

Karel Doušek, Ing. Karel Doušek, CSc. - AIRTECHNIK

# ZAJIŠTĚNÍ STABILITY PARAMETRŮ ČISTÝCH PROSTORŮ

## 1. ÚVOD

Zatřídění prostoru do určité třídy čistoty (A, B, C, D nebo ISO Class 5, 6 až 9) vyžaduje ověřit, že soubor jeho předepsaných parametrů vyhovuje přijatým *kriteriím přijatelnosti*. *Validací* se prokazuje, že zařízení *dosahuje a bude dosahovat* žádaných výsledků a proto se v této souvislosti používá termín *validace čistého prostoru* dané třídy.

Cílem validace je **ověřit**

- dosažení požadované **třídy čistoty** (nejde jen o čistotu tj. počet částic ve vznosu = airborne particles count, ale o další podmiňující parametry, které na ni mají vliv)
- „dostatečnou“ **stabilitu** kontrolovaných **parametrů**, aby bylo možné předpokládat, že třída čistoty bude dodržena po dobu platnosti validace.

Čistota tj. počet částic ve vznosu (airborne particles) v konkrétním realizovaném prostoru je dána uspořádáním distribuce vzduchu v prostoru, zdroji kontaminace, výměnou vzduchu (násobnost výměny vzduchu  $N$  [ $h^{-1}$ ]) a přetlakem v prostoru. Výměna vzduchu  $N$  [ $h^{-1}$ ] je dána průtokem přiváděného vzduchu  $Q$  [ $m^3/h$ ] a objemem prostoru  $V$  [ $m^3$ ] podle vztahu  $N = Q/V$  [ $h^{-1}$ ].

Funkcí násobnosti výměny vzduchu v prostoru je doba za kterou se z prostoru odstraní vzniklá kontaminace. Tato doba se pro pokles koncentrace kontaminace 100x nazývá doba regenerace (recovery time). Pokles koncentrace kontaminace vnesené do prostoru probíhá po exponenciále a zobrazením křivky poklesu koncentrace v logaritnicko-normálních souřadnicích je přímka. Je zřejmé, že u konkrétního realizovaného prostoru má na čistotu i dobu regenerace zásadní vliv průtok přiváděného a odváděného vzduchu.

Pro dané uspořádání prostoru a dané zdroje kontaminace je základním požadavkem podmiňujícím stabilitu parametrů čistého prostoru **stabilita průtoků vzduchu** tj. jejich stálost v čase, která je podmíněna zejména nezávislostí průtoku na zanášení filtrů instalovaných ve vzduchotechnickém systému.

Pozn.1 Vzduchotechnický systém čistého prostoru pro, který se užívá zkratky česky VZT=vzduchotechnika a anglicky HVAC= Heating, ventilation, and air conditioning sestává z vzduchotechnické jednotky (klimajednotka) tj. AHU = Air handling unit, případných dalších ventilátorů, potrubí, regulátorů, zónových chladičů nebo dohříváčů a koncových filtrů a zajišťuje kromě stálého průtoku přiváděného vzduchu i stálý přetlak, teplotu a vlhkost.

## 2. STABILITA PRŮTOKU VZDUCHU.

Zda budou *dodrženy parametry* čistého prostoru i po nějaké době funkce systému závisí zejména na tom, jak je vzduchotechnické zařízení navrženo. Kritický je zejména přívodní ventilátor, který musí udržet stálý průtok přiváděného vzduchu i při zanášení filtrů instalovaných v systému.

Pro potvrzení stability parametrů čistého prostoru je třeba při validaci kriticky hodnotit vzduchový výkon a stabilitu vzduchotechnické jednotky (klimajednotky) včetně systému případně použité regulace. Proto je nutno zjistit uspořádání zejména části přívodu vzduchu a stanovit nutnou „rezervu vzduchového výkonu“ a skutečnou „rezervu vzduchového výkonu“ vzduchotechnické jednotky. Nutný vzduchový výkon je dán průtokem a externím statickým tlakem systému rozvodů vzduchotechniky.

