

doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.  
Ing. Jindřich BOHÁČ, Ph.D.  
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,  
Ústav techniky prostředí

# Tlakové ztráty ohebných vzduchovodů

## Pressure Loss of Flexible Air Ducts

Recenzent  
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Článek se zabývá problematikou tlakových ztrát ohebných vzduchovodů. Na základě literárních podkladů byl analyzován součinitel tření pro deklarované drsnosti ohebných vzduchovodů a vliv smršťení vzduchovodu. Experimentálním měřením byly ověřeny tlakové ztráty ohebných vzduchovodů a zkoumán vliv smršťení na tlakové ztráty vzduchovodů malých průřezů. Pro zkoumání byly vybrány běžně používané ohebné vzduchovody dostupné na českém trhu.

**Klíčová slova:** větrání, tlaková ztráta třením, součinitel třecích ztrát, ohebný vzduchovod

The article targets the issue of pressure loss of flexible air ducts. The friction factor related to the declared roughness of flexible air ducts and the effect of air duct compression were analyzed on the basis of available literature. Pressure loss of flexible air ducts was verified and the effect of compression on the pressure loss of air ducts with small diameters was examined by experimental measurements. Commonly used flexible air ducts available on the Czech market were selected for the study.

**Keywords:** ventilation, friction pressure loss, friction loss coefficient, flexible air duct

### ÚVOD

Tlaková ztráta třením ve vzduchovodu  $\Delta p_t$  se stanovuje dle známého Darcy-Weisbachova vztahu (viz např. [1]). Při běžných rychlostech proudění vzduchu ve vzduchovodech se charakter proudění nachází v turbulentní oblasti. Součinitel třecích ztrát závisí na Reynoldsově čísle a poměrné drsnosti vnitřního povrchu potrubí  $\lambda = f(Re, \varepsilon/d)$ . Za nejpřesnější analytický vztah [5], který popisuje tuto závislost, se považuje Colebrook-Whitův vztah (1939) [4], kde je součinitel tření  $\lambda$  určen implicitně:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/d}{3,71} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (1)$$

kde je:

$\varepsilon$  drsnost vnitřního povrchu vzduchovodu [mm],  
 $d$  vnitřní průměr vzduchovodu [mm],  
 $Re$  Reynoldsovo číslo.

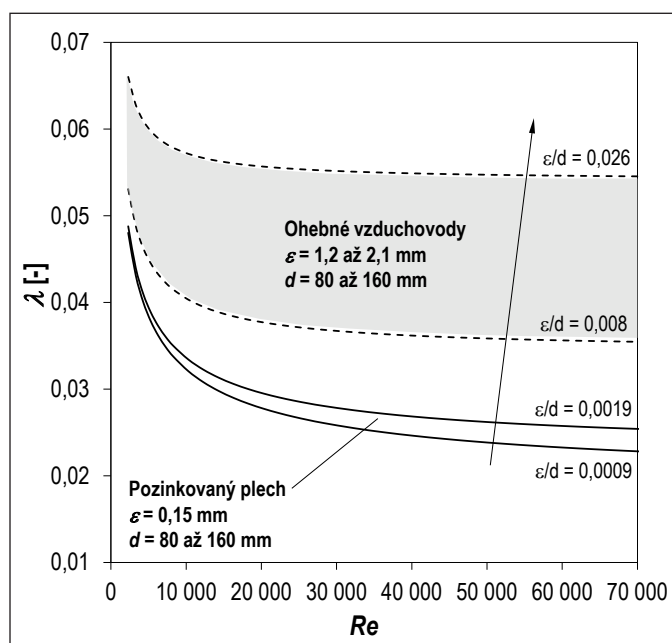
V tab. 1 jsou uvedeny drsnosti vzduchovodů  $\varepsilon$  dle použitého materiálu podle ASHRAE [3], včetně údajů platných pro plně natažené ohebné vzduchovody.

Tab. 1 Drsnost vzduchovodů podle ASHRAE [3]

Tab. 1 Roughness of air ducts according to ASHRAE [3]

Materiál vzduchovodu	Drsnost potrubí $\varepsilon$ [mm]
PVC – hladké potrubí	0,01 až 0,05
Ocel – spirálně vinutá	0,09 až 0,12
Ocel – pozinkovaný plech	0,15
Ohebné vzduchovody (hadice), kovové plně natažené	1,2 až 2,1
Betonový kanál – drsné potrubí	3,0

Na obr. 1 je znázorněno grafické vyjádření součinitele třecích ztrát  $\lambda$  podle (1) v závislosti na Reynoldsově čísle. Vyšrafovaná oblast představuje očekávané hodnoty pro ohebné vzduchovody průměru 80 až 160 mm a platí pro drsnosti ohebných vzduchovodů  $\varepsilon = 1,2$  až  $2,1$  mm podle ASHRAE (viz tab. 1). Pro porovnání je v obr. 1 uvedena i oblast pro vzduchovody z pozinkovaného plechu.



Obr. 1 Součinitel tření  $\lambda = f(Re, \varepsilon/d)$  pro ohebné vzduchovody průměru 80 až 160 mm podle ASHRAE

Fig. 1 Friction factor  $\lambda = f(Re, \varepsilon/d)$  for flexible air ducts with diameter from 80 to 160 mm according to ASHRAE

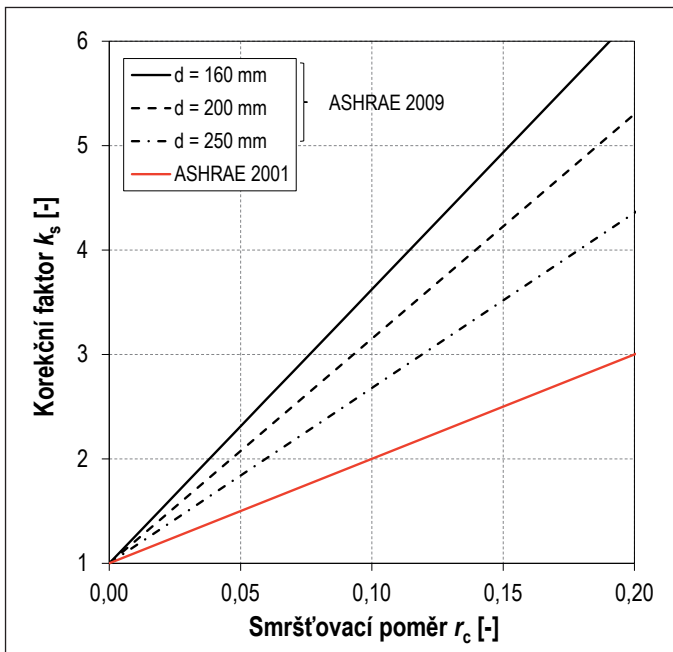
### VLIV SMRŠTĚNÍ VZDUCHOVODU

Některé ohebné vzduchovody není reálně možné instalovat v napnutém stavu a je nutno uvažovat s jejich smršťením. V ASHRAE 2009 [3] je možné nalézt korekční faktor na tlakovou ztrátu při smršťení ohebného vzduchovodu s platností pro průměry  $d = 150$  až  $400$  mm, který se stanoví jako:

$$k_s = 1 + 58 r_c e^{0,00496d} \quad [-] \quad (2)$$

kde smršťení vzduchovodu je definováno smršťovacím poměrem:

$$r_c = 1 - \frac{L_{inst}}{L} \quad [-] \quad (3)$$



Obr. 2 Korekční faktor na tlakovou ztrátu při smrštění vzduchovodu podle ASHRAE  
Fig. 2 Correction factor of pressure loss for air duct compression according to ASHRAE

kde je:

$L$  délka vzduchovodu v napnutém stavu [m],

$L_{\text{inst}}$  instalovaná délka vzduchovodu [m].

