

Prof. Ing. Jan MELICHAR, CSc.¹,
Ing. Jaroslava HÁKOVÁ²,
Jaroslav VESELSKÝ¹,
Luboš MICHlíK¹

Místní energetická ztráta spoje plastového potrubí, zhotoveného svařováním na tupo

Local Energy Loss at Butt-Welded Plastic Pipe Joints

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek pojednává o experimentálním stanovení místní energetické ztráty ve spoji přímého potrubí z polypropylenu, spojovaného svařováním na tupo. Je uvedena velikost součinitele místní ztráty spoje plastového potrubí kruhového průřezu při turbulentním proudění čisté vody, významná pro projektanty potrubních systémů z plastů, která nebyla doposud experimentálně kvantifikována.

Klíčová slova: místní ztráta, třecí ztráta, plastové potrubí

The article deals with an experimental determination of the local energy loss at butt-welded, straight polypropylene pipe joints. Values of the local loss coefficient for circular plastic pipe joints are presented for the turbulent flow of pure water. These coefficients, that are important for plastic pipe system designers have not been previously experimentally quantified.

Key words: local loss, friction loss, plastic piping

Tlaková potrubí pro dopravu vody i jiných kapalin se používají v mnoha odvětvích národního hospodářství. V poslední době se v řadě technologických procesů stále více uplatňují potrubí a armatury z plastů, které představují novou kvalitu částí zařízení čerpací techniky. Standardní ocelové potrubí může být v opodstatněných případech nahrazeno potrubím z plastů, zejména při rekonstrukci stávajících technologických zařízení. Termoplasty se tak stávají standardním potrubním materiálem.

Často používanými plasty pro stavbu potrubních rozvodů a sítí ve vodárenství, chemickém a potravinářském průmyslu, jsou polyetylény (PE) a polypropylény (PP). Používání lineárních vysokohustotních polyetylénů (PE-HD) při stavbě dlouhých potrubních řadů ve vodárenských potrubních soustavách, v hydrodopravě tuhých odpadů energetických centrál, uhelných a rudných substrátů, štěrkopísků, je dnes již ve vyspělých zemích běžné. V současnosti zaváděné lineární PE-HD 3. generace umožňují aplikace do nejtěžších provozních podmínek. PP je částečně krystalický termoplast ze skupiny polyolefinů, který je konstrukčně tuhý a v porovnání s PE má větší tvrdost a pevnost. Potrubí z polypropylenu-homopolymery β modifikace (βPP-H) se používají např. pro rozvody médií s vysokou teplotou (louhy, kyseliny, ředidla) a studené vody.

Pro projektanty potrubních systémů složených z přímých plastových trub a nezbytných konstrukčních prvků, je důležitá znalost konkrétních hodnot součinitelů třecích a místních ztrát. Pro spolehlivý návrh systému, resp. pro co možná nejpresnější výpočet velikosti hydraulických ztrát, je důležitý dostatek experimentálně ověřených podkladů. Správné určení velikosti hydraulických ztrát rozhoduje o splnění požadovaných parametrů kapaliny v systému (průtok, tlak) a výrazně může ovlivnit hospodárnost provozu systému, zejména u dlouhých nebo členitých potrubních řadů.

U dlouhých potrubních řadů, jako jsou např. vodovodní potrubí nebo přiváděče vodních elektráren, je z technickoekonomického hlediska významný způsob spojování jednotlivých plastových trub. Při spojování částí plastového potrubí se vedle klasických spojovacích prvků (např. přírubové spoje, šroubení) uplatní hlavně spojování lepením (popř. chemickým svařováním za studena) a tepelným svařováním.

Svařování na tupo je v běžné praxi nejobvyklejším, nejjednodušším a spolehlivým způsobem spojování trub v dlouhých potrubních řadech z PE a PP. Při této technologii spojování, sestávající z ohřevu a natavení konců

spojovaných dílů a jejich následného přitlaku, však v místě spoje vznikají vnitřní nerovnosti – svalky v potrubí (viz obr. 1).