Je zřejmé, že po instalaci nových „čistých“ filtrů do vzduchotechnického systému (HVAC) bude statický tlak nutný pro udržení průtoku nejnižší a během provozu se zanášením instalovaných filtrů poroste až do doby kdy budou filtry opět vyměněny za „čisté“. Bez aktivní regulace výkonu bude průtok se zanášením filtrů klesat. Potřeba výměny filtrů by měla být signalizována dosažením přípustných tlaků na instalovaných filtrech. Tyto přípustné tlaky by měly být na manostatech u filtrů nastaveny tak, aby při jejich dosažení nedošlo k poklesu průtoku systémem pod povolený minimální průtok  $Q_{min}$ .

Rezerva statického tlaku samozřejmě musí pokrýt jak zvýšení tlakového spádu na filtrech v rozvodech (kanálové a koncové filtry) tj. externího tlaku, tak i nárůst interních tlaků daných zanášením filtrů uvnitř AHU a při tom zajistit dodržení minimálního přípustného průtoku  $Q_{min}$ .

Má-li být provedeno hodnocení průtoku, je třeba určit "kriterium přijatelnosti", kterým je " *minimální akceptovatelný průtok*" ( *minimum acceptable system airflow* je termín z IES - RP-CC-006) při maximálních přípustných tlakových spádech na jednotlivých instalovaných filtrech

Pro určitý čistý prostor je vždy projektem vzduchotechniky určen projektovaný průtok vzduchu  $Q_{proj}$  [ $m^3/h$ ] pro AHU a průtoky a výměny vzduchu nutné pro jednotlivé místnosti čistého prostoru. Obvykle se připouští provozní pokles průtoku na  $Q_{min} = 0,9 Q_{proj}$  [ $m^3/h$ ] a tím též přípustný pokles výměn v jednotlivých místnostech.

Pozn.2 Pro povolený pokles průtoku měřeného na přívodním potrubí u AHU se obvykle připouští -10% projektované hodnoty a povolené minimální hodnoty průtoků do jednotlivých místností prostoru se pak připouští -15% projektovaných hodnot. Průtok ventilátorem je nutné hodnotit ve vazbě na jeho pracovní bod a rezervu statického tlaku v systému.

Pozn. 3 Existují dva základní pohledy na hodnocení výkonu (průtoku a statického tlaku) AHU. Jedno hledisko je otázka *garancí dodavatele* zařízení ( jaké hodnoty a jakých veličin jsou garantovány ) a druhým hlediskem hodnocení je otázka, jaké průtoky vzduchu v systému zaručují *vyhovující provozní vlastnosti* obsluhovaného prostoru.

Uvedené minimální hodnoty průtoku a potřebné rezervy vzduchového výkonu (statického tlaku) by měly být při validaci použity jako „Kriteria přijatelnosti“ (KP) pro vzduchový výkon.

Průtok je při daném statickém tlaku ventilátoru přívodní části AHU (klimajednotky) dán zejména druhem charakteristiky ventilátoru a způsobem regulace průtoku.

Pro vyhovující provozní stabilitu systému je velmi důležité, aby projektant vzduchotechniky i projektant měření a regulace byli o této problematice dostatečně informováni a věděli jak systém správně navrhnout a dostatečně spolupracovali. Projektant vzduchotechniky musí v požadavcích na navazující profese správně definovat požadavky na funkci regulační smyčky pokud ji předpokládá a současně musí navrhnout dostatečně výkonný ventilátor a určit správná nastavení manostatů u filtrů tj. rezervu statického tlaku v systému rozdělit na jednotlivé manostaty.

Pozn.4 V praxi se vyskytují systémy s dostatečně výkonným ventilátorem vybaveným frekvenčním měničem, ale bez regulační smyčky, nebo s regulační smyčkou udržující stálý výtlačný externí tlak  $p_{vext}$  (čidlo snímá výtlačný externí tlak  $p_{vext}$ ). Pak ovšem při zanášení koncových filtrů instalovaných za místem měření  $p_{vext}$  dojde k poklesu průtoku daném charakteristikou ventilátoru nebo ještě k většímu poklesu průtoku tím, že systém udržuje stálý  $p_{vext}$ . V tomto druhém případě nikdy nedojde k hlášení zanesení filtrů podle údajů manostatů neb na filtrech tlak nevzrůstá z důvodu stálého poklesu průtoku, který způsobuje nevhodná regulace.