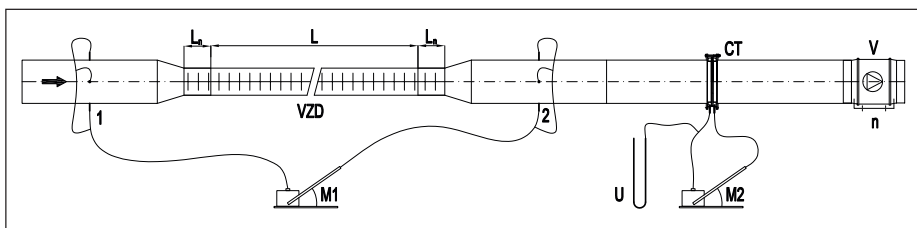
Tlaková ztráta ohebného vzduchovodu ve smrštěném stavu pak je:

$$\Delta p_{\text{smr}} = k_s \Delta p_{\text{nap}} \quad [\text{Pa}] \quad (4)$$

Na obr. 2 je znázorněna závislost korekčního faktoru  $k_s$  na smršťovacím poměru  $r_c$  pro průměry hadic 160, 200 a 250 mm [3]. Podle obr. 2 platí, že pokud dojde ke smrštění vzduchovodu průměru 200 mm pouze o 5 % ( $r_c = 0,05$ ), bude výsledná tlaková ztráta vzduchovodu dvojnásobná oproti napnutému stavu. Čím menší je průměr vzduchovodu, tím významnější je nárůst tlakové ztráty. Ve starší literatuře (ASHRAE 2001 [2]) je možné najít závislost (zobrazenou na obr. 2 červeně), která platila pro všechny průměry vzduchovodů. Cílem příspěvku je mj. ověřit, zda obdobné závislosti platí i pro vzduchovody menších průměrů (80 až 125 mm).

## METODIKA MĚŘENÍ

Metodika měření tlakové ztráty vzduchovodu vychází z metodiky stanovení tlakové ztráty vřazeného odporu, kdy tímto odporem je vzduchovod. Pro měření byla sestavena měřicí trať (obr. 3), která je složena z ventilátoru (V) s možností regulace otáček ( $n$ ), clonkové trati (CT) pro měření průtoku vzduchu a potrubí s odběrnými místy pro odběr statických tla-



Obr. 3 Schéma měřicí trati

Fig. 3 Schematic diagram of the measuring setup

ků před (1) a za (2) měřeným vzduchovodem. Odběr statického tlaku byl realizován vícenásobný, vždy ve 4 místech rovnoměrně po obvodu vzduchovodu. Měřený vzduchovod (VZD) je umístěn na podtlakové straně ventilátoru a je nasunutý na nátrubky měřicí trati ( $L_n$  v obr. 3 je délka nátrubku). Pro zachování roviny byl vzduchovod položen na pevnou podložku. Rozdíl statických tlaků mezi odběrnými místy a na clonce se měřil lihovými mikromanometry M1 a M2. Pro stanovení statického podtlaku před clonkou slouží U trubice (U). Tlaková ztráta byla měřena v konfiguraci se vzduchovodem  $\Delta p_{1-2}$  a bez vzduchovodu  $\Delta p_{1-2,\text{bez}}$ . Výsledná tlaková ztráta vzduchovodu byla vyhodnocena jako:

$$\Delta p = \Delta p_{1-2} - \Delta p_{1-2,\text{bez}} \quad [\text{Pa}] \quad (5)$$

Tlakové ztráty byly měřeny v laboratorních podmínkách. Teplota vzduchu v laboratoři byla trvale v rozmezí  $22,2 \pm 1,8$  °C, relativní vlhkost  $30 \pm 7$  % a hustota vzduchu  $\rho = 1,17 \pm 0,02$  kg/m<sup>3</sup>.

## Popis zkoumaných ohebných vzduchovodů

Pro experimentální zkoumání byly vybrány 4 typy ohebných vzduchovodů dostupných na českém trhu:

- H1 hliníkový vzduchovod,
- H2 PVC vzduchovod s polyamidovou tkaninou,
- H3 polotuhý ohebný hliníkový vzduchovod s falcováním,
- H4 ohebný vzduchovod z PE.

Seznam zkoumaných ohebných hadic vč. jejich parametrů je uveden v tab. 2; jejich vyobrazení je na obr. 5.

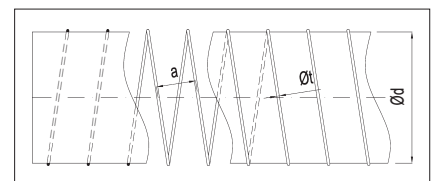
Kostru ohebných vzduchovodů H1 a H2 tvoří ocelový spirálně vnutý drát (obr. 4). Tyto vzduchovody umožňují smrštění a plně napnuté mohou být pouze při instalaci rovných úseků. Existují obdoby těchto hadic opatřené tepelnou izolací.

Vzduchovod H3 je vyroben z falcovaného hliníkového plechu, čímž je dosaženo vyšší tuhosti. Dodává se zpravidla ve smrštěném stavu na cca 1/3 délky, při instalaci se vzduchovod natáhne na maximální délku. Smrštění tohoto vzduchovodu je sice možné, nicméně obtížně realizovatelné.

