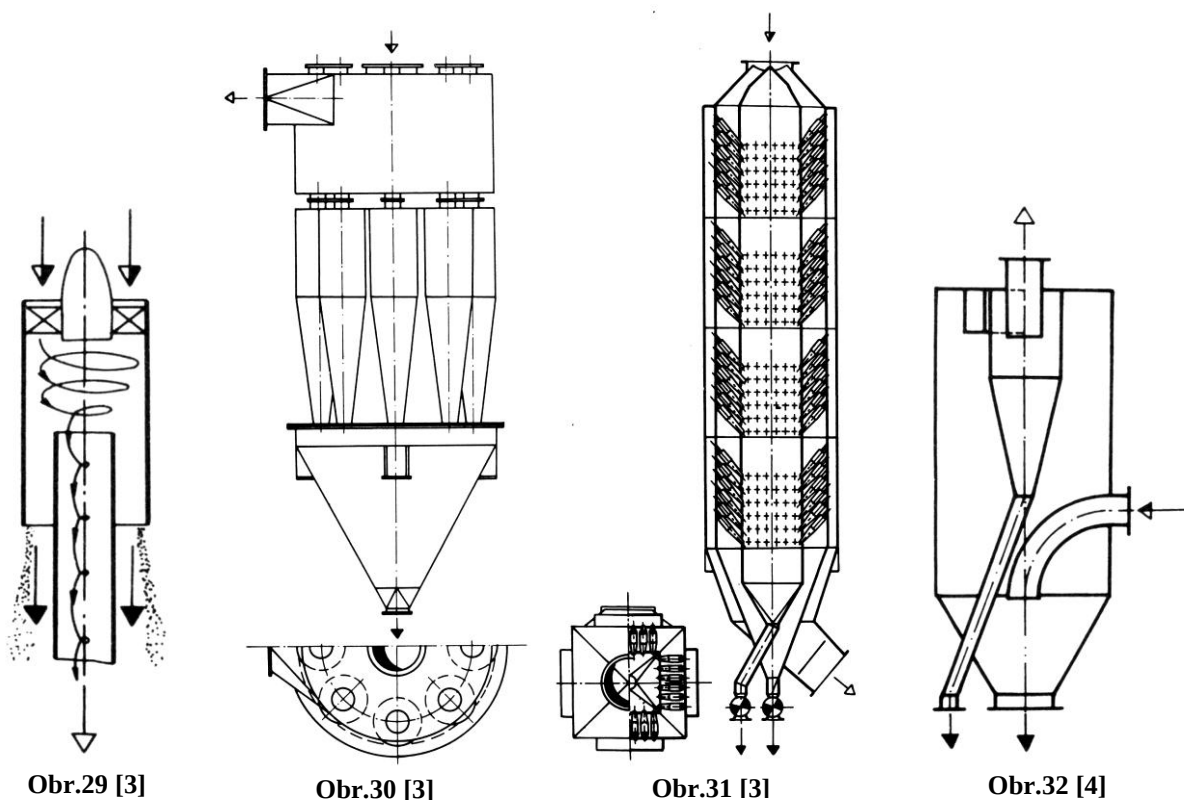
Obr.23 [2]

Pokud budeme chtít dosáhnout maximální odlučivosti, měli bychom konstruovat cyklóny s vyšším poměrem výšky k průměru, nízkým poměrem plochy vstupního a výstupního otvoru

k ploše celkového průřezu cyklonu a volit spíše menší vstupní než výstupní otvor. Tvarem by měl být vstupní průřez štíhlý a vysoký, u cyklonu se vstupem do válce cyklónu. U cyklónů s předsazeným vstupem o šířku vstupu mimo válec (obr. 23) je výhodnější čtvercový tvar vstupu. Zapuštění výstupní trubky h_t (obr. 23) obvykle končí pod spodní stěnou vstupu. Vrcholový úhel kužele volíme strmější asi do 15° a výmetný otvor v jeho vrcholu co nejmenší, ale zároveň s ohledem na možnost ucpání, a tedy velikost propadávajících částic. Dále má vliv na odlučivost i průtok, neboli tlakový spad, kdy se s vzrůstajícím průtokem úměrně zvyšuje tlaková ztráta a do určitého bodu se zvyšuje i odlučivost, poté již odlučivost klesá. Při konstrukci se snažíme navrhnout cyklon pro oblast maximální odlučivosti a zároveň nižších tlakových ztrát. V provozu, kde může docházet k poklesům tlakové ztráty v důsledku zvýšení teploty, a tím snížením měrné hmotnosti plynu, je spíše důležité, aby byly dodrženy průtočné rychlosti. Mezi další parametr zvyšující odlučivost patří vzrůstající koncentrace prachových částic v přiváděném plynu. [1,2]

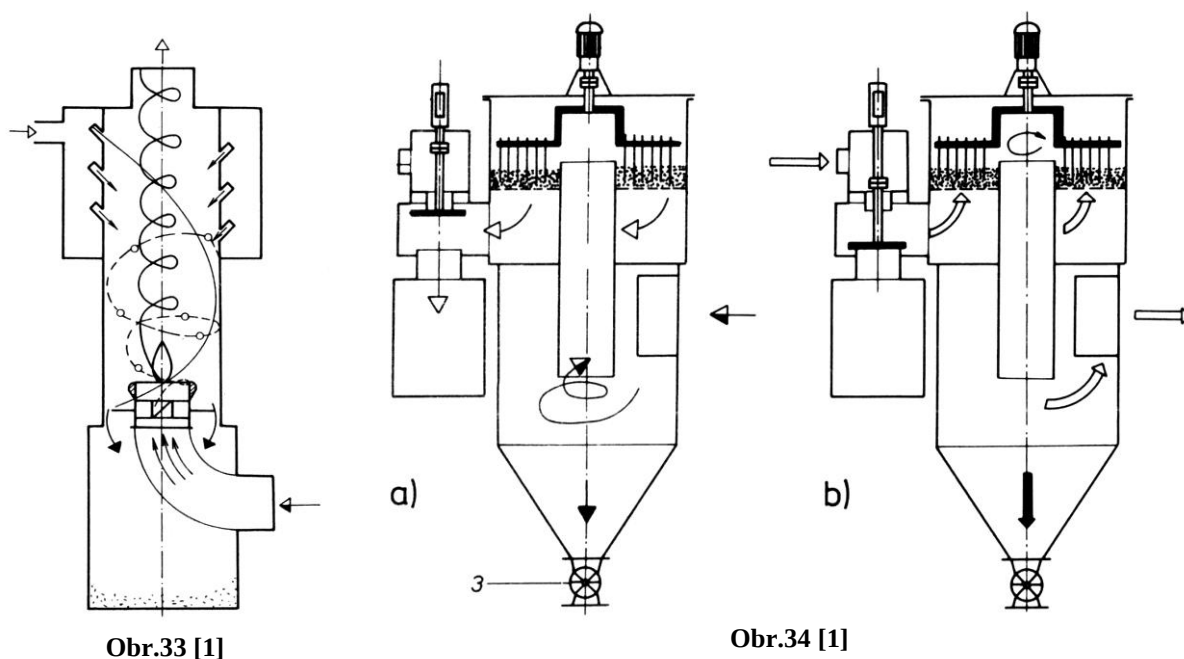
Cyklónové odlučovače se používají zejména jako první stupeň před elektrickým odlučovačem v energetice, jako předodlučovač před látkovými filtry v chemickém a stavebním průmyslu, jako třídící prvek v potravinových sušárnách či při samotném sušárenství a pneumatické dopravě, kde je žádoucí jejich odolnost proti vysokým teplotám. Mezi jejich další výhody patří schopnost odlučovat prach výbušný, hořlavý či s nízkým měrným odporem. [1,3]





Vírové odlučovače s obvodovým zrychlením

Jedná se o zdokonalené cyklóny, pro které se užívá firemní název Hurriclone nebo protiproudé vírové odlučovače. Cyklony vychází z vestavbového typu s tím, že jsou zde po obvodu nainstalované trysky, které napomáhají urychlit rotaci vnější obvodové vrstvy a zároveň ji usměrňují směrem k výsypce (obr. 33). Proud z trysek snižuje vliv mezní vrstvy, a tím usnadňuje odlučování jemných prachových částic. [1,3]