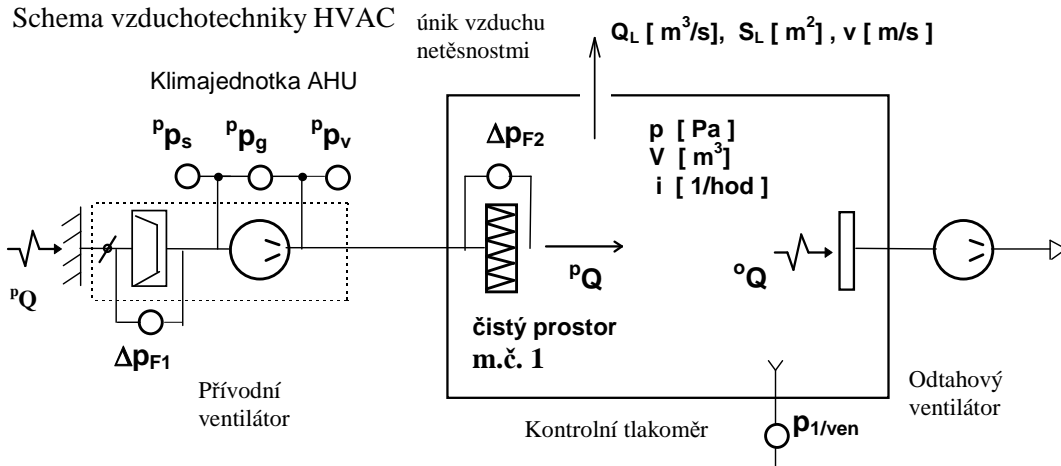
Dále jsou uvedeny možné typické systémy uspořádání přívodní částí vzduchotechnické jednotky AHU.

- Vzduchotechnika s ventilátorem bez regulace průtoku
- Vzduchotechnika s regulátorem průtoku (mechanickým nebo elektronickým)
- Vzduchotechnika s regulací průtoku vzduchu systémem měření a regulace

## 2.1. Vzduchotechnika s ventilátorem bez regulace průtoku

Vzduchový výkon samotného ventilátoru bez regulace je dán body na jeho charakteristice t.j. relacemi danými průtokem  $Q$  a statickým (celkovým) tlakem  $p_g$ .

Schema vzduchotechniky tj. HVAC s ventilátorem bez regulace je na následujícím obrázku.



Z obrázku je vidět, že jde o systém HVAC s instalovanými vzduchovými filtry. V seri s ventilátorem zde jsou zapojeny jen dva filtry a to jeden kapsový ve vzduchotechnické jednotce AHU a druhý koncový HEPA v čistém nastavci v podhledu místnosti.

Pro tento systém je nutno použít ventilátor se strmou charakteristikou, který při nárůstu statického tlaku v systému způsobí co nejmenší pokles průtoku.

V tomto případě je nutno použít radiální ventilátor se strmě rostoucí charakteristikou což odpovídá ventilátoru s dlouhými dozadu zahnutými lopatkami například typu Comefri **T-HLZ**.

U tohoto ventilátoru při nárůstu statického tlaku daného zanášením filtrů klesá průtok jen málo což je vidět z příložené charakteristiky pro T-HLZ 200. Též lze při použití takového ventilátoru podle nárůstu statického tlaku (tlakového spádu) u filtrů hlídat pomocí manostatů jejich zanesení a při dosažení nastavené meze filtry vyměnit.