Rozměry svalku jsou dány postupem zhotovení svaru plastových trub z konkrétního materiálu a s danou tloušťkou stěny. Přesný postup svařování konkrétních trub předepisují příslušné směrnice a návody, např. směrnice DVS (Deutscher Verband für Schweisstechnik). Vnitřní svalky v potrubí představuje specifický typ místního odporu, způsobujícího energetické ztráty při průtoku kapaliny. Vliv svalky způsobených lokálních ztrát na celkovou energetickou bilanci dlouhých potrubních řadů není zanedbatelný, v projektové praxi však bývá často podceňován nebo opomíjen [1], [2].

Nepříznivý vliv vnitřních svalků na velikost ztrát energie při proudění kapaliny potrubím a možnost vzniku kavitace v místě spoje při vysokých rychlostech proudění, lze eliminovat použitím zařízení k odstranění vnitřního svalku, případně nákladnější technologie spojování. V praxi však někdy bývá paradoxně upřednostňována nejméně nákladná technologie spojování před možností snížení nákladů provozních nebo možností většího využití energetického potenciálu kapaliny, a to vyloučením místních ztrát energie ve spojích trub.

Problémem v projekční činnosti je nedostatek dostupných podkladů pro stanovení základní hodnoty součinitele místní ztráty spoje ζ . Při stanovení výpočtových hodnot součinitelů ζ spoje s vnitřním svalkem se dosud vycházelo z určitého zjednodušení, jakým je například přibližná analogie mezi svalkem a potrubní clonou. Takto odhadované hodnoty součinitele místní ztráty byly však pouze orientační, předpokládané parametry navržených systémů se mnohdy i značně lišily od parametrů skutečných, zjištěných až po realizaci zařízení. K získání kvantitativních hodnot, umožňujících přesnější stanovení velikosti místních ztrát na vnitřním svalku ve spoji plastových trub z PE a PP, byly proto provedeny na Fakultě strojní ČVUT v Praze experimentální práce. Cílem bylo získání základních údajů o velikosti výše uvedené místní ztráty, které by byly využitelné v projekční praxi.

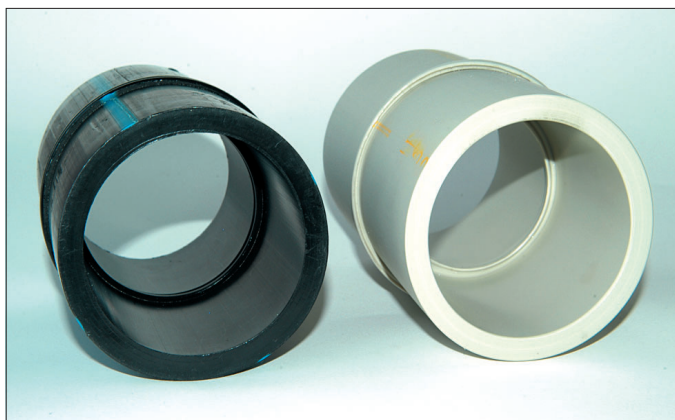
Experimentální stanovení součinitele místní ztráty vnitřního svalku ve spoji PP potrubí

Ke stanovení velikosti místních ztrát na svalku potrubí byla realizována experimentální trasa, uvedená na obr. 2.

Průtok vody potrubím trasy zajišťuje hydrodynamické čerpadlo, poháněné asynchronním elektromotorem. Průtok vody v potrubí, které tvoří vlastní

¹ ČVUT v Praze, Strojní fakulta, Ústav mechaniky tekutin a energetiky, Odbor kompresorů, chladicích zařízení a hydraulických strojů;

