

Ing. Miroslav KUČERA, Ph.D.
doc. Ing. Richard NOVÝ, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Větrání kolektorů

Ventilation of Collectors

Recenzent
Ing. Marcel Kadlec

Článek se zabývá problematikou návrhu větrání kolektorů. Seznamuje s požadavky při projekčním návrhu z pohledu dosažení normou požadované výměny vzduchu a nově s dodržением minimální rychlosti proudění vzduchu. V závěru jsou pak uváděny praktické informace využitelné při návrhu větrání kolektorů.

Klíčová slova: kolektory, větrání, proudění vzduchu, tlakové ztráty, projektování

The article deals with the issue of collectors' ventilation design. It introduces the requirements on the design from the point of view of the achieving the normative air exchange rate and newly also meeting the minimal airflow velocity. Practical information useful for the design of collectors' ventilation are presented in the conclusion.

Keywords: collectors, ventilation, airflow, pressure losses, designing

ÚVOD

V moderních městech je řada technických rozvodů, jako jsou elektrické kabely, plynová potrubí, sdělovací technika apod., umístěna v podzemních tunelech – kolektorech. Jejich vnitřní prostor je nutné větrat. Vzhledem k netypickému tvaru větraného prostoru kolektorů nejprve několik obecných informací.

Větrací zařízení má plnit základní úkol, a to vyměňovat ve větraném prostoru znečištěný vzduch vzduchem čerstvým (venkovním). Vzduch může být vyměňován spojitě po celou dobu provozu (větrání trvalé), nebo přerušovaně pouze v intervalech, které se mohou řídit např. průběhem vývinu škodlivin. Přitom se obvykle kontroluje úroveň koncentrací škodliviny nebo teplotní situace ve větraném prostoru, pokud se jedná o odvedení nežádoucí tepelné zátěže.

Větrání celkové se navrhuje tam, kde jsou možné zdroje škodlivin rovnoměrně rozloženy spojitě po větraném prostoru.

V případech, kdy je zcela zřejmé umístění dílčích, např. bodových zdrojů škodliviny, se obvykle uvažuje o místním větrání, kdy je snaha odstranit škodlivinu přímo z místa jejího vzniku, aniž by byla dána možnost jejího šíření do větší části prostoru. Obvykle se tento problém řeší místním odsáváním.

Při pohledu na uvedenou problematiku větrání je nutné vyjmenovat základní hlediska, se kterými je třeba uvažovat při hodnocení, resp. návrhu větrání kolektorů. Jedná se o:

- ☐ celkový objem větraného prostoru,
- ☐ větrání přetlakové a podtlakové,
- ☐ větrání přirozené a větrání nucené,
- ☐ obrazy proudění vzduchu ve větraném prostoru,
- ☐ rozložení koncentrací škodlivin ve větraném prostoru,
- ☐ druh škodliviny a způsob jejího uvolňování do větraného prostoru.

OBECNÉ ZÁKONITOSTI

Větraný prostor – izotermní případ

V obvyklých případech větrání se jedná o prostory, které lze uvažovat ve tvaru kvádry, kdy všechny tři strany jsou z hlediska velikosti souměřitelné. Při celkovém větrání takového prostoru se ve většině případů uvažuje s rovnoměrným rozdělením škodlivin do celého prostoru, což je možné vyjádřit jednou průměrnou hodnotou koncentrace sledované látky ve všech kontrolních bodech. Umožnit rozproštění škodliviny do

celého chráněného prostoru je však z hlediska účinnosti větrání nežádoucí, neboť náklady na toto větrání jsou zbytečně vysoké. Proto je vždy nutné zvážit, zda není možné oddělit prostor vzniku škodliviny od chráněného prostoru, kde mají pobývat lidé nebo kde se vyžaduje čisté prostředí, např. při větrání tzv. čistých provozů.

Větrání prostorů, ve kterých převažuje z hlediska velikosti jeden rozměr, např. délka, se situace v mnoha směrech liší od obecně známých případů. Kolikrát se ve větraném prostoru vymění znečištěný vzduch vzduchem venkovním za dobu jedné hodiny, udává intenzita větrání I :

$$I = \frac{V}{V_m} \quad [1/h] \quad (1)$$

kde je:

V množství přiváděného venkovního vzduchu [m^3/h],
 V_m objem větrané místnosti [m^3].

V některých případech je v zadání návrhu větrání požadovaná konkrétní hodnota intenzity větrání. Při větrání kolektorů se podle dosud platné ČSN 73 7505 jedná o požadavek trojnásobné výměny vzduchu za 24 hodin, v případě, že v kolektoru není vedeno plynové potrubí. Tomu odpovídá výše uvedená intenzita výměny:

$$I = \frac{3 \cdot V_m}{24 \cdot V_m} = 0,125 \quad [1/h] \quad (2)$$

V návrhu nové ČSN 73 7505 se v některých případech, kdy je kolektorem vedeno plynové potrubí, uvažuje o dodržení minimální průměrné rychlosti proudění vzduchu kolektorem na úrovni:

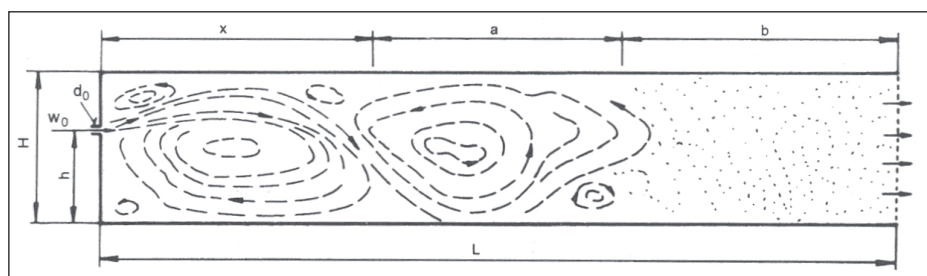
$$w_m = 0,2 \quad [m/s]$$

Účelem je zajistit promíchání znečištěného vzduchu plynem tak, aby se dala zvýšená koncentrace plynu indikovat měřicími čidly umístěnými v prostoru kolektoru. Jedná se v podstatě o vliv turbulence na přenos škodlivé látky.

