



PROUDĚNÍ NENEWTONSKÝCH KAPALIN A NENEWTONSKÝCH KAPALIN S OBSAHEM PEVNÝCH ČÁSTIC V POTRUBÍ

Vojtěch Pěník, Mikoláš Kesely

Anotace: Tento článek se zabývá prouděním nenevtonských kapalin s počátečním napětím v potrubí. Obsahuje výsledky měření nenevtonských kapalin na laboratorním trubním okruhu a viskozimetru. Cílem měření bylo získat databázi i-v křivek s příslušnými reologickými parametry a získané i-v křivky porovnat se stávajícími predikčními matematickými modely.

Klíčová slova: Nenevtonská kapalina, počáteční napětí, laminární a turbulentní proudění v potrubí

Vojtěch Pěník, Mikoláš Kesely: TURBULENT FLOW OF NON-NEWTONIAN MIXTURES WITH YIELD STRESS

Annotation: This paper deals with non-newtonian mixture flow in the pipe. Paper contain a results of measured flowcurves of non-newtonians mixtures on the laboratory pipe-loop and in the viscotester. Goal of the measurement was to gain database of flowcurve of various liquid with appropriate rheological parameters and their comparison with the predictive mathematical models.

Key words: Non-Newtonian fluid, yield stress, laminar, turbulent flow

1 ÚVOD

Ačkoliv je proudění nenevtonských kapalin/směsí poměrně běžným jevem vyskytující se v mnoha odvětvích průmyslu (těžba, svod odpadních vod, zpracování potravin,...), stále neexistují přesné a hlavně univerzální rovnice pro výpočet tlakových ztrát třením, jako je tomu u kapalin newtonských. Tento pomalejší vývoj oproti newtonským kapalinám je zapříčiněn zejména širokou škálou typů nenevtonských kapalin a vyšším stupněm komplexity a rozdíly v jejich chování. V současné době jsou sice k dispozici rovnice pro výpočet tlakových ztrát třením, ale jen pro některé z mnoha typů nenevtonských kapalin. Navíc jsou tyto modely sestaveny pouze pro čisté nenevtonské látky bez obsahu pevných částic. Doposud publikované modely, zabývající se prouděním nenevtonských kapalin s obsahem pevných částic, se potýkají s nepřesnostmi.

2 MATEMATICKÉ MODEL Y

Chování nenevtonských kapalin je možno modelovat pomocí stávajících matematických modelů. Vzhledem k reologickým vlastnostem kapalin jsou modely zvlášť pro laminární a zvlášť pro turbulentní režim proudění. V tomto článku bylo pracováno pro každý typ proudění s jedním modelem. Laminární proudění je popsáno pomocí rozšířené Buckinghamovy rovnice [3]. Turbulentní proudění je popsáno modelem Wilson and Thomas [4].

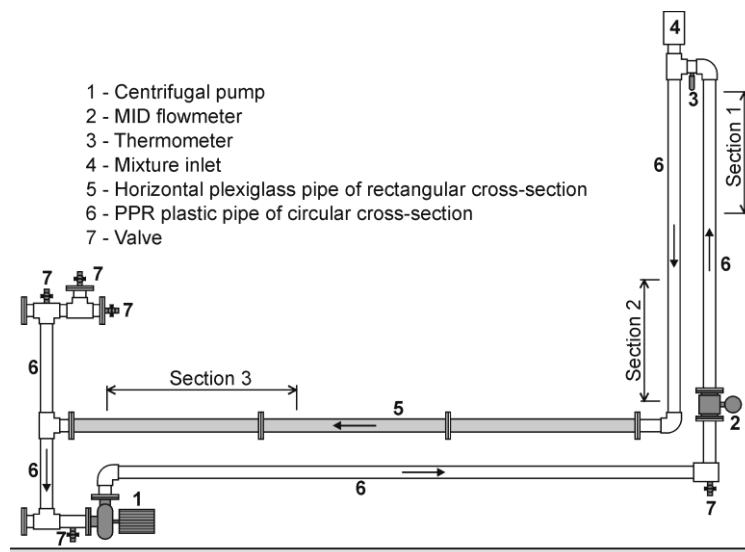
3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Experimentální trubní linka

Měření byla prováděna na trubním okruhu DN50, znázorněném na Obr. 1, který je umístěn ve Vodohospodářské laboratoři Českého vysokého učení technického v Praze. Na trubní jsou tři úseky pro měření tlakových rozdílů. Sekce 1, 2 (délka 1,3 m) je vzestupná, resp. sestupná větev a sekce 3 je umístěna na horizontální částí potrubí (délka 1 m). Diferenciální tlaky jsou měřeny diferenciálními



manometry Fischer Rosemount DP1151 ve vertikálních sekcích (sekce 1 a 2) potrubí z PE (DN 51,4 mm) a diferenciálním manometrem Siemens sitrans P DSIII v horizontální sekci (sekce 3) potrubí z plexiskla (DN 50,0 mm). Celková délka horizontální sekce z plexiskla je 6,20 m. Tvoří ji 3x2 m dlouhé a 1x0,2 m dlouhé potrubí. Celková délka okruhu je 22,96 m a objem 45,08 l. Celkový objem, včetně příslušenství (plnicí nádrž etc.), je 68,2 l. Pro měření průtoků je používán elektromagnetický průtokoměr Krohne Optiflux 5000, který je osazen ve vertikální sekci okruhu nad výstupním otvorem odstředivého čerpadla. Čerpadlo EBARA 3M 40-200/7,5 kW je poháněno elektrickým motorem s frekvenčním měničem TECO GD100-011G-4 11 kW. Parametry čerpadla jsou: výkon 7,5 kW, průměr oběžného kola 200 mm, maximální průtok 11,67 l/s. Teplota proudícího média je měřena ve vertikální části potrubí. Reologické parametry testovaných kapalin jsou měřeny v rotačním viskozimetru HAAKE Viscotester VT550.

