

Be sure. **testo**



**Praktický průvodce
Měření proudění
vzduchu v kanálech
podle ČSN EN 12599.**

Úvod

V dnešní době trávíme většinu dne v uzavřených místnostech. Proto se instalují systémy vytápění, ventilace a klimatizace (HVAC), které mají zajistit příjemné vnitřní podmínky. Ventilace je zde zvláště důležitá. Nejedná se pouze o přivádění čerstvého vzduchu, ale také o odvod znečišťujících látek, například odstranění přebytečné vlhkosti z místností.

Zajištění adekvátní výměny vzduchu a tím i stanovení objemového průtoku je důležitým faktorem kvality, pokud jde o uvádění do provozu a provoz systémů HVAC. Spolehlivé stanovení rychlosti proudění vzduchu v kanálech je jedním z nejnáročnějších měření, které musí provést ventilační a klimatizační technik.

Obsah:

1. Význam regulace proudění vzduchu	04
2. Měření rychlosti vzduchu	05
3. Výběr místa měření	06
3.1 Profily proudění v kanále	07
3.2 Vzdálenost od zdroje rušení	08
4. Metoda měření	10
4.1 Triviální metoda	11
4.2 Metoda středové osy	12
4.3 Výpočet objemového průtoku	13
5. Vyhodnocení záznamů	14
6. Protokol z měření	20

1. Význam regulace proudění vzduchu

V souladu s mottem: “Čím více, tím lépe” pracují systémy HVAC často s příliš vysokými objemy vzduchu. Tento nadměrný požadavek vede ke zvýšení provozních nákladů. Náklady na energii pro ventilační zařízení stoupají, protože musí být přesunuto větší množství vzduchu v celém systému. Náklady na klimatizaci vzduchu (chlazení, vytápění, zvlhčování nebo odvlhčování) jsou také vysoké a mohou být sníženy při správném nastavení systému. V důsledku velké výměny vzduchu dochází často k průvanu v místnosti, což způsobuje, že se lidé necítí příjemně.

Na druhé straně může být problém s příliš nízkým objemem. Lidé v místnosti mají příliš málo čerstvého vzduchu k dýchání. Vnitřní vzduch je “vydýchaný” kvůli vysokému obsahu CO₂ v místnosti. Nízké objemové průtoky mohou mít také negativní dopady na hygienu systému: existuje riziko vzniku bakterií v systému, když je pohyb zvlhčeného vzduchu v kanále příliš pomalý. Správně nastavený systém HVAC proto pomáhá nejen udržet komfortní vnitřní klima, ale také šetřit náklady.

2. Měření rychlosti vzduchu

Klíčovým parametrem pro vyhodnocení funkční schopnosti systému HVAC je objemový průtok vzduchu, což je součin rychlosti proudění a průtočné plochy potrubí. Jelikož v praxi není rychlost proudění v celém průřezu kanálu stejná, nestačí měření jednotlivých bodů pro stanovení průměrné rychlosti proudění vzduchu. Zdroje rušení, jako jsou tlumiče, kolena a podobně, mají vliv na rychlostní profil v kanále, což znamená, že musí být prováděno tzv. síťové měření na několika místech v kanále.

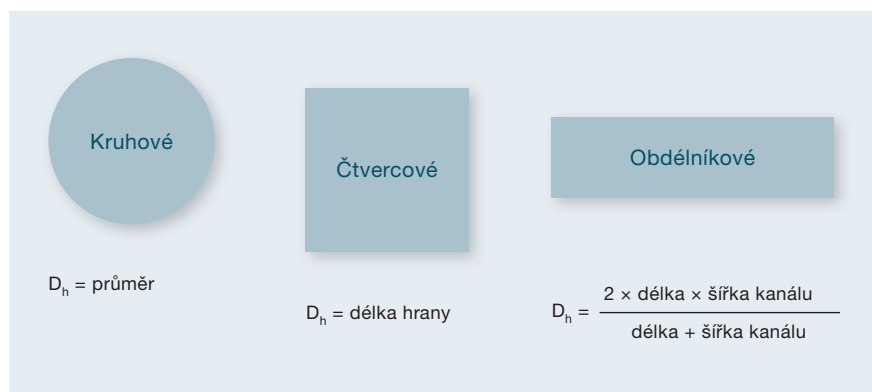
Aby bylo možné splnit požadavky na kvalitu, pokud jde o stanovení objemového průtoku, existují různé standardy po celém světě, které se zabývají správným měřením rychlostí proudění. Kromě normy ČSN EN 12599, existují také ČSN EN 16211 a ASHRAE 111. Princip těchto metod spočívá ve vytvoření měřicích bodů v příčném průřezu vzduchotechnického kanálu podle jeho velikosti v souladu s definovanými specifikacemi, které se liší u hranatých a kruhových kanálů, a následným zprůměrováním naměřených hodnot v daných bodech.