² FIS CZ, s.r.o

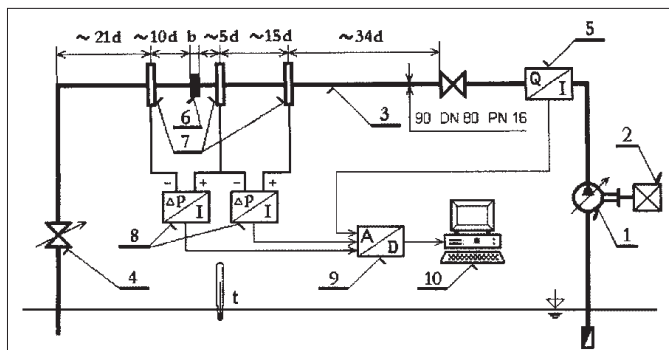


Obr. 1 Spoj trubek z termoplastů svařovaných metodou na tupo
PE vlevo, PP vpravo

experimentální úsek, lze měnit změnou počtu otáček čerpadla pomocí frekvenčního měniče při plně otevřené regulační armatuře, situované na konci potrubní trasy nebo uzavíráním, případně otevíráním regulační armatury při konstantních otáčkách čerpadla. Vlastní experimentální úsek (viz obr. 3) byl zhotoven z přímých polypropylenových trub 90 x 8,2 βPPH S5/SDR11 (ekvivalent 90 DN80/PN16), výrobce Georg Fischer. Tyto plastové trouby jsou dodávány v délce 5 m, dovolené výrobní úchytky vnějšího průměru a tloušťky stěny jsou předepsány normou DIN 8077 a odpovídají též ISO 4065. Střední hodnota vnitřního průměru trubek v místech spoje a odběrů statického tlaku $d = 72,5$ mm byla zjištěna měřením.

Horizontální experimentální úsek trasy se skládá z vlastního objektu měření (spoj trubek mezi odběry tlaku 2 a 3) s potřebnou délkou rovného potrubí před ($l_{2S} \approx 5,1 d$) a za spojem ($l_{3S} \approx 10,13 d$), kde je předpokládáno ovlivnění proudového pole spojem v přímém potrubí před ním a za ním a z předřazeného úseku rovného potrubí odpovídající délky ($l_{12} = l_{2S} + l_{3S} = l_{23} - b = 15,23 d$). Vnitřní svalek délky $b \approx 0,08 d$ ve spoji trubek ovlivňuje proudění zejména v přímém potrubí za spojem, kde dochází ke ztrátě energie na poměrně dlouhém úseku potrubí. Velikost ztrát v úseku před a za potrubním prvkem způsobujícím místní ztrátu energie, resp. délky, na kterých můžeme předpokládat významné ovlivnění proudového pole, závisí na typu prvku, jeho geometrických parametrech, drsnosti kapalinou smáčených stěn potrubí a velikosti Reynoldsova čísla. Např. v [3] se uvádí, že proudění může být někdy ovlivněno až do vzdálenosti $50 d$ za výstupem prvku, způsobujícího ztrátu energie. Pro umístění odběrů statického tlaku vůči sledovanému prvku však nejsou stanoveny univerzální směrnice. S ohledem na geometrii svalu ve zkušebním úseku potrubí a použitý materiál trubek (PP je neprůhledný), byly zvoleny výše uvedené vzdálenosti odběrů statického tlaku od vyšetřovaného spoje. Odběry statického tlaku v příčných průřezích (měrných místech) experimentálního úseku potrubí byly provedeny čtyřmi, po obvodu rovnoměrně rozloženými otvory ve stěně potrubí, ústícími do dutého obvodového prstence s jedním vývodem. Konkrétní provedení je na obr. 4.