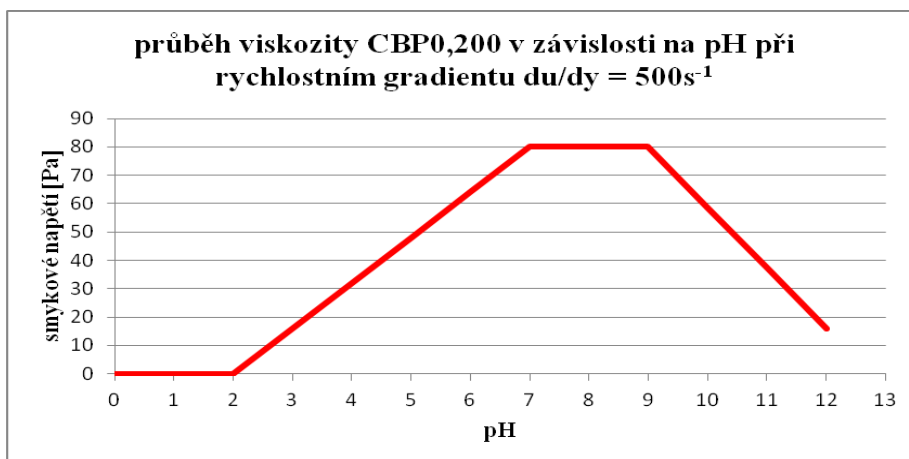


Obr. 1 Schéma laboratorní trubní linky

Testovaná neneutonská kapalina

Jako zástupce neneutonských kapalin byl vybrán carbopol. Jedná se o polymer kyseliny polyakrylové v podobě velmi jemného prášku, který se při styku s vodou rozpouští. Po smíchání dosahuje výsledný roztok hodnot pH mezi 4,5-5, v závislosti na koncentraci prášku. Viskozita roztoku je velmi citlivá právě na pH. Nejvyšší viskozity roztok dosahuje v rozmezí pH 7-9. U hodnot nižších než 7 a vyšších než 9 viskozita rapidně klesá. Pro dosažení uvedených ideálních hodnot pH se do carbopolu přidává zásada, v našem případě roztok hydroxidu sodného (NaOH). Konečný roztok carbopolu je tříparametrová neneutonská kapalina typu Herschel – Bulkley, jejíž viskozitu lze popsat pomocí tří reologických parametrů τ_y , K , n . Závislost viskozity na pH je patrná z Obr. 2.

Jeden z hlavních důvodů výběru tohoto materiálu byla jeho čírost. Během experimentů je pak možné vizuálně pozorovat proudění v potrubí. To je významné zejména v případech, kdy se v nosné kapalině nachází pevná fáze. Ostatní neneutonské látky jsou převážně neprůhledné.



Obr. 2 Průběh viskozity (smýkového napětí) v závislosti na pH

Testovaná pevná fáze

Jako pevná fáze byly použity technické kuličky o průměru efektivního zrna $d_e=1,5$ mm. V několika měřeních byla použita balotina B134 a B7.

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

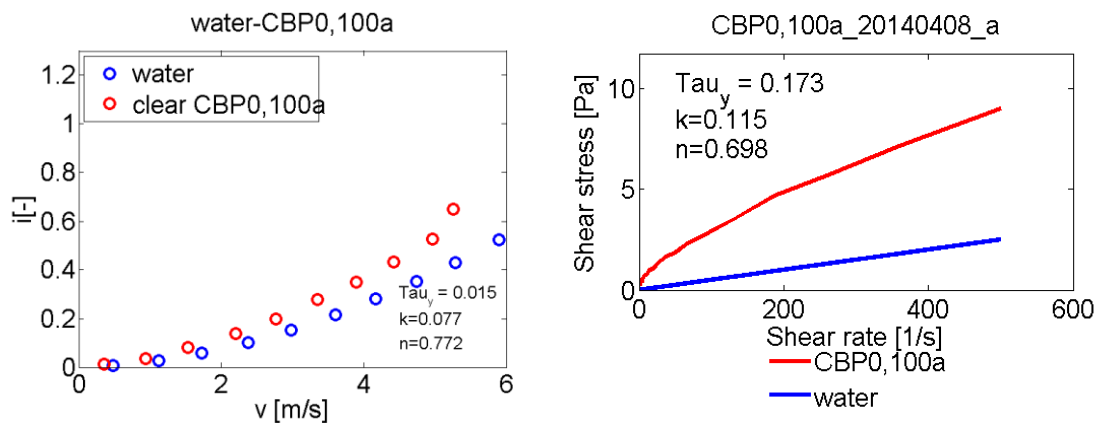
Jedním z cílů tohoto projektu bylo vytvořit soubor i-v křivek z proudění neneutonských kapalin. Během měření na trubním okruhu se tuto databázi podařilo získat. Rozmezí koncentrací carbopolu byla sestavena na základě změřených reologických vlastností tak, aby se carbopol o nejmenší koncentraci zdánlivě podobal vodě a carbopol o největší koncentraci ještě bylo možné čerpat za účelem dosažení turbulentního proudění.

Carbopol byl označován následujícím způsobem, CBP0,150a, kde CBP značí typ neneutonské kapaliny, tedy carbopol, 0,150 označuje koncentraci carbopolu. Koncentrace roztoku carbopolu je dána hmotnostním poměrem carbopolu (prášku) a vody. CBP0,150 tedy znamená 150 g prášku carbopolu na 100 l (kg) vody. *a* je označení vzorku dané koncentrace carbopolu.

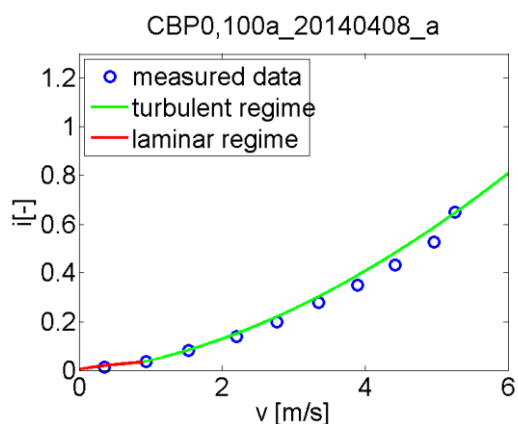
Získaná databáze obsahuje celkem 34 i-v křivek carbopolu různých koncentrací.