Nyní se podíváme na správnou metodiku měření objemového průtoku podle ČSN EN 12599.

3. Výběr místa měření

Rozhodujícím faktorem smysluplného měření je výběr vhodného bodu měření. Ten je určen autorem v plánu provedení projektu. Zde je třeba vzít v úvahu následující kritéria:

- Body měření proudění vzduchu musí být stanoveny u všech hlavních potrubí a na přívodních kanálů do místností.
- Musí být dodrženy minimální vzdálenosti od přerušení: minimálně 6krát vyšší než je hydraulický průměr ve směru proudu a 2krát vyšší než hydraulický průměr proti směru proudu
- Body měření musí být snadno přístupné a musí být dostatek prostoru pro manipulaci s měřidlem.
- Proudění nesmí mít žádný zpětný proud nebo víření



Výpočet hydraulického průměru D_h pro různé tvary vzduchotechnického kanálu.

3.1. Profily proudění ve vzduchotechnickém kanálu

Vzduch, který proudí kanálem, nemá jednotnou rychlost. Vzduch uprostřed proudu proudí zpravidla rychleji než u stěny kanálu. U stěny kanálu je kvůli tření větší odpor a ten je třeba překonat. Rozlišujeme dva základní profily proudění:

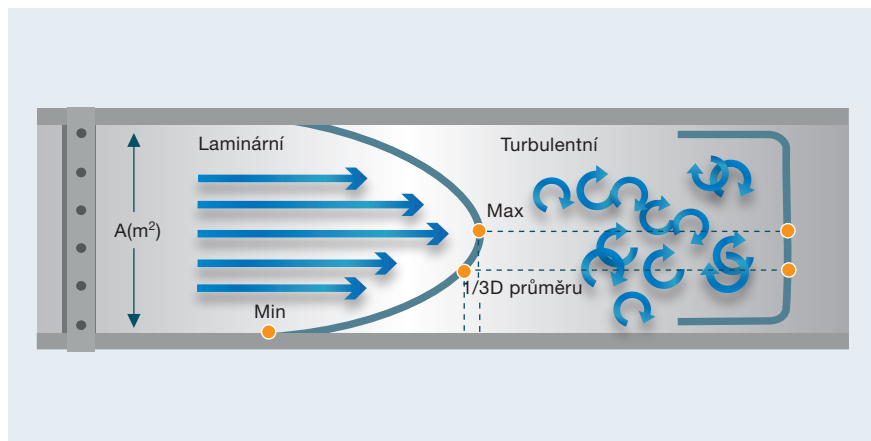
Laminární proudění.

Laminární proudění se vyznačuje parabolickým rychlostním profilem tvořeným rovnoběžnými proudnicemi, mezi nimiž nedochází k promíchávání v příčném směru. Ve středu kanálu nejsou žádné turbulence ani rozdíly maximálních rychlostí. Střední rychlost proudění je přibližně ve třetině průměru kanálu. Jak se rychlost vzduchu zvyšuje, laminární proudění se stále více přeměňuje na proudění turbulentní.

Turbulentní proudění.

V tomto případě jsou rychlosti proudění do značné míry totožné napříč průměrem kanálu, avšak rychlosti dramaticky klesají u jeho stěn. Proudnice jsou nesměrové, jinými slovy se vzduch pohybuje chaoticky a s vysokým stupněm tření.

U všech smíšených forem mezi těmito dvěma ideálními formami s každým zdrojem rušení (jako jsou tlumiče, kolena, ventily, regulátory objemového průtoku atd.), dochází k deformaci rychlostního profilu v potrubí. V praxi je proto tzv. síťové měření v celém průřezu kanálu nepostradatelné pro reprodukovatelné výsledky.



