

LOCAL PRESSURE DROPS IN THE FLOW OF WATER WITH MICELLAR ADDITIVES

V. Mík*, J. Šesták⁺, J. Kořenář*, J. Myška*

Summary: *We have studied the influence of three cationic surfactants Arquad S50, CTAB and CTAC on three different types of local pressure drops. Experiments were done on a closed hydraulic loop with the range of Reynolds numbers from 1,600 to 23,000. Four different solution concentrations were investigated. Even though all three tested additives show similar drag reduction in the straight tube, there is a substantial difference in effectiveness at local losses.*

1. Úvod

Aktivní snižování tlakových ztrát je jev, při kterém malým množstvím přísady do turbulentního proudění kapaliny způsobíme podstatné snížení třecích ztrát. Turbulentní charakteristiky proudění se potlačí, turbulence sice nezmizí, ale proudění vykazuje některé znaky laminárního toku. Jako vhodná přísada jsou používány povrchově aktivní látky (surfaktanty), jejichž molekuly se spojují do micel potřebných vlastností. Při dosažení určité koncentrace přísady (nazvané CMC II) se kulové micely transformují do tyčinek, nebo vláken. Podle současných znalostí způsobují tyto tvary výše uvedený jev.

Schopnost snižovat ztráty jako vnější projev vlastností surfaktantu s tyčinkovými micelami lze obecně vyjádřit jako křivku udávající závislost mezi třením a tokovou charakteristikou. Obecně je touto závislostí vztah mezi součinitelem tření a Reynoldsovým číslem. V případě snižování odporu se obvykle používá závislost tlakového spádu i nebo tlakové ztráty Δp (v případě místních ztrát) na střední průtokové rychlosti v . Křivky vynesené pro surfaktant v tomto $i-v$ diagramu jsou situovány pod křivkami vnesenými pro rozpouštědlo. Rozsah účinnosti aditiva je většinou ohraničována jeho koncentrací.

Tato obecná pravidla neplatí vždy, velikost snížení tlakových ztrát a průběh výše uvedených křivek se mění případ od případu vlivem struktury surfaktantů. Často se značně liší i ostatní reologické vlastnosti jako viskozita aj.

* Ing. Václav Mík, Csc., Mgr. Josef Kořenář, Csc., Ing. Jiří Myška, Csc., Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Pod Paťankou 5, Praha 6, tel.: +420 233 109 087 e-mail: mik@ih.cas.cz

⁺ Prof. Ing. Jiří Šesták, DrSc., Ústav procesní a zpracovatelské techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, CR, tel.: +420 224 352 547 e-mail: sestak@fsid.cvut.cz