5 POROVNÁNÍ TEORIE A S VÝSLEDKY

O i-v křivkách čistého carbopolu o menší koncentraci lze obecně říct, že modely prokládají změřená data v dobré shodě. S rostoucí koncentrací carbopolu, a tedy rostoucí viskozitou carbopolu, se změřené i-v křivky od predikčních modelů liší více. Nejvíce se odchylka projevuje v laminární oblasti proudění, kde se viskózní síly do tokových vlastností kapalin projevují více. Na Graf 1 je i-v křivka carbopolu o koncentraci 0,1 % a i-v křivka vody. Jedná se o takovou koncentraci, která zdánlivě připomíná vodu. Změřená i-v křivka je rovněž velmi podobná i-v křivce vody, ačkoli reogram pro tento carbopol reogram vody zdaleka nepřipomíná, viz Graf 1.

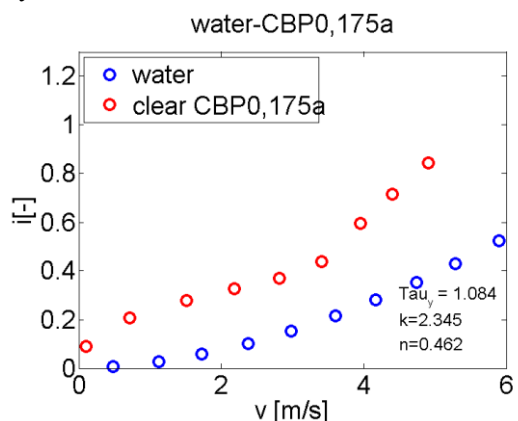


Graf 1 i-v křivky a příslušné reogramy



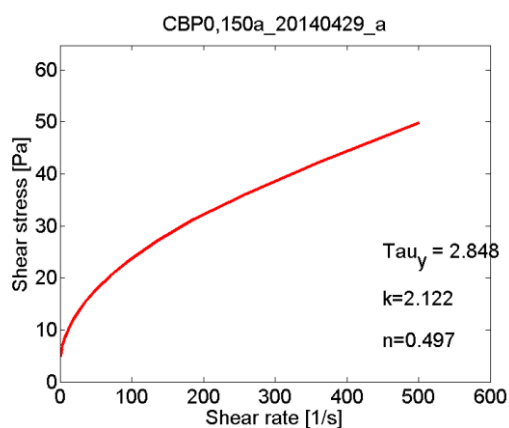
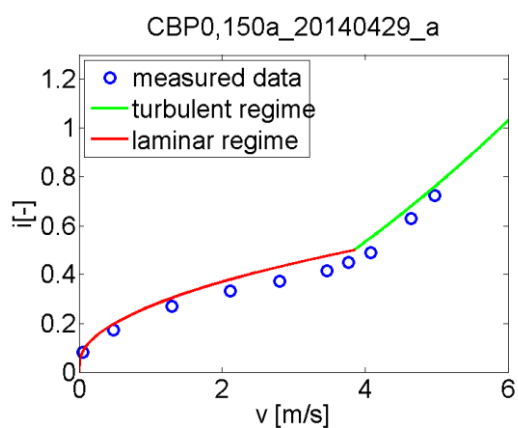
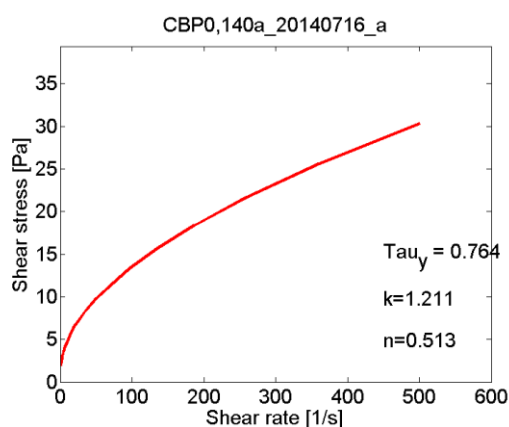
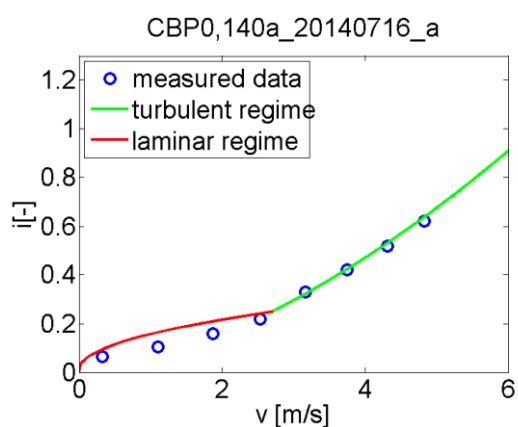
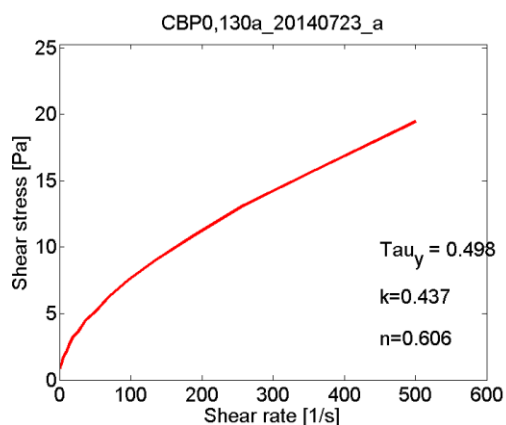
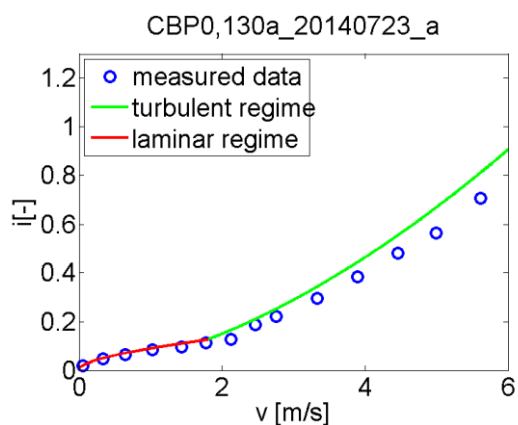
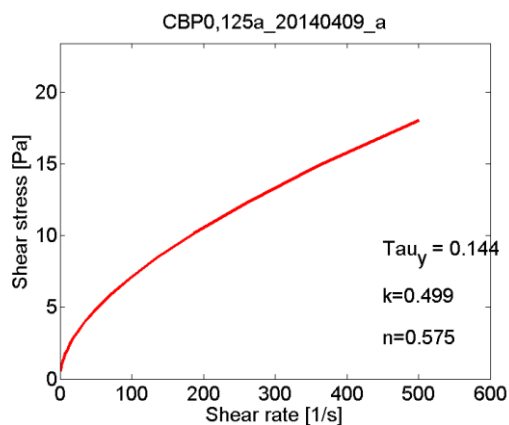
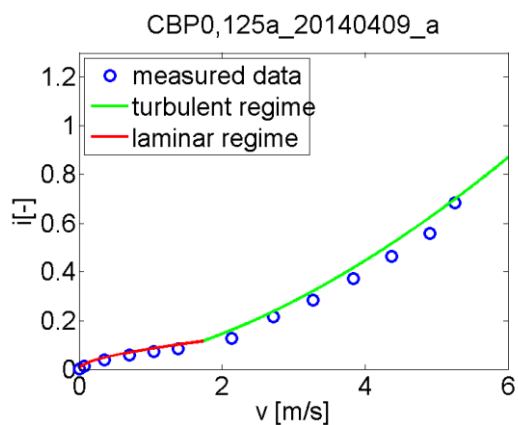
Graf 2 Porovnání změřené a teoretické i-v křivky CBP0,100a