### Příklad určení potřebné rezervy statického tlaku

Čidla signalizace zanesení filtrů jsou nastavena na:

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1Ls}$  250 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2Ls}$  400 Pa

Spády tlaku naměřené na instalovaných filtrech

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1}$  180 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2}$  250 Pa

Z rozdílů mezi naměřenými spády tlaků na filtrech 1. a 2. stupně a z nastavení čidel plyne potřebná minimální rezerva statického tlaku na zanesení filtrů  $p_{R \min}$

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1L} - p_{f1}$  70 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2L} - p_{f2}$  150 Pa

$$p_{R \min} = \text{SUMA } (p_{f1L} - p_{f1}) \quad 220 \quad [\text{Pa}] = \text{minimální potřebná rezerva tlaku na zanesení filtrů}$$

Statický tlak na ventilátoru odečtený pro při čisté filtry je  $p_{go} = 900$  Pa při průtoku  $Q_o = 3000$  m<sup>3</sup>/h a při zanesených filtrech je tlak  $p_{gmax} = 1120$  Pa a průtok  $Q_{\min} = 2500$  m<sup>3</sup>/h.

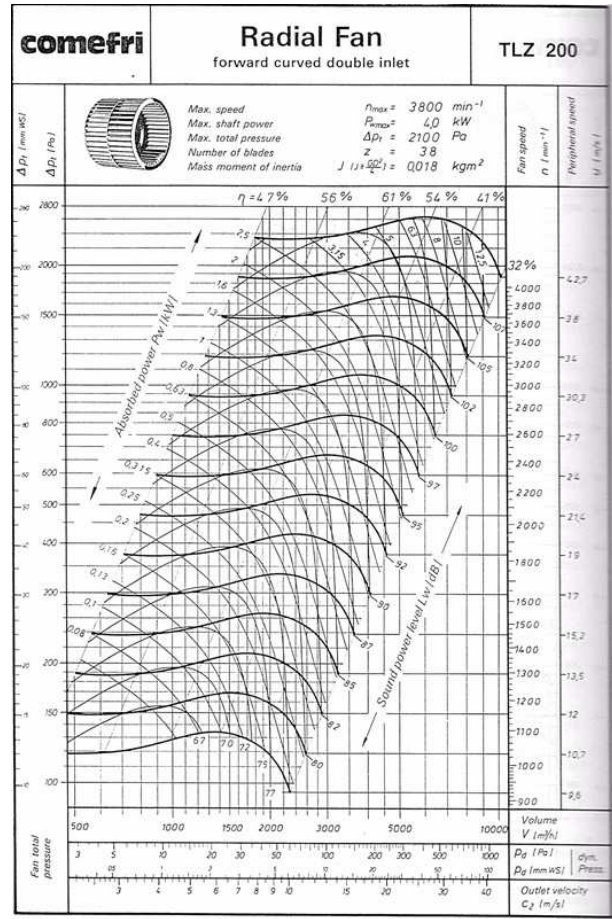
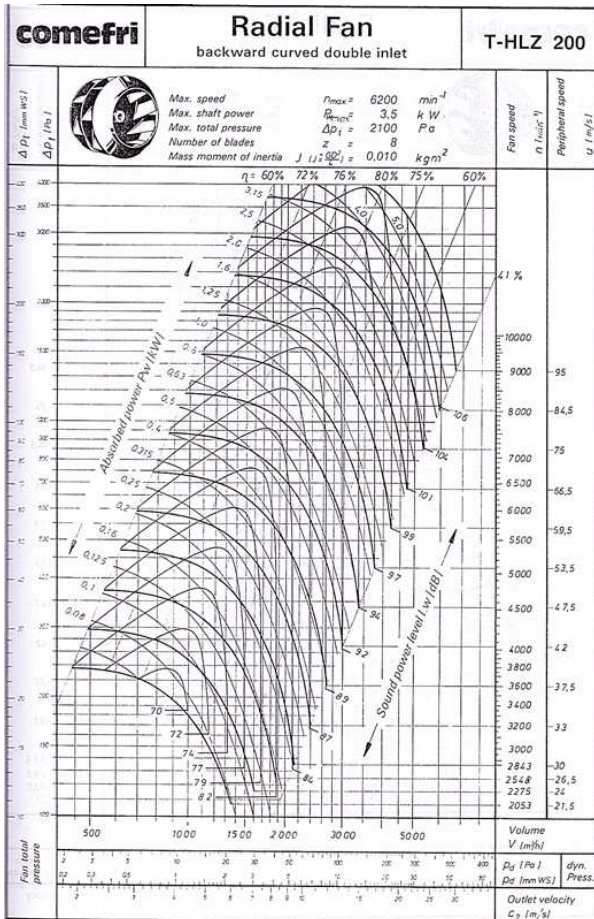
Pro pokles průtoku o 17 %, pak je rezerva  $p_R = 220$  [Pa].