Laminární a turbulentní rychlostní profil proudícího vzduchu. V závislosti na rychlosti proudění se formují různé profily proudění.

3.2. Vzdálenost od zdroje rušení

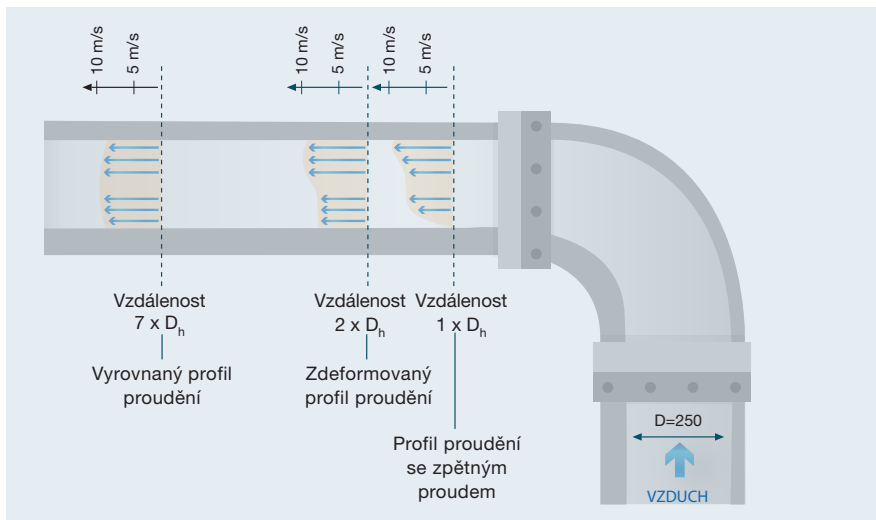
Ideální profily proudění se nacházejí výhradně ve velmi dlouhých kanálech, které vedou v přímé linii a kde nejsou žádné zdroje rušení. Z tohoto důvodu je třeba dodržet minimální vzdálenosti od zdroje rušení.

Při dostatečně velké vzdálenosti od zdroje rušení, může být značně sníženo množství bodů měření, které je třeba měřit napříč průřezem kanálu.

V praxi tlumiče, ventily, kolena a jiné ohyby brání vytvoření konzistentního proudění. Za nepříznivých okolností to vede k tomu, že maximální profil proudění není ve středu potrubí, ale je posunut směrem k okrajům, v horších případech mohou také vzniknout zpětné proudy nebo oblasti bez proudění.

Zpětné proudy se zpravidla zmenšují po vzdálenosti 2násobku hydraulického průměru od zdroje rušení, avšak profil proudění

je tak silně zkreslený, že je zapotřebí velký počet bodů měření, aby se zachovala nízká nejistota měření.



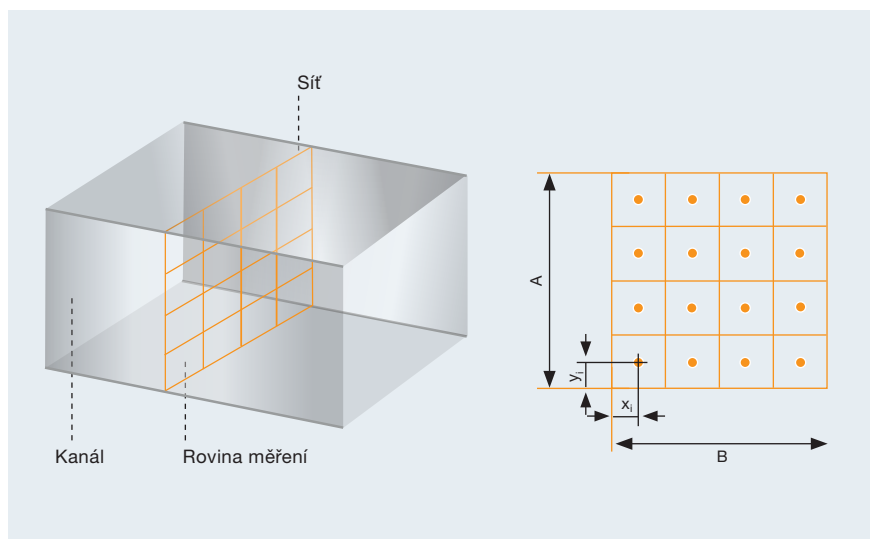
Nepravidelnosti v profilu proudění se snižují s tím, jak se vzdálenost od zdroje rušení zvyšuje. Čím větší je vzdálenost od zdroje rušení, tím je rovnoměrnější profil proudění a přesnější měření nebo menší počet požadovaných bodů měření.