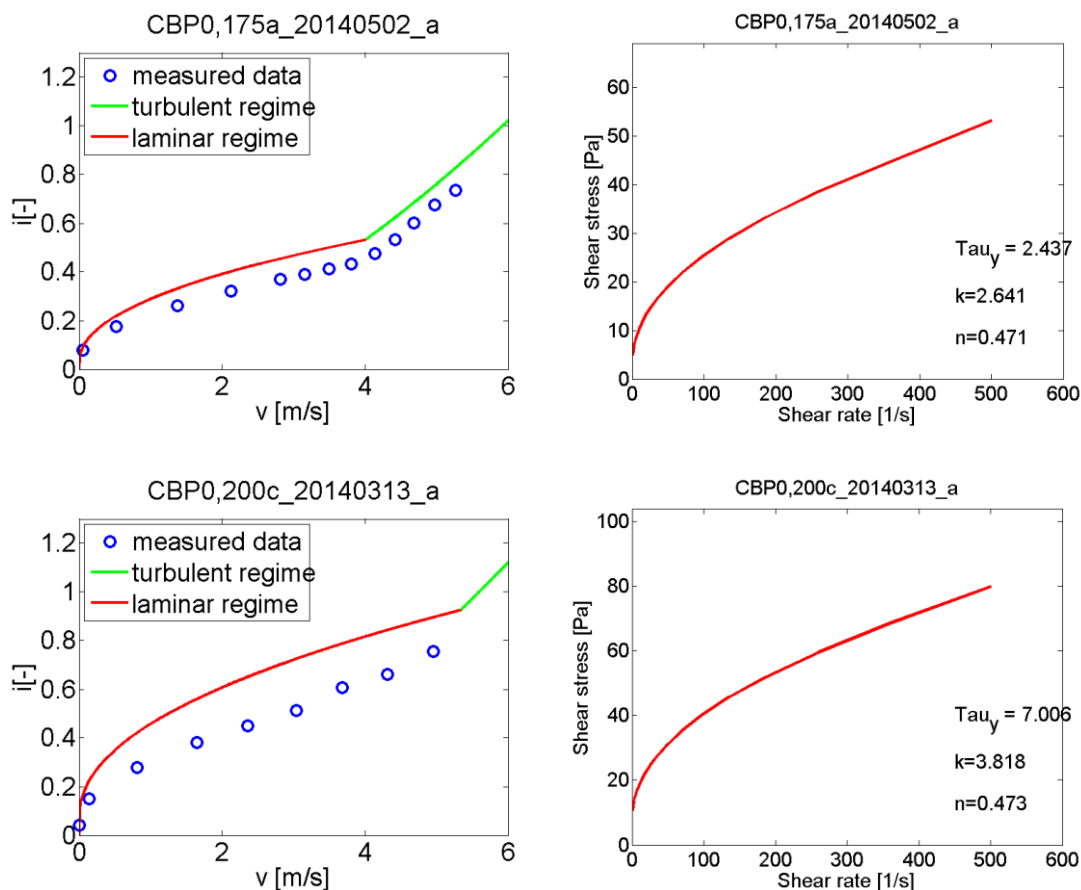
Při vyšší koncentraci carbopolu je ale odchylka i-v křivky od vody výrazná. Odpor proudícího carbopolu je několikanásobně vyšší než odpor vody. Na Graf 3 stojí za všimnutí fakt, že viskózní carbopol 0,175a teče v laminárním režimu až do rychlosti 3,5m/s, zatímco u vody není dosaženo laminárního proudění prakticky nikdy. Laminární režim lze identifikovat dle obráceného zakřivení i-v křivky.



