

PROBLEMATIKA OPTIMÁLNÍHO ZPŮSOBU REGENERACE PRŮMYSLOVÝCH FILTRŮ Z POHLEDU PROVOZNÍCH NÁKLADŮ

Autoři:

Ing. Bohuslav Smrž, Miroslav Hybeš

Zajištění optimálního způsobu regenerace průmyslových filtrů má zásadní vliv na jejich správnou funkci. Střídající se cykly filtrace a regenerace umožňují odstraňování odloučené vrstvy prachu s povrchu filtrační textilie s cílem udržet tlakovou ztrátu filtračního zařízení a tím průtočné množství filtrované vzdušiny na projektem stanovené provozní hodnotě.

V současnosti se k regeneraci filtrů díky kvalitním povrchovým úpravám filtračních netkaných textilií používá buď zpětný proplach filtračních členů čistou vzdušinou (dříve obvykle v kombinaci s mechanickými oklepy nebo vibrací filtračních členů), nebo tzv. impulsní tlakovzdušná regenerace (známá pod označením „puls jet“). Zpětného proplachu můžeme docílit pomocí „proplachovacího“ ventilátoru nebo pomocí podtlaku ve filtru, kdy se po otevření „proplachovací“ a uzavření „výstupní“ klapky regenerované části filtru (komory) nasaje z okolí filtru atmosférický vzduch. Uvedené způsoby regenerace filtru se liší zejména svou intenzitou a výrobní i provozní náročností.

Volba jednoho z uvedených způsobů regenerace filtru je závislá od provozních podmínek filtru, resp. na podmínkách filtrace. Podmínky filtrace charakterizují především fyzikální a chemické vlastnosti prachu a filtrované vzdušiny, jako je například granulometrie prachu, koncentrace prachu, měrná a sypaná hmotnost, chemické složení, vlhkost vzdušiny atd. Tyto charakteristické vlastnosti prachů a filtrované vzdušiny mají vliv na obtížnost jeho odstraňování s povrchu filtrační textilie. Je-li prach velmi jemný a lepkavý je nutno volit regeneraci intenzivní. V případě prachu hrubšího a nelepkavého je ekonomicky výhodnější volit regeneraci méně intenzivní. Volba způsobu regenerace je nejen závislá na konkrétních provozních podmínkách filtru, ale také na ekonomickém vyhodnocení filtračního zařízení, jak z hlediska pořizovací ceny, tak z hlediska provozních nákladů.

Zpětný proplach vyvolaný podtlakem ve filtru patří mezi nejstarší, ale také nejspolehlivější a nejlevnější způsoby regenerace filtrů. Lze konstatovat, že tento způsob regenerace vyhovuje svou účinností v převážné většině (min. 90 %) všech průmyslových provozů s nutností odprašování zdrojů prašnosti průmyslovými filtry

(např. těžba a zpracování surovin, výroba stavebních hmot, černá a barevná metalurgie, energetika, zemědělské a potravinářské provozy aj.). Vlastní regenerační zařízení, zpravidla mechanicky ovládané klapky, je v závislosti na technickém řešení obvykle jednoduché na obsluhu a nenáročné na údržbu. Pořizovací cena tohoto zařízení je nízká a provozní náklady minimální. Intenzita zpětného proplachu je závislá na velikosti podtlaku ve filtru a odporu (tlakové ztrátě) „proplachovacího“ otvoru, kterým se přisává vzdušina z okolí filtru. Dostatečný podtlak ve filtru je zpravidla zajištěn již tlakovou ztrátou vzduchotechnického systému před filtrem. Doba proplachu části filtru (komory) trvá obvykle jen několik vteřin. Díky nižší intenzitě proplachu je namáhání filtrační textilie minimální, čímž se dosahuje dlouhé životnosti filtračních členů. Tento způsob regenerace rovněž tak intenzivně nenarušuje primární odloučenou vrstvu prachu, která spoluvytváří s filtrační textilií filtrační vrstvu, kterou se docílí zachyt i těch nejmenších částic prachu. Úlet je minimální a je dosaženo vysoké odlučivosti filtru. Nevýhodou tohoto způsobu regenerace je, že pracuje pouze v podtlakovém vzduchotechnickém systému, ale s ohledem na to, že přetlakový systém má obvykle uplatnění např. jen při plnění zásobníků sypkých hmot (sila) pneumatickou dopravou je použití tohoto způsobu proplachu limitováno minimálně. Podtlakový systém se používá při odprašování prakticky ve všech případech, kromě uvedeného, z důvodů ochrany hlavního tahového ventilátoru před odsávaným prachem (ventilátor je za filtrem).