Potřebný průtok přiváděného vzduchu do kolektoru by v tomto případě měl dosahovat minimálně hodnoty:

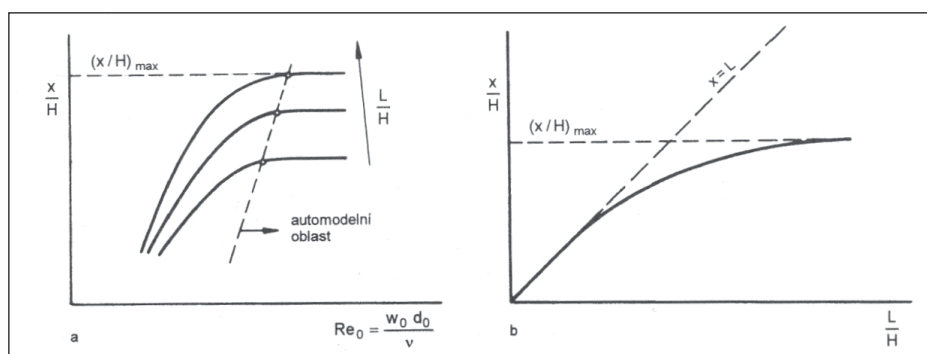
$$V = 0,2 \cdot S_m \cdot 3600 = 720 \cdot S_m \quad [m^3/h] \quad (3)$$

kde S_m je průřez kolektoru [m^2].



Obr. 1 Obrázek proudění ve větraném prostoru [1], [5]

Fig. 1 Airflow pattern in the ventilated area [1], [5]



Obr. 2 Hloubka provětrávaného prostoru primárním proudem [1]

Fig. 2 Depth of the space aerated by the primary flow [1]

Větrání prostoru ve tvaru podlouhlé místnosti (tunelu) schematicky znázorňuje obr. 1, ve kterém jsou ukázány tři oblasti [1] významně se od sebe lišící obrazem proudění. Je zřejmé, že přívaděcí otvor má obecně výrazný vliv na obraz proudění pouze v první oblasti do vzdálenosti (x). Druhá oblast označená (a) je ovlivněna původním proudem vzduchu v tom smyslu, že vytváří sekundární proudění, ve kterém je již vzduch částečně znečištěn. Třetí oblast (b) již nevykazuje výrazný proud vzduchu. Nerovnoměrná výměna vzduchu v různých místech větraného prostoru způsobí, že v primárním proudě je koncentrace škodlivin nižší a v sekundárním proudění vyšší, než je koncentrace průměrná. Je proto důležité, aby pracovní oblast (prostor s předepsanou maximálně povolenou koncentrací) byla provětrávána venkovním vzduchem.

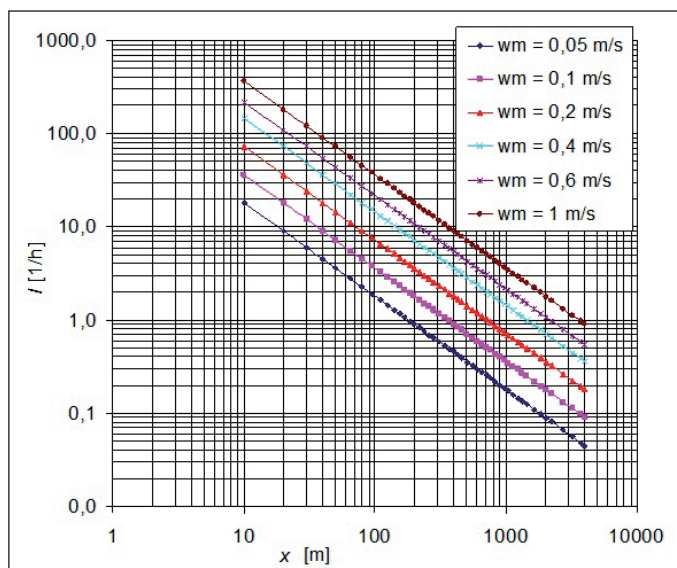

Obr. 3 Intenzita větrání v kolektorech různé délky x a různé střední rychlosti proudění vzduchu w_m [2]

Fig. 3 Ventilation rate in collectors of various lengths x and different mean airflow velocities w_m [2]

Vzdálenost (x), kde se jedná o působení primárního proudu vzduchu, je omezená. V diagramu na obr. 2 je znázorněna závislost poměrné délky x/H na Reynoldsově číslu Re_0 daném poměry při výtoku vzduchu přívaděcím otvorem. Výška místnosti H v případě kolektorů se dá kvalifikovaně odhadnout pro případ kruhového profilu průřezu kolektoru podle vztahu:

$$H = \sqrt{S_m} \quad (4)$$

Pro Reynoldsovo podobnostní kritérium platí:

$$Re_0 = \frac{w_0 d_0}{\nu} \quad (5)$$

kde je:

- w_0 rychlost proudění v přívaděcím otvoru [m/s],
- d_0 průměr přívaděcího otvoru [m],
- ν kinematická viskozita vzduchu [m²/s].

Z uvedeného je zřejmé, že v případě dlouhých tunelů (kolektorů) nemůže být řeč o provětrávání podstatné části kolektoru primárním proudem vzduchu. Prakticky je dosah proudu vzduchu jen několik málo metrů.

Vzhledem k rozměru kolektoru, jehož délka dosahuje desítky až stovky metrů, jde v podstatě o zanedbatelnou část kolektoru. To znamená, že distribuce vzduchu jedním přívaděcím otvorem umístěným na začátek tunelu není optimálním řešením z hlediska minimalizace koncentrací škodlivin v celé sledované délce kolektoru.

Na obr. 2 je názorně ukázáno, že poměrná délka (x/H) je limitována určitou maximální hodnotou $(x/H)_{\max}$, která souvisí se vznikem tzv. autodelní oblasti. Při daném poměru (x/H) se délka provětrání čerstvým vzduchem zvyšuje jen do určitého maxima a nelze ji zvětšit např. zvýšením výtakové rychlosti w_0 .