Pro povolený pokles průtoku -10% však je rezerva  $p_R = 130$  Pa a proto je nutno snížit nastavení manostatů.

Odečet hodnot je proveden z grafu **T-HLZ 200** na další straně

Zcela nevhodný je pro systém s HEPA filtry použit ventilátor s krátkými dopředu zahnutými lopatkami např. Comefri **TLZ** bez regulace. U tohoto ventilátoru při malém nárůstu odporu sítě (zvýšení odporu filtrů jejich zanesením) silně poklesne průtok. Současně je zřejmé, že mez zanesení filtrů nelze zjistit manostatem neboť tlakový spád na filtru prakticky neroste z důvodu poklesu průtoku.

Charakteristiky obou zmíněných ventilátorů:



Pokud v potrubí není použit regulátor stálého průtoku (míníme tím díl s klapkou a mechanickým nebo elektronickým akčním členem), je zřejmé, že i v případě vhodného ventilátoru, průtok vzduchu přiváděného do prostoru se zanášením filtrů (nárůstem statického tlaku) vždy klesá až do výměny některého filtru, kdy se opět skokem zvýší.

Je zřejmé, že s dobou provozu HVAC roste jak interní tlak (kapsové filtry v AHU se zanášejí, výměníky se znečišťují), tak i externí tlak nejsou-li v sérii s HEPA filtry regulátory průtoku.

Pokud je u ventilátoru zapojen frekvenční měnič bez regulační smyčky chová se ventilátor shodně v výše uvedeném popisu platném pro ventilátor bez regulace. Nastavením frekvenčního měniče se pouze vybere pracovní bod, ale vlivem zanesení filtrů opět nastane pokles průtoku a to po křivce procházející vybraným pracovním bodem.

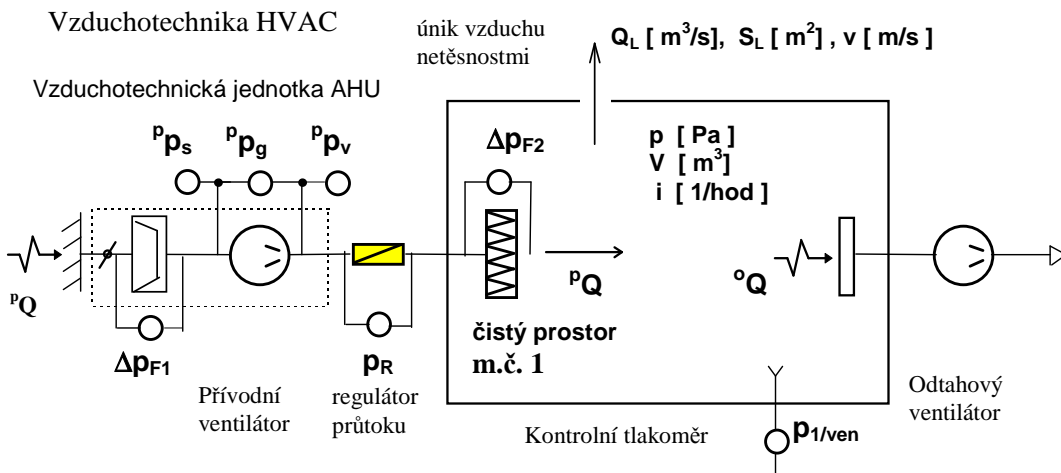
## 2.2. Vzduchotechnika s regulátorem průtoku

Je-li použit v serii s ventilátorem **regulátor průtoku** (viz obrázek) eliminuje zanášení filtrů a stabilizuje průtok i ostatní parametry.