Tab. 2 Seznam a parametry zkoumaných ohebných vzduchovodů

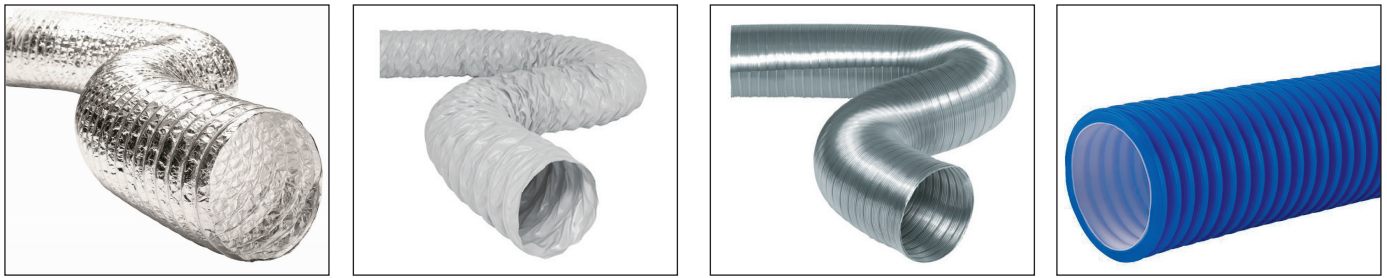
Tab. 2 Summary and parameters of the assessed flexible air ducts

Označení	Materiál	Vnitřní průměr $d$ [mm]	Celková délka vzduchovodu $L_c$ [m]	Rozteč drátu $a$ [mm]	Průměr drátu $t$ [mm]
H1	hliník	80, 100	10	24	1,0
		125, 160		34	
H2	PVC	80, 100	10	34	1,0
		125, 160		54	
H3	hliník	80, 100, 125, 160	5	-	-
H4	PE	63, 77	10	-	-



Obr. 4 Schéma ohebného vzduchovodu se spirálně vnutým drátem (H1 a H2) v napnutém stavu

Fig. 4 Diagram of a flexible air duct with spiral winding wire (H1 and H2) in a stretched state



a) vzduchovod H1

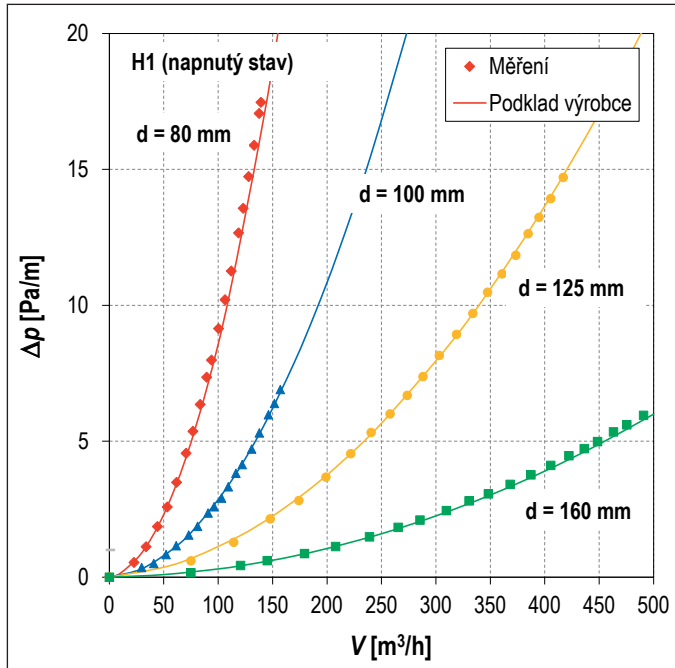
b) vzduchovod H2

c) vzduchovod H3

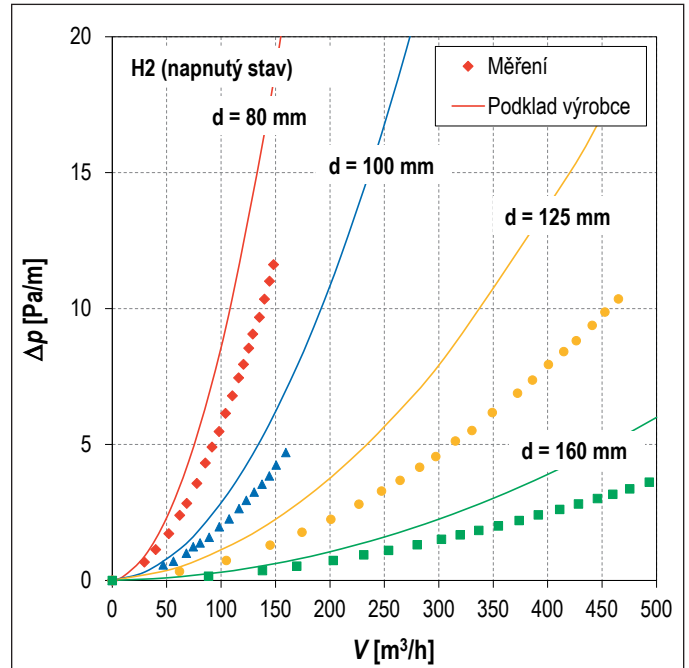
d) vzduchovod H4

Obr. 5 Zkoumané ohebné vzduchovody: a) H1 hliníkový vzduchovod; b) H2 PVC vzduchovod s polyamidovou tkaninou; c) H3 polotuhý ohebný hliníkový vzduchovod s falcováním; d) H4 ohebný vzduchovod z PE

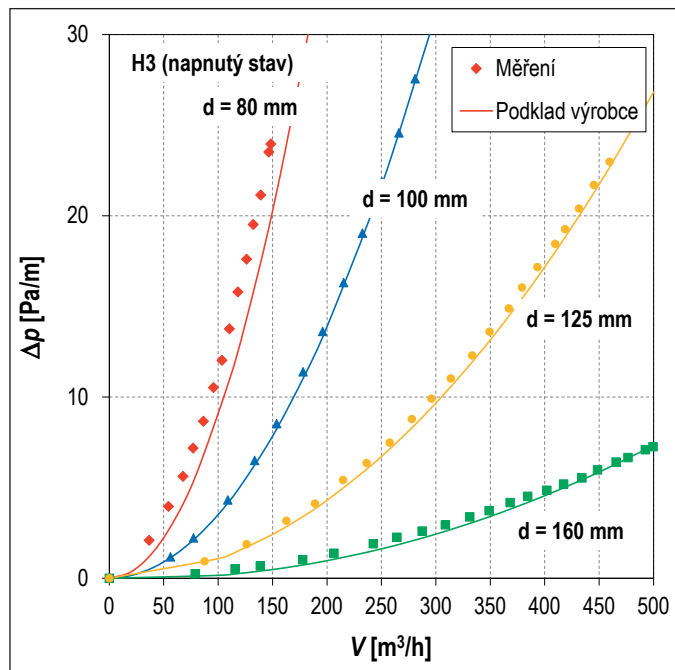
Fig. 5 Studied flexible air ducts: a) H1 aluminum air duct; b) H2 PVC air duct with polyamide fabric; c) H3 semi-rigid flexible aluminum air duct with folding; d) H4 flexible PE air duct