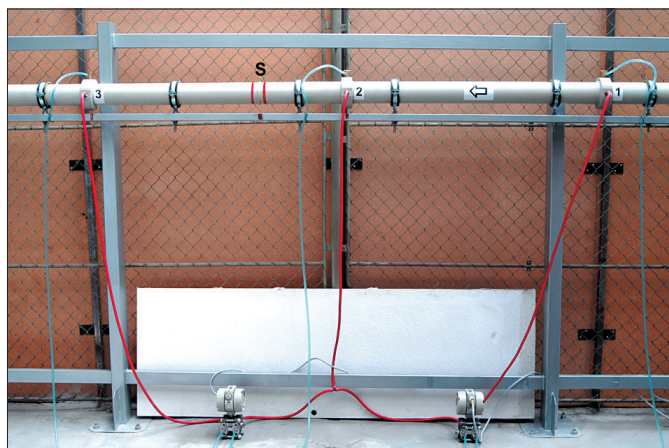
Rozdíly statických tlaků Δp_{12} mezi průřezy 1 a 2 a Δp_{23} mezi průřezy 2 a 3, byly měřeny kalibrovanými diferenčními snímači tlaku s rozsahem $0 \div 16$ kPa / $4 \div 20$ mA. Odhadovaná přesnost měření tlakových diferencí je do 0,25 % měřicího rozsahu, přičemž pro hodnoty měřené v dolním pásmu měřicího rozsahu lze odhadnout chybu podle driftu nuly, který byl však prakticky zanedbatelný. Průtok vody Q byl měřen ocejchovaným (objemovou metodou) magneticko-indukčním průtokoměrem typ MQI 99 SMART, přesnost měření 0,5 % z měřené hodnoty v rozsahu 10 až 100 % hodnoty Q_{max} . Teplota vody byla měřena rtuťovým teploměrem. Analogové výstupní signály z indukčního průtokoměru a diferenčních manometrů byly zpracovány v A/D převodníku UDAQ – 1208 a převedeny do PC programem Měřicí ústředna k UDAQ – 1208, který umožňuje zobrazení naměřených dat a jejich ukládání do souboru. Střední hodnoty objemových průtoků a tlakových diferencí, vyznačené v dále uváděných grafických závislostech sle-



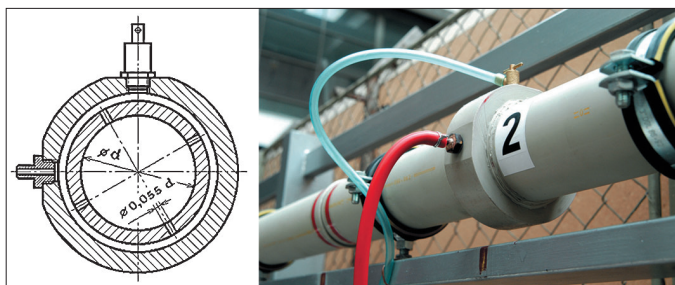
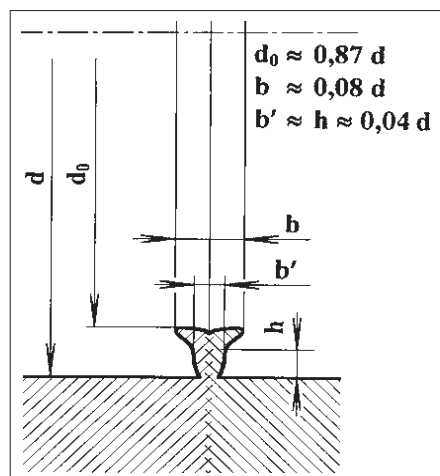
Obr. 2 Experimentální trasa pro měření místní tlakové ztráty ve spoji plastových trub z PP
Schéma zařízení (nahoře): 1 – hydrodynamické čerpadlo, 2 – elektromotor s frekvenčním měničem, 3 – PP potrubí, 4 – regulační armatura, 5 – indukční průtokoměr, 6 – spoj svařením na tupo, 7 – odběry statického tlaku, 8 – diferenční snímače tlaku, 9 – A/D převodník, 10 – PC

dovaných veličin, byly vypočteny jako aritmetický průměr příslušných hodnot, měřených patnáctkrát v časovém intervalu 2 s. Spoj PP trubek, který je singulárním konstrukčním prvkem potrubí, byl zhotoven strojním zařízením podle DVS 2208/1, a to předepsaným technologickým postupem (směrnice DVS 2207/1), předepisujícím pro daný materiál a tloušťku stěny přesné časy ohřevu, velikosti přitlačných sil a dobu chladnutí spoje. Vybrané rozměry tohoto etalonového spoje byly zjištěny měřením a v poměrných hodnotách jsou uvedeny na obr. 5. Vztahným rozměrem je vnitřní průměr trubek $d = 72,5$ mm.