V tomto případě je průtok stálý až do vyčerpání *rezervy*  $p_R$  tj. až do úplného „otevření“ regulační klapky regulátoru což se projeví nulovým rozdílem tlaků před a za regulátorem.

Tlakový spád na regulátoru při nainstalovaných nových „čistých“ filtrech zde představuje „rezervu“ statického tlaku systému. Tato rezerva se zanášením filtrů vyčerpává a je třeba manostaty u filtrů nastavit tak, aby došlo k hlášení zanesení filtrů dříve než k vyčerpání této rezervy.

Pozn. 4 Má-li vzduchotechnika více větví s regulátory je třeba jako „rezervu“ hodnotit nejmenší tlakový spád ze všech přívodních regulátorů



Je zřejmé, že obvykle není pro provozovatele jednoduché ani vhodné ověřovat stav zanesení instalovaných filtrů podle „otevření“ klapky regulátoru.

Proto je třeba k filtrům opět nainstalovat manostaty zapojené do nějakého okruhu signalizace a „správně“ je nastavit.

Správné nastavení znamená, že se celková rezerva statického tlaku rozdělí na jednotlivé filtry (zde na 1. a 2. filtr) a že skutečná rezerva je větší nebo rovná vypočtené minimální potřebné rezervě.

### Příklad správného nastavení čidel zanesení filtrů (manostatů)

Zjištěná rezerva statického tlaku na zanesení filtrů  $p_R$  daná tlakovým spádem  $p_R$  na škrticí klapce regulátoru průtoku při odporech filtrů  $p_{f1}$ ,  $p_{f2}$  byla zjištěna  $p_R = 413 [Pa]$

Čidla signalizace zanesení filtrů jsou nastavena na:

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1Ls}$  250 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2Ls}$  400 Pa

Spády tlaku naměřené na instalovaných filtrech

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1}$  172 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2}$  236 Pa

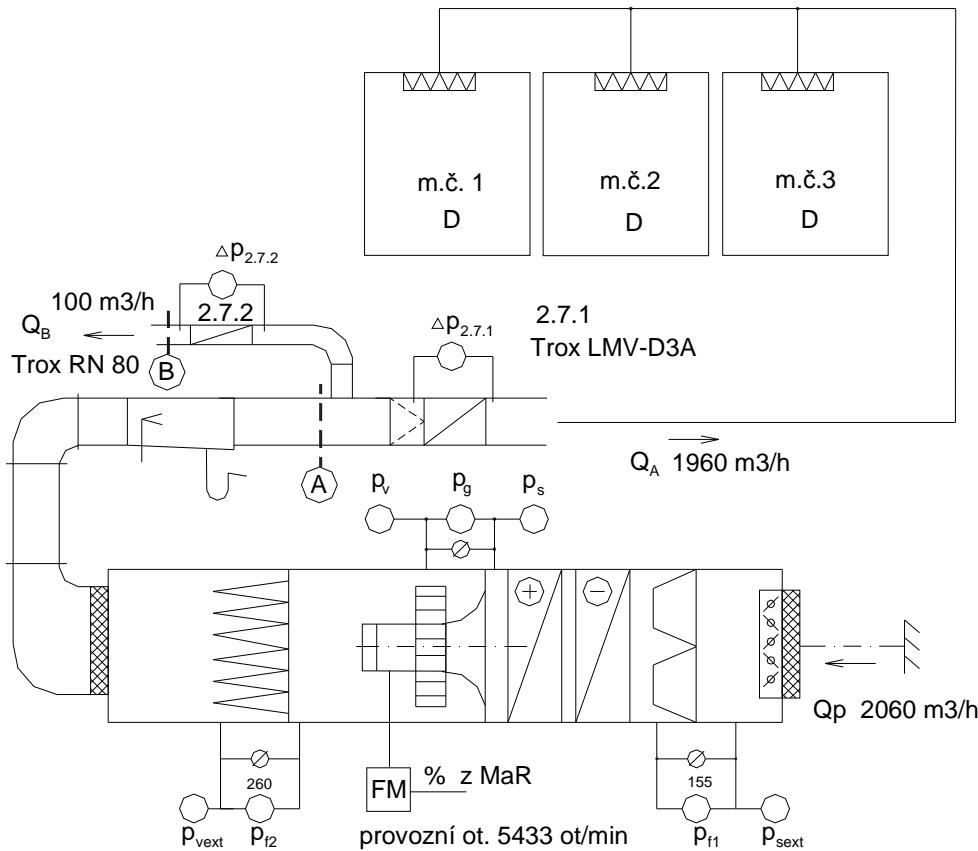
Z rozdílů mezi naměřenými spády tlaků na filtrech 1. a 2. stupně a z nastavení čidel plyne potřebná minimální rezerva statického tlaku na zanesení filtrů  $p_{R \min}$