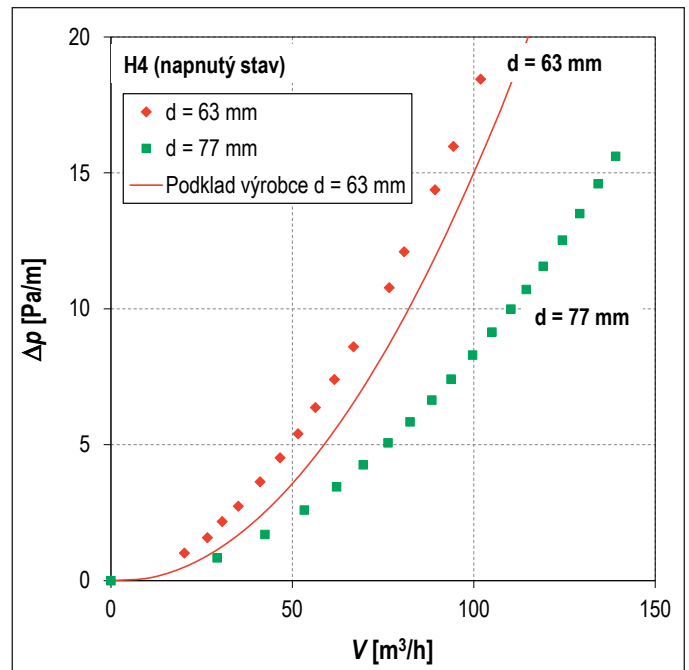
a) vzduchovod H1



b) vzduchovod H2



c) vzduchovod H3



d) vzduchovod H4

Obr. 6 Porovnání naměřené tlakové ztráty vzduchovodu s údajem výrobce

Fig. 6 Comparison of the measured pressure loss of the air duct with the manufacturer's data

Vzduchovod H4 je vyroben z polyetylénu, je ohebný, ale pevný – drží tvar, jeho vnitřní povrch je hladký a smrštění není možné. Jedná se o vzduchovody relativně malých průměrů (63 a 77 mm nebo 61 a 75 mm u hygienického provedení) používaných pro distribuci vzduchu zejména v obytných budovách. Vzduchovody jsou určeny pro relativně malé průtoky vzduchu cca do 60, resp. 90 m<sup>3</sup>/h.

Výrobci, resp. prodejci vzduchovodů uvádí ve svých podkladech měrnou tlakovou ztrátu ohebných hadic v napnutém stavu. Měrná tlaková ztráta v [Pa/m] je často vyjádřena formou nomogramů v závislosti na průtoku vzduchu nebo rychlosti proudění. Z takových nomogramů, které jsou často v logaritmických souřadnicích, se tlakové ztráty velmi těžko odečítají. Pro praktické výpočty se jeví jako výhodnější znát drsnost vnitřního povrchu vzduchovodu  $\varepsilon$  a tlakovou ztrátu stanovit následně výpočtem.

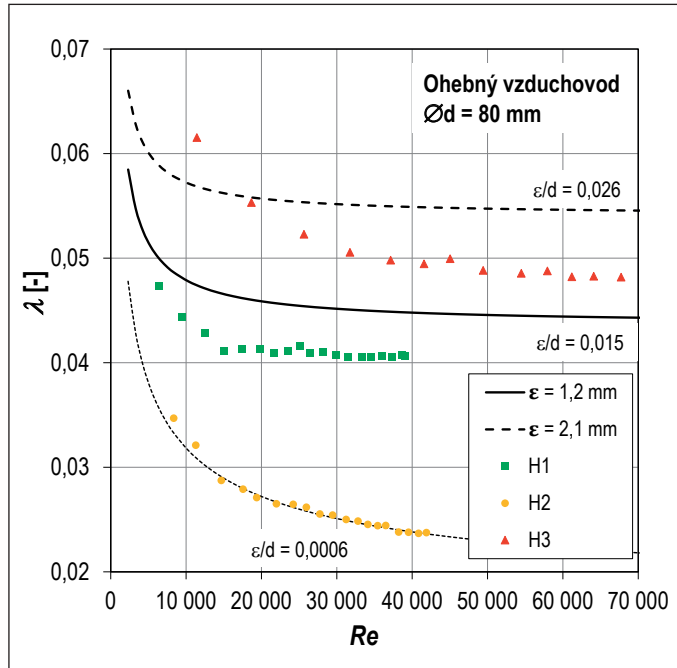
Cílem měření bylo vyhodnotit drsnost vnitřního povrchu  $\varepsilon$  pro zkoumané ohebné vzduchovody v napnutém stavu.

**VÝSLEDKY A DISKUZE**

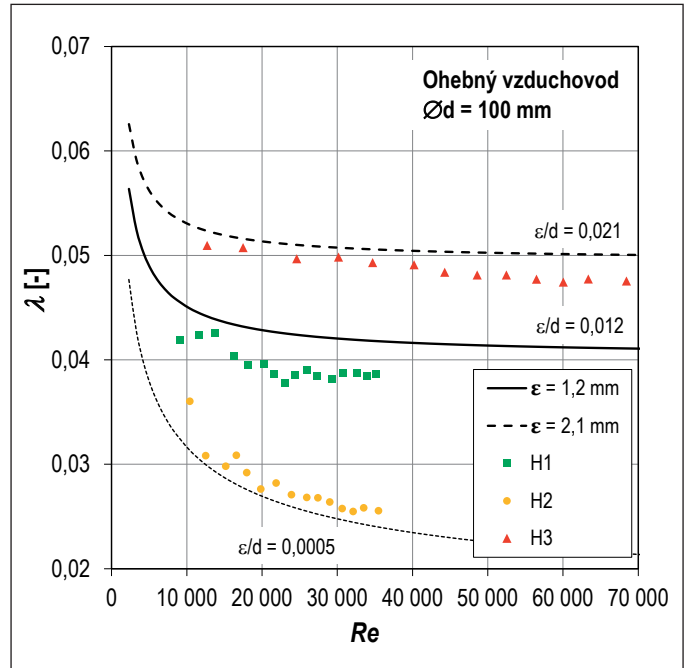
**Tlaková ztráta ohebných hadic v napnutém stavu**

Na obr. 6 je znázorněno porovnání naměřených hodnot (body) měrné tlakové ztráty ohebných vzduchovodů s údaji udávanými v technických podkladech distributora (křivky).

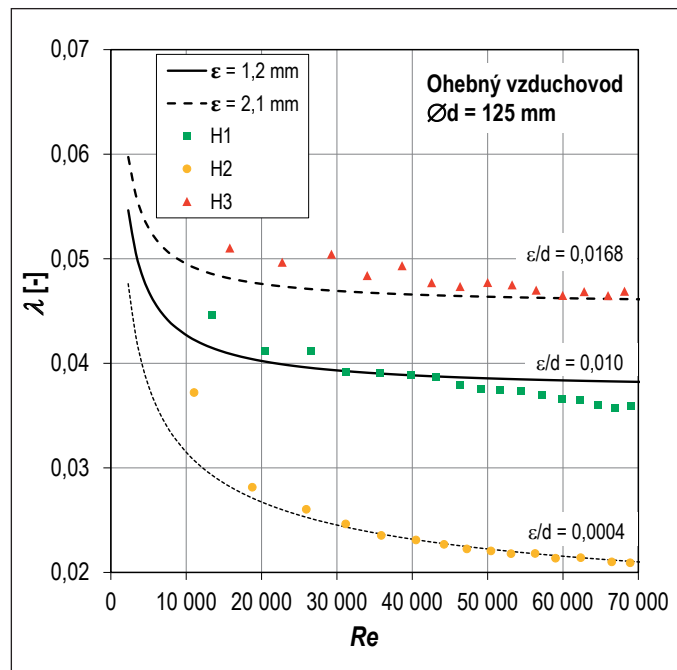
Na obr. 6a jsou znázorněny výsledky pro vzduchovod H1. Z výsledků je zřejmé, že naměřené hodnoty tlakové ztráty dobře korespondují s úda-