Střední rychlost proudění vzduchu v kolektoru

V případě umístění jednoho přívaděcího otvoru na začátek kolektoru se objevuje po poměrně malé vzdálenosti (x) sekundární proudění, resp. při větších vzdálenostech vzduch stagnuje (rychlosti proudění jsou minimální). Průměrná rychlost proudění w_m [m/s] v kolektoru ve větších vzdálenostech od přívaděcího otvoru činí:

$$w_m = \frac{V}{3600 \cdot S_m} = \frac{V_m \cdot I}{3600 \cdot S_m} = \frac{S_m \cdot I \cdot x}{3600 \cdot S_m} = \frac{I}{3600} x \quad (6)$$

Z úpravy základního vztahu vychází poznatek o závislosti na intenzitě větrání I [1/h] a délce provětrávaného prostoru x [m]. Pokud by byla zadána požadovaná intenzita větrání, měly by při větších délkách kolektoru průměrné rychlosti podle průřezu dosahovat vysokých hodnot.

V opačném případě při zadání průměrné rychlosti proudění vzduchu např. $w_m = 0,2$ m/s by intenzita větrání měla činit:

$$I = \frac{3600}{x} \cdot w_m \quad (7)$$

Z uvedeného vztahu vyplývá podivný závěr – „čím delší kolektor, tím nižší potřebná intenzita větrání“. Tato informace ukazuje na nelogičnost

požadované limitní hodnoty proudění vzduchu. Grafické vyjádření uvedené závislosti je znázorněno na obr. 3.

Při normou ČSN 73 7505 předepsaných výměnách vzduchu (intenzitě větrání) by měla být předepsána délka kontrolního úseku. Jinak se jedná o zcela libovolnou hodnotu, podle toho, jaká je délka kolektoru!

Pokud se bude předpokládat normou předepsaná intenzita větrání např. $I = 1$ 1/h, tak po dosazení do vztahu (7) se získá výraz pro odpovídající délku kolektoru:

$$I = \frac{3600 \cdot 0,2}{x} = 1 \Rightarrow x = 720 \text{ m}$$

Obdobně pro intenzitu $I = 2$ 1/h

$$I = 2 \Rightarrow x = 360 \text{ m}$$

a pro intenzitu $I = 3$ 1/h

$$I = 3 \Rightarrow x = 240 \text{ m}$$

Z uvedených informací vyplývá několik zásad pro návrh větrání kolektorů. Předně je důležité rozhodnout o délce větraného úseku kolektoru, ve kterém bude platit požadovaná intenzita větrání v rozsahu $I = 1$ až 3 1/h a současně vzhledem k existenci plynového potrubí bude třeba splnit podmínku minimální rychlosti proudění vzduchu $w_m = 0,2$ m/s.

Uvedené poznámky lze shrnout do následujících bodů:

- ☐ Určitý úsek by měl mít vlastní přívod a vlastní odvod vzduchu.
- ☐ Způsob distribuce vzduchu jedním příváděcím a jedním odváděcím otvorem je nutné považovat za zcela nejjednodušší řešení, nikoliv za optimální.
- ☐ Z hlediska dokonalého provětrání by se mohl stát optimálním řešením rovnoměrný přívod vzduchu po celé délce úseku kolektoru vzduchovodem, který může být opatřen vysokým počtem malých otvorů, z nichž bude rovnoměrně po délce kolektoru vytékat čerstvý vzduch. Každý délkový metr kolektoru by byl zaplavován stejným množstvím čerstvého vzduchu. Odvod vzduchu by byl na koncích kolektorového úseku. Při tomto řešení rovnoměrného přívodu vzdu-

chu nebude na začátku kolektorového úseku pravděpodobně splněna podmínka rychlosti proudění vzduchu $w_m = 0,2$ m/s. V tomto případě bude nutné první úsek s nízkou rychlostí proudění vzduchu vybavit cirkulačním potrubím, jak je podrobněji uvedeno v závěru článku a znázorněno na obr. 9.

Požadavky stávající normy ČSN 73 7505

Dodržení trojnásobné intenzity větrání za 24 hodin znamená přivádět za 24 hodin do kolektoru daného objemu V_m [m³/h] následující objem vzduchu:

$$V_{24} = 3 \cdot V_m = I \cdot V_m \cdot \tau \quad (8)$$

Z uvedené úvahy vyplývá nezbytná doba větrání τ [h] kolektoru intenzitou I [1/h], aby shora uvedená podmínka byla splněna:

$$\tau = \frac{3}{I} \quad (9)$$

Závislost je názorně uvedena v diagramu na obr. 4.

Vliv turbulence

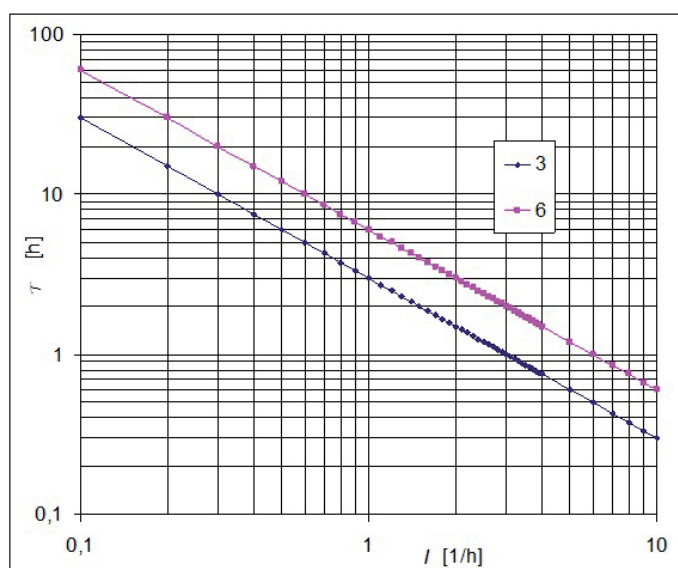
Poznatky získané při měření intenzity větrání kolektorů realizovaných v Praze bude vhodné zapracovat do připravované inovované normy ČSN 73 7505.