2. Experimenty

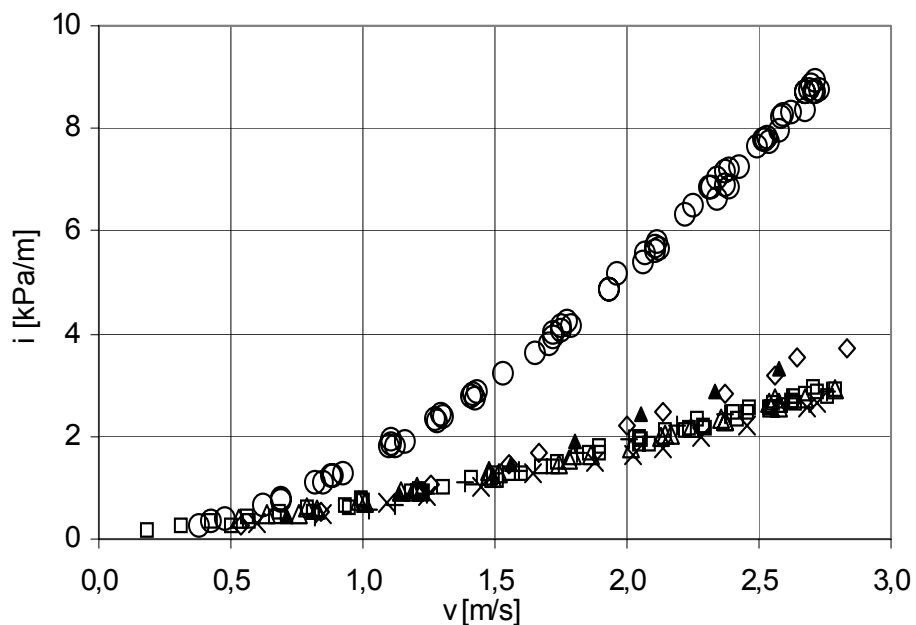
Měření bylo provedeno na cirkulační trase, kdy ze sběrné nádrže o rozměrech 480x385x390mm, byla kapalina čerpána objemovým plunžrovým čerpadlem se dvěma skleněnými válci a měchovými teflonovými plunžry, typ D2 Kavalier Votice s elektromotorem 2 AP 71-6S o výkonu 1800 W, regulovatelným zdvihem 10 až 70 mm a maximálním čerpacím výkonem 1150 l/hod do přepadové nádrže, která byla 3 m nad měřicí trati a sloužila k zajištění konstantního tlakového spádu a stabilního průtoku pro měřicí úsek. Plunžrové čerpadlo bylo šetrné k dopravované kapalině, protože nejvyšší smykové namáhání v čerpadle se vyskytuje v sedlech kuželkových gravitačních ventilů a není příliš vysoké. Vlastní měřicí trať se sestávala z vodorovné trubky DN 10,5 mm délky 1807mm s uklidňovací délkou 70 D a z trubky DN 16 a délky 1690mm, ke které byl přírubami přišroubován sedlový ventil, nebo oblouk. Délka uklidňovacího úseku tedy byla 100 D, pro měření na přímé trubce 70 D. Před a za měřenými elementy byly odběry statického tlaku spojené s piezometrickými trubicemi. Za měřenými elementy byl magneticko-indukční průtokoměr KROHNE IFM 1010 K/D. Propojení bylo provedeno hadicemi příslušných rozměrů bez ostrých ohybů.. Průtok byl regulován škrcením tlačkami na hadicích.

Na uvedené měřicí trati byly testovány tři různé běžně dostupné surfaktanty pod obchodním označením Arquad S-50 (Oleyltrimethylamonium chlorid - v našem případě se jednalo o 50% roztok, molekulová hmotnost $M = 344$ g/mol), CTAB (Hexadecyltrimethylamonium bromid - jednalo se o prášek, molekulová hmotnost $M = 364,4$ g/mol.) a CTAC (Cetyltrimethylamonium chlorid - jednalo se o 25% roztok, molekulová hmotnost $M = 320$ g/mol). Měření probíhalo ve třech různých elementech: oblouk 180° (DN 16, poloměr zakřivení $R = 225$ mm), plně a z poloviny otevřený sedlový ventil (Js 15). Kontrolní měření bylo provedeno na přímé části trubky délky 600 mm. Surfaktantní roztoky snižující hydraulické odpory byly použity ve čtyřech rozdílných koncentracích (5; 2,5; 1,25; 0,625 mM). Nejvyšší zvolená koncentrace roztoku se obvykle používá i v literatuře, ta byla v následném měření vždy snížena na polovinu. Ke všem surfaktantům byl přidán NaSal (Sodium salicylate). Obvykle používaný poměr koncentrací surfaktantu/ NaSal je 5 mM/12.5 mM. Tento poměr byl v průběhu této práce dodržován a proto není většinou koncentrace NaSal ani uváděna.