V případě zpětného proplachu pomocí „proplachovacího“ ventilátoru je regenerační zařízení obdobné jako v předcházejícím případě, co se týče ovládaní klapky (někdy také talířové ventily velkého průměru ovládané pneumotory). Intenzita proplachu je závislá na navržených parametrech ventilátoru a doba trvání proplachu je také obvykle shodná jako v předcházejícím případě. Pořizovací cena tohoto zařízení je obvykle vyšší o cenu ventilátoru, případně o cenu ovládacího zařízení klapky, resp. ventilů. Provozní náklady narostou o cenu spotřebovávané energie ventilátorem.

Impulsní tlakovzdušná regenerace je nejintenzivnějším způsobem regenerace filtru, proto se používá především tam, kde jsou nepříznivé filtrační podmínky (sklářské pece, pálící a svařovací automaty, žárové zinkovny aj.), tj., kdy prach je velmi jemný (aerosoly) a lepkavý. Lze jej použít jak pro podtlakový, tak pro přetlakový vzduchotechnický systém. Tento způsob regenerace filtrů je znám a používá se cca 30 let, ale jako novinku jej u nás v současnosti nabízí řada firem vzniklých po roce 1989. Pro zajímavost uvádíme, že jako jedna z prvních zemí, kde byly vyvinuty a vyráběny filtry s regenerací „puls jet“ bylo Československo (v roce 1966 - Výzkumný ústav vzduchotechniky Praha a ZVVZ Milevsko). Tato regenerace pracuje na principu ejektoru sestávajícího

se z trysky, konfuzoru, směšovací komory a difuzoru. Obvykle konfuzor, směšovací komoru a difuzor tvoří Venturiho trubice.

Tlakový vzduch je přiváděn na trysku ze zásobníku tlakového vzduchu membránovým ventilem řízeným solenoidovým ventilem. Podle typu a velikosti filtru je různý počet ventilů a ejektorů. Doba trvání jednoho impulsu (výtok stlačeného vzduchu z trysky kritickou rychlostí) je velmi krátká a trvá cca $0,1 \div 0,3$ sec. Vytékající proud stlačeného vzduchu z trysky má tvar kužele. Svým povrchem (kuželovým pláštěm) přisává okolní vyčištěný vzduch. Ve směšovací komoře se vyrovnávají původně rozdílné parametry (rychlost, tlak, teplota) ejekčního a přisávaného vzduchu. Takto vytvořenou „směsí“ vzdušiny a jejím výtokem vysokou rychlostí z ejektoru se docílí dynamického rázu, který způsobí akceleraci filtrační textilie filtračního členu s odloučeným prachem. Tímto dynamickým rázem se „oklepne“ filtrační člen za současného zpětného proudění vzdušiny textilií, čímž se odstraní s povrchu textilie odloučený prach.

Účinnost ejektoru (směšovací poměr tlakového a přisátého vzduchu), je závislá na přesném návrhu a výpočtu (geometrické a tlakové poměry) a je náročná na přesnost výroby a montáž regeneračního zařízení. Podmínkou správné funkce je tlak stlačeného vzduchu, který by měl být v rozsahu $0,5 \div 0,7$ MPa. Spolehlivá funkce membránových ventilů a tím celého regeneračního zařízení je závislá na čistotě a odvlhčení tlakového vzduchu. Tato podmínka nabývá na významu se zmenšujícím se průměrem ventilu. Zejména neodvlhčený vzduch může ventil vyřadit z provozu a to při nízkých venkovních teplotách, kdy je filtr umístěn mimo zateplené prostory. Určitým nedostatkem tohoto způsobu regenerace je, že intenzivní a nárazové očištění filtračního členu způsobí narušení primární odloučené vrstvy prachu spoluvytvářející s filtrační textilií filtrační vrstvu, čímž dochází těsně po regeneraci ke vzrůstu proniku a úletu nejmenších částic prachu do okamžiku, než se filtrační vrstva opět „zatáhne“. Je obtížné v takovém případě dosáhnout minimálního úletu a vysoké odlučivosti filtru. Vlivem dynamického rázu je také značně namáhána filtrační textilie, čímž klesá životnost filtračních členů. Ačkoliv je regenerace velmi intenzivní, je časově velmi krátká, což má za následek, že odtržený odloučený prach s povrchu filtrační textilie nemá dostatek času, aby vlastní tíhou spadl do výsypky filtru, což se obzvláště projevuje u filtračních členů jejichž délka je neúměrně velká (zejména u hadicových filtrů). Navíc při regeneraci jen určitého počtu (skupiny) filtračních členů (závisí na provedení filtru) odtržený odloučený prach s povrchu filtrační textilie je unášen filtrovanou vzdušinou na sousední neregenerované filtrační členy, které jsou v normálním procesu filtrace (takový způsob regenerace filtru „puls jet“ se uvádí v odborné literatuře pod označením „on line“). Takto může docházet