Je třeba zvážit zejména hodnotu rychlosti proudění vzduchu v kolektoru $w_m = 0,2$ m/s, která má být dodržena v případě instalace plynových potrubních rozvodů.

Turbulence uvnitř tunelu kolektoru souvisí s hodnotou Reynoldsova čísla Re . Při proměnném ekvivalentním průměru vzduchového kanálu D_{ekv} [m] a rychlosti proudění vzduchu w_m [m/s] v rozsahu 0,05 až 0,3 vychází Reynoldsovo číslo, jak je dokumentováno diagramem na obr. 5. Byl učiněn pokus získat potřebné informace z dostupné technické literatury o intenzitě turbulence alespoň v hladkém potrubí.

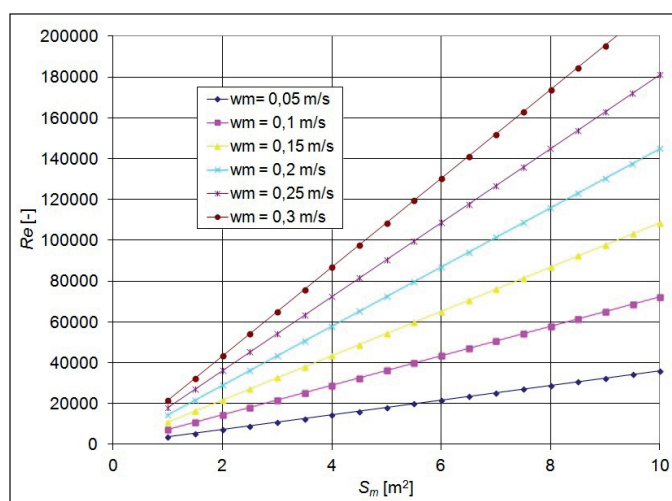
Intenzita turbulence T_u [-] závisí kromě průměrné rychlosti proudění vzduchu w_m [m/s] i na časových změnách této rychlosti w' , což lze vyjádřit vztahem:

$$T_u = \frac{S}{w_m} \quad (10)$$



Obr. 4 Potřebná doba větrání τ [h] s intenzitou I [1/h] pro splnění požadavku troj-, resp. šestinásobné intenzity větrání za 24 hodin [2]

Fig. 4 Required time τ [h] of ventilation with rate I [1/h] to comply with the three-, resp. six-time ventilation rate in 24 hours [2]



Obr. 5 Závislost Reynoldsova čísla na velikosti kanálu a rychlosti proudění vzduchu [2]

Fig. 5 Dependence of the Reynolds number on the size of the channel and airflow velocity [2]

kde je:

w_m střední rychlost proudění v n časových intervalech [m/s],
 s směrodatná odchylka proměnných rychlostí zjištěných v n časových intervalech, kterou je možné vyjádřit vztahem (11) [m/s].

$$s = \sqrt{\frac{\sum w'^2}{n-1}} \quad (11)$$

kde w' je časově proměnná rychlost proudění [m/s].

Ve větraných místnostech závisí intenzita turbulence na způsobu přívodu vzduchu. U systémů přívodu vzduchu s intenzivním směřováním bývá intenzita turbulence v rozsahu $T_v = 0,2$ až $0,6$. V případech systémů s potlačeným směřováním se bude jednat o nižší z uvedených hodnot.

Ve vzduchotechnickém hladkém potrubí lze uvažovat s 5% intenzitou turbulence [4]. Pro případ kolektorů, v nichž je řada konstrukcí (obr. 6), které nutno považovat za elementy zvyšující turbulenci proudícího vzduchu, je možno tuto hodnotu brát jako minimální. Z uvedených informací vyplývá myšlenka stanovit místo předepsané rychlosti proudění $w_m = 0,2$ m/s kritérium odvozené od hodnoty Reynoldsova čísla Re .

Větrání má za úkol odvádět škodlivou látku z uzavřeného prostoru, v tomto případě tunelu kolektoru, který může být horizontální nebo vertikální.

Škodlivou látkou je zemní plyn (methan), jehož hustota je $0,7$ kg/m³:

- ☐ dolní mez výbušnosti: $c_d = 4,3$ %,
- ☐ horní mez výbušnosti: $c_h = 15$ %.



Obr. 6 Pohled do kolektoru

Fig. 6 View into the collector

Z uvedených parametrů (cca při 10 °C) vyplývá značný rozdíl hustoty zemního plynu a hustoty vzduchu:

$$\Delta\rho = 1,2 - 0,7 = 0,5 \text{ kg/m}^3$$

Při určitém úniku zemního plynu M [g/s], dojde v důsledku uvedeného rozdílu hustot k rychlému úniku plynu směrem do horních partií kolektoru. Přitom dojde k ředění koncentrace tohoto plynu po délce dráhy plynu větracím vzduchem. Pokud by vzduch v kolektoru neproudil, narůstala by koncentrace v místě úniku přibližně lineárně s časem. Pokud by nad místem úniku zemního plynu bylo instalováno čidlo reagující na určitou koncentraci plynu, tak by při nastavené hodnotě koncentrace nastal téměř okamžitě alarm. Podle sdělení pracovníků firmy Kolektory Praha a.s. jsou čidla nastavená na $1/10$ dolní meze výbušnosti, nejvyšší přípustná koncentrace zemního plynu je tedy uvažována $c_{NPK} = 0,43$ %.

V případě, že bude v provozu větrání, bude vzduch znečištěný unikajícím plynem unášen tunelem kolektoru rychlostí w_m . Za předpokladu, že se plyn v důsledku turbulence homogenizuje, tj. je-li koncentrace plynu v průřezu kolektoru přibližně konstantní, bude pro tuto průměrnou koncentraci platit vztah, který souvisí se schématem na obr. 7:

$$c_m = \frac{M}{w_m S_m} \quad (12)$$

kde je:

c_m koncentrace plynu [g/m³],
 w_m střední rychlost proudění vzduchu kolektorem [m/s],
 M hmotnostní tok škodlivin [g/s].