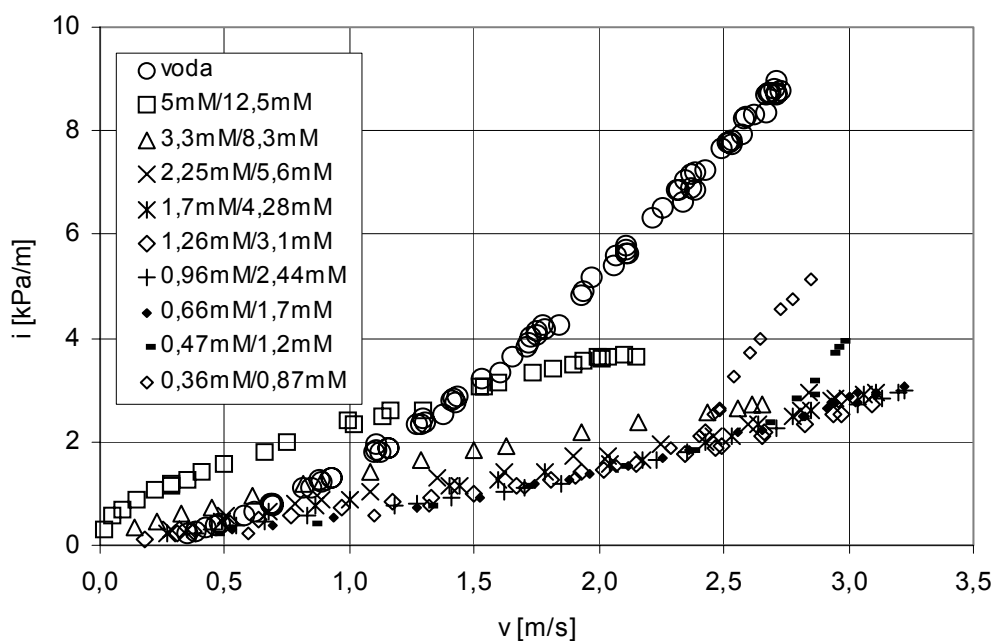
Reologické vlastnosti daných roztoků byly měřeny na viskozimetru se souosými válci RheoStress 600.

3. Výsledky

Všechna zvolená kationaktivní aditiva v přímé trubce snižují tření velmi podobným způsobem, jak vyplývá z následujících obrázků. Na obr.1 je obvyklý průběh tlakového spádu v porovnání vody a vody s přísadou surfaktantu, tomto případě Arquadu S. Na obrázku je též patrný vliv teploty na účinnost přísady. Na druhém obrázku je vidět vliv koncentrace CTAB na účinnost snižování tlakových ztrát v přímé trubce při 20°C . Je vidět, že vyšší koncentrace přísady z počátku tlakové ztráty zvyšují, protože dosti zvyšují zdánlivou viskozitu roztoku (až 10 mPa.s). Příznivý účinek na snižování tlakových ztrát se projeví až při vyšších rychlostech, kdy zase přestávají působit nižší koncentrace přísady, protože je překročeno kritické tečné napětí pro tuto koncentraci. Na obr. 3. je vidět vliv stáří roztoku. Trvanlivost roztoku roste se zvyšující se koncentrací přísady – viz Myška, Mík (2004), nebo Myška a ost.(2004).