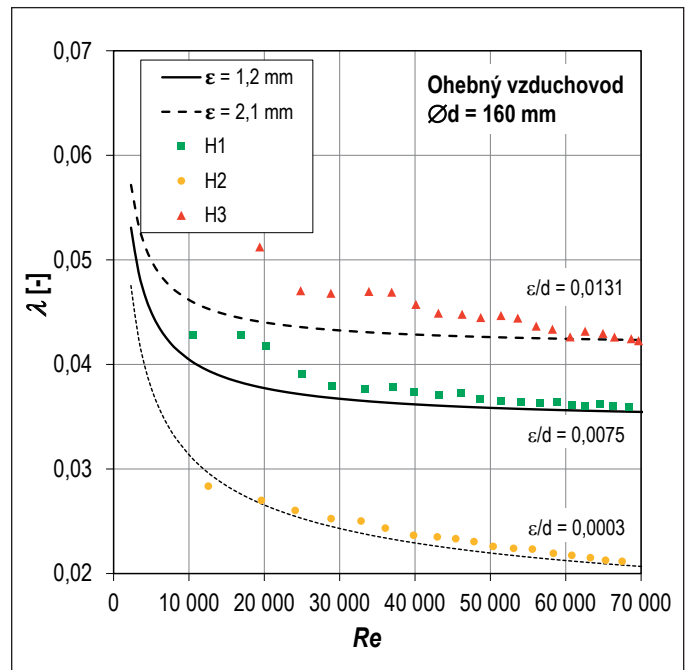
a) průměr 80 mm



b) průměr 100 mm



c) průměr 125 mm



d) průměr 160 mm

Obr. 7 Součinitel tření  $\lambda$  pro vzduchovody H1 až H3

Fig. 7 Friction factors  $\lambda$  for H1 to H3 air ducts

jem výrobce (pro všechny zkoumané průměry  $d$ ), přestože odečet z nomogramů výrobce je zatížen určitou chybou.

Na obr. 6b jsou znázorněny závislosti pro ohebnou hadici H2. Údaje výrobce pro vzduchovody H1 a H2 jsou totožné. Na základě naměřených hodnot je však zřejmé, že vzduchovody H2, který je tvořen polyamidovou tkaninou, dosahuje v napnutém stavu nižších tlakových ztrát, což je způsobeno nižší drsností povrchu materiálu (viz dále).

Vzduchovody H3, který je vyroben z falcovaného hliníkového plechu, je z pohledu tlakové ztráty nejméně příznivý. Porovnání naměřené tlakové ztráty s podkladem výrobce je znázorněno na obr. 6c.

Na obr. 6d jsou výsledky měření tlakové ztráty pro vzduchovody H4, kdy podklady výrobce pro vzduchovody o průměru 63 mm jsou poněkud podhodnocené. Podklad výrobce pro průměr 77 mm není k dispozici.

### Součinitel tření

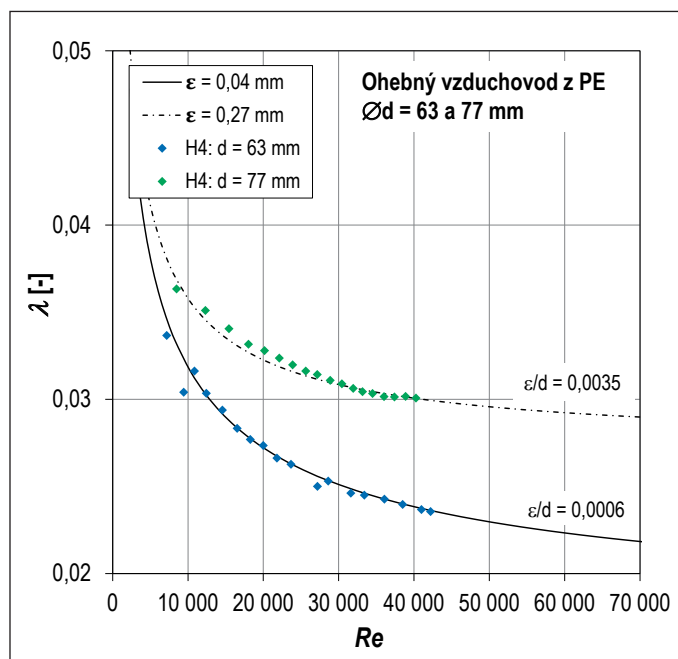
Na základě naměřených výsledků tlakové ztráty ohebných vzduchovodů byl vyhodnocen součinitel třecí ztráty  $\lambda$  s využitím Darcy-Weisbachova vztahu (viz např. [3]):

$$\lambda = \frac{2\Delta p_{\text{nap}} d}{L \rho w^2} \quad (6)$$

kde je:

- $w$  rychlost proudění [m/s],
- $\rho$  hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>],
- $\Delta p_{\text{nap}}$  tlaková ztráta vzduchovodu v napnutém stavu [Pa],
- $L$  délka vzduchovodu [m].

Na obr. 7 jsou znázorněny závislosti součinitele tření  $\lambda$  na Reynoldsově čísle pro plně natažené vzduchovody H1, H2 a H3, vyhodnocené na základě měření (barevné body). V obrázku jsou rovněž zakresleny křivky odpovídající dané drsnosti udávané pro ohebné vzduchovody v ASHRAE [3] (tab. 1), tj.  $\epsilon = 1,2$  a  $2,1$  mm a dále tečkovaná křivka odpovídající hydraulicky hladkému vzduchovodu ( $\epsilon = 0,05$ , viz tab. 1). Zobrazené křivky byly stanoveny na základě rovnice (1).



Obr. 8 Součinitel tření  $\lambda$  pro vzduchovody H4 průměru 63 a 77 mm  
Fig. 8 Friction factor  $\lambda$  for H4 air ducts with diameters 63 and 77 mm



Obr. 9 Rozdílnost tvarování vzduchovodů H4 průměru 63 a 77 mm  
Fig. 9 Differences in the shapes of H4 air ducts with diameters 63 and 77 mm

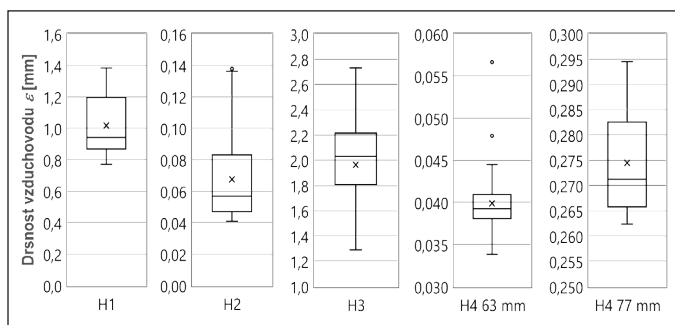
Z výsledků zobrazených na obr. 7 je zřejmý značný rozptyl naměřených hodnot součinitele tření, zejména pro vyšší poměrné drsnosti vzduchovodů. Je zřejmé, že měření bylo zatíženo chybou zejména pro nízké průtoky vzduchu.