Spoj je umístěn mezi přímé úseky potrubí, které lze považovat za hydraulicky hladké. V katalogových podkladech výrobce trub je uváděna střední geometrická drsnost vnitřní stěny použitého potrubí $k \approx 0,003$ mm.



Obr. 3 Experimentální úsek potrubní trasy, umístění odběrů tlaků a snímačů tlakové difference
S – spoj potrubí, 1, 2, 3 – odběry statického tlaku


 Obr. 4 Kruhové odběry statického tlaku; odběr tlaku otvorem $\varnothing = 0,055d$


Obr. 5 Geometrie vnitřního svalku spoje plastových trubek 90 x 8,2 βPPH S5/SDR11 svařených metodou na tupo

Podle [4] lze považovat potrubí za hydraulicky hladké, je-li při rovnoměrné drsnosti stěn potrubí splněna podmínka $17,85 \cdot Re^{-0,875} \geq k \cdot d^{-1}$. Uvedená podmínka pro hydraulickou hladkost, která byla dodržena v celém rozsahu Reynoldsových čísel, ve kterém byla prováděna měření, však nemusí být platná obecně. Experimentálně bylo prokázáno [5], že např. trouby z PE nevykazují při nižších Reynoldsových číslech stejné hydraulické vlastnosti jako potrubí hydraulicky hladké. Při turbulentním proudění v přechodové oblasti mezi prouděním v hydraulicky hladkém potrubí (ve smyslu Blasiova vztahu (2)) a v kvadratické odporové oblasti, mají plastové trouby větší hydraulické ztráty než jsou ztráty určené z Blasiova vztahu, a to až do $Re \approx 200\,000$. Podle [5] jsou odchylky způsobeny zejména působením rozdílného povrchového napětí mezi kapalinou (vodou) a plastem (PE) a povrchového napětí mezi kapalinou a ocelí. Rozsah průtoků, resp. Reynoldsových čísel byl volen s ohledem na pro praxi doporučené střední rychlosti proudění kapalin, s omezením pro oblast vysokých rychlostí proudění, kdy by mohlo za vlastním spojem docházet ke kavitaci. Při rychlostech proudění $c > 4,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v potrubí o vnitřním průměru $d = 0,0725 \text{ m}$, odpovídajících Reynoldsovým číslům $Re > 3,4 \cdot 10^5$, byla ve vyšetřovaném spoji během měření alespoň přibližně akusticky indikována kavitace. Vzhledem ke geometrii vnitřního svalku může být vznik kavitace dalším významným omezujícím faktorem pro volbu rychlosti proudění v případech, kdy bude zvolena metoda spojování trub svařování na tupo a vnitřní svalek nebude odstraněn.

Hydraulická ztráta, vyvolaná ve spoji rovného potrubí (místní ztráta), je dána zvýšením ztráty v přímém potrubním systému s danou místní ztrátou oproti ztrátě třecí v tomtéž systému bez ní. Hydraulické ztráty mohou být vyjádřeny ve formě měrné energie kapaliny Y_z ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$), která se spotřebuje v dané části systému. Konkrétní hodnoty Y_z se určují výpočtem z naměřených hodnot rozdílů tlaků Δp_{12} a Δp_{23} .

Na rovném úseku potrubí, tedy mezi místy 1 a 2, může být tlaková ztráta Δp_{12} (Pa) vypočtena z Darcy-Weisbachova vztahu:

$$Y_{zif} = \frac{\Delta p_{12}}{\rho} = \lambda \cdot \frac{l_{12}}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \quad (1)$$

Součinitel třecí ztráty λ (1) je v případě turbulentního proudění Newtonské kapaliny v hydraulicky hladkém přímém potrubí závislý pouze na Reynold-

sově číse. Pro tento typ proudění lze použít řadu vztahů, uvedených např. v [4]. Obvykle se používá vztah Blasiov:

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} \quad (2)$$

nebo např.:

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237} \quad (3)$$

Podle [5] lze pak pro výpočet součinitele λ použít vztah:

$$\lambda = 0,738 \cdot \frac{d^{0,068}}{Re^{0,3}} \quad (4)$$

Reynoldsovo číslo je:

$$Re = \frac{c \cdot d}{\nu} \quad (5)$$

Platnost vztahu (2) bývá v literatuře udávána pro rozsah Reynoldsových čísel $2300 < Re \leq 80\,000$, ale také pro $4000 < Re \leq 200\,000$. Pro vztah (3) pak bývá udávána platnost v rozsahu $20\,000 < Re < 80\,000$, ale i v intervalu $60\,000 < Re < 10^8$, pro vztah (4) až do $Re = 200\,000$.

Pro střední rychlost proudění c ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) v daném kruhovém průřezu kapalinou zcela zaplněného potrubí, při časově ustáleném, jednorozměrném proudění kapaliny platí rovnice kontinuity ve tvaru:

$$c = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad (6)$$

Hodnoty měrné hmotnosti ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a kinematické viskozity ν ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) kapaliny jsou obecně závislé na teplotě a tlaku kapaliny. V obvyklých případech čerpací techniky není závislost na tlaku významná. V rámci prováděných experimentů byla proto pouze uvažována závislost měrné hmotnosti a kinematické viskozity vody na teplotě t , která se během prováděné série měření neměnila.

Po dosazení (6), (5), (2), do (1), lze pro výše uvedený typ proudění při $t = \text{konst.}$ určit závislost tlakové ztráty třením Δp_{12} na průtoku Q ze vztahu:

$$\Delta p_{12} = \rho \cdot v^{0,25} \cdot \frac{0,3164 \cdot 4^{1,75} \cdot l_{12}}{2 \cdot 3,14^{1,75} \cdot d^{4,75}} \cdot Q^{1,75} = K \cdot Q^{1,75} \quad (7)$$

Číselná hodnota konstanty K ve vztahu (7) se vztahuje k případu, vyčísluje-li se tlaková ztráta ze vztahu (2). Obdobný postup lze užít i při použití vztahu (3), příp. (4).

Tlakovou ztrátu způsobenou vnitřním svalkem můžeme vyjádřit vztahem:

$$\Delta p_S = \Delta p_{23} - \Delta p_{12} \quad (8)$$

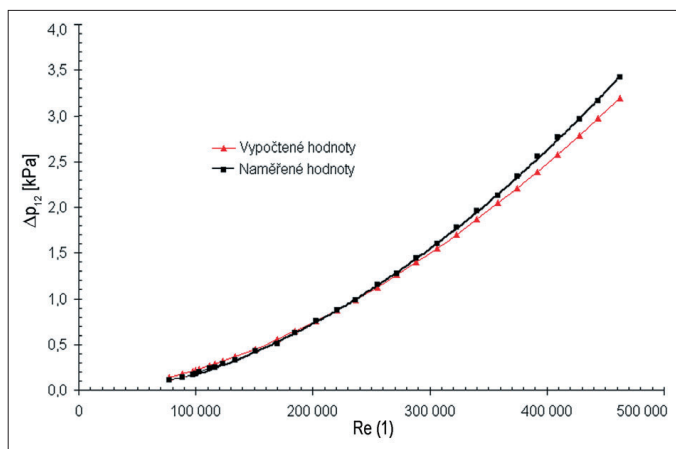
Pro výpočet ztrát místních příslušných spoji potrubí Y_{zS} , lze použít obvyklý vztah:

$$Y_{zS} = \zeta \cdot \frac{c^2}{2} = \frac{\Delta p_S}{\rho} \quad (9)$$

kde ζ (1) je základní součinitel místní ztráty spoje.