Vírové odlučovače se zrnitou vrstvou

Jedná se o suché odlučovače, které jsou kombinací cyklonu a filtru. Toto uspořádání má řadu výhod. Jednou z nich je oproti samotnému cyklónu větší rozsah použitelné oblasti průtoků a nízká výstupní koncentrace prachu, jež je většinou nižší než $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Rovněž vůči látkovým filtrům má toto řešení jisté výhody, a to v možnosti použití při vysokých teplotách vstupního plynu (až $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$), vyšší filtrační rychlost dosahující až $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a odolnost proti abrazi. Tyto vlastnosti dovolují použití těchto filtrů při výrobě stavebních hmot v cementárnách. Jako filtrační vrstva se používá tříděný písek 5mm zrnitosti nasypaný do 50—150mm vrstvy. Při běžném provozu propouští částice do velikosti $5 \mu\text{m}$. Zvýšení účinnosti lze dosáhnout instalací více vrstev nad sebou. Vlastní funkce stroje je rozdělena na dva cykly, filtrace (obr.34a) a čištění filtrační vrstvy (obr.34b). Při filtraci se v cyklonu separují větší částice a ve vlastní filtrační části potom zachycují menší částice. Poté se otočí směr proudu vzduchu ve filtru přídatným ventilátorem a nastává fáze čištění filtrační vrstvy. Filtračním materiálem se regeneruje procházejícím čistým vzduchem za současného prohrabávání čeřícím mechanismem. Prach vyneseny z vrstvy má převážně formu velkých shluků, a proto se ve větší části zachytává ve výsypce cyklónu. Jen menší část je stržena do přívodního potrubí a putuje do další filtrační jednotky. Z důvodu regenerace kompletní vrstvy a odnosu částic do přívodního potrubí je nutná sestava minimálně 2 těchto jednotek pro jednu instalaci. Mezi další nevýhody patří nižší spolehlivost oproti cyklonům z důvodu integrace čeřícího mechanismu a jeho součástí. [1,3]

Mokrý mechanický odlučovač

Sprchové věže s náplní a bez náplně

Mívají obvykle kruhový tvar různého průměru dosahujícího až několika metrů s výškou v rozmezí 2 až 4 násobku průměru. [1]

Vzduch se nejčastěji přivádí radiálně či tečně ve spodní části kruhové věže a postupuje vzhůru proti vodním kapičkám rozprašovaných ze sprchových roštů v horní části sprchové věže. Trysky na sprchových roštích by měly být uspořádány tak, aby se voda rozprašovala rovnoměrně v celém průřezu. Nemělo by docházet k překrývání vodních kuželů z vodních trysek, a tím spojování vodních kapek. To zajistí větší pravděpodobnost setkání kapky vody s částicí prachu, a tím její odloučení. Dále lze tuto pravděpodobnost podpořit zvýšením množství rozprašované vody a stupněm rozprašení vody, se kterým souvisí i rychlost kapiček. Rychlost plynu by se měla volit malá, v rozmezí 1 až 1,5 m·s⁻¹, kdy ještě nehrozí jejich stržení do výstupního potrubí. Vyšší rychlosti lze připustit jen v případě použití jako chladiče, za kterým je v bezprostřední blízkosti umístěn mokrý odlučovač. Jako pozitivní lze hodnotit malou tlakovou ztrátu pohybující se mezi 98 a 196 Pa. Náplně do sprchových věží tvoří smáčené překážky, převážně ze dřeva, které zvyšují odlučovací účinek. Z důvodů 2 až 4 násobného zvýšení tlakové ztráty, značné měrné spotřeby vody a vlastní objemnosti se již sprchové věže s náplněmi téměř nepoužívají. Sprchové věže slouží k hrubému předčištění, ochlazení plynu a současně zvýšení obsahu vodní páry, převážně před mokrými Venturiho odlučovači a mokrými elektrickými odlučovači. [1]

Mokrý vírový odlučovač

K nejjednodušším patřil cyklón smáčený vodou. Odlučivost se zde sice zvýšila, ale docházelo k nalepování na jeho stěnách z důvodu nerovnoměrného oplachování stěn. Vývojově

dokonalejší je typ cyklónu s tečným vstupem plynu těsně nad kuželovým dnem a tryskami umístěnými v horní výstupní části. Ve srovnání s předchozím typem se zlepší omývání stěn, a tím se dosahuje bezproblémový chod bez zanášení stěn. Nevýhodou je však zvýšená spotřeba vody. [1]

Tento typ s kyselinovzdornou vyzdívkou se používal pro čištění spalin tepelných elektráren s účinností okolo 90 %. [1]

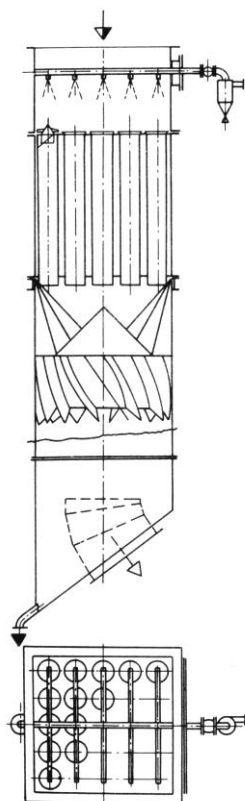
Mokrý vírnikové odlučovače

Do této skupiny se řadí bateriově uspořádané cyklóny skrápěné vodou. Podobně jako u multicyklónů je zde využito skutečnosti, že odlučivost cyklónu vzrůstá se zmenšujícím se průměrem komory a k dosažení průtoku se řadí jednotlivé články vedle sebe (obr.35). [1]

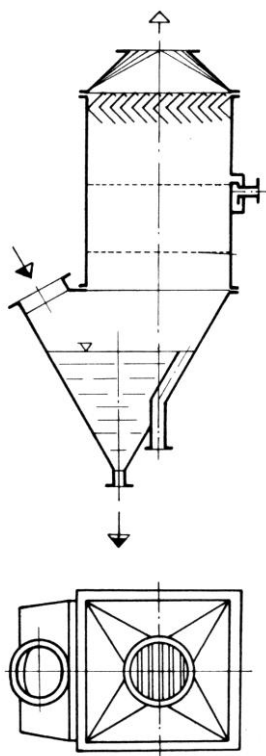
Jednotlivé články jsou tvořeny rovnými nebo na konci kuželově zúženými trubkami s vírnikem umístěným na horním konci, který znečištěný plyn uvádí do oběžného proudění. Ve směšovací komoře nad články jsou umístěné trysky pro rozprašování vody. To zde není za účelem bezprostředního odlučování částic, ale pouze pro rovnoměrné rozdělení vody na jednotlivé články a oplachování vírníků. Po vstupu do vírniku se voda rovnoměrně odstředí a stéká po stěnách. Vlastní odlučované částice v ní ulpívají a tvoří odpadní kal. Ten odkapává ze spodních okrajů článků a z proudu vzduchu je zachycován v odlučovači kapek, který je řešen jako osový cyklon s přímým tokem plynu a je umístěn pod vlastní účinnou částí odlučovače. Odloučený kal stéká po stěnách a následně po šikmém dně do výtokového otvoru, vyčištěný plyn je odváděn buď vnořenou troubou směřující svisle dolů nebo kolenem svírajícím s vodorovnou rovinou úhel 45°. [1]

Při odsávání znečištěného vzduchu o koncentraci 2,2 až 3,8 g·Nm⁻³ z výrobních zařízení v keramickém závodu byla naměřena výstupní koncentrace prachu 0,02 až 0,04 g·Nm⁻³. Pro čištění spalin z kotlů spalujících práškové uhlí a sulfitové

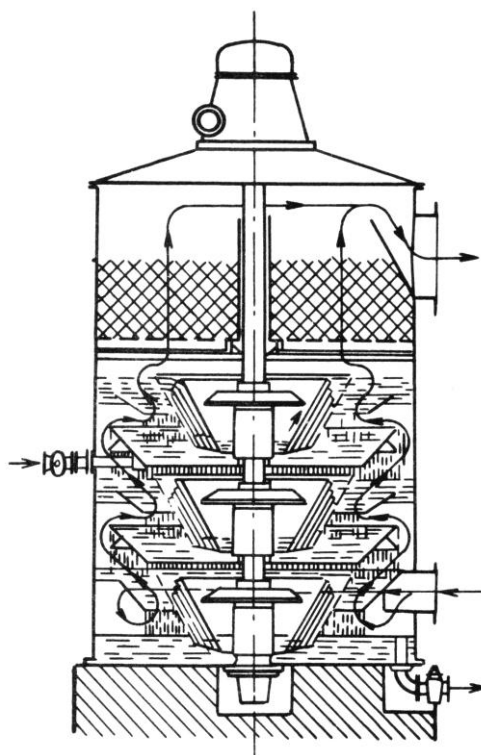
výluhy je nutné použití odlučovače z nerezavějících plechů a dosahuje se zde odlučivosti okolo 98 %. [1]