4. Metoda měření

Pro stanovení objemového průtoku vzduchu musí být stanovena reprezentativní průměrná hodnota proudění v průřezu kanálu. K tomu je oblast měření rozdělena na dílčí části a rychlost je určena v centrálním bodě dílčích částí. Tato metoda se nazývá síťové měření. Způsob rozdělení průřezu kanálu do dílčích oblastí je odlišný u hranatých a kruhových kanálů.

ČSN EN 12599 používá následující dvě metody měření:

- triviální metoda pro měření ve vzduchotechnických kanálech s hranatým nebo kruhovým průřezem
- metoda středové osy pro měření v kanálech s kruhovým průřezem



Rozdělení průřezu vzduchotechnického kanálu podle triviální metody. Body měření jsou ve středových bodech oblastí.

4.1. Triviální metoda

Tato triviální metoda nepoužívá žádná zvláštní rozložení rychlostí v kanále. Průřez kanálu je jednoduše rozdělen na několik oblastí měření se stejnými rozměry. Bod měření je uprostřed dílčí plochy.

S rovnoměrným profilem rychlosti je možné dosáhnout smysluplného výsledku měření i při malém počtu bodů měření. Pro větší rozdíly v rychlostech proudění se musí odpovídajícím způsobem zvýšit počet bodů měření.

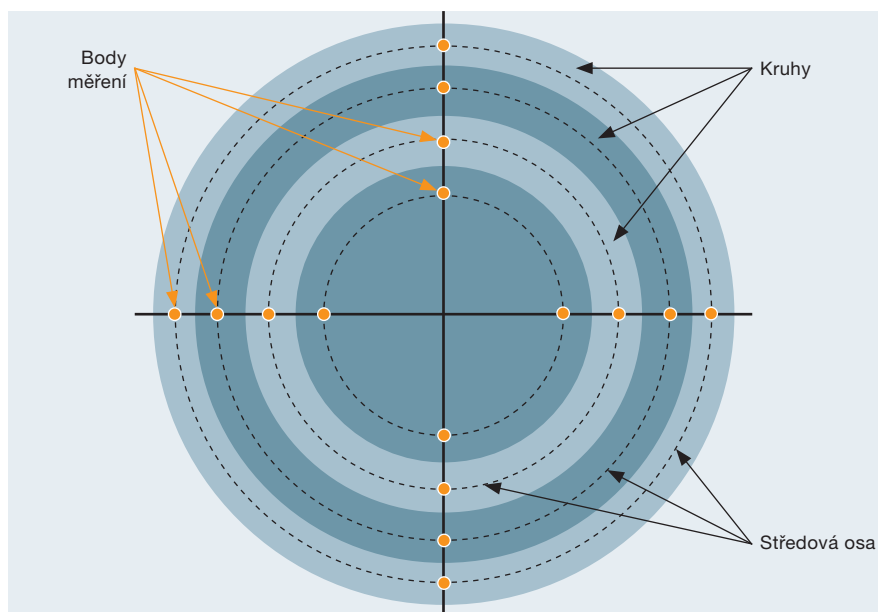
Ty jsou dostatečné, pokud je kolísání naměřených hodnot v dílčích oblastech tak malé, že hodnoty naměřené ve středových bodech mohou být považovány za střední hodnoty v rozsahu dané přesnosti měření.

Hodnota pro objemový průtok vzduchu pro celý vzduchotechnický kanál je potom vypočtena jako aritmetický průměr z měření dílčích oblastí.

4.2. Metoda středové osy

Postup pro metodu středové osy, který by měl být použit v kruhových kanálech, je podobný. Zahrnuje to, že průřez kruhového průřezu je rozdělen na kruhy se stejnou plochou a kruh uprostřed. Místo měření v kruhové oblasti a ve vnitřním kruhu je na středové ose každé dílčí oblasti.