Součinitel místní ztráty ζ pak může být pro konkrétní průtok Q vypočten pomocí vztahů (6), (8), (9) z příslušných naměřených hodnot. Je-li teplota vody t během měření konstantní, platí pro výpočet součinitele ζ výraz:

$$\zeta = \frac{3,14^2 \cdot d^4}{8 \cdot \rho} \cdot \frac{(\Delta p_{23} - \Delta p_{12})}{Q^2} = K \cdot \frac{(\Delta p_{23} - \Delta p_{12})}{Q^2} \quad (10)$$



Obr. 6 Porovnání naměřených a vypočtených třecích ztrát Δp_{12} v přímém potrubí délky l_{12} v závislosti na Reynoldsově čísle

Porovnání hodnot tlakových ztrát vypočtených ze vztahu (7) pro konkrétní Reynoldsova čísla $\Delta p_{12} = f(Re)$ daným zkušebním potrubím délky l_{12} a hodnot tlakových rozdílů naměřených ve stejně dlouhém úseku 1–2 při odpovídajících průtocích je uvedeno na obr. 6.

Experimentálně zjištěné hodnoty základního součinitele místní ztráty ζ vyšetřovaného etalonového spoje PP potrubí, vypočtené ze vztahu (10), jsou v obr. 7 uvedeny v závislosti na Reynoldsově čísle v rozmezí středních rychlostí proudění vody zhruba 0,8 až 5,9 m.s⁻¹.

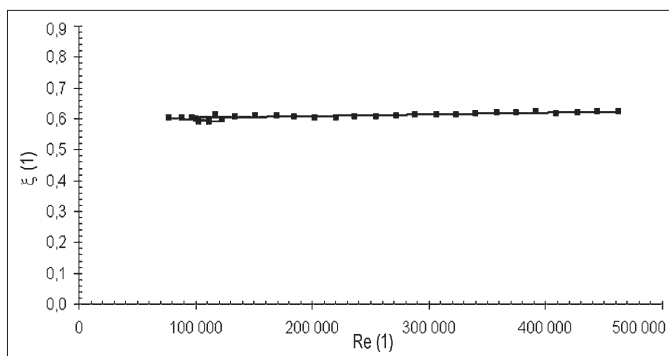
Jednotlivým bodům v obr. 6 a 7 přísluší střední hodnoty měřených a vypočtených veličin. Obr. 6 dokládá velmi dobrou shodu naměřených hodnot třecích tlakových ztrát Δp_{12} a třecích ztrát vypočtených ze vztahu (7). Odchylka naměřených třecích ztrát od vypočtených je v téměř celém uvedeném rozsahu Reynoldsových čísel do 7 % hodnot vypočtených. Byla zjištěna prakticky konstantní hodnota součinitele ζ v rozmezí $6 \cdot 10^4 < Re < 4,6 \cdot 10^5$, resp. v rozmezí středních rychlostí proudění čisté vody 0,77 m.s⁻¹ $< c < 5,88$ m.s⁻¹ daným PP potrubím.

Při výpočtu hydraulických ztrát v projekční praxi je někdy výhodné nahrazovat potrubní prvek způsobující místní ztrátu přímým potrubím, které má tzv. ekvivalentní délku. Ekvivalentní délka potrubí l_e je délka náhradního přímého potrubí odpovídajícího průřezu a drsnosti, ve kterém by vznikla hydraulická ztráta třením stejně velká jako ztráta, způsobená příslušným nahrazovaným potrubním prvkem, v našem případě spojem potrubí s vnitřním svalkem. Ze vztahů (1) a (9) za podmínky $Y_{z,tf} = Y_{zs}$ pak pro výpočet ekvivalentní délky potrubí plyne:

$$l_e = \frac{\zeta}{\lambda} \cdot d \quad (11)$$

Podle vztahu (11), s použitím vztahu (2) pro určení součinitele třecích ztrát λ a po dosazení experimentálně zjištěné hodnoty $\zeta = 0,6$, pak pro výše uvedené rozmezí rychlosti c proudění vody potrubím 90 x 8,2 βPPH S5/SDR11 vychází rozmezí ekvivalentních délek $l_e = (2,15 \text{ až } 3,46)$ m. Konkrétní hodnoty uvedených ekvivalentních délek dokumentují značný podíl sledovaných ztrát místních na ztrátách celkových, významný zejména u dlouhých PP potrubních řadů. Například u potrubí 90 x 8,2 βPPH S5/SDR11 délky 100 m způsobí vnitřní svalky v devatenácti spojkách svařováním na tupo zvýšení hydraulických ztrát o 40 až 66 % ve výše uvedeném rozmezí Reynoldsových čísel, v porovnání se ztrátami ve stejném potrubí bez vnitřních svalků.