Na obr. 8 je znázorněna obdobná závislost  $\lambda = f(Re)$  pro vzduchovody H4. Barevné body představují výsledky měření, křivky jsou stanovené dle rovnice (1) pro konkrétní drsnost vzduchovodu. V obrázku jsou znázorněny závislosti pro drsnost  $\epsilon = 0,04$  mm a  $\epsilon = 0,27$  mm, které dobře kopírují naměřené údaje. Z výsledků je zřejmé, že plastový ohebný vzduchovod průměru 63 mm lze považovat za hydraulicky hladký. Vzduchovod o průměru 77 mm vykazuje horší vlastnosti z hlediska poměrné drsnosti povrchu, přestože je vyroben ze stejného materiálu. Velikost falcování vzduchovodu o průměru 77 mm má odlišné rozměry včetně rozteče a vnitřní fólie nevykazuje takové napnutí jako u průměru 63 mm.

### Drsnost vnitřního povrchu napnutých vzduchovodů

Pro praktické výpočty se jeví jako účelné vyhodnotit drsnost vzduchovodu  $\epsilon$  [mm], aby bylo možné stanovit tlakovou ztrátu třením výpočtem. Drsnost vzduchovodu  $\epsilon$  byla vyhodnocena na základě naměřených hodnot  $\lambda$  (viz předchozí odstavec) z rovnice (1). S ohledem na rozptyl obdržených hodnot byla drsnost vzduchovodů vyhodnocena statisticky (viz obr. 10 – obdélník vyznačuje oblast 1. až 3. kvartilu, resp. 25 až 75% výskytu hodnot; křížek představuje průměrnou hodnotu, čára v obdélníku je medián). V tab. 3 jsou uvedeny vyhodnocené střední drsnosti zkoumaných ohebných vzduchovodů v napnutém stavu.

Na obr. 11 je znázorněno zpětné porovnání naměřené tlakové ztráty vzduchovodu s tlakovou ztrátou vypočítanou na základě Darcy-Weisbachova



Obr. 10 Rozptyl vyhodnocených drsností vnitřního povrchu ohebných vzduchovodů  
Fig. 10 Variance of evaluated values of inner surface roughness of flexible air ducts

vztahu (6) s použitím rovnice (1), kde drsnost vnitřního povrchu vzduchovodu  $\varepsilon$  je uvažována konstantní podle vyhodnocených středních hodnot v tab. 3. Odchyly mezi naměřenou a vypočítanou hodnotou tlakové ztráty pro vzduchovody H1 a H2 se pohybují v pásmu  $\pm 5\%$ , u vzduchovodu H3 jsou odchyly do 7%. Vzduchovod H4 se chová jako hydraulicky hladký a odchyly jsou zanedbatelné.

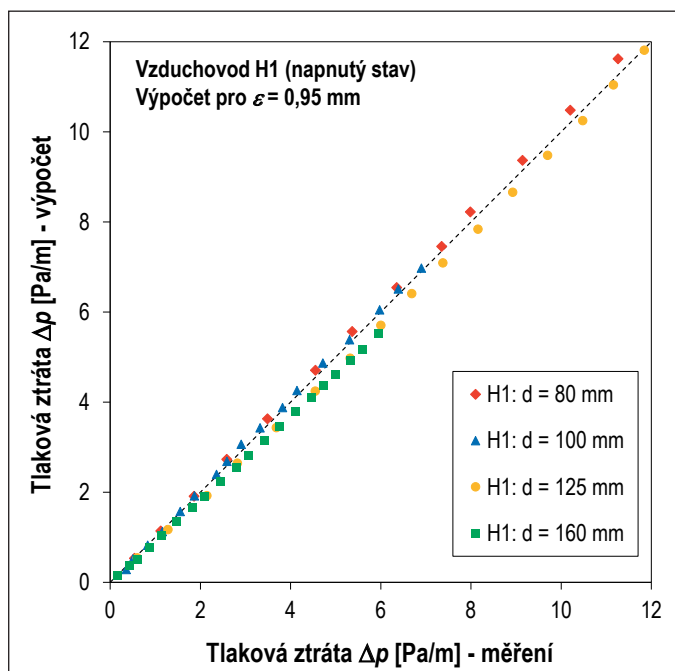
### Vliv smršťení vzduchovodu na tlakovou ztrátu

Ohebné vzduchovody H1 a H2, jejichž kostru tvoří spirálně vinutý drát, se obvykle neinstalují v plně napnutém stavu a v praxi dochází k jejich smršťení. Jak bylo uvedeno v úvodu článku, smršťení vzduchovodu má vliv na tlakovou ztrátu. Smršťením dojde nejen ke změně drsnosti vnitřního povrchu vzduchovodu, ale rovněž k zúžení průřezu vzduchovodu. Vzduchovody H1 a H2 byly podrobeny experimentálnímu zkoumání

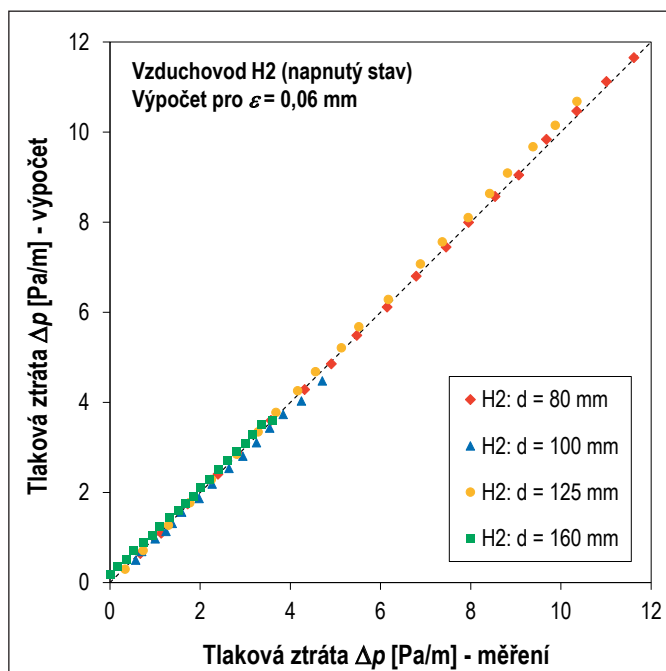
Tab. 3 Střední hodnoty drsnosti ohebných vzduchovodů v napnutém stavu