Obr.35 [3]



Obr.36 [1]



Obr.37 [3]

Pěnové odlučovače

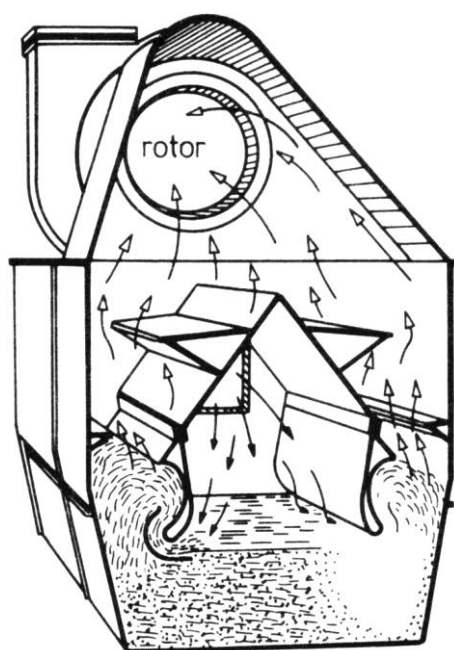
Základním mechanismem je probublávání znečištěného plynu jednou či více vrstvami vody s následným vznikem nestabilní pěny. Odlučovače bývají zpravidla pravoúhlého průřezu (obr.36). Vzduch vstupuje šikmo dolů pod spodní patro a prostupuje přes otvory v roštu. Nejčastěji se volí otvory kruhové, které mají oproti štěrbinovým větší tlakovou ztrátu, avšak nejsou tak náchylné na rozdílný průtok v jednotlivých částech roštu. V případě vícepatrového provedení se volí rošty s postupně zmenšujícími se otvory ve směru proudění čištěného plynu. Otvory zaujímají přibližně 20 % celkového průřezu odlučovače. Nejdůležitějším parametrem pro správnou funkci je rychlost protékajícího plynu. Rychlost by se měla pohybovat v úzkém rozmezí kolem $2,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, jinak se při menším průtoku

netvoří nestabilní pěna nebo naopak při větším průtoku dochází k únosu kapek z odlučovače. Spotřeba vody je u nich srovnatelná s mokkými vírnickovými odlučovači a pohybuje se v rozmezí 0,2 až 0,4 l·m⁻³. Pro zlepšení účinnosti je možné vytvořit obdobu suchých odlučovačů se zrnitou vrstvou a na rošty umístit vrstvu tělísek, nejčastěji kulového tvaru (obr.37). [1, 3]

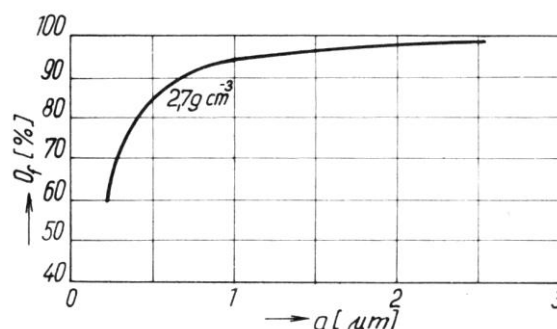
Jeho nasazení je výhodné zvláště v chemickém průmyslu v případě, že má být čištění plynu spojeno s chemickou reakcí, absorpcí či ochlazením plynů až k rosnému bodu a neobsahuje-li plyn velké procento částic < 5 μm, u kterých již odlučivost není dostačující. [1,3]

Hladinové odlučovače

U hladinových odlučovačů strhává čištěný plyn vodu z hladiny a prochází s ní skrz tvarovanou štěrbinu (obr.38). V této štěrbině dochází k vlastnímu odlučování částic spojené s omýváním stěn strženou vodou, vzniku vodní clony a intenzivní turbulenci plynu a vodní tříště. Voda v hladinových odlučovačích neustále cirkuluje a kryjí se pouze ztráty vzniklé odparem a odnosem vody spolu s hustým kalem, který je kontinuálně vyhrabován ze dna nádrže. [1,3]



Obr.38 [3]



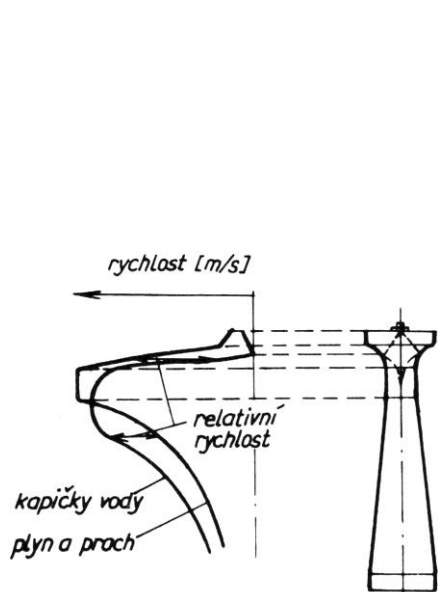
Obr.39 [1]

Odlučivost je pro běžný (např. slévárenský) prach velmi vysoká a to i pro jemné částice a dosahuje i hodnot vyšších než 99 %. Průběh frakční odlučivosti při měrné hmotnosti prachu $2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ je patrný z diagramu na obrázku 39. [1]

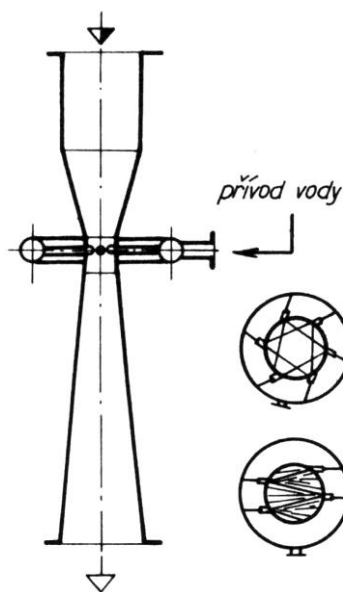
Mimo mechanický vyhrabovač bývá obvykle součástí i ventilátor, což z toho zařízení činí kompaktní samostatnou jednotku a jeden z hlavních důvodů jejich značného rozšíření. [1]

Proudové odlučovače

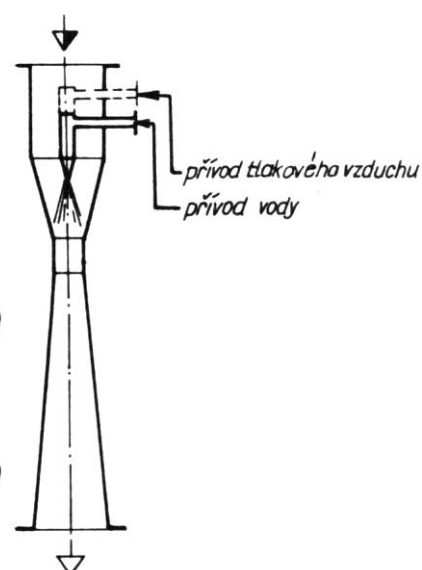
Proudové odlučovače, neboli Venturiho odlučovače, využívají pro odlučování především vzájemného shlukování dvou druhů aerosolů, jednoho s částicemi prachu a druhého s vodou. Toto shlukování se uskutečňuje při průchodu čištěného plynu Venturiho trubicí, do které je v oblasti konfuzorové části trubice přiváděna voda. [1]



Obr.40 [1]



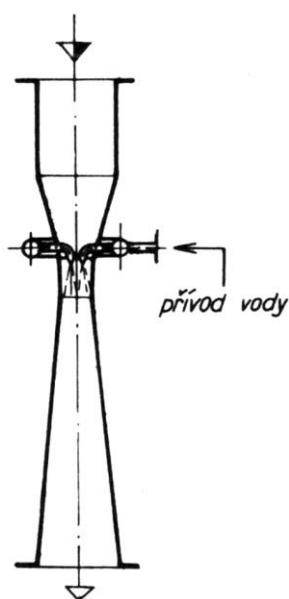
Obr.41 [1]