Geometrie vnitřního svalku vznikajícího při svařování PE trub metodou na tupo je poněkud odlišná. Poměr d/d_0 bývá přibližně stejný jako u spoju trub z PP. Přípustná šířka svalku b závisí na tloušťce stěny a pro stejný vnitřní



Obr. 7 Hodnoty základního součinitele místní ztráty spoje PP trub ζ v závislosti na Reynoldsově čísle

průměr a tloušťku stěny je u trub z PP a PE zhruba stejná. Ve svalku PE trub jsou však obtékané hrany oblejší, což vede k předpokladu nižších hodnot základního součinitele místní ztráty ve spoji u trub z PE. Stanovení konkrétní hodnoty součinitele ζ však může být provedeno rovněž pouze experimentálně na etalonovém spoji trub z PE.

V článku jsou uvedeny experimentálně zjištěné základní hodnoty ztrátového součinitele vnitřního svalku, vznikajícího při svařování PP trub metodou na tupo, a to pro oblast turbulentního proudění, resp. pro rozmezí Reynoldsových čísel $60\,000 < Re < 460\,000$. Základní součinitel místní ztráty vnitřního svalku ve spoji potrubí lze v uvedeném rozsahu Reynoldsových čísel považovat za konstantní a jeho číselná hodnota činí $\zeta = 0,6$. Tato hodnota byla zjištěna pro uvedenou geometrii vnitřního svalku ve spoji PP trub (obráz. 5) a poměr průměrů $d_0/d = 0,87$.

Je třeba upozornit na skutečnost, že v praxi může být velikost vyšetřované místní ztráty ovlivněna i určitou variabilitou rozměrů svalků, závislou na kvalitě technologického postupu při montáži. Exaktní zohlednění této variability rozměrů při výpočtu sledovaných místních ztrát je však prakticky nemožné.

Vzhledem ke značným ztrátám energie ve spojkách PP trub svařovaných metodou na tupo, významným zejména u dlouhých potrubních přívaděčů, lze pro praxi jednoznačně doporučit odstranění vnitřních svalků, případně volit takovou technologii spojování trub, při které vnitřní svalek nevzniká.

Poděkování

Práce vznikla za podpory společností FIS CZ s.r.o. Praha a BHV senzory s.r.o. Praha. Společnosti FIS patří dík za poskytnutí nezbytného materiálu a zajištění montáže zkušebního potrubí, společnosti BHV pak za poskytnutí potřebné měřicí techniky.

Spojení na autory: Jan.Melichar@fs.cvut.cz, slavkah@volny.cz

Použité zdroje:

- [1] Háek, V. Specifikum projektování dlouhých výtlačných řadů při aplikaci potrubních termoplastů PE-HD. Časopis Vytápění, větrání, instalace, č. 4, 2002, s. 142–145
- [2] Melichar, J., Bláha, J., Háková, J. Příspěvek k možnosti použití potrubí z plastů pro dopravu kapalin ve vodní energetice. Hydroturbo 2004 – mezinárodní konference o vodní energetice. Brno, 2004, s. 243–252
- [3] Skalička J. Místní hydraulické ztráty při ustáleném tlakovém proudění. Časopis Čerpadla, potrubí, armatury, č. 2-3, 1985, s. 10–15
- [4] Kolář, V., Vinopal, S. Hydraulika průmyslových armatur. 1. vydání. Praha: SNTL, 1963, s. 64–112
- [5] Mach, V. Tlakové ztráty třením v polyetylenových trubkách. Časopis Zdravotní technika a vduchotechnika, č. 6/1964. Nakladatelství ČSAV, Praha, 1964, str. 250–259. ■