Tab. 3 Mean roughness values of flexible air ducts in the stretched state

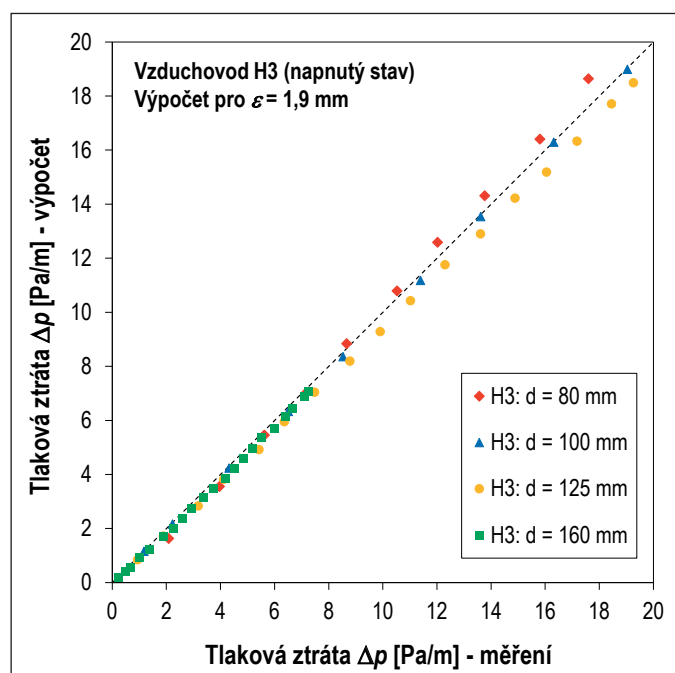
Označení	Materiál	Poznámka	Drsnost vnitřního povrchu vzduchovodu $\varepsilon$ [mm]
H1	hliník	-	0,95
H2	PVC	-	0,06
H3	falcovaný hliník	-	1,90
H4	PE	$d = 63$ mm	0,04
		$d = 77$ mm	0,27



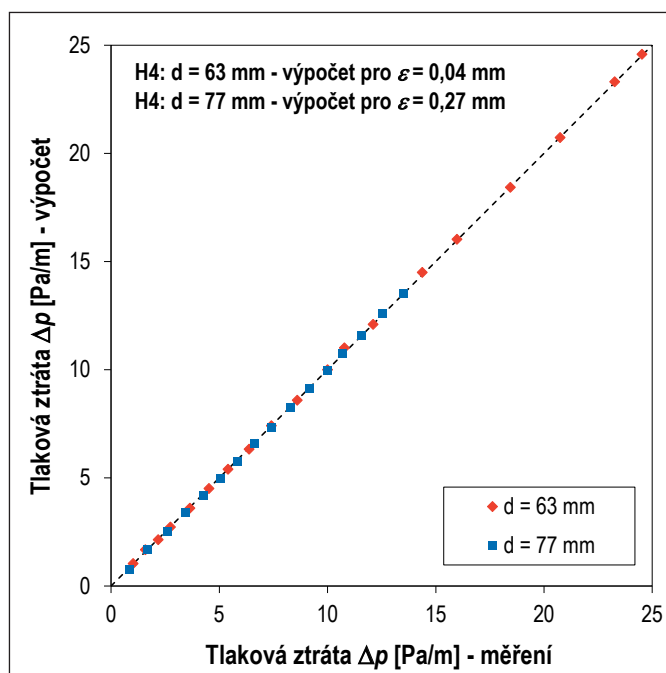
a) vzduchovod H1



b) vzduchovod H2



c) vzduchovod H3



d) vzduchovod H4

Obr. 11 Porovnání naměřených a vypočítaných údajů tlakové ztráty ohebných vzduchovodů v napnutém stavu

Fig. 11 Comparison of measured and calculated pressure loss values of flexible air ducts in the stretched state

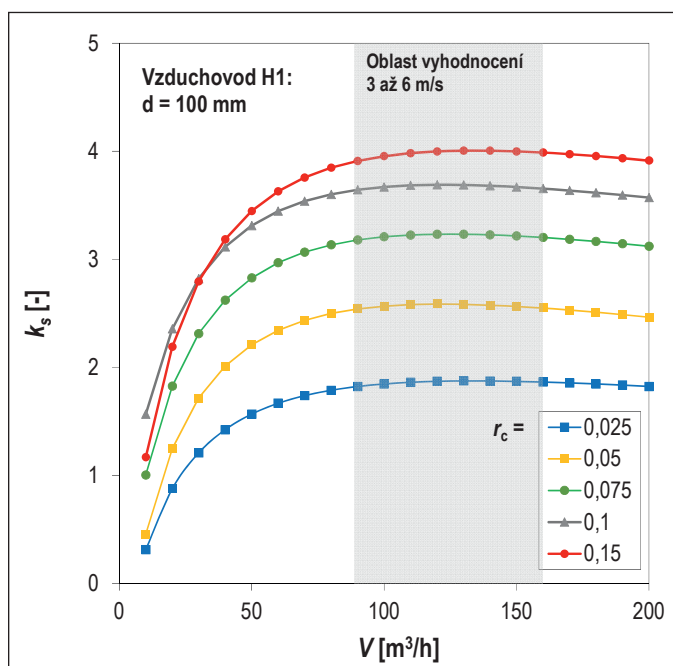
totoho jevu. Měření tlakové ztráty bylo realizováno na stejné měřicí trati popisované výše, ve stejném rozsahu průtoků. Instalovaná délka ohebného vzduchovodu  $L_{inst}$  byla zkracována o 2,5; 5; 7,5; 10 a 15 % (obr. 12).

Na základě měření tlakových ztrát  $\Delta p_{smr}$  a  $\Delta p_{nap}$  byl vyhodnocen korekční faktor definovaný jako poměr tlakové ztráty smršteného a napnutého vzduchovodu v rovnici (4):

$$k_s = \frac{\Delta p_{smr}}{\Delta p_{nap}} \quad [-] \quad (7)$$

Na obr. 13 je příklad vyhodnocení měření v podobě závislosti  $k_s = f(\dot{V})$  pro vzduchovod H1 ( $d = 100$  mm). Je zřejmé, že hodnota korekčního faktoru není konstantní. Z tohoto důvodu byl výsledný korekční faktor vyhodnocen jako průměrná hodnota pro běžné rychlosti proudění ve vzduchovodech 3 až 6 m/s (viz zvýrazněná oblast).