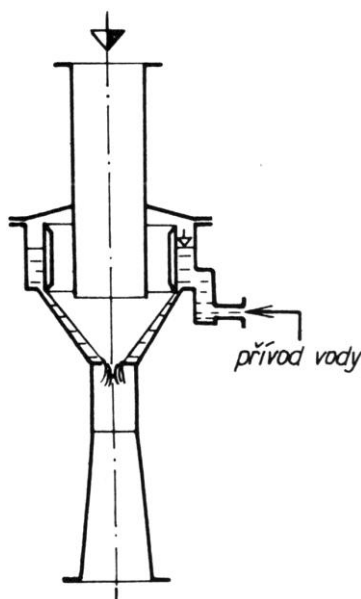
Obr.42 [1]

Na odlučování má největší podíl vzájemný náraz kapalných a tuhých částic v důsledku jejich rozdílných rychlostí. Teoreticky přitom nezáleží na tom, zda se větší rychlostí pohybují odlučované tuhé částice než kapičky kapaliny či naopak. Z průběhu rychlostí tuhých a kapalných částic během jejich průchodu Venturiho trubicí na obrázku 40 vyplývá, že maximální koncentrace srážek nastává v oblasti přechodu

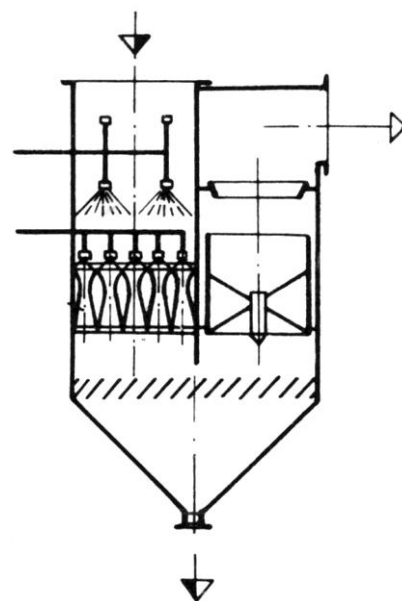
zužující se části v část válcovou, kde čištěný plyn nabývá své maximální rychlosti, zatímco kapičky se jím teprve začínají urychlovat. Mezi další činitele působící na odlučování lze uvést elektrostatické nabití částic, kondenzace na odlučovaných částicích v důsledku poklesu teploty pod rosný bod čištěného plynu a difúze (u částic menších než $0,5\ \mu\text{m}$). Uvedený průběh rychlostí závisí na místě, směru a rychlosti přívodu vody. Odlučivost je nejvyšší při určité tlakové ztrátě, kdy se tvoří kapičky optimálních velikostí asi 60 až $100\ \mu\text{m}$, u kterých je největší pravděpodobnost srážky s částicemi prachu. Absolutní hodnota jejich odlučivosti klesá se zmenšující se koncentrací prachu, a naopak stoupá se zvyšujícím se množstvím přiváděné vody, jen však po dobu jejího rovnoměrného rozprášení. [1,3]



Obr.43 [1]



Obr.44 [1]

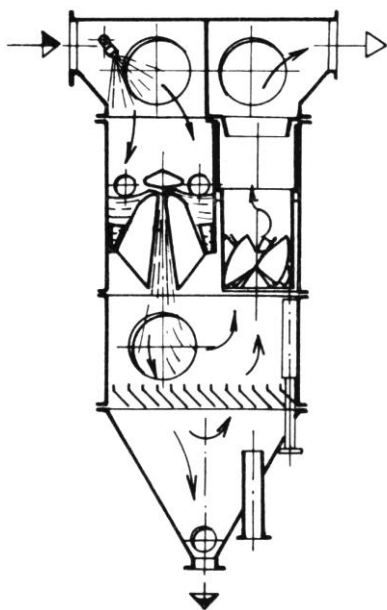


Obr.45 [1]

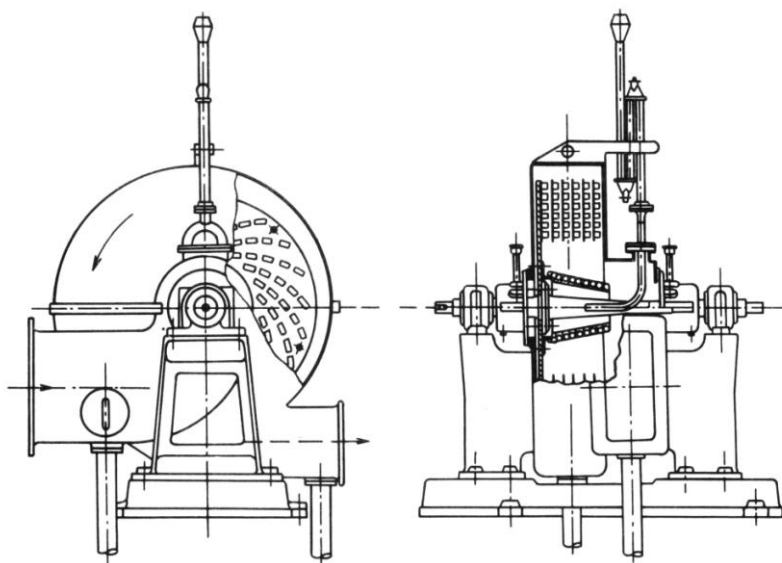
Venturiho odlučovačů rozeznáváme několik typů, lišících se především způsobem přivádění kapaliny. K nejrozšířenějším typům patří tzv. Pease Antony skrubr, u kterého se přivádí kapalina do hrdla radiálně, tedy s nulovou axiální rychlostí (obr. 41). Ke zlepšení rozdělení vody lze přívodní trubičky lehce odchýlit od radiálního směru (obr. 41a) nebo lze navzájem rovnoběžné trubičky směřovat střídavě proti sobě (obr. 41b). U typů označovaných jako Körting a Aeroget přivádí tryska již hotový vodní aerosol do zužující se části Venturiho

trubice (obr. 42). U odlučovače nazývaného Imatra Venturi skrubr je voda přiváděna trubičkami zaústěnými do hrdla ve směru proudu plynu (obr. 43), čímž se sice sníží tlaková ztráta, ale zároveň i odlupčivost. Je tak vhodný jen pro zvlhčování a ochlazování horkých plynů. Při použití k odsávání lepivého prachu se sklonem k cementování a zanášení, je možné Venturiho trubici modifikovat, tak aby byla odstraněna přechodová oblast suchého a smáčeného potrubí (obr.44). Odlučované částice poté dopadají z nesmáčeného přívodního potrubí přímo na smáčenou stěnu Venturiho trubice, a to v místě zúženého prstence, kde zároveň dochází k rozprášení. Určitou nevýhodou dostavující se na úkor konstrukce je zvýšení tlakové ztráty. K dosažení velkých odsávaných průtoků bez ztráty rovnoměrného rozprášení, které by vzniklo při zvětšení průměru trubice, se používá odlučovačů s větším množstvím samostatně ostříkovaných Venturiho trubic (obr.45) nebo odlučovačů s obdélníkovým vstupním průřezem, kde mají jen delší strany profil Venturiho dýzy a kratší jenom prostor uzavírají (obr. 46). [1]

Venturiho trubice v samostatném či vícečetném provedení jsou výhodné zejména pro odlučování částí kolem 1 μm nebo ještě menší. Uplatňují se převážně v provozech, kde je požadováno dokonalé čištění plynu, a to i za cenu vyšších nákladů spojených s velkou tlakovou ztrátou zařízení pohybujících se v řádech několika tisíc pascalů. Takovými plyny jsou například vysokopeční plyny odváděné z kyslíkových konvertorů, dvounístejných tandemových pecí a elektrických obloukových pecí s foukáním kyslíku či plynů vznikajících při výrobě neželezných kovů. V těchto provozech, kde má odsávaný plyn zvýšenou teplotu je vhodné plyn před vstupem do Venturiho trubice ochladit nebo aspoň nasytit vodními parami, aby v trubici nedocházelo k odpaření jemných kapalných částic, a tím snížení účinnosti. [1,3]



Obr.46 [1]



Obr.47 [3]