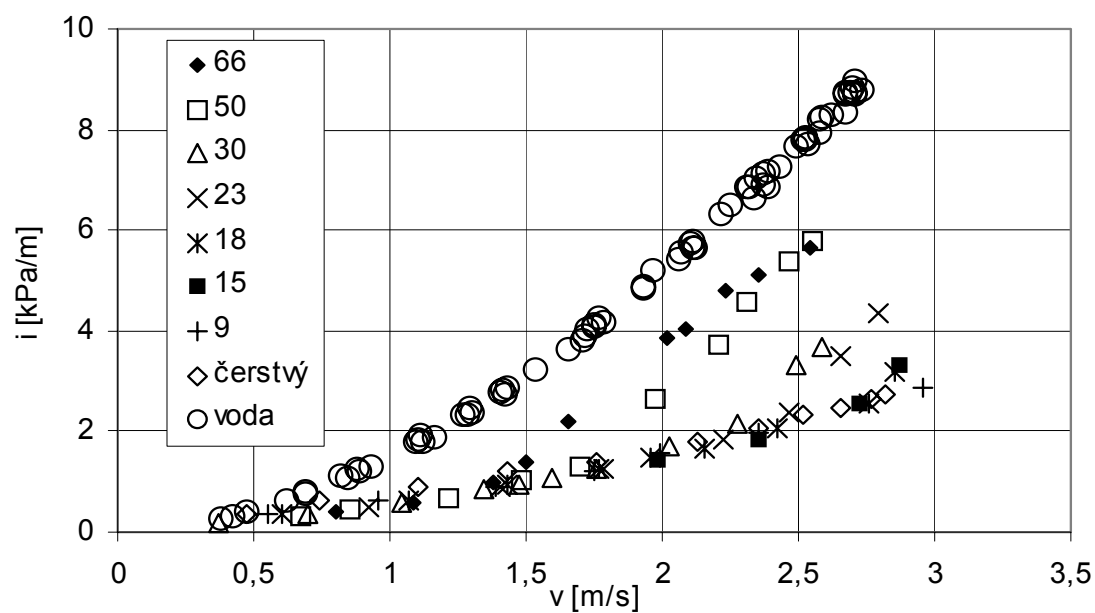


Obr.1. Závislost tlakového spádu na střední rychlosti v přímé trubce DN 10 mm pro Arquad S 50 koncentrace 4,5 mM při 20°C, x, + 14,5°C, $\diamond$, $\blacktriangle$ 40°C. Voda je vždy $\circ$.

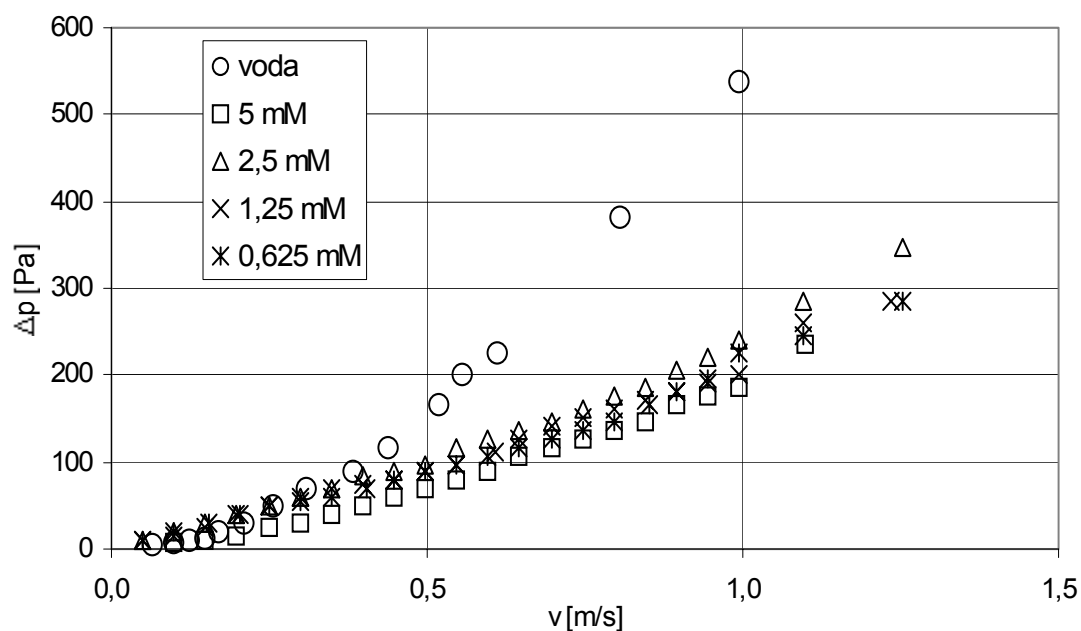


Obr. 2. Závislost tlakového spádu na střední rychlosti v přímé trubce DN 10 mm při 20°C pro CTAB. Vliv koncentrace CTAB/NaSal.