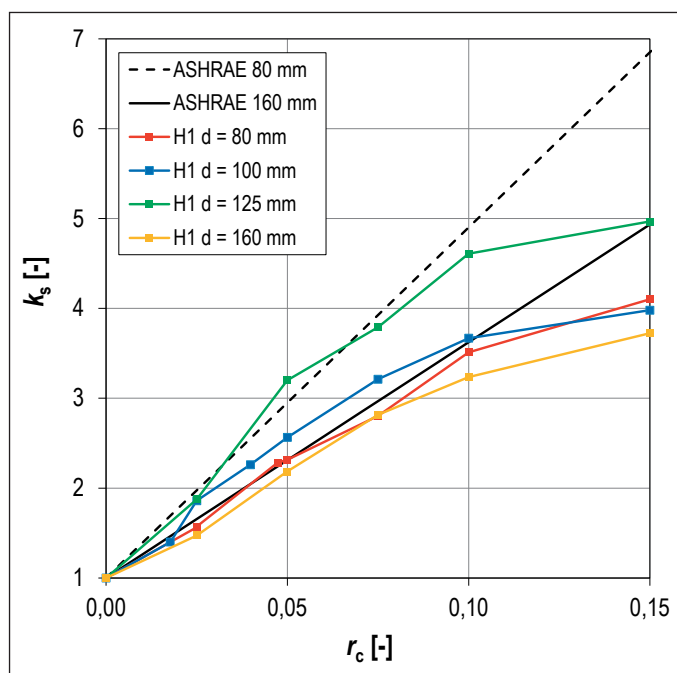
Na obr. 14 je znázorněno vyhodnocení měření v podobě závislosti korekčního faktoru na smrštení hadice  $k_s = f(r_c)$  pro oba zkoumané vzduchovody. Hodnota  $k_s$  pro daný průměr vzduchovodu  $d$  a smrštení  $r_c$  byla vyhodnocena jako průměr z naměřených hodnot pro běžné rychlosti proudění 3 až 6 m/s. Z výsledků je zřejmý značný rozptyl obdržených hodnot způsobený rozdílností okrajových podmínek měření.



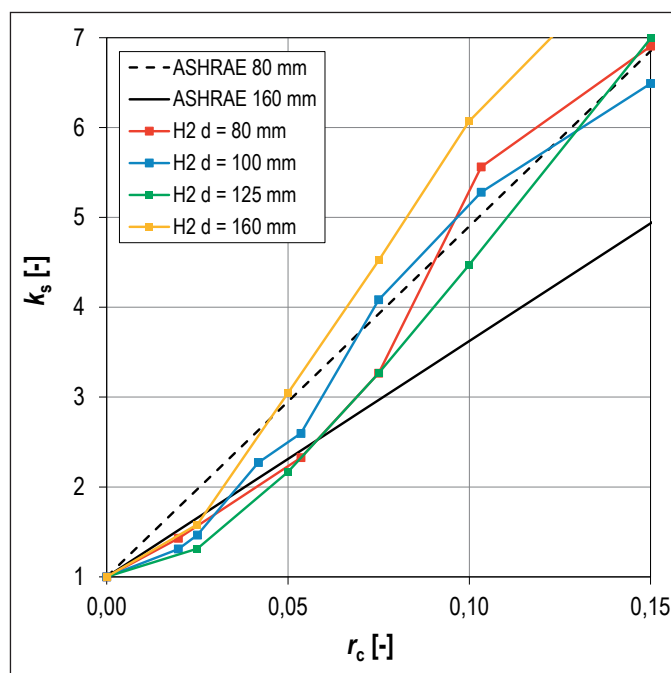
Obr. 13 Příklad závislosti korekčního faktoru na průtoku vzduchu  
Fig. 13 Example of the dependence of the correction factor on air flow rate

Vzduchovod H1 ( $d = 125$ mm)	Vzduchovod H2 ( $d = 125$ mm)
a) napnutý vzduchovod $r_c = 0$	
b) smrštený vzduchovod $r_c = 0,05$	
c) smrštený vzduchovod $r_c = 0,1$	
d) smrštený vzduchovod $r_c = 0,15$	

Obr. 12 Smrštení ohebných vzduchovodů  
Fig. 12 Compression of flexible air ducts



a) vzduchovod H1 (hliníkový vzduchovod)



b) vzduchovod H2 (plastový vzduchovod)

Obr. 14 Vliv smrštění vzduchovodu na tlakovou ztrátu

Fig. 14 Effect of air duct compression on pressure loss

Z výsledků je možné sledovat, že při reálném 10% smrštění vzduchovodu ( $r_c = 0,1$ ) je nárůst tlakové ztráty minimálně trojnásobný u hliníkového vzduchovodu typu H1 a téměř pětinašobný u plastového vzduchovodu H2.

Na základě výsledků měření bohužel nelze vysledovat závislost mezi průměrem hadice a jejím smrštěním tak, jak to udává např. ASHRAE [3] (obr. 2). I když výsledky měření nelze zobecnit, je zřejmé, že smrštění vzduchovodu ovlivňuje tlakovou ztrátu vzduchovodu zcela zásadně.

## ZÁVĚR

Článek se zabývá problematikou tlakových ztrát ohebných vzduchovodů do průměru 160 mm. Na základě měření byly vyhodnoceny drsnosti vnitřního povrchu různých typů ohebných vzduchovodů v plně napnutém stavu. Prezentované hodnoty lze použít pro praktické výpočty, místo komplikovaného odečtu z nomogramů.

Vzduchovody se spirálně vinutým drátem (H1 a H2) nelze prakticky instalovat v plně napnutém stavu. V článku byl diskutován vliv smrštění vzduchovodu na tlakovou ztrátu. Při smrštění vzduchovodu tlaková ztráta roste několikanásobně, což má vliv na spotřebu energie pro pohon ventilátorů. S odvoláním na prezentované výsledky nelze doporučit použití ohebných vzduchovodů podobného typu pro páteřní rozvody vzduchu (obr. 15). Stejně tak nelze k tomuto účelu doporučit vzduchovod H3 pro jeho poměrně značnou drsnost a relativně vysokou tlakovou ztrátu. Ohebné vzduchovody typu H1 až H3 se doporučuje používat výhradně pro napojení krátkých potrubních úseků. Vzduchovod H4 vyrobený z PE o průměru 63 mm se chová jako hydraulicky hladký, vzduchovod H4 o průměru 77 mm se chová odlišně a projevuje se u něj zvýšená drsnost (zvrásnění) vnitřního povrchu.

Kontakt na autora: Vladimír.Zmrhal@fs.cvut.cz

## Použité zdroje:

[1] ABUSHAKRA, B., WALKER, I. S., SHERMAN, M. H. Compression Effects on Pressure Loss in Flexible HVAC Ducts. *HVAC&R RESEARCH*. 10(3):275–289.



Obr. 15 Nevhodné použití ohebných hadic jako páteřních vzduchovodů (foto: autor)

Fig. 15 Inappropriate use of flexible hoses as main air ducts (photo: author)

- [2] ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals. 2001, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [3] ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals. 2009, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ISBN 1-931862-71-04.
- [4] COLEBROOK, C. F. Turbulent Flow in Pipes with Particular Reference to the Transition Region between the Smooth and Rough Pipe Laws. *Journal Ins. Civil Engineers*. London 1939. No.4, p.133.
- [5] HEMZAL, K. Součinitel tření při proudění tekutin – komparace vztahů. *Vytápění, větrání, instalace*. 2003, 12(1). 30–32. ISSN 1210-1389.
- [6] MATUŠKA, T. a kol. *Experimentální metody v technice prostředí*. Vysokoškolské skriptum. Česká technika – nakladatelství ČVUT. ISBN 80-01-03291-4. 2005.
- [7] IDELCHIK, I. E. *Handbook of Hydraulic Resistance*. 3rd edition, 1993, Betelu House inc. ISBN 1-56700-074-6.