Mokrý rotační odlučovače

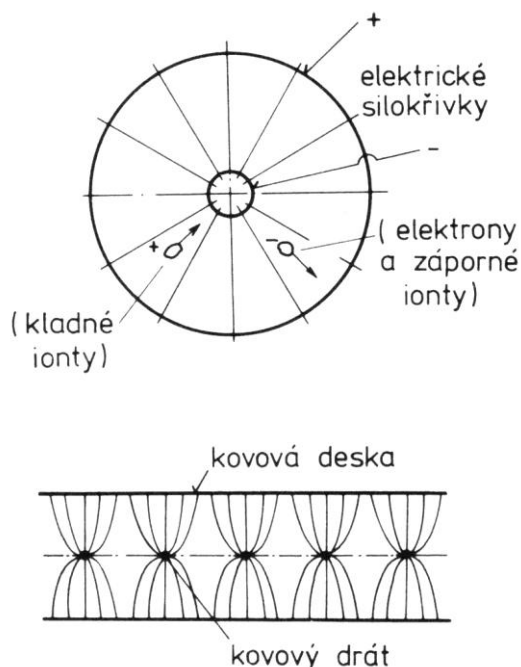
Mokrý rotační odlučovače se někdy nazývají též mechanické pračky nebo dezintegrátory. Mezi jejich základní součásti řadíme spirální skříň, rotor a stator, které jsou oba tvořené prstencově umístěnými tyčemi (obr. 47). Plyn se přivádí středem do spirální skříně, kde se mísí s vodou, která je přiváděna do středu a je rozstříkována děrovaným kotoučem, který tvoří náboj rotoru. Voda se dostává odstředivou silou až na vnější okraj kotouče, odkud je odváděna pomocí rotorových lopatek. [1,3]

Oproti ostatním mokrým odlučovačům nemá tlakovou ztrátu, ale díky energii dodávané pohonem rotoru, má dokonce tlakový zisk. Odlučuje i částice v mikronové oblasti, ale vzhledem k vysokým výrobním a provozním nákladům a nižší spolehlivosti je nahrazován buď mokrými elektrickými odlučovači, nebo Venturiho trubicemi. Setkáváme se s ním ještě při čištění vysokopevního plynu. [1]

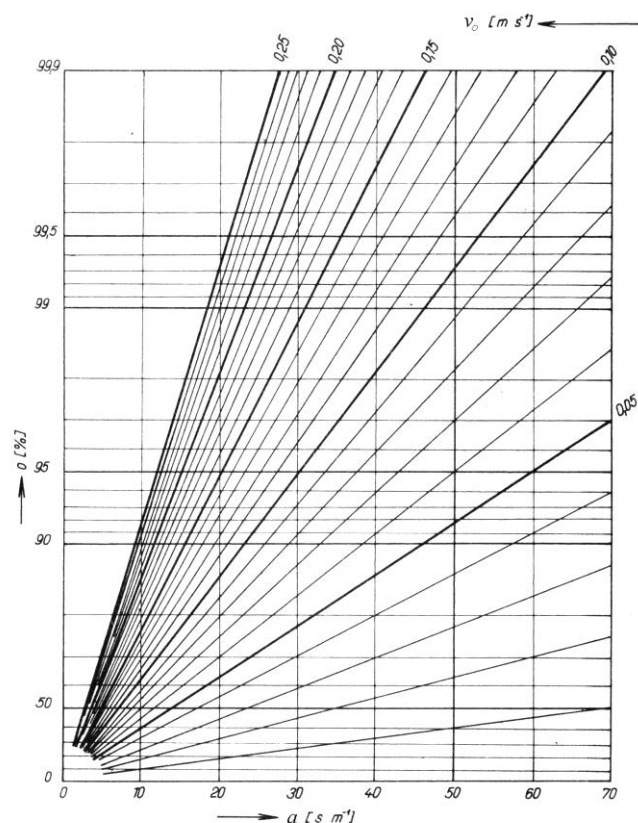
Elektrické odlučovače

Pracují na principu elektrostatického nabíjení částic nečistot v proudu filtrovaného vzduchu a jejich usazování na deskách filtrační buňky. Nabíjení dochází působením

koronového výboje o stejnosměrném napětí 30 000 až 60 000 V



Obr.48 [3]



Obr.49 [1]

mezi nabíjecími a uzemněnými elektrodami (obr.48). [1,3]

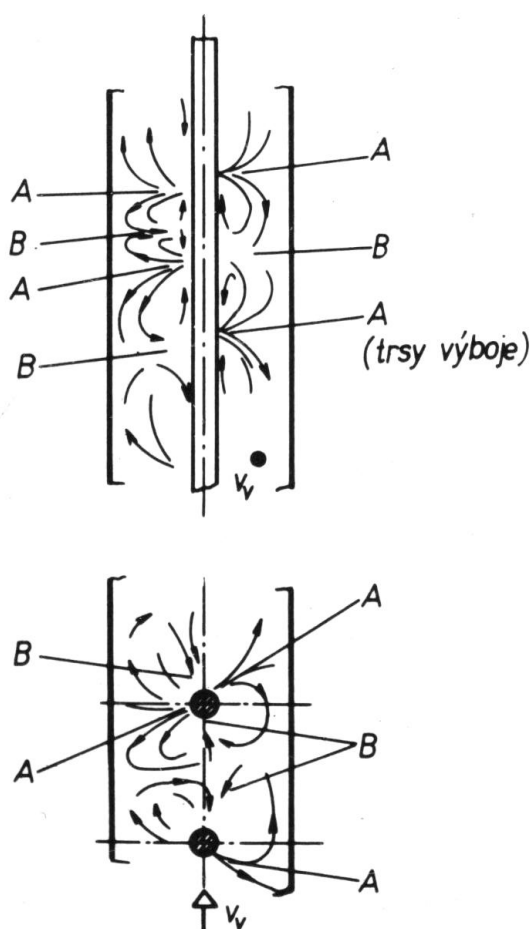
Ke stanovení celkové odlučivosti se používá zjednodušeného poloempirického Deutschova vzorce,

$$O_c = (1 - e^{-v_o \cdot a}).100, \quad (21)$$

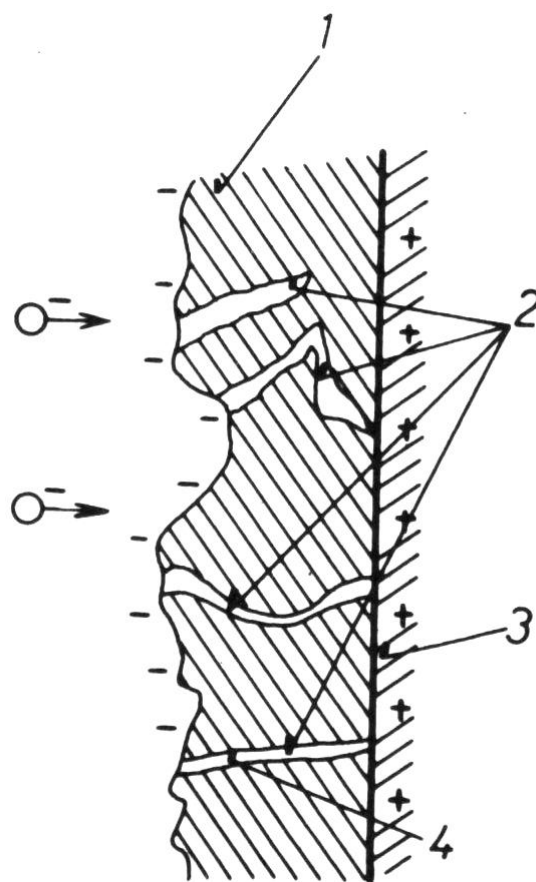
který přibližně odpovídá skutečnosti. Ve vzorci má v_o význam zdánlivé odlučovací rychlosti a $a = S/Q_v$ tzv. měrné usazovací plochy elektrického odlučovače, tj. celková usazovací plocha (obou stran usazovacích elektrod), dělená celkovým průtočným objemem plynu (rozměr a je $s \cdot m^{-1}$). Závislost O_c , a , v_o je vynesena na obrázku 49. Pro odvození odlučovací rychlosti existují velmi složité vztahy, a proto se obvykle volí empirický vztah vytvořený na základě experimentálních či provozních zkušeností. Prakticky se odlučovací rychlost pohybuje v rozmezí od $0,03$ do $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v závislosti na granulometrickém složení prachu. [1,3]

K nepříznivým jevům narušující funkci elektrického odlučovače patří tzv. „elektrický vítr“ vznikající tím, že se

plynné ionty nepohybují v celém prostoru rovnoměrně. Tím není umožněn vznik rovnoměrného koronového výboje, ale dochází k němu jen na ojedinělých místech. Plynné ionty s sebou při svém pohybu od této „sršící“ elektrody ke sběrné elektrodě strhávají okolní plyn, čímž vzniká proudění sekundárně ovlivňující i pohyb tuhých částic. Na obrázku 50 v místech označených A podporuje elektrický vítr odlučování tuhých částic, kdežto v místech označených B zhoršuje podmínky odlučování. [1,3]