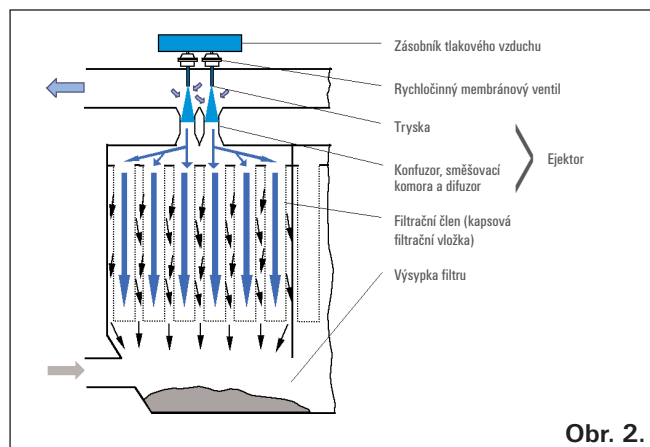
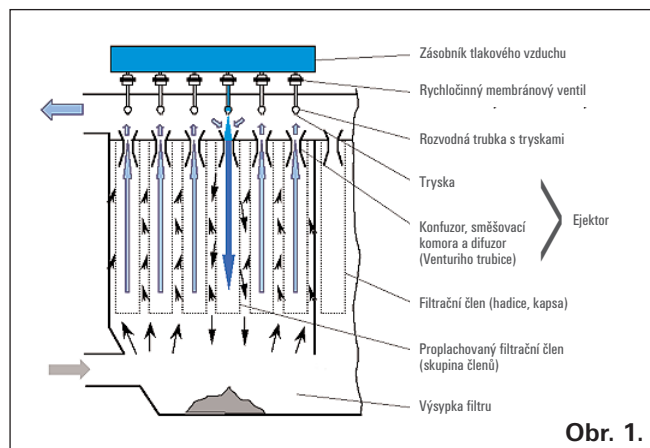
ke postupnému zanášení filtru, vzrůstu jeho tlakové ztráty a snížení účinnosti odsávání zdroje prašnosti. Tomuto nedostatku regenerace filtru „on line“ lze zabránit regenerací „off line“, kdy se obvykle celá část filtru (komora) odstává, např. pomocí klapky, z filtračního procesu a regenerace proběhne postupně po skupinách jednotlivých filtračních členů. Při regeneraci filtru „puls jet“ v režimu „off line“ je prakticky trvale jedna část filtru (komora právě regenerovaná „off line“) trvale vyřazena z procesu filtrace a proto musí být s tímto uvažováno při dimenzování filtru. Z uvedeného je zřejmé, že cena regeneračního zařízení „puls jet“ v porovnání s předcházejícími způsoby regenerace je nejvyšší (plyne ze značného počtu přesných dílů). Z provozních nákladů jsou rozhodující položkou náklady na výrobu a úpravu tlakového vzduchu.

Firma APF - Praha má dlouholeté a bohaté zkušenosti v oblasti průmyslové filtrace a nabízí filtry s typovým označením FVU v provedení filtračních členů ve tvaru vícekapsových filtračních vložek a s regenerací buď zpětným proplachem vyvolaným podtlakem ve filtru, nebo „puls jet“. Za účelem snížení provozních nákladů regenerace „puls jet“ (spotřeby tlakového vzduchu) firma vyvinula a od roku 1993 nabízí regenerační zařízení „puls jet“ chráněné patentem, kdy snížením počtu membránových ventilů a ejektorů na úkor zvětšení jejich velikosti došlo k zásadnímu snížení spotřeby tlakového vzduchu a počtu dílů regeneračního zařízení a tím ke snížení pořizovacích a provozních nákladů.