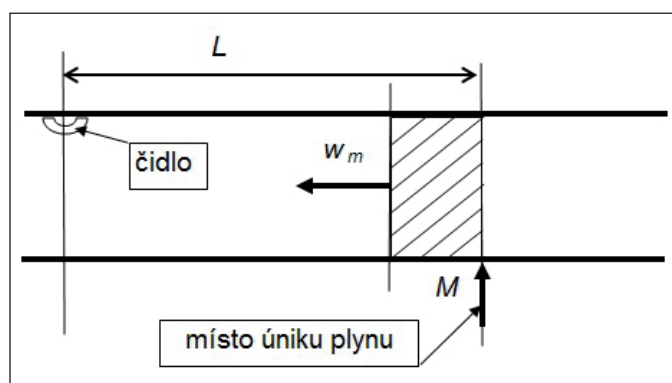
Za předpokladu, že čidlo hlásící poruchu je ve vzdálenosti L [m] od místa vzniku poruchy na plynovém potrubí, znečištěný vzduch s koncentrací c_m dorazí k čidlu za čas τ_t [s]:

$$\tau_t = \frac{L}{w_m} \quad (13)$$

Ze vztahů (12) a (13) je možno činit určité závěry, vždy při určité konstantní hodnotě sledované veličiny.

Pro čas τ [s], za který dorazí znečištěný vzduch k čidlu, možno psát vztah:

$$\tau_t = \frac{S_m c_m L}{M} \quad (14)$$



Obr. 7 Schéma šíření plynu kolektorem [2]

Fig. 7 Scheme of the gas spreading through the collector [2]

Vzdálenost umístění čidla:

$$L = \frac{M}{S_m c_m} \tau_t \quad (15)$$

Střední rychlost proudění vzduchu kolektorem:

$$w_m = \frac{M}{S_m c_m} \quad (16)$$

Pokud se bude diskutovat potřebná rychlost proudění vzduchu kolektorem, je třeba mít na mysli ekonomii provozu větracího zařízení. Při požadavku vyšších rychlostí proudění vzduchu narůstají tlakové ztráty s druhou mocninou průtoku vzduchu a stejně tak požadavky na příkon ventilátorů narůstají se třetí mocninou průtoku.

Z hlediska rozměrů kolektoru, v tomto případě jeho průřezu S_m [m²], vychází nepřímá úměra mezi rychlostí a průřezem. Z toho by se dalo usuzovat na volbu nízké rychlosti proudění u velkých průřezů kolektoru a naopak na vyšší rychlost proudění u kolektorů s menším průřezem, jak je dokumentováno v diagramu na obr. 8. Doporučené rychlosti proudění vzduchu w_m je také možno vyjádřit tabelárně za předpokladu dvou hodnot čísla Re .

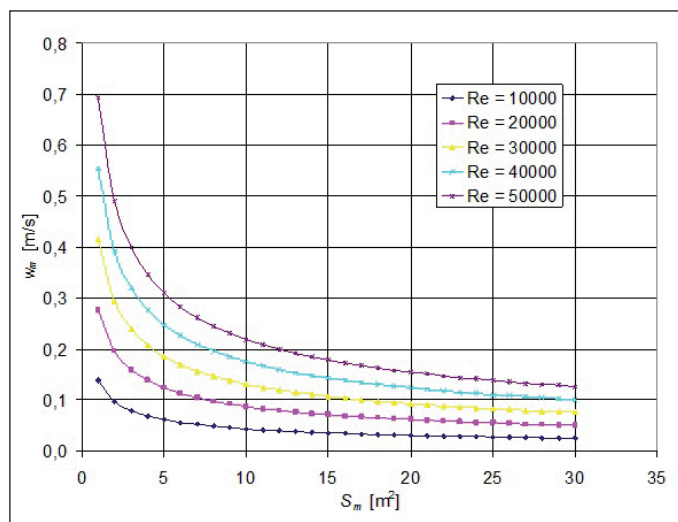
Tab. 1 Doporučené rychlosti proudění vzduchu o různém průřezu kolektoru

Tab. 1 Recommended airflow velocity for various cross section areas of collector

	S_m [m ²]	3	4	5	7	10	15	20	30
$Re = 30000$	w_m [m/s]	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08
$Re = 40000$	w_m [m/s]	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,14	0,12	0,10

Vliv vestavby na zvýšení rychlosti proudění

Systém kolektoru je prostorově projektován na určitou předpokládanou kapacitu rozvodů potřebnou v konkrétní bytové či průmyslové oblasti. Kolektor je od svého vzniku postupně doplňován instalacemi, které jsou průběžně doplňovány nebo odstraňovány podle potřeby jejich provozu-



Obr. 8 Závislost střední rychlosti w_m na průřezu kolektoru S_m a Reynoldsově čísla Re [2]

Fig. 8 Dependence of the mean velocity w_m on the cross-section area of the collector S_m and Reynolds number Re [2]

vatelů. Jednotlivé úseky kolektorů se tak mohou významně lišit z hlediska odporů, které je pak nutné kvalifikovaně odhadnout, nebo nejlépe změřit. Protože jde o hodnoty v řádu pascalů, je nutné měřit úseky dostatečně dlouhé – ideálně okolo 100 m. Prakticky je možné u pražských kolektorů uvažovat zmenšení průřezu kolektoru vlivem vnitřní zástavby okolo 15 až 20 procent.

Kabelové rozvody nejsou ukládány přímo na krakorce, ale leží z důvodů prověšení na cementovláknitých deskách. Takovou instalaci si je možné představit jako regálové uspořádání. V tomto případě je pak vertikální proudění a promíchávání vzduchu v těchto částech významně omezeno a většina větracího vzduchu proudí volnou manipulační částí průřezu.