Graf 3 Srovnání vody s viskóznějším carbopolem

Na následujících grafech Graf 4 i-v křivek je vidět, že s rostoucí koncentrací carbopolu se snižuje přesnost proložení dat predikčními modely. Zároveň lze pozorovat, že se turbulentní část i-v křivky se mění velmi málo. Naproti tomu laminární část se mění výrazně. Ke každé i-v křivce je uveden příslušný reogram.





Graf 4 i-v křivky carbopolů různých koncentrací s příslušnými reogramy

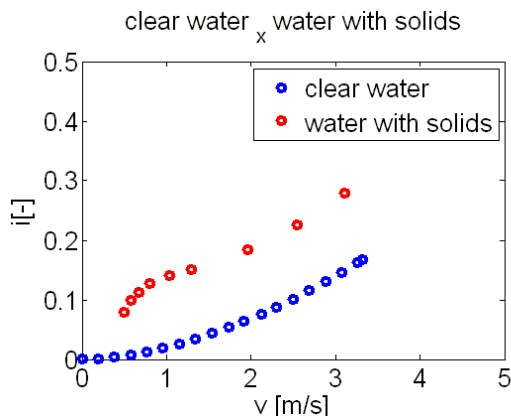
U carbopolu o vyšších koncentracích lze dosáhnout turbulentního proudění až za poměrně vysokých rychlostí, které jsou ale se současným čerpadlem a v současných podmínkách nedosažitelné. Například carbopol o koncentraci 0,2 % ještě při 5 m/s proudí v laminárním režimu.

Z výše uvedených grafů je patrné, že odchylka od teoretického modelu se zvyšuje s rostoucí koncentrací carbopolu, zejména v laminární oblasti proudění. Zároveň je také možné pozorovat, že jednotlivé i-v křivky se liší nejvíce právě v laminární oblasti, kde mají odporové, viskózní síly výraznější vliv. V turbulentní oblasti proudění se jednotlivé i-v křivky navzájem přibližují. Z toho vyplývá, že vliv reologických parametrů na tvar i-v křivky v turbulentním proudění je podstatně menší než v laminárním proudění.

6 I-V KŘIVKY S OBSAHEM PEVNÝCH ČÁSTIC

Modely, popisující chování nenewtonských kapalin s obsahem pevné fáze, nejsou v současné době příliš rozvinuty. Rovněž databázi s laboratorně změřenými i-v křivkami je obtížné získat. Z tohoto důvodu byly na trubní lince testovány výše uvedené směsi carbopolu s obsahem pevné fáze. Pevná fáze byla zastoupena hrubozrnnými technickými skleněnými kuličkami TK1,5 o efektivním zrně $d_e = 1,5$ mm, a jemnozrnnou balotinou B134 o efektivním zrně $d_e = 0,18$ mm.

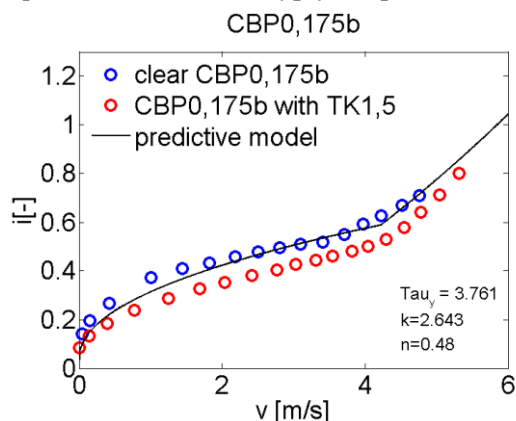
Dvoufázové proudění vody s pevnými částicemi je v současné době v literatuře poměrně obsáhle popsáno. Částice v nosném médiu zvyšují celkový hydraulický odpor směsi. To se projevuje zejména při menších rychlostech, tedy ne při plně rozvinutému turbulentnímu proudění, kdy je tvar i-v křivky zakřiven obráceně, než u samotné vody. Z Graf 5 je patrný vliv pevné fáze na výsledný vyšší odpor čerpané směsi.



Graf 5 Srovnání i-v křivky vody s i-v křivkou vody s obsahem částic, $C_v=22\%$, pevná fáze TK1,5 mm

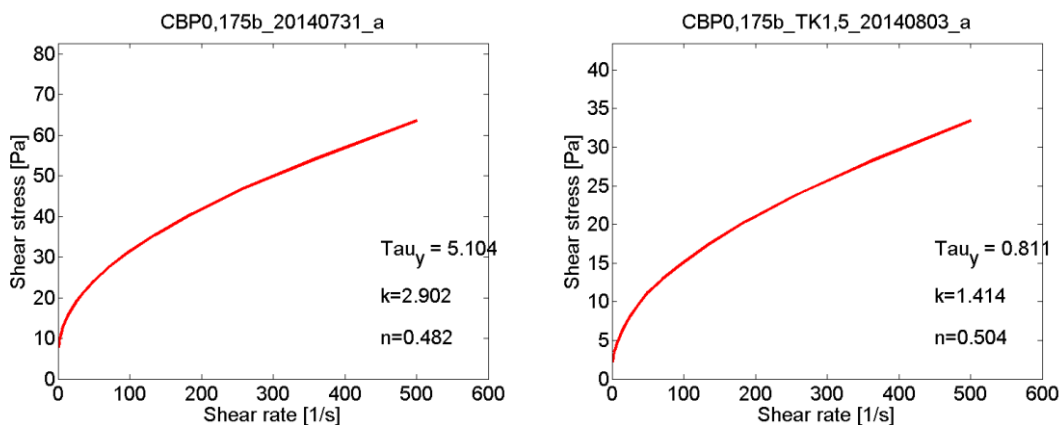
Na základě skutečnosti, jak pevná fáze ovlivňuje i-v křivku vody, lze předpokládat obdobný vliv i u newtonské směsi. Otázkou zůstává, v jaké míře. Testovaný carbopol má při každé koncentraci počáteční napětí, vlivem toho se částice v carbopolu ve srovnání s vodou neusazují, nebo usazují velmi pomalu. K podpoře částic pak, kromě samotného proudění, přispívá významnou mírou i vlastnost nosného média, tedy počáteční napětí.