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1L} - p_{f1}$  78 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2L} - p_{f2}$  164 Pa

$$p_{R \min} = \text{SUMA } (p_{f1L} - p_{f1}) \quad 352 \quad [Pa] = \text{potřebná minimální rezerva statického tlaku}$$

Pro dané nastavení čidel je minimální potřebná rezerva tlaku na zanesení filtrů 352 Pa menší než skutečně zjištěná rezerva 413 Pa a proto je systém stabilní a při výměnách filtrů při signalizaci jejich zanesení nemůže dojít k poklesu průtoků a zhoršení parametrů čistého prostoru

Schéma skutečného uspořádání systému se dvěma regulátory průtoku a pevným nastavením výkonu ventilátrou.



V daném případě je rezerva statického tlaku zajištěna diferencí na klapkách regulátorů průtoku Trox RN ve dvou větvích vzduchotechnických přívodních potrubí.

Frekvenčním měničem se v tomto případě nastaví výkon ventilátoru tak, aby diference na regulátoru průtoku byla větší než potřebná minimální rezerva statického tlaku.

Tento systém lze doporučit pro napájení čistých prostorů vzhledem k snadnému přizpůsobení výkonu ventilátoru potřebné rezervě statického tlaku.

### Příklad správného nastavení čidel zanesení filtrů (manostatů)

Zjištěná rezerva statického tlaku na zanesení filtrů  $p_R$  daná tlakovým spádem  $p_{R\ 2.7.1}$  na škrticí klapce regulátoru průtoku při odporech filtrů  $p_{f1}$ ,  $p_{f2}$  byla zjištěna  $p_R = 420$  [Pa]

Čidla signalizace zanesení filtrů jsou nastavena na:

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1Ls}$  200 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2Ls}$  400 Pa

Spády tlaku naměřené na instalovaných filtrech

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1}$  80 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2}$  195 Pa

Z rozdílů mezi naměřenými spády tlaků na filtrech 1. a 2. stupně a z nastavení čidel plyne potřebná minimální rezerva statického tlaku na zanesení filtrů  $p_{R\ min}$

1. filtr 1.stupeň  $p_{f1L} - p_{f1}$  120 Pa
2. filtr 2.stupeň  $p_{f2L} - p_{f2}$  205 Pa

$$p_{R\ min} = \text{SUMA } (p_{f1L} - p_{f1}) \quad 325 \quad [\text{Pa}] = \text{potřebná minimální rezerva statického tlaku}$$

Pro dané nastavení čidel je minimální potřebná rezerva tlaku na zanesení filtrů 325 Pa menší než skutečně zjištěná rezerva 420 Pa a proto je systém stabilní