TLAKOVÉ POMĚRY V KOLEKTORECH

Přímý kolektor

Pro dimenzování hlavního odváděcího ventilátoru konkrétního kolektoru je nezbytné znát tlakové ztráty jednotlivých úseků kolektoru. Ventilátor musí překonávat sériově řazené odpory v potrubní síti. Nejjednodušším případem je kolektor bez bočních (paralelních) úseků, tj. případ, kdy celkový dopravní tlak ventilátoru je dán součtem tlakových ztrát v sací a ve výtlačné části potrubního systému, ke kterému se ještě přičte hodnota dynamického tlaku v posledním výtlačném otvoru, který již ústí do atmosféry. V dosud prezentovaných výpočtech byl průřez kolektoru S_m [m²] uvažován jako průřez kolektoru nezastavěného technologickými rozvody, jako jsou rozvody elektrického proudu, vodní potrubí, plynové potrubí apod. Všechny vyjmenované sítě musí být v kolektoru pevně uloženy na systému krakorců a speciálních podpěr. Tyto instalace samozřejmě zvyšují odpor při proudění vzduchu kolektorem. Je třeba přijmout jednoduché řešení při stanovení tlakových ztrát v různých provedených úsecích kolektoru.

Základem musí být informace o tlakové ztrátě volného nezastavěného kolektoru, jako by se jednalo o volný kanál.

Pro výpočet součinitele tření lze doporučit výpočetní vztah [6]:

$$\lambda = \frac{1,318}{\ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7D_{ekv}} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)} \quad (17)$$

kde je:

D_{ekv} ekvivalentní průměr kolektoru [m],

ε drsnost stěn kolektoru [m],

Re Reynoldsovo podobnostní číslo stanovené pro rychlost proudění w_m a ekvivalentní průměr D_{ekv} [-].

U konkrétního úseku kolektoru je třeba ekvivalentní průměr D_{ekv} [m] stanovit podle obecně známého vztahu:

$$D_{ekv} = \frac{4S_m}{O} \quad (18)$$

kde O je obvod průřezu kolektoru [m].

Místní tlakové ztráty v přímých úsecích kolektoru významně ovlivňují technologické vestavby kolektoru. Na prvním místě je nutno započítat podpěrné konstrukce, jako jsou krakorce, na které se ukládají různé rozvody. Na začátku provozu kolektoru, kdy ještě nejsou do kolektoru umístěny technologické rozvody, se jedná vlastně o případ nejnižších

místních tlakových ztrát, které je vhodné vyjádřit součtem součinitelů místní tlakové ztráty ξ [-]. Jak bylo zjištěno v pražských kolektorech, jsou krakorce do kolektoru instalovány s roztečí 1 m. Nabízí se proto řešení určovat místní tlakovou ztrátu vlivem podpůrných konstrukcí jako násobek jednotkového součinitele místní tlakové ztráty ξ_1 [-]:

$$\xi = x \cdot \xi_1 \quad (19)$$

kde je:

- x délka kontrolovaného úseku kolektoru [m],
- ξ_1 součinitel místní tlakové ztráty pro délku 1 m [-],
- ξ součinitel místní tlakové ztráty pro délku úseku kolektoru x [-].

Z uvedeného vyplývá stanovení celkové tlakové ztráty Δp_i [Pa] určitého úseku kolektoru vztahem:

$$\Delta p_i = \left(\frac{\lambda x}{D_{\text{ekv}}} + \xi_1 x + \sum \xi \right) \left(\frac{V}{S} \right)^2 \frac{\rho}{2} \quad (20)$$

Ve vztahu uvedená suma ξ [-] určuje ostatní místní tlakové ztráty, jako jsou ohyby, shybky, náhlá rozšíření či zúžení průřezu kolektoru apod.

Místní tlakovou ztrátu vyjádřenou součinitelem ξ_1 [-] je téměř nemožné vyjádřit s dostatečnou přesností na základě obecně známých informací. Pro praktické výpočty je nutno ověřit tyto informace na základě experimentu. Z několika měření na pražských kolektorech byly získány informace o hodnotě ξ_1 [-] pro kolektor relativně malého průřezu (kolektor Radotín) a pro kolektor většího průřezu (kolektor CENTRUM I) v rozsahu:

$\xi_1 = 0,4$ (kolektor CENTRUM I – typický průřez 20 m²),

$\xi_1 = 0,8$ (kolektor Radotín – typický průřez 5 m²).

Pro celkový výsledek je nezbytně důležité i započítání vlivu náhlých rozšíření a náhlých zúžení kanálu kolektoru. Náhlé rozšíření je případ napojení přímé trasy kolektoru na tzv. komory. To jsou místa s výrazně vyšším objemem vyhloubeného prostoru, kde se umísťují různá technologická zařízení.

Místní tlakovou ztrátu náhlým rozšířením lze určit ze známého vztahu [1], ze kterého je snadné stanovit součinitel místní tlakové ztráty náhlým rozšířením:

$$\xi = \frac{(w_1 - w_2)^2}{w_1^2} = \left(1 - \frac{S_{\text{kol}}}{S_{\text{KOM}}} \right)^2 \quad (21)$$

kde je:

- w_1 rychlost proudění v kolektoru před náhlým rozšířením [m/s],
- w_2 rychlost proudění v komoře kolektoru [m/s],
- S_{kol} průřez kolektoru před náhlým rozšířením [m²],
- S_{KOM} průřez komory v místě náhlého rozšíření [m²].

V místě náhlého zúžení, což je opačný případ, než který byl zmíněn v předcházejícím odstavci, je určení místní tlakové ztráty poněkud obtížnější, jak vyjadřuje následující výraz:

$$\xi = K \left(1 - \frac{S_{\text{kol}}}{S_{\text{KOM}}} \right)^{3/4} \quad (22)$$

Konstanta K [-] je závislá na provedení hrany náhlého rozšíření a pohybuje se v rozsahu cca 0,1 až 0,5. Vyšší hodnota odpovídá ostré hraně v místě rozšíření.