Na Graf 6 je i-v křivka carbopolu o hmotnostní koncentraci 0,175 % s obsahem pevných částic TK1,5 mm o koncentraci 11 %. Dle předpokladu by se měla nacházet nad i-v křivkou čistého carbopolu. Z měření však vyplývá opak.



Graf 6 Porovnání i-v křivek čistého carbopolu, carbopolu s obsahem pevné fáze s predikčním modelem

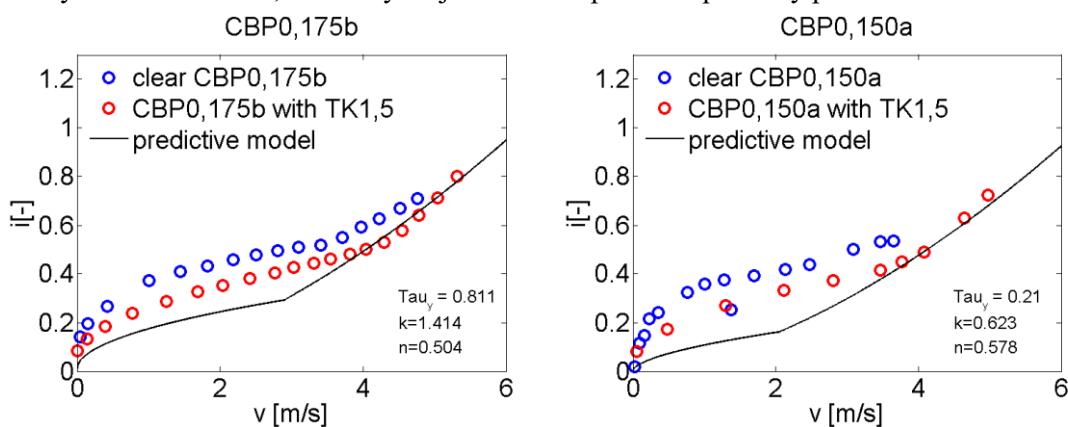
Z podrobnější analýzy tohoto neověřeného předpokladu vyplývá, že problém je ve vlastnostech carbopolu. Carbopol při kontaktu s pevnou fází, v tomto případě s technickými kuličkami, ztrácí část reologických vlastností, resp. má menší hodnoty reologických parametrů. Tento efekt následně způsobí snížení tření o stěny potrubí a tím výrazně změni výsledný tvar i-v křivky. Jako ilustrace, do jaké míry jsou reologické parametry carbopolu závislé na míře kontaktu s pevnou fází, je níže v Graf 7 uveden reogram čistého carbopolu CBP0,175b a reogram carbopolu CBP0,175, jehož vzorek byl odebrán po změření i-v křivky s částicemi.



Graf 7 Reogramy caropolu před a po měření

Z reogramů lze vidět, že caropol po kontaktu s pevnou fází ztrácí zejména počáteční napětí τ_y , které se v tomto případě zmenšilo o 85 %. Zjednodušeně lze konstatovat, že z testovaného caropolu o koncentraci 0,175 % se vlivem proudění, a tím kontaktu s pevnou fází, stal caropol, odpovídající koncentraci cca 0,14 %.

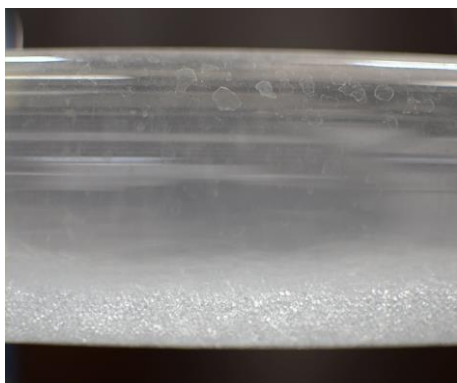
Z toho důvodu je pro zjištění chování caropolu s reálnými reologickými parametry s obsahem pevné fáze nutné vzít v úvahu tuto skutečnost. Vlivem jeho řidnutí nelze jednoduše porovnat i-v křivky čistého caropolu a caropolu s obsahem pevné fáze. Pro přesnější porovnání lze použít existující matematické modely a jako vstupy zadat reologické parametry caropolu po provedení měření. Z porovnání v Graf 8 je pak patrné, že pevné částice mají na výsledný tvar i-v křivky podobný vliv jako u vody. Za všimnutí stojí přechod do turbulence, který se odehrává při vyšší rychlosti, přesto je ve shodě s turbulentní částí čistého caropolu. Zároveň vlivem laminárního proudění caropolu i při vyšších rychlostech lze říci, že křivky mají z hlediska proudění podobný průběh.



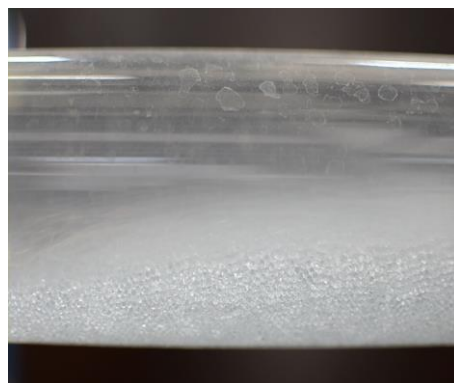
Graf 8 Srovnání čistého CBP, CBP s TK1,5 a teoretické křivky příslušného čistého caropolu

Hustotní vlny v potrubí

Neméně zajímavý rozdíl v proudění vody s obsahem pevných částic a proudění newtonské kapaliny s počátečním napětím s obsahem pevných částic lze pozorovat při sedání materiálu, nebo naopak, při uvádění materiálu ze sedliny do pohybu. Při proudění vody je jev rozplavování sedliny neustálý. Částice se v sedlině vlivem proudící vody začínají zvedat, při menších rychlostech vody nad sedlinou povrch začíná být zvlněný, při větších rychlostech se sedlina dává do pohybu skokovitě a v potrubí se objevují výrazné hustotní vlny. Na Obr. 3 je sekvence rozplavování sedliny zachycující přítomnost hustotních vln.