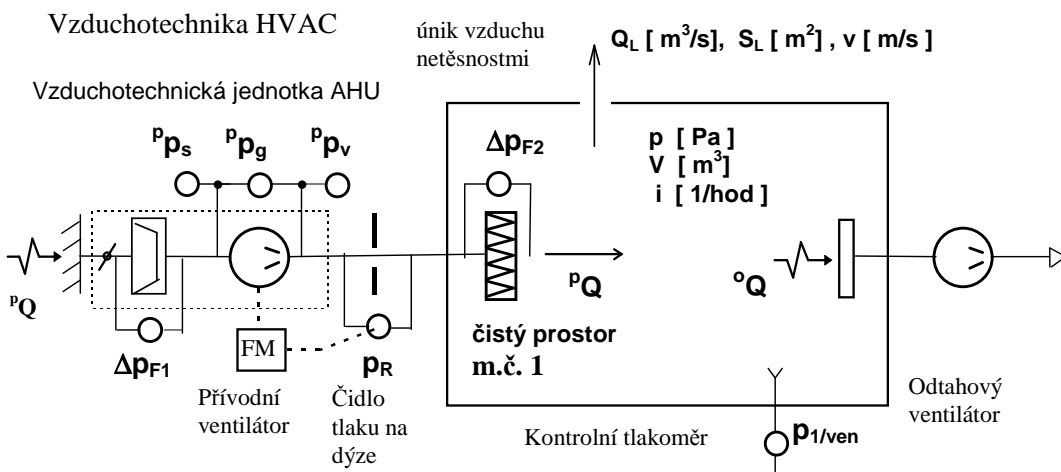
### 2.3 Vzduchotechnika s regulací průtoku vzduchu systémem měření a regulace

Výkon ventilátoru může být pomocí změny frekvence pohonného motoru regulován tak, aby udržoval stálý průtok v systému.

Průtok lze regulovat npř podle rychlosti v potrubí jak je uvedeno na následujícím obrázku, nebo podle diference na vhodné dýze nebo npř na výměníku topení v AHU.

Není vhodné regulovat výkon ventilátoru podle přetlaku v místnosti neboť při uěsnění místnosti průtok poklesne a zhorší se parametry prostoru.

V současnosti se často používají ventilátory s volným oběžným kolem , které mají na sání dýzu. Tu lze s výhodou využít k regulaci průtoku a jeho měření vzhledem k tomu, že výrobci udávají průtokový součinitel dýzy a na přání dodávají i vývodky tlaku na dýze případně celou regulační smyčku..



Při použití tohoto způsobu regulace průtoku je nutno navrhnout ventilátor tak, aby při čistých filtrech odpovídal jeho pracovní bod nižším než povoleným otáčkám a frekvenci a maximální využitelný statický tlak ventilát

oru při potřebném průtoku je pak dán maximálními přípustnými otáčkami a maximálním přípustným výkonem motoru ventilátoru.

### 3. Závěr

Pro dané uspořádání prostoru a dané zdroje kontaminace je základním požadavkem podmiňujícím stabilitu parametrů čistého prostoru stabilita průtoků vzduchu tj. jejich stálost v čase, která je podmíněna zejména nezávislostí průtoku na zanášení filtrů instalovaných ve vzduchotechnickém systému.

Zda budou dodrženy požadované parametry čistého prostoru i po nějaké době funkce systému závisí zejména na tom, jak je vzduchotechnické zařízení navrženo. Kritická je zejména přívodní část, která musí udržet stálý průtok přiváděného vzduchu i při „zanášení“ filtrů instalovaných v systému.

Pro potvrzení stability parametrů čistého prostoru je třeba při validaci kriticky hodnotit vzduchový výkon a stabilitu vzduchotechnické jednotky (klimajednotky) včetně systému případně použité regulace.

Pro vyhovující provozní stabilitu systému je velmi důležité, aby projektant vzduchotechniky i projektant měření a regulace byli o této problematice dostatečně informováni a věděli jak systém správně navrhnout a dostatečně spolupracovali. Projektant vzduchotechniky musí v požadavcích na navazující profese správně definovat požadavky na funkci regulační smyčky pokud ji předpokládá a současně musí navrhnout dostatečně výkonný ventilátor a určit správná nastavení manostatů, které snímají tlakové spády instalovaných filtrů jak v AHU tak i koncových HEPA filtrů.