Obr.50 [3]

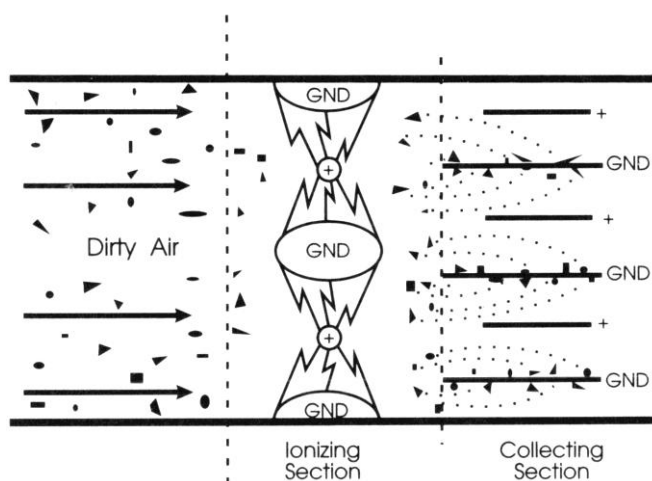


Obr.51 [3]

1- vrstva příměsi s velkým měrným elektrickým odporem, 2 - průduchy, 3- srážecí elektroda, 4- výstup kladných plyných iontů (podmínka pro koronový výboj)

Dalším nepříznivým jevem je tzv. „zpětná koróna“ vznikající při využití usazovací kapacity sběrné elektrody, kdy je její celý povrch pokryt souvislou vrstvou prachu (obr. 51). Po překročení hodnoty měrného elektrického odporu asi $2 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ nedochází již k odvádění elektrického náboje sběrnou elektrodou, a ten se hromadí. Od určité velikosti se v kanálcích prachové vrstvy vytvoří elektrické pole, působící jako hroty

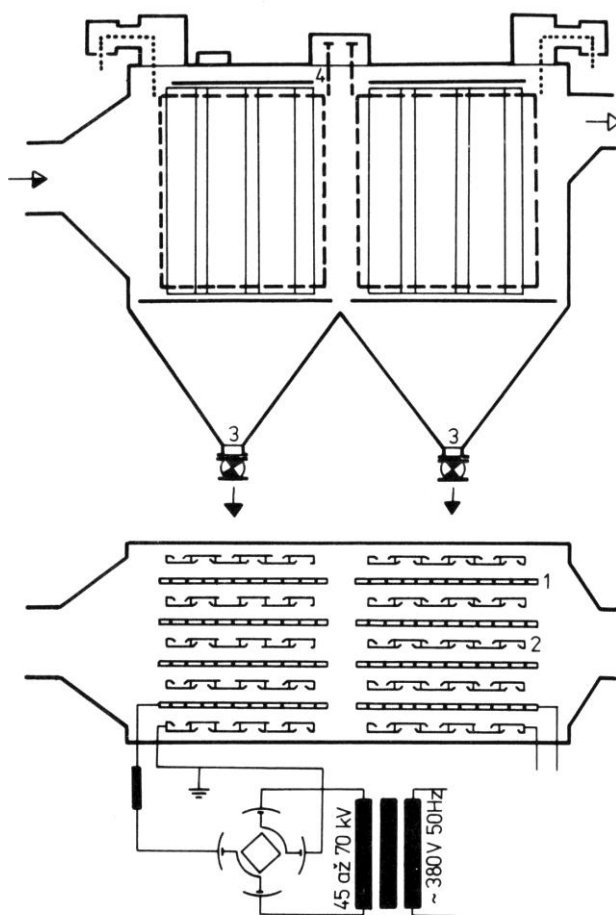
snižující přeskokové napětí mezi elektrodami. Po čase se začnou tvořit plynné ionty s opačnými znaménky než jaký mají tuhé částice přiváděné na sběrnou elektrodu. Takto nabité ionty jsou podkladem pro vznik zpětné koróny, kdy dochází k přeskokům mezi elektrodami v opačném směru. Jednak se tak snižuje náboj v prostoru mezi elektrodami, a jednak dochází k neutralizaci náboje na prachových částicích stykem s opačně nabitými ionty, což snižuje rychlost odlučování. K odstranění či spíše oddálení vzniku zpětné koróny se používají tři způsoby. První z nich vede ke snížení měrného odporu vrstvy prachu, a to především prostředky snižujícími povrchový odpor částic-snižováním rozdílu mezi provozní teplotou plynu a rosným bodem plynu, vlhčením. Druhým je přidáváním takzvaných elektronegativních plynů, které snižují pohyblivost iontů plynu a zvyšují jeho přeskokové napětí. Zároveň tak omezuje měrný proud procházející usazenou vrstvou prachu při zachování dostatečného provozního napětí. Třetí způsob je v podstatě shodný s druhým, kdy se snižuje měrný proud procházející vrstvou prachu. Zde ovšem pomocí nízkého provozního napětí s nízkými proudy. Nevýhodou je velmi nízká střední odlučovací rychlost a tomu odpovídající značné zvětšení usazovací plochy. V praxi se používá hlavně prvního a třetího způsobu. Elektrostatické odlučování je tedy limitováno měrným elektrickým odporem prachu a optimálními hodnotami v rozmezí od 10^6 do $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$. [1,3]



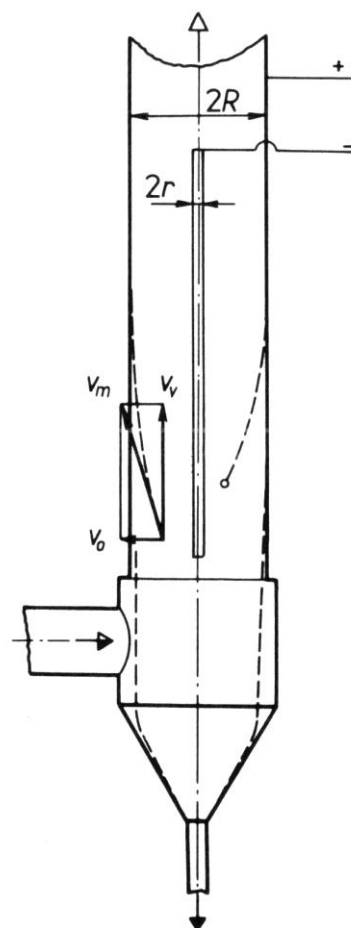
Obr.53 [6]

Podle směru proudění vzduchu a k němu kolmému umístění nabíjecích elektrod rozeznáváme horizontální (obr. 52) a vertikální elektrické odlučovače. Plyn s prachem vstupuje po značném snížení rychlosti do mezery mezi nabíjecími (1) a usazovacími (2) elektrodami. Nejprve dochází k elektrickému nabití všech hmotných částic, a poté jsou nabité částice odváděny v silném elektrickém poli z plynu ke stěnám vytvořených z usazovacích elektrod (obr. 53). V konečném kroku je prach z usazovacích elektrod nejčastěji mechanicky odklepán a odveden do sběrače prachu. Nejčastější konstrukce je horizontální komorová, vyrábějí se však i odlučovače vertikální. Kromě komorových se pro odlučování olejů a dehtů používají odlučovače trubkové, kde nabíjecí elektroda vede v ose potrubí a odlučovaný prach se usazuje na jeho stěně (obr. 54). Odlučovače se vyrábí v provedení jak suchém, tak ve zvláštních případech a provozech i mokré. Zdrojem vysokého napětí jsou jednofázové nebo třífázové elektrické usměrňovače, dnes již převážně s polovodičovými prvky. Konstrukčně se za nejdůležitější považuje vlastní provedení nabíjecích elektrod (obr. 55) a usazovacích elektrod (obr. 56). Nabíjecí elektrody by měly být pokud možno co nejtenčí. Měly by zajišťovat co možná nejrovnoměrnější rozdělení náboje v prostoru. Tvar usazovacích elektrod by měl zajišťovat odolnost proti odnosu již usazeného prachu proudícím plynem a dobré rovnoměrné rozdělení příčného zrychlení na povrchu pro zajištění účinného mechanického oklepu. [1,3]