Řada součinitelů místních ztrát v elementech, u nichž se liší vstupní průřez od průřezu výstupního, má udávané součinitele místních ztrát vždy pouze k jednomu z průřezů. Pokud si projektant nedá pozor, může dojít k velkým chybám ve výpočtu tlakových ztrát, což lze dokumentovat výpočtem. Musí obecně platit, že tlaková ztráta při průtoku vzduchu daným elementem je pořád stejná, ať se určuje z jedné či druhé strany.

$$\xi_1 \frac{\rho}{2} w_1^2 = \xi_2 \frac{\rho}{2} w_2^2 \quad (23)$$

Současně platí rovnice kontinuity:

$$S_1 w_1 = S_2 w_2 \quad (24)$$

Z obou vztahů vyplývá závěr pro určení součinitele místní tlakové ztráty:

$$\xi_2 = \xi_1 \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 \quad (25)$$

Tlakové ztráty v obloucích, kolenech, konfuzorech, difuzorech, rozbočkách, nasávacích žaluziích apod. lze volit podle údajů v technické literatuře, např. [1].

Větvový kolektor

Pokud se kolektor skládá z jedné nebo více paralelních větví, nastává řada problémů při návrhu větrání. Předně musí být ve výpočtech tlakových ztrát respektována zásada, že dva paralelní úseky potrubního systému mají za všech okolností stejnou tlakovou ztrátu. To vyplývá z Pascalova zákona, což lze vyjádřit rovnicí:

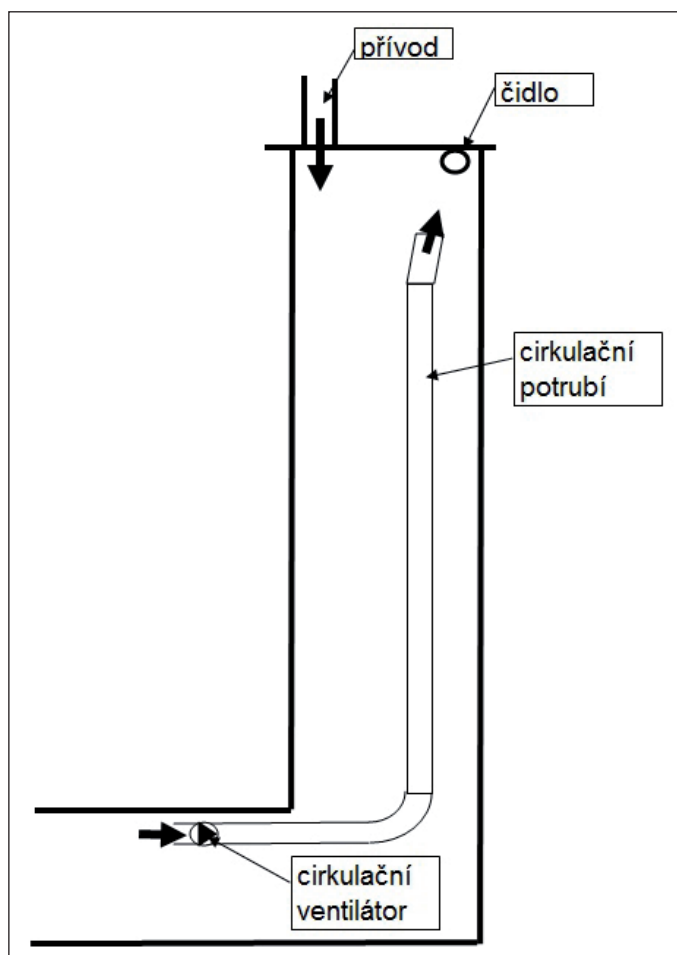
$$\sum \left(\frac{\lambda x}{D_{\text{ekv}}} + \xi_1 x + \sum \xi \right) \left(\frac{V}{S} \right)^2 \frac{\rho}{2} = \sum \left(\frac{\lambda x}{D_{\text{ekv}}} + \xi_1 x + \sum \xi \right) \left(\frac{V}{S} \right)^2 \frac{\rho}{2} \quad (26)$$

Požadované průtoky vzduchu dílčími paralelními úseky nemusí být stejné, jejich délka bývá rozdílná, včetně hodnoty součinitelů tlakových ztrát třením a součinitelů místních ztrát. Průměry potrubí se mohou významným způsobem lišit. U vzduchotechnických rozvodů se tento problém řeší vhodnou volbou průměrů potrubí a dodatečným seškracením průtoku v úseku s menší tlakovou ztrátou. Toto řešení se v případě kolektorů nedá prakticky realizovat, neboť dodatečné zvýšení tlakových ztrát, např. vložením škrticího orgánu do větve s nižší tlakovou ztrátou, je neřešitelné. Pouze u obou vstupních částí kolektoru, kdy se paralelními úseky přivádí čerstvý vzduch do systému kolektoru, je možné v nasávací části (na vstupní straně do kolektoru) uvažovat s regulací, tj. zvýšením odporu např. vložením klapky.

Jiným druhem řešení uvedeného problému je instalace pomocného, v tomto případě přiváděcího ventilátoru do vstupního průřezu dané části kolektorové větve. Dopravní tlak ventilátoru je možné vhodně dimenzovat tak, aby byla splněna podmínka stejných tlakových ztrát v místě spojení dvou paralelních větví kolektoru.

ZÁVĚR

Z předložených informací je patrné, že řešení větrání kolektorů by pro zkušeného vzduchotechnika nemělo představovat náročný problém. Je však třeba si uvědomit, že v kolektorech jsou paralelně instalovány rozvody, u nichž může nastat nebezpečí výbuchu, a proto je bezpodmínečně nutná bezporuchová funkce větracího systému za všech provozních



Obr. 9 Schematický náčrt instalace cirkulačního potrubí ve vertikálních úsecích [2]

Fig. 9 Schematic diagram of the circulation pipeline installation in the vertical sections [2]

stavů. Komplikaci v návrhu tak představuje zejména fakt, že všechna instalovaná zařízení musí splňovat podmínky nevýbušnosti dané směrnicí 94/9/EC (NV 23/2003 Sb.). V takovém případě je pak výběr jednotlivých komponent značně omezen.