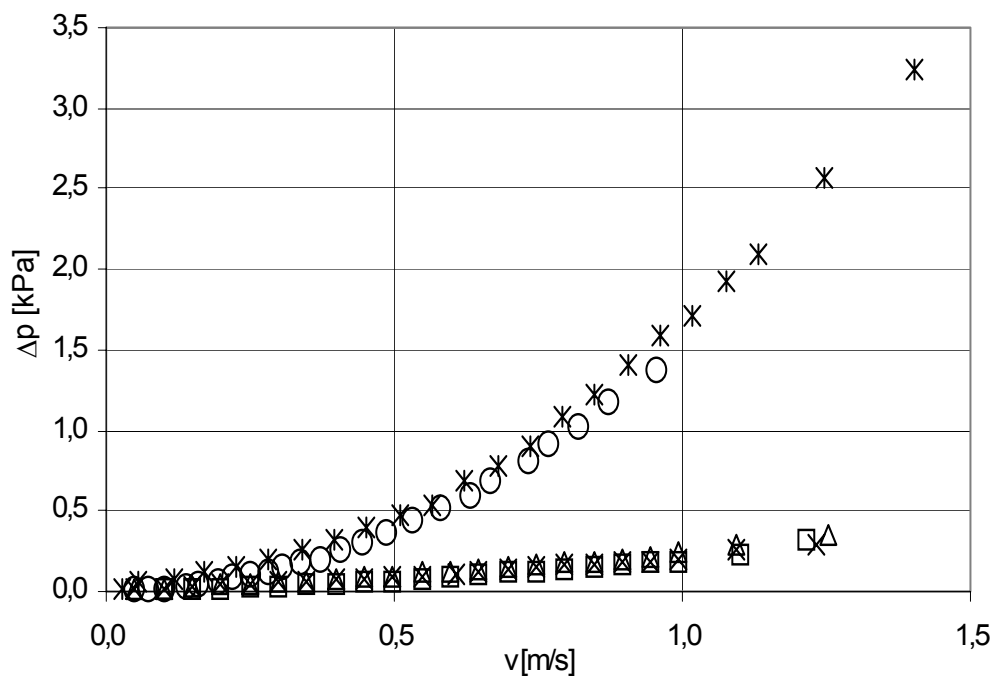
Obrázek 4. je podobný obr. 1. byl však měřen pro nižší rozsah průtokových rychlostí a v trubce o větším průměru, pro kterou je hranice laminární oblasti při $v = 0,13$ m/s (pro vodu). Všechna následující měření byla provedena při teplotě 20°C.



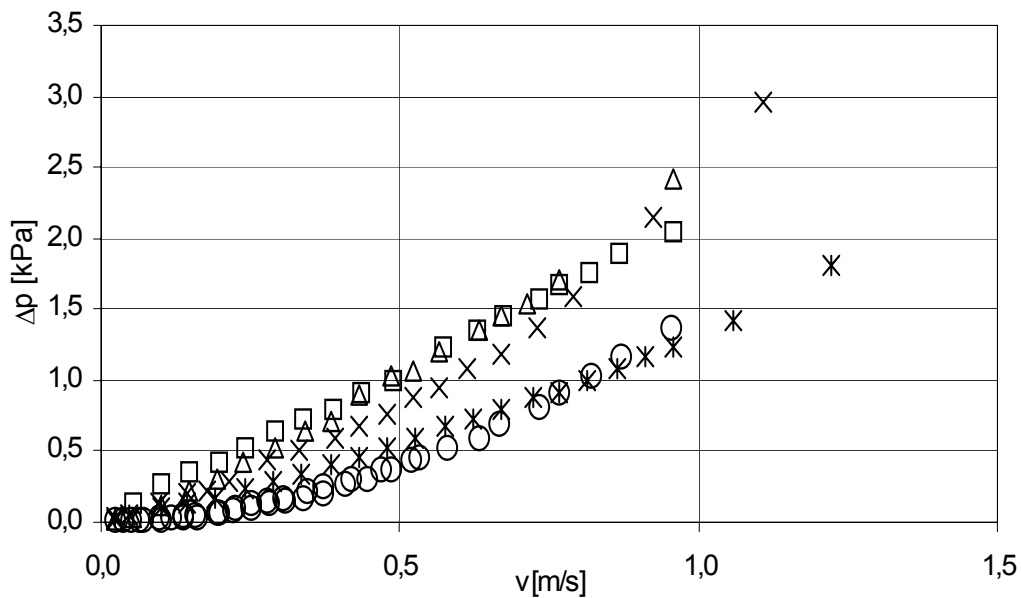
Obr. 3. Průběh tlakového spádu CTAC o koncentraci 1,56 mM a teplotě 20°C v trubce DN 10 mm a v závislosti na stáří roztoku. Čísla v legendě jsou dny.