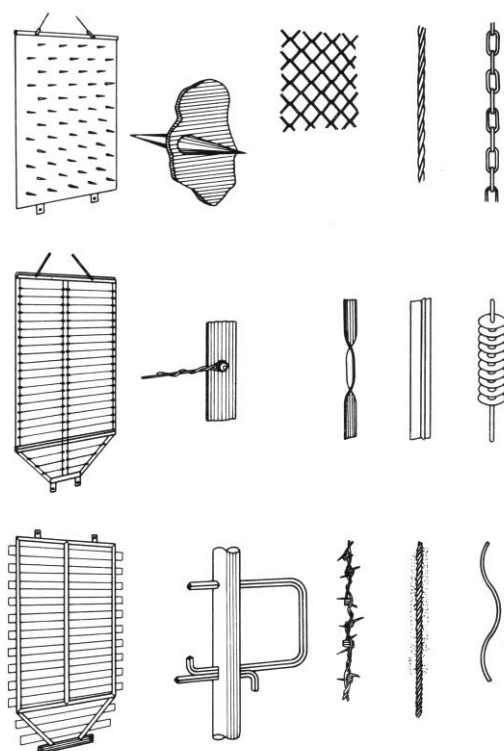
Elektrické odlučovače mají vysokou odlučivost i pro velmi malé částice prachu. Z důvodů malé průtočné rychlosti ($0,5$ až $2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) vychází velká zastavěná i obestavěná plocha a vysoké investiční náklady. Za výhodnou je považována současně poměrně malá tlaková ztráta (50 až 100 Pa). Používají se proto hlavně pro velké průtoky plynů s tuhými příměsmi, zvláště popílků z kouřových plynů ve velkých elektrárnách. [3]



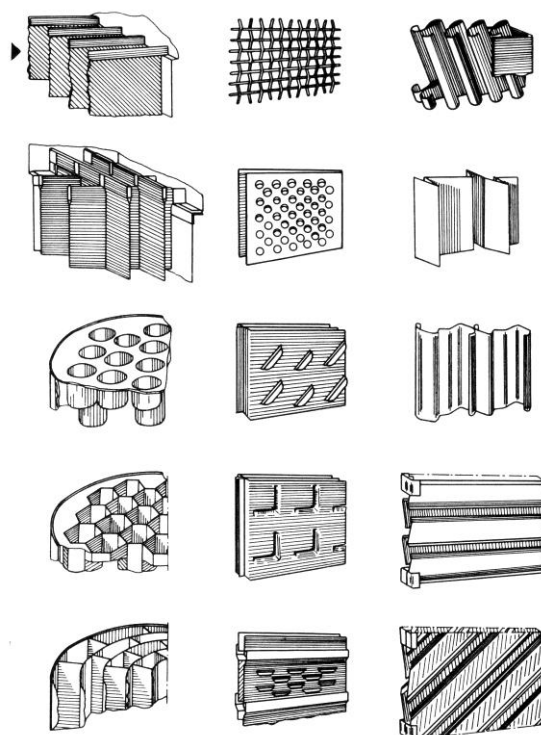
Obr.52 [3]



Obr.54 [3]



Obr.55 [3]



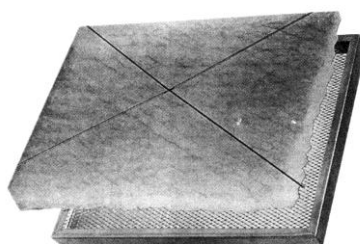
Obr.56 [3]

Látkové filtry

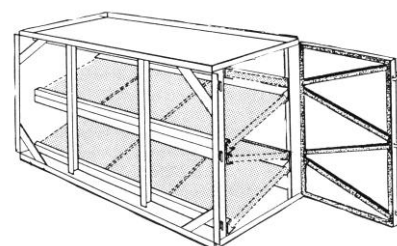
Látkové filtry se většinou umísťují do skříní, v některých případech zároveň dělených na komory. Ve skříních jsou umístěné jednotlivé filtrační členy. Látkové filtry pracují



Obr.57 [7]

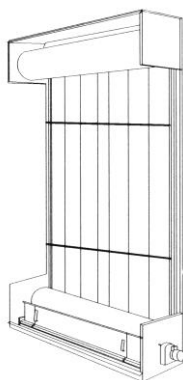


Obr.58 [6]



Obr.59 [6]

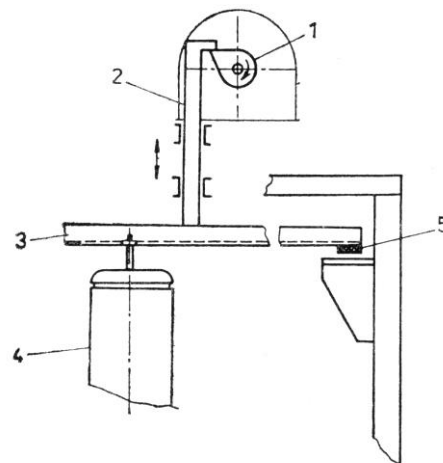
v podobném režimu jako elektrické odlučovače, kdy je většina filtračních ploch v nepřetržitém provozu a jen střídavě u jednotlivých nebo více členů dochází k odstranění naneseného prachu. Výjimku tvoří odsávací jednotky s jedním filtračním členem, kde se volí přerušovaný provoz. [1, 3]



Obr.60 [6]



Obr.61 [8]



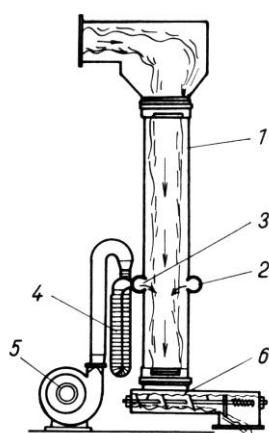
Obr.62 [2]

1- vačka, 2- spojovací táhlo, 3-rám hadic, 4- hadice, 5- pryžový tlumící člen

Podle tvaru filtrační látky rozeznáváme několik typů látkových filtrů. První skupinu tvoří hadicové filtry (obr. 57), u kterých je filtrační látka upravena do tvaru hadic různých délek a průměru. Pokud filtrovaný vzduch prochází z vnějšku dovnitř hadice, pak jsou hadice vyztužované opěrnými kroužky. Druhou skupinu zastupují ploché filtry, které mají uspořádanou filtrační látku do plošných obdélníkových, klínových či kapsových tvarů.

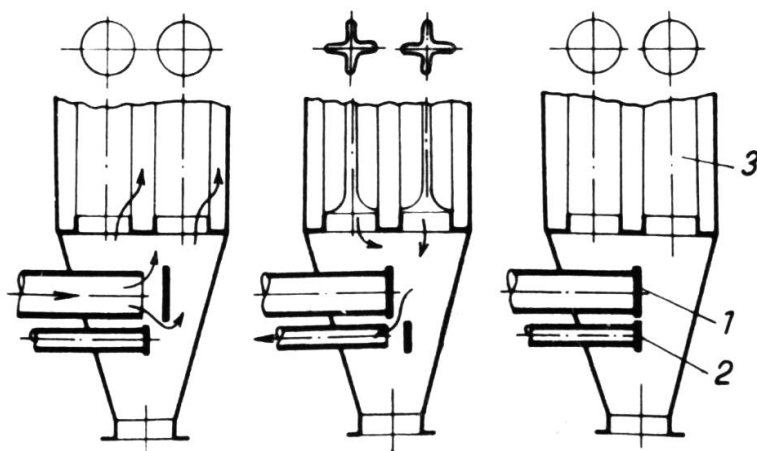
Obdélníkové jsou vyztužené drátěnou konstrukcí a upnuty do rámu, které se aplikují samostatně (obr.58) nebo se jako tzv. vložkové filtry střídavě zasouvají do filtračních skříní (obr.59). Klínové či kapsové sklady jsou prostorově úspornější, ale často vyžadují použití vložení výztuh nebo separátoru, které zamezí styku kapes a tím snížení filtrační plochy. Třetí možnou variantou je pásový filtr, kde je filtrační rohož napnutá mezi dvěma válci, které se v případě zanesení otáčejí. Z horního válce se dostává do vzduchové zóny čistá tkanina, zanesená tkanina se namotává na spodní válec, kde je rovnou čištěna v olejové lázni (obr.60). Posledním typem filtračního členu je patrona, kdy je filtrační látka naskládána do mezikruží dvou krycích víček (obr.61), čímž se velice efektivně využívá zastavěné plochy. [1, 2,3]