Protože je kolektorové vedení součástí městského systému, potýkají se projektanti s nedostatky místa pro instalace sacích a výdechových otvorů. Jsou značně limitováni jejich velikostí, což v řadě případů vede k obtížně splnitelné podmínce dodržení rychlosti proudění vzduchu v jednotlivých částech kolektoru na hodnotě předpokládané v inovované ČSN 73 7505 $w_m = 0,2$ m/s. Vezme-li se v úvahu rovnice (24), je požadavek na splnění výše definované rychlosti mnohdy neřešitelný. Zjistíme např., že pro průřez kolektoru 35 m^2 , při splnění podmínky $w_m = 0,2$ m/s, je třeba přivést $7 \text{ m}^3/\text{s}$ vzduchu. Má-li u již existujícího kolektoru nasávací potrubí plochu pouze $0,6 \text{ m}^2$, např. z důvodů dispozičního omezení na povrchu, bude rychlost v tomto potrubí 12 m/s . Je nutné si uvědomit, že v nasávacím otvoru na protidešťové žaluzii, která průřez dále významně redukuje, bude velmi vysoká tlaková ztráta. V tu chvíli je splnění podmínky $w_m = 0,2$ m/s naprosto ne-realizovatelné. Dalším navazujícím problémem, který projektant bude řešit, je hluk z pomocných přívodních ventilátorů do okolního prostředí. V tomto případě i instalované tlumiče hluku musí splňovat podmínky nevýbušnosti!

Při požadavku na dodržení rychlosti $0,2 \text{ m/s}$ a uvážení ekonomičnosti provozu je výhodné, když má kolektor co nejmenší množství paralelních vstupů. Je to dáno tím, že i odbočné větve (o průřezu i 20 m^2)

jsou obvykle v dimenzi hlavního tunelu, a tudíž je třeba k dodržení výše uvedené podmínky velkých průtoků. To pak v celkovém součtu mnohonásobně navyšuje požadavky na ventilátor oproti návrhu vycházejícímu např. z požadavku na dodržení určité hodnoty intenzity větrání.

V případě, že je přívod nadměrného množství vzduchu neekonomický, je vhodnější zajistit v inkriminovaných úsecích splnění podmínky výměny vzduchu např. cirkulací. K tomu je možné využít axiální i radiální ventilátory s instalovaným potrubím na sání či výtlačku (obr. 9). Hlavním kritériem je v tomto případě funkce poplašného zařízení, ke kterému je nezbytné zajistit přívod plynem znečištěného vzduchu.

Kontakt na autory: miroslav.kucera@fs.cvut.cz; richard.novy@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] NOVÝ, R. a kol. *Technika prostředí*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2000. 265 s. ISBN 80-01-02108-4.
- [2] KUČERA, M., NOVÝ, R. *Návrh technického řešení úprav kolektoru Centrum I*. Výzkumný úkol 8301571, Praha, 2016.
- [3] KUČERA, M., NOVÝ, R. *Průtok vzduchu v kolektoru Radotín – Berounka*. Zpráva o měření 8301560, Praha, 2015.
- [4] BROCKMEYER, H. *Akustik für den Luftungs und Klimatechnik*. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1971.
- [5] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. *Větrání a klimatizace*. Brno: Bolit, 1993, 490 s. Technický průvodce, 31. ISBN: 8-090-15740-8.
- [6] POŘÍZEK, J. Simulace 1-D proudění v portálovém objektu tunelu Blanka. *Vytápění, větrání, instalace*. 2007, roč. 16, č. 4, s. 83–88. ISSN 1210-1389.

„Kočího zlato“ pro skladování elektrické energie

V současnosti se usilovně hledá cenově výhodná baterie pro skladování elektrické energie. Do provozu se uvádí stále více elektromobilů a stacionárních baterií pro připojování chytrých sítí smart grids a zásoby lithia pro lithium-iontové baterie se rychle vyčerpávají. Laboratoře tenkých vrstev a fotovoltaiky švýcarského ústavu EMPA Dübendorf a technické univerzity ETH Curych představily alternativu v podobě baterie z „kočího zlata“, tj. pyritu nebo jeho modifikace markasitu (FeS_2). Sodík-hořčíková hybridní baterie s anodou z hořčíku se skládá z železa, síry, sodíku a hořčíku – prvků, které se vyskytují v dostatečném množství a jsou cenově výhodné (hořčík je 15krát levnější než lithium). Lithium-iontové baterie potřebují dražší měděné fólie, zatímco baterie z „kočího zlata“ se spokojí s levnější hliníkovou fólií. Nové katody baterií z „kočího zlata“ jsou tvořeny pyritovými nanokrystaly.

Zkušební baterie zatím vydržely 40 nabíjecích cyklů, aniž by se zhoršily jejich vlastnosti, pokleslo jejich napětí a snížila se životnost. Naopak, s dále vyvíjenými elektrolyty lze docílit vyššího napětí, prodloužit životnost a vytvořit dobré předpoklady pro skladování elektrické energie. Vědci zde vidí potenciál síťových baterií a baterií pro elektromobily. Nyní se hledají investoři pro dokončení vývoje a uvedení nových baterií na trh.

Pramen: CCI 01/2016, s. 4

(AB)

Jak vysoko můžeme ještě stavět?

Soupeření o dosažení nejvyšších budov světa dosahuje rozměrů, které jsme si ještě před několika lety nedovedli představit. Stávající nejvyšší budova světa, dubajská Burj Chalifa s 828 metry, má být v roce 2019 překonána budovou Kingdom Tower v Džiddě v Saúdské Arábii s výškou 1 000 m a 200 patry. Projekt je dílem amerických architektů Adriana Smitha a Gordona Gilla.

Další plánovanou stavbou bude komplex čtyř věží Bridge Tower v irácké Basře o výšce 964 metrů britsko-iráckého projektu AMBS Architects, propojený věží výšky 1 152 m s 230 patry. Průměrná letní teplota v dané lokalitě cca 40°C bude klást extrémní nároky na vlastní stavbu, klimatizaci a čerpací techniku s rozvody.

Pramen: CCI 01/2016, s. 4

(AB)