Podstata nového řešení spočívá v tom, že proti obvyklému provedení, kdy jsou regenerovány jednotlivé filtrační členy nebo jejich skupiny za pomoci malých ejektorů a ventilů, a to postupně za sebou v každé komoře filtru, probíhá regenerace v každé komoře filtru naráz. To bylo umožněno optimalizací tvaru a velikosti ejektoru a ventilu ve vztahu k účinnosti zařízení (směšovací poměr) na jednotku regenerované filtrační plochy filtru (jedna komora filtru). Touto optimalizací se docílilo, ve srovnání s obvyklým provedením a podle různého typu filtru, snížení počtu ejektorů až cca 8_× a počtu ventilů až 3_×. Při zachování stejné intenzity regenerace má spotřeba tlakového vzduchu uváděná v m^3_N (za normálních podmínek) nasátého vzduchu kompresorem na jeden m^2 filtrační plochy za hodinu u regeneračního zařízení „puls jet“ podle řešení APF hodnotu $0,015 \div 0,06$. Jak uvádějí různí tuzemští výrobci filtrů s regenerací „puls jet“ je tato hodnota v průměru rovna $0,25 m^3_N / m^2 \cdot h$ a v případě některých zahraničních firem je uváděna tato hodnota ve výši $0,05 \div 0,08 m^3_N / m^2 \cdot h$. Díky regeneraci celé komory filtru naráz je nedostatek při postupném regenerování jednotlivých filtračních členů nebo jejich skupin v jedné komoře, jak už bylo výše popsáno, vyloučen a režim regenerace komory „off line“ pomocí uzavíracích klapky není potřebný. Provedení regeneračního zařízení „puls jet“ APF umožňuje pro universální skříň filtrů FVU použít, pouhou záměnou

tzv. regeneračního panelu, kterýkoliv z obou způsobů regenerace filtrů FVU.

Na následující obrázcích je znázorněn na řezu jednou komorou filtru způsob regenerace „puls jet“ v obvyklém provedení a v provedení APF. Na obrázku 1 je zobrazeno obvyklé provedení s postupnou regenerací jednotlivých filtračních členů nebo jejich skupin a to v režimu „on line“. Na obrázku 2 je zobrazeno provedení APF v okamžiku regenerace celé jedné komory filtru.



Na následujícím grafu je znázorněno porovnání provozních nákladů regenerace filtru zpětným proplachem vyvolaným podtlakem ve filtru a „puls jet“ podle obvyklého provedení a podle provedení APF. Pro vyhodnocení provozních nákladů zpětného proplachu vyvolaného podtlakem ve filtru byly vzaty v úvahu náklady na elektrickou energii spotřebovanou pohonem mechanického ovládacího „výstupních“ a „proplachovacích“ klapek a u regenerace „puls jet“ náklady na výrobu a úpravu tlakového vzduchu. Ve všech třech případech byly do výpočtu provozních nákladů zahrnuty náklady na filtrační členy vzhledem k jejich rozdílné životnosti vlivem jejich namáhání způsobeným rozdílnou intenzitou regenerace. Za základ výpočtů provozních nákladů jednotlivých způsobů byly zvoleny tyto vstupní podmínky:

Společné vstupní podmínky výpočtu:

- » shodné provozní podmínky filtru, resp. podmínky filtrace
- » stejný ventilátor
- » stejná velikost filtrační plochy filtru - voleno 400 m²
- » stejná filtrační textilie a její cena za 1 m² - volena cena výměny filtračních členů 65 000 Kč za 400 m² filtrační plochy filtru
- » roční provozní hodiny filtru - voleno 4 480 hod. (16 hod. za den, 280 dnů v roce)

Zpětný proplach vyvolaný podtlakem ve filtru:

- » spotřeba elektrické energie pohonu regeneračního zařízení za 1 hod. 0,147 kWh
- » cena elektrické energie 0,8 Kč/kWh
- » výměna filtračních členů (životnost) 1_ za 5 let

Regenerace „puls jet“ v obvyklém provedení:

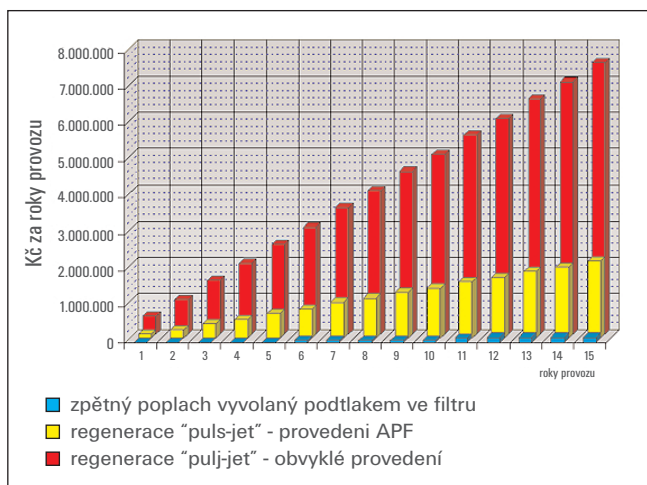
- » spotřeba tlakového vzduchu 0,25 m³_N/m².h
- » cena tlakového vzduchu 1,05 Kč/m³_N
- » výměna filtračních členů (životnost) 1_ za 2 roky

Regenerace „puls jet“ v provedení APF:

- » spotřeba tlakového vzduchu 0,06 m³_N/m².h (maximální hodnota)
- » cena tlakového vzduchu 1,05 Kč/m³_N
- » výměna filtračních členů (životnost) 1_ za 2 roky

Cena tlakového vzduchu (1,05 Kč/m³_N) byla zvolena na základě tzv. fázové kalkulace vyhodnocené pro rok 1997 v cementárně Cement - Bohemia, Praha, závod Radotín (jeden z největších uživatelů průmyslových filtrů) a zahrnuje všechny náklady spojené s výrobou tlakového vzduchu (energii, údržbu, režii, odpisy) centrální kompresorovny (osové kompresory Atlas - Copco). Tato cena se může podnik od podniku lišit (velikost kompresorovny, nebo kompresor pořízený pouze pro filtr), ale pro účely porovnání provozních nákladů různých způsobů regenerace průmyslových filtrů není podstatná, přičemž lze předpokládat, že díky růstu cen energií náklady na výrobu tlakového vzduchu porostou. Stejná úvaha se také týká ostatních provozních nákladů průmyslových filtrů (ceny filtračních textilií atd.). Proto byly vybrány pro účely porovnání provozních nákladů vybraných způsobů regenerace průmyslových filtrů pouze uvedené rozhodující náklady (bez nákladů na údržbu a náhradní díly regeneračních zařízení). Zvolené období, za které bylo provedeno vyhodnocení provozních nákladů, je 15 let a rovná se ekonomické životnosti filtrů.

Provozní náklady na regeneraci filtrů



Závěr

Výsledky vyhodnocení provozních nákladů zcela jednoznačně ukazují, že použití impulsní tlakovzdušné regenerace filtru je energeticky velmi nákladné a mělo by být uplatňováno pouze tam, kde jsou provozní podmínky filtru (podmínky filtrace - jemnost a lepivost prachu) nepříznivé a tím je nutná velká intenzita regenerace. Náklady na zajištění tlakového vzduchu za dobu ekonomické životnosti filtru převyšují jeho pořizovací cenu. Pro naprostou většinu průmyslových provozů jsou filtry regenerované zpětným proplachem zdaleka nejlevnějším řešením pro splnění emisních limitů.

[Publikováno v časopise Klimatizace 1/98]

Tabulka 1.

Porovnání provozních nákladů regenerace:

ROK	PULS JET OBVYKLÝ	PULS JET APF	ZPĚTNÝ PROPLACH
1	470 400	112 896	530
2	940 800	225 792	1 060
3	1 476 200	403 688	1 590
4	1 946 600	516 584	2 120
5	2 482 000	694 480	2 650
6	2 952 400	807 376	68 180
7	3 487 800	985 272	68 710
8	3 958 200	1 098 168	69 240
9	4 493 600	1 276 064	69 770
10	4 964 000	1 388 960	70 300
11	5 499 400	1 566 856	135 830
12	5 969 800	1 679 752	136 360
13	6 505 200	1 857 648	136 890
14	6 975 600	1 970 544	137 420
15	7 511 000	2 148 440	197 950
KČ			