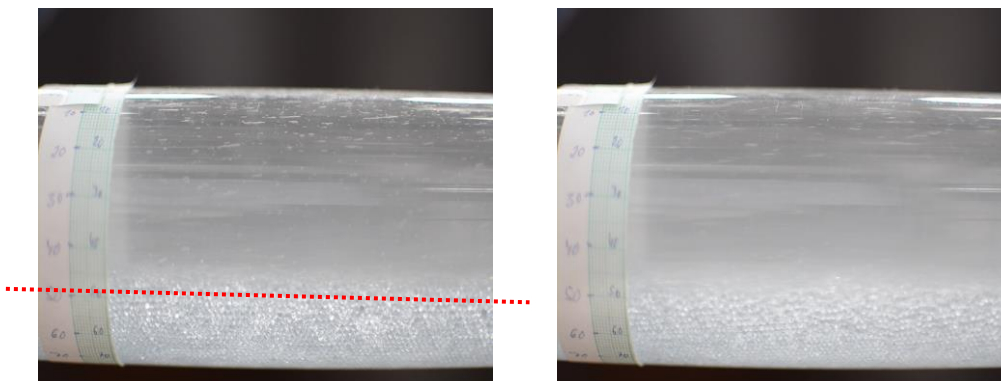


Obr. 3 Voda a TK1,5; $V=0,65$ m/s



Voda a TK1,5; $V=0,65$ m/s

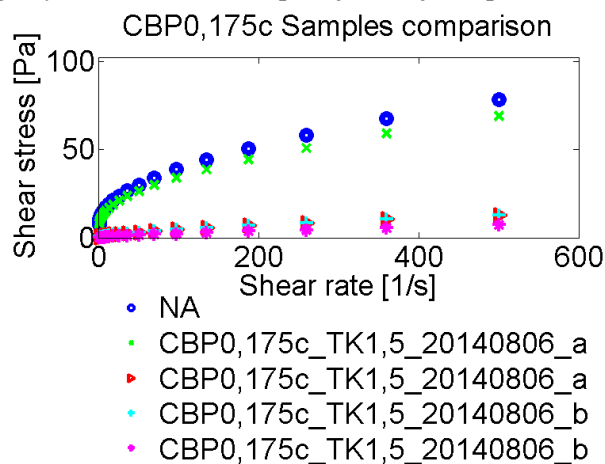
Při sedání částic, nebo naopak, při rozplavování sedliny neneutonskou kapalinou, má tento jev zcela jiný průběh. Sedlina je postupně rozplavována po vrstvách. Při pohybu 3-4 vrstev částic lze pozorovat, že se začíná velmi pomalu pohybovat celá sedlina, viz Obr. 4, která udržuje stále stejný tvar až do relativně vysokých rychlostí okolo 3,5-4 m/s. Předpokládá se, že tento jev je zapříčiněn výrazně déle trvajícím laminárním prouděním, které naopak povrch sedliny vyhlazuje.



Obr. 4 CBP0,175b and TK1,5; $V=1,0$ m/s, v pohybu první tři vrstvy částic, CBP0,175b and TK1,5;
 $V=1,5$ m/s, v pohybu již celá sedlina

Nežádoucí vlastnosti carbopolu

Jako potvrzení předpokladu o ztrátě reologických vlastností carbopolu vlivem kontaktu s částicemi lze použít provedené měření dvou i-v křivek carbopolu se shodnou koncentrací částic TK1,5. Vzorky carbopolu pro testování reologických parametrů byly vždy odebrány před a po změření dané i-v křivky, přičemž jeden byl odebrán ihned po namíchání carbopolu (vzorek NA). Výše popsané problémy se ztrátou reologických vlastností carbopolu jsou nejvíce patrné z Graf 1 Graf 9.



Graf 9 Srovnání reogramů carbopolu po opakovaném použití

Ztráta reologických vlastností je patrná už z druhého vzorku CBP0,175c_TK1,5_20140806_a. Ztráta reologických vlastností carbopolu je způsobena pravděpodobně chemickou reakcí mezi částicemi a carbopolem. Částice jsou vyrobeny ze skla, které není zcela inertní materiál. Bylo zjištěno, že po kontaktu carbopolu s částicemi se u carbopolu zvýšilo pH. Což ve shodě s popsaným chováním carbopolu má za následek změnu reologických vlastností, tedy snížení hodnot reologických parametrů.



7 ZÁVĚR

Byla vytvořena databáze proudění neneutonských kapalin bez obsahu pevné fáze i s obsahem pevné fáze. Jako neneutonská kapalina byl použit roztok polymeru carbopolu. Databáze i-v křivek zahrnuje škálu koncentrací carbopolu od málo viskózních až po velmi viskózní, které již při daných podmínkách prakticky čerpat nelze. Z celkových 34 i-v křivek carbopolu bylo změřeno 14 s obsahem pevné fáze. Pro lepší pochopení a popsání jevů, které při tomto dvoufázovém proudění nastávají, bude potřeba do budoucna databázi rozšířit o další měření.

Při porovnání změřených i-v křivek čistého carbopolu s predikčními modely bylo dosaženo poměrně dobré shody, zejména v případech nižší koncentrace carbopolu. V případě proudění viskóznějších carbopolů se odchylky změřených dat a teoretických křivek zvyšovaly. Příčina může být způsobena odchylkou při měření reologických vlastností na viskozimetru vlivem změny teploty, případně degradací reologických vlastností carbopolu vlivem tření o potrubí,

Při porovnání proudění carbopolu s obsahem pevné fáze s dvoufázovým prouděním s vodou, bylo pozorováno zcela odlišné chování částic při malých rychlostech proudění. Částice nesené vodou mají při malých rychlostech tendenci vytvářet hustotní vlny a proudění je pak značně nestálé. Naopak, u carbopolu hustotní vlny nevznikají. Částice se rozplavují pozvolna po jednotlivých vrstvách a při překročení kritické rychlosti se začne pohybovat rovnoměrně celá sedlina. Proudění dosahuje ustálenosti výrazně snadněji, než v případě částic s vodou.