Obr. 4. Průběh tlakové ztráty v závislosti na střední průtokové rychlosti v přímé trubce DN 16 mm pro různé koncentrace Arquadu S 50. Ve všech dalších obrázcích budou koncentrace označovány stejně jako v této legendě a budou se týkat Ø 16 mm.



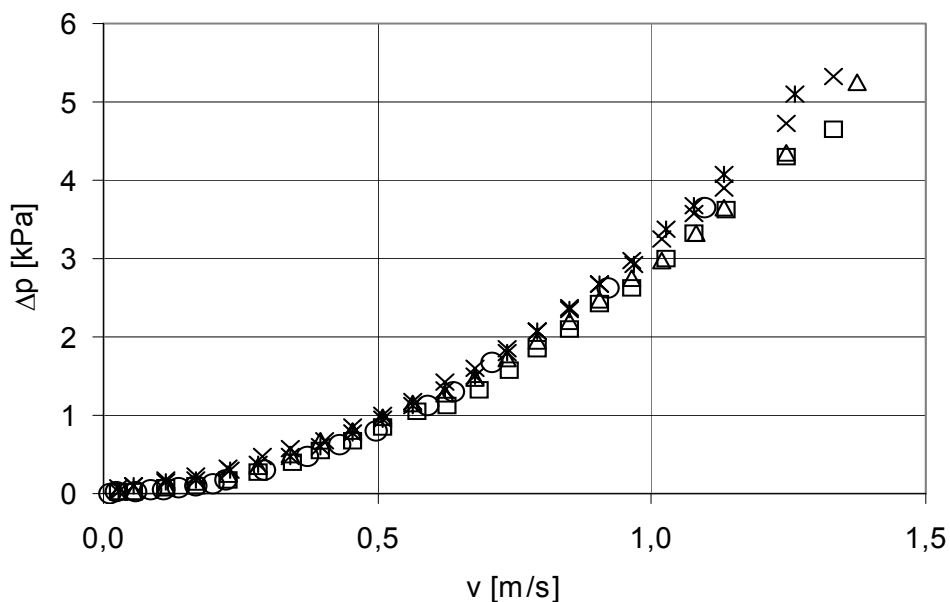
Obr. 5. Tlaková ztráta při proudění Arquad S 50 v oblouku 180°.



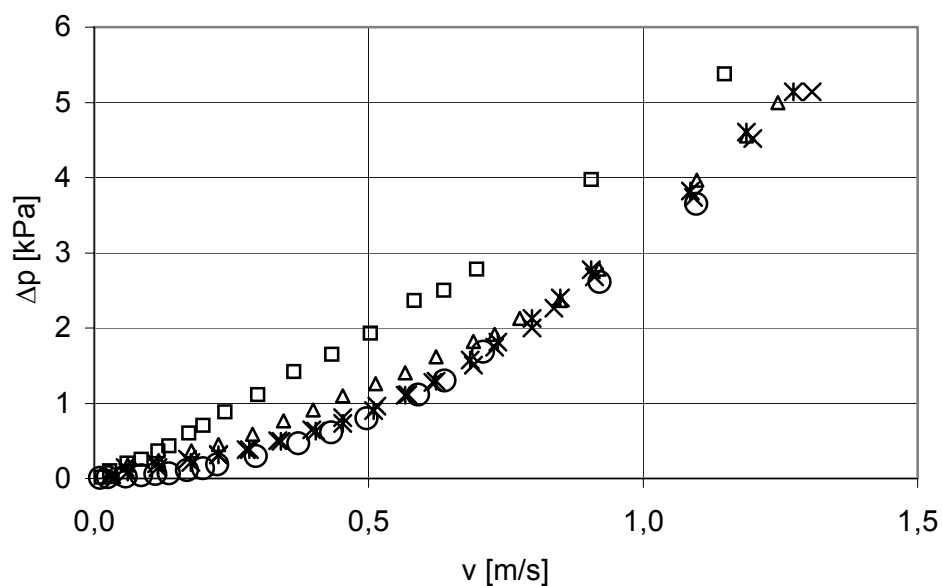
Obr. 6. Tlaková ztráta v oblouku 180°0 při proudění CTAC