Pro odstraňování nánosů z filtračního povrchu se využívá několik metod. U hadicových filtrů je to mechanický oklep, kdy se uvádí do pohybu pomocný rám, ve kterém jsou uchycené hadice (obr. 62). Dále se může použít pohybu prstence se stlačeným vzduchem okolo hadice (obr.63) nebo tzv. „kolapsu“, který nastává po odeznění přetlaku v hadici a který může být doplněn o tzv. „zpětný proplach“, neboli zpětný proud vzduchu (obr.64). Mezi účinné mechanismy patří pulsační účinek stlačeného vzduchu vháněného do hadice (obr.65) nebo filtrační



Obr.63 [1]

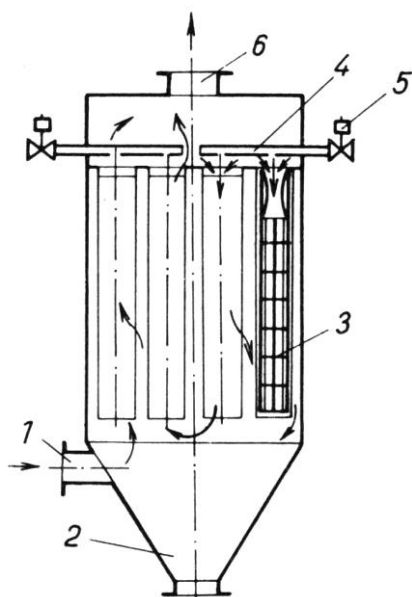
1- filtrační hadice, 2- dutý prstenec, 3-profukovací štěrbin, 4- ohebný převod, 5- vysokotlaký ventilátor, 6- šnekový dopravník



Obr.64 [1]

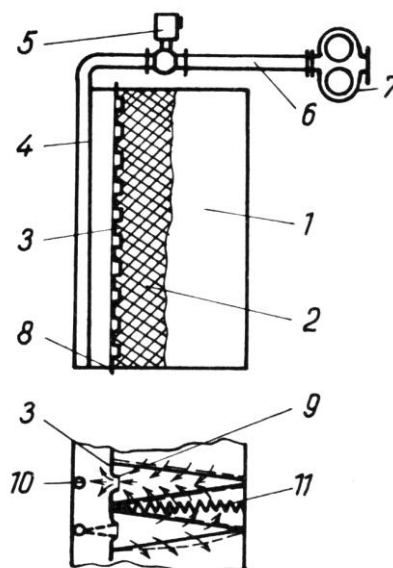
1- uzavírací ventil čistého vzduchu, 2- ventil pro zpětný profuk, 3- filtrační hadice

kapsy (obr.66). Stejného mechanismu se využívá i u patronových filtrů. [1, 3]



Obr.65 [1]

1- vstupní potrubí, 2- výsypka, 3-filtrační hadice s drátěnou kostrou, 4- rozváděcí tyč tlakového vzduchu, 5- elektromagnetický ventil, 6- výstupní potrubí



Obr.66 [1]

1- filtrační látka, 2- nosný klín, 3-ejektorové víko, 4- trubka tlakového vzduchu, 5- elektromagnetický ventil, 6- přívod tlakového vzduchu, 7- kompresor, 8- distanční plech, 9- ejektor, 10- tryska, 11- žaluzie

Filtrační materiály

Základem pro správnou funkci látkového filtru je vhodně zvolený filtrační materiál. Musí se hodnotit fyzikální a chemické parametry plynu a částic a jejich společný vliv na materiál a proces filtrace.

K nejstarším používaným materiálům patří papír a tkané textilie, které se dostaly do pozadí s příchodem technologie netkaných textilií. Nosný základ tohoto materiálu tvoří podkladová tkanina umístěná uprostřed nebo jenom na jedné straně. Do této tkaniny se pomocí plastických jehel navazuje základní textilní rouno. Vlastnosti základního rouna určují například odolnost výsledného materiálu proti teplotě, kdy se nejnižší okolo 90°C uvádí pro polypropylenová rouna a postupně vzrůstají u polystyrenových, polyakrylonitrilových, skleněných, aramidových až po polyamidová vlákna s krátkodobou odolností dosahující 260°C. K důležitým výrobním postupům zvyšujícím užité vlastnosti patří povrchová

úprava hlazením, zvýšenou teplotou, impregnací nebo laminováním vrstvy z polytetrafluoretylenu či nanovláken. Všechny tyto úpravy vedou k posunutí hranice odlučivosti a trvanlivosti k vyšším hodnotám. Umožňují nahrazení většiny z předchozích uváděných metod filtrací látkovou pro široké spektrum škodlivin. [1,8,9]

Závěr

Emise škodlivin za stacionárních zdrojů jsou pod trvalým dohledem státních orgánů i laické veřejnosti. Dochází k postupnému zpřísňování všech emisních limitů. Filtrace vzduchu a jeho čištění se zaměřuje na komplexní zlepšování všech funkčních parametrů - na zvyšování filtrační účinnosti, zlepšování provozní spolehlivosti a snižování provozních nákladů. Technický rozvoj ve filtraci se nezastavil.

V posledních letech se objevují nové filtrační materiály u textilních filtrů. Nejprve se objevily filtrační materiály s laminovanou teflonovou membránou, které posunuly hranici dobré odlučivosti prachového aerosolu do submikronové oblasti. V dnešní době jsou již tyto materiály běžně používány. V současnosti se začínají používat textilní filtrační materiály s laminovanou membránou z nanovláken. Výrobní technologie tažení nanovláken stará šedesát let získala v posledních letech značnou popularitu, nové výrobní linky umožňují hromadnou výrobu za přijatelné ceny.

Dalším trendem je snaha o minimalizaci produkce odpadů, což u filtrů znamená zařazení filtrace odsávané vzdušiny přímo u výrobních zařízení a vracení zachyceného prachu z filtrace zpět do výrobní technologie.

Cestou ke snižování provozních nákladů jsou i úspory topných nákladů vracením vyčištěného vzduchu po filtraci zpět do výrobních prostorů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Štorch, Otakar a kolektiv. *Čištění průmyslových plynů a exhalací odlučovači*. 1.vyd. Praha : SNTL, 1976. 312s.
- [2] Hejma, Jiří; Budinský, Karel; Vávra, Alois et al. *Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu* 1. vyd. Praha : SNTL, 1981. 400s.
- [3] Bretschneider, Boris; Kunfürst, Jiří. *Technika ochrany ovzduší* 1.vyd. Praha : SNTL, 1978. 260s.
- [4] Longauer, Jaroslav. *Hydraulika a vzduchotechnika v dřevospracujúcim priemysle* 1.vyd. Bratislava : Alfa, 1991. 382s.
- [5] Strauss, Werner. *Promyšlennaja očistka gazov*. Moscow : Khimiya, 1981. 615s.
- [6] NAFA Guide To Air Filtration. 2.ed. Washington : NAFA, 1996, ISBN 1-884152-00-7
- [7] Anonymous, 2010. http://www.gore.com/en_xx/products/filtration/baghouse/filterbags/goretex/filterbags_goretex.html. Přečteno 11.10. 2010.
- [8] Anonymous, 2010. http://www.gore.com/en_xx/news/high-temp-cartridge-filter.html. Přečteno 11.10. 2010.
- [9] Kolektiv autorů, Průmyslová filtrace plynu. Praha : Dům techniky ČVTS, 1975. 46s.

Seznam použitých zkratek a symbolů

a	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	zrychlení, měrná usazovací plocha
C	$[-]$	konstanta
D	$[\text{m}]$	průměr
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	tíhové zrychlení
h_t	$[\text{m}]$	hloubka zapuštění
Q	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	průtok
Q_f	$[\%]$	frakční odlučivost
Q_c	$[\%]$	celkové odlupčivost
Δp	$[\text{Pa}]$	tlaková ztráta
r	$[\text{m}]$	poloměr zakřivení
v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rychlost plynu
$v_{rel} = v_k'$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	relativní rychlost částice
$v_w = v_u$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	absolutní rychlost částice

ρ_m	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	měrná hmotnost
κ	$[-]$	konstanta
ω	$[\text{s}^{-1}]$	úhlová rychlost
η	$[\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}]$	dynamická viskozita
ξ	$[-]$	součinitel odporu

Indexy

d	fiktivní
m	hmotnostní
p	sestupný
z	vzestupný