Dále bylo zjištěno, že při měření i-v křivek carbopolu s obsahem pevné fáze docházelo k výrazné změně reologických vlastností nosného média. To bylo způsobeno pravděpodobně chemickou reakcí mezi carbopolem a částicemi. Výsledné i-v křivky směsi pak byly porovnávány s teoretickou i-v křivkou již degradovaného carbopolu. Z tohoto porovnání následně lze předpovědět vliv částic na chování směsi. Pro odvození matematického modelu je ale potřeba rozšířit databázi i-v křivek carbopolu s částicemi, a zejména předejít pospanému problému se ztrátou reologických vlastností.

8 PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS OHK1-055/14
TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ NENEUTONSKÝCH SMĚSÍ S POČÁTEČNÍM NAPĚTÍM

9 LITERATURA

[1] WILSON, K. C., G. R. ADDIE, A. SELLGREN a R. CLIFT. *Slurry Transport Centrifugal Pumps*. 3. vydání. USA: Springer, 2006, s. 15-76. ISBN 978-0-387-23262-1.

[2] MATOUŠEK, V. *Základy proudění neneutonských kapalin*. Slidy předmětu HY3V, ČVUT, Praha, 2013.

[3] PULLUM, L. *Non-Settling Slurry Basics*. GIW Slurry Course, 2013.

[4] WILSON, K. C. a A. D. THOMAS. 1985, *A new analysis of the turbulent flow of non-Newtonian fluids*. Canad. J. Chem. Engrg., Vol 63, pp 539-546.

[5] WILSON, K. C. a A. D. THOMAS. 1987, *New analysis of non-Newtonian turbulent flow—yield-power-law fluids*. Canad. J. Chem. Engrg. Vol. 65, pp. 335-338.

[6] Bakalářská práce Mikoláš Kesely, Vyhodnocování ztrát třením při proudění neneutonských směsí v potrubí



TURBULENT FLOW OF NON-NEWTONIAN MIXTURES WITH YIELD STRESS

Vojtěch Pěník, Mikoláš Kesely

This paper deals with non-newtonian mixture flow in the pipe. Paper contains a results of measured flowcurves of non-newtonians mixtures on the laboratory pipe-loop and in the viscotester. Goal of the measurement was to gain database of flowcurve of various liquid with appropriate rheological parameters and their comparison with the predictive mathematical models.

Conveying or Pumping of Non-Newtonian fluids or slurries is not publicly known so much, but it is a lot extended in whole industry, especially in mining industry, food industry, cosmetics etc. Despite this fact, there are not many mathematical models or equations describing Non-Newtonian flow and head losses in the contrary with conveying of Newtonian liquids. This slower invention in the mathematical modeling is caused by more complexity and much more types of Non-Newtonian fluids than the Newtonian. In this time exist some equations and models describing the Non-Newtonian flow but it deals with laminar flow more than turbulent flow. But there is no accurate models dealing with conveying solids in Non-Newtonian mixtures.

There is also no sufficient database of flowcurves of Non-Newtonian fluids and Non-Newtonian mixtures. One of the goal of this work was to create a flowcurves database of Non-Newtonian fluids and Non-Newtonian mixtures with various concentration of solids and with relevant rheological parameters. For that purposes was used laboratory pipe-loop.

A pipe loop is located in the Water Engineering Laboratory of the Czech Technical University in Prague. Differential pressures are measured on two vertical sections and one on horizontal section. Pipe material of vertical sections is PE of diameter is 51.4mm, horizontal section is made from plexiglass pipe of diameter 50.0mm. The total length of loop 22.96m in the volume 45.08l. Total volume of the rig with all accessories (loading tank etc.) is 68.2l. For measuring of flow rate is used an electromagnetic flow meter Krohne Optiflux. The pump is EBARA 3M 40-200/7,5kW is driven by an electric motor with a variable frequency converter. Pump impeller diameter 200mm, maximum flow 11.67l/s, total head from 58m to 44m (valid for water for maximum flow). The temperature of the flowing medium is measured in the vertical invert pipe. The rheology of fluids are tested on rotational viscotester. As a representant of Non-Newtonian fluids was chosen polymer Carbopol. Carbopol is a alkaline powder, after mixing with water it forms solution of Carbopol, which is 3 parametres (τ_y , K , n) Non-Newtonian fluid of Herchel-Bulkley type. A big advantage of Carbopol is its transparency and quite simple preparation of solution of various concentrations. Transparency is very useful for visual observations of solids in Non-Newtonian mixtures flow.

First, the measured data of clear Carbopol were compared with measured flowcurve of water. The higher concentration of Carbopol the higher deviation between flowcurves.

The data of each flowcurve from database were also compared with mathematical models. Laminar regime of flow was compared with Buckingham equation [3] and the turbulent regime with model Wilson and Thomas [4]. The flowcurves comparison of clear Carbopol with that models is in quite good agreement especially in lower concentration of Carbopol (means lower viscosity). The difference between theoretical and measured flowcurves increase with increasing concentration of Carbopol. The problems of worse agreement could be in measurement of rheological parameters on viscotester, because a little change in one of those parameters means big change in theoretical flowcurves.

Flowcurves comparison of clear Carbopol with Carbopol solids mixtures was much more difficult, because Carbopol loses viscosity by carrying solids. There is kind of chemical reaction between Carbopol and solids, which caused decrease of rheological parameters, especially yield stress. This means, that after pumping with solids, Carbopol of any concentration apparently changes to Carbopol of much lower concentration. Because of this fact, in the comparison of clear Carbopol with Carbopol mixtures were clear Carbopol substituted by theoretical flowcurve with input rheological parametres from damaged Carbopol.

In conclusion, database of flowcurves of various concentrated Carbopol was obtained and compared with existing theoretical models. It is base for further research of Non-Newtonian mixtures flow.