Na obrázcích 5. a 6. jsou uvedeny průběhy tlakových ztrát v kruhovém oblouku 180°. Podobné průběhy jako CTAC má i CTAB. Rozdíly mohou být způsobeny zdánlivou viskozitou, která pro CTAB a CTAC při nejvyšší koncentraci je téměř 10 mPa.s, zatímco u

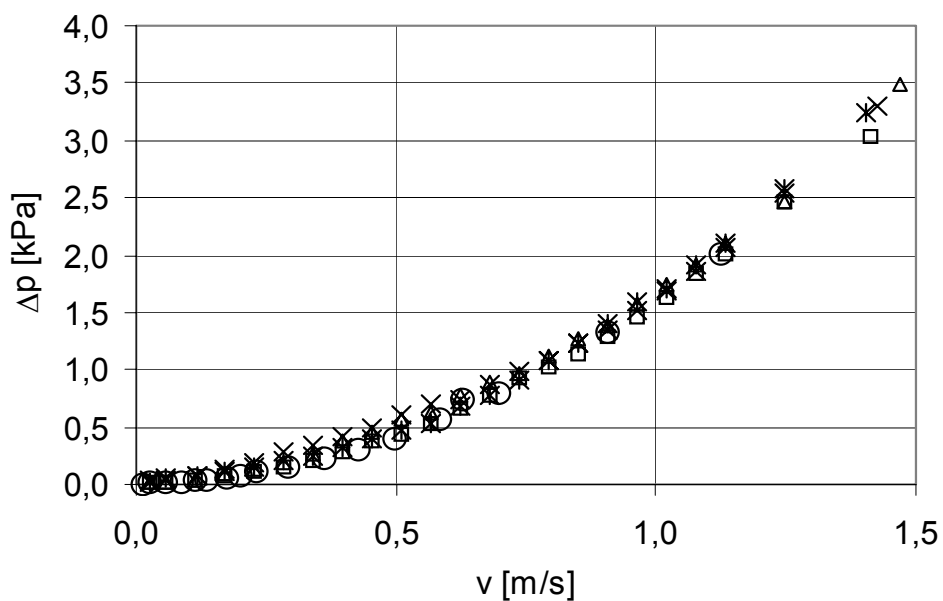
Arquadu S 50 je pouze 1,5 mPa.s. Při proudění v oblouku stabilizuje průtok sekundární proudění, které podle Ita (1969) v oblouku daných rozměrů a pro vodu posouvá hranici laminárního proudění až k průtočné rychlosti $v = 0,42$ m/s. Rozdíl ve zdánlivých viskozitách se projeví i v dalších místních ztrátách.



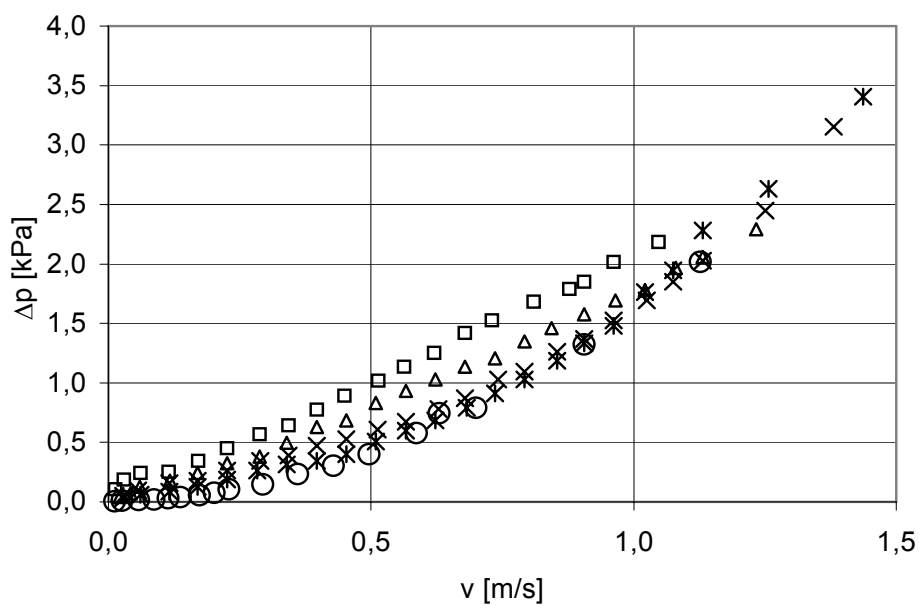
.Obr. 7. Tlaková ztráta při proudění Arquadu S 50 ventilem z poloviny otevřeným.