V tomto ohledu je středová osa poloměr (y), který rozděluje dílčí oblast. Vzhledem k tomu, že nelze předpokládat, že se bude proudění vždy pohybovat dopředu v kruhově symetrickém kanále, měly by být vybrány dvě měřicí roviny pro kruhové kanály, které jsou vůči sobě v úhlu 90° .



Stanovení míst měření kruhového průřezu metodou středové osy.

4.3. Výpočet objemového průtoku

Pro výpočet průměrné rychlosti proudění, z níž by měl být potom vypočítán objemový průtok vzduchu, by měly být použity hodnoty rychlosti stanovené triviální metodou nebo metodou středové osy. Výpočet se provádí podle následujícího vzorce:

$$\dot{V} = A \times \bar{v} \times 3600$$

\dot{V} = objemový průtok v m³/h

\bar{v} = průměrná rychlost proudění v m/s

A = průřez v m²

Příklad:

Při průřezu A o 0.5 m² a naměřené průměrné rychlosti 4 m/s získáme objemový průtok 7200 m³/h

Stanovení objemového průtoku na základě průměrné rychlosti proudění a průřezu kanálu.

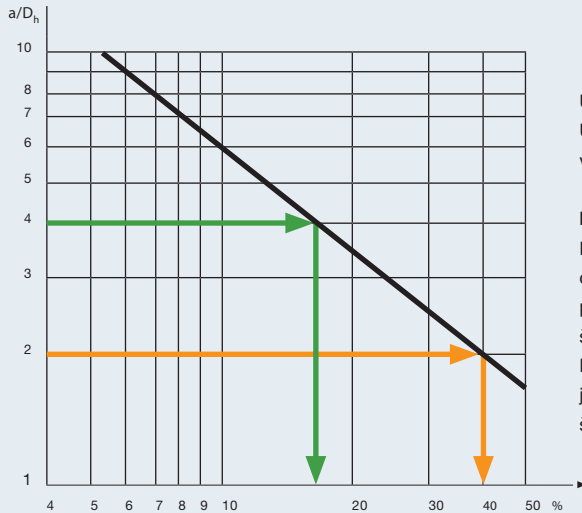
5. Vyhodnocení záznamů

U ČSN EN 12599 je požadavek na stanovení přesnosti objemového průtoku vzduchu s nejistotou měření $\pm 10\%$. Otázkou je, jak přesné bylo měření, které bylo právě provedeno. Na to nám také ČSN EN 12599 poskytuje odpověď.

Kromě nejistoty měřicího přístroje a použité sondy je nepravidelnost profilu proudění rozhodujícím faktorem pro určení celkové chyby. Pokud je nepravidelnost profilu proudění velká, může být požadovaná nejistota měření $\pm 10\%$ dosažena pouze s větším množstvím bodů měření, což je ale časově velmi náročné. Je důležité brát vždy ohled na souvislost počtu bodů měření a vzdálenosti od zdroje rušení, protože jsou rozhodující, pokud jde o nepravidelnost profilu.

Krok 1: Určení nepravidelnosti profilu proudění

Požadovaný počet bodů měření v určitém průřezu kanálu závisí na nepravidelnosti (zkreslení) profilu proudění. Diagram na další straně ukazuje empirický vztah mezi relativní vzdáleností a/D_h (vzdálenost od zdroje rušení vyjádřená jako počet hydraulických průměrů) a nepravidelností U-profilu proudění (v procentech). Je zřejmé, že nepravidelnost profilu se s rostoucí vzdáleností snižuje.



Určení nepravidelnosti
U-profilu proudění podle
vzdálenosti od zdroje rušení.

Příklad:

Pro měření ve vzdálenosti
dvojnásobku hydraulického
průměru je U 40% (viz žluté
šipky).

Na druhé straně, pro $a = 4 D_h$,
je U pod 20% (viz zelené
šipky).

Krok 2: Určení počtu požadovaných bodů měření

S hodnotou U, která byla určena pomocí diagramu, můžete v následující tabulce vyhledat počet potřebných

bodů měření požadovaných pro dodržení určité přesnosti měření.

Počet bodů měření	Nejistota měření τ_u v % Nepravdělnost profilu U v %					
	2	10	20	30	40	50
4	6	12	20	28	36	42
5	5	11	17	24	31	36
6	5	10	15	21	27	32
8	4	8	13	18	23	27
10	3	7	12	16	20	24
20	2	5	8	11	14	16
30	2	4	7	9	11	14
50	1	3	5	7	8	10
100	1	2	3	5	6	7
200	1	1	2	3	4	5

Nejistota měření v závislosti na počtu bodů měření.

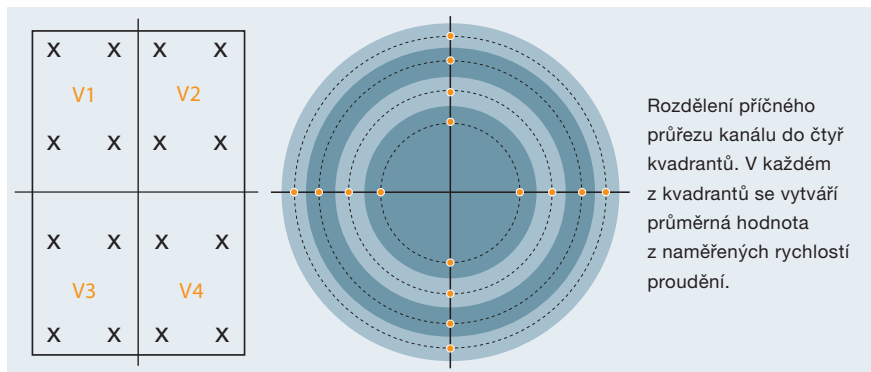
Příklad: Pro $U = 40\%$ a pro určitou nejistotu měření $\tau_u = \pm 15\%$, 20 je zapotřebí 20 bodů měření (žlutá značka, směr čtení zhora dolů, poté doleva). Pro $U = 20\%$, stačí 8 měřících bodů (zelené značky).

Tip: Jakmile zvýšíte vzdálenost měření od zdroje rušení, můžete snížit počet požadovaných bodů měření, aniž by došlo ke snížení přesnosti měření.

Krok 3: Výpočet nepravidelnosti profilu proudění

Pomocí záznamů můžete nyní nepravidelnost profilu proudění zjistit aritmeticky.

Chcete-li to provést, rozdělte průřez potrubí na čtyři kvadranty se stejnou plochou a určete aritmetický průměr hodnot pro každý z kvadrantů.



Nejvyšší a nejnižší průměrná hodnota poskytnou nepravidelnost profilu proudění podle následujícího vzorce:

$$U = \frac{\bar{v}_{\max} - \bar{v}_{\min}}{2 \bar{v}}$$

U (*100) = nepravidelnost profilu proudění v %

Vmax (m/s) = nejvyšší aritmetický průměr ze všech čtyř kvadrantů

Vmin (m/s) = nejnižší aritmetický průměr ze všech čtyř kvadrantů

V (m/s) = aritmetický průměr rychlosti v celém průřezu

Krok 4: Výpočet celkové chyby podle ČSN EN 12599

Kromě nejistoty měření (proudění) ovlivěné bodem měření, existují další možné zdroje chyb, které by měly být brány v úvahu:

- Nejistota měření při čtení
- Nejistota měření průměrné hodnoty (s kolísavým parametrem měření)
- Chyba měřicího přístroje při zobrazení (chyba měřicího přístroje)
- Nejistoty měření hodnot materiálů, např. hustota vzduchu
- Nejistoty s konverzí

V tomto ohledu mají největší vliv na nejistotu místa měření a chyby měřicího přístroje (přesnost měřidla a/nebo sond). S moderními měřicími přístroji, jako je testo 400, jsou tyto chyby automaticky započítány při výpočtu celkové nejistoty, čímž je podporován výkon měřicího přístroje a dokumentace výsledků.

6. Protokol z měření

Kompletní protokol z měření musí být zákazníkovi vystaven nejpozději při předání. Takovýto protokol z měření zahrnuje podrobnosti o budově a názvu projektu, o konkrétním místě měření, dohodnuté cílové hodnotě, použitím měřicím přístroji, zaznamenaných hodnotách a o nejistotě výsledků měření spolu s datem a místem měření.

Testo 400 umožňuje vytvořit tento protokol z měření přímo v přístroji a odeslat jej e-mailem.



Testo, s.r.o.

Jinonická 80
158 00 Praha 5
tel.: 222 266 700
e-mail: info@testo.cz

www.testo.cz