Obr. 8. Tlaková ztráta při proudění CTAC ventilem z poloviny otevřeným.



Obr. 9. Tlaková ztráta při proudění Arquadu S 50 plně otevřeným ventilem.



Obr. 10. Tlaková ztráta při proudění CTAB plně otevřeným ventilem.

Průběhy tlakových ztrát v jednotlivých singularitách byly podobné pro CTAB i CTAC. Stejný byl i vliv koncentrací – tlakové ztráty s koncentrací klesaly a na nižší úroveň než voda se mohly dostat až pro vyšší průtoky. Roztoky Arquadu S 50 se chovaly úplně odlišně. U nich nezáleželo na koncentraci, ve ventilu se chovaly stejně jako voda.

4. Závěry

Byl stanoven nestejný vliv koncentrací jednotlivých přísad na snižování místních ztrát. Ukázalo se že pro CTAB a CTAC je koncentrace 5 mM příliš vysoká a zřejmě vlivem poměrně vysoké zdánlivé viskozity se zvyšují tlakové ztráty ve všech elementech, někdy až do $Re=25\ 000$. Snižování tlakových ztrát se projevuje teprve při vyšších průtocích.

Použité přísady, které v přímé trubce snižují tření přibližně stejným způsobem, pro místní ztráty vykazují velmi rozdílné účinky. Žádná koncentrace CTAB a CTAC místní ztráty ve sledovaném rozsahu průtoků nesnižuje.

Zajímavě se chová Arquad S 50, který tlakovou ztrátu ve ventilu ani nezvyšuje, ani nesnižuje. Všechny jeho koncentrace kromě nejnižší výrazně snižují tlakové ztráty v oblouku a to i v oblasti, kde by mělo být proudění laminarizováno účinkem sekundárního proudění v oblouku. Nejnižší koncentrace přísady se chová jako voda.

Výsledky ukazují vliv jednotlivých aditiv na snížení některých místních tlakových ztrát pro různé elementy v závislosti na zvolené koncentraci. Nejlépe se chová Arquad S 50, který pokud tlakové ztráty nesnižoval, tak je nikdy nezvyšoval jako CTAB a CTAC. I jeho nejvyšší koncentrace téměř nezvyšovala zdánlivou viskozitu roztoku ani nezpůsobovala jeho viskoelasticitu.

5. Poděkování

Tato práce vznikla za podpory GA ČR v rámci řešení grantového projektu GA101/03/0585 a Výzkumného záměru AVOZ20600510 AV ČR.

6. Literatura

Ito, H. (1969) Laminar flow in curved pipes
Z. Angew. Math. Mech. 49, 653

Myška, J. & Mík V. (2004) Degradation of surfactant solutions by age and by a singularity
Chemical Engineering and Processing 43, pp.1495-1501

Myška, J., Štern, P., Mík, V. & Šesták, J. (2004) Effect of degradation of surfactant solutions by age on rheological properties and drag reducing effectiveness.
XIVth International Congress on Rheology, Seoul, Korea, August 22-27,

Štern, P., Myška, J. & Mík, V. (2004) Time changes of rheological properties in drag reduction surfactant solutions.
6th World Surfactant Congress, CESIO June 2004, Berlin, Germany