

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Tokové vlastnosti tavenin polymerů
Jméno autora:	Martin Vejvoda
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Oponent práce:	Ing. Jiří Moravec, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Cílem hodnocené práce bylo experimentální proměření tokových vlastností tavenin vybraných polymerů a jejich vyhodnocení. Ačkoliv se z pohledu vlastní práce nejedná o náročnou činnost, samotná problematika je náročnější s ohledem na potřebné znalosti z oblasti reologie, které student získává až v posledním semestru studia, tedy v době určené zároveň pro zpracování bakalářské práce.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<i>Posouzení, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání zcela, zčásti nebo zda byla naopak ještě rozšířena. Posouzení příčin, závažnosti a dopadů v případě nalezených nedostatků.</i>	
Autor splnil bez pochyby 3 body zadání (1., 3. a 4.) - zpracoval rešerši zaměřenou na způsoby měření tokových vlastností látek, provedl měření a vyhodnotil tokové vlastnosti třech různých tavenin polymerů. V práci se v podobě grafů objevila i data charakterizující tokové vlastnosti tavenin některých polymerů, což by se dalo hodnotit jako splnění druhého bodu zadání týkajícího se rešerše materiálových vlastností (bylo-li to takto myšleno). Student však uvedené závislosti nevyužívá jako zdroj informací o materiálových vlastnostech tavenin, ale jako informace pro vysvětlení některých reologických pojmů. Na tento fakt upozorňuji i s ohledem na to, že práci by výrazně prospělo, kdyby mohly být výsledné vlastnosti tavenin získané z měření porovnány s daty z literatury.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posouzení, zda autor zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Samotný postup řešení práce je až na drobné detaily správný. Po základním rozdělení druhů plastů a popisu jejich vlastností následuje teoretický popis reologických pojmů, základních modelů pro popis tokových vlastností a také kapitola s popisem možností měření potřebných dat. Následně autor popisuje samotnou extruzní hlavu používanou pro měření a také vlastní postup měření a vyhodnocení dat. Částečně nelogické kroky jsou použity právě v kapitole s vyhodnocením dat, kde např. autor při výpočtech používá nesprávné hodnoty hustot vzorků tavenin, přičemž následně koriguje stanovené hodnoty použitím „reálnějších“ hodnot.	

Odborná úroveň	C - dobře
<i>Posouzení úrovně odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Z hlediska odborné úrovně lze práci hodnotit jako dobrou. V některých místech je zřejmé, že student nemá ještě zcela jasno v některých pojmech a že se v oblasti reologie pohybuje krátce. To je s ohledem časový souběh získávání informací a vypracovávání práce na jednu stranu pochopitelné, avšak některé chyby by se v práci přesto vyskytovat neměly. Detailní poznámky, výtky a otázky k obsahu práce uvádím dále.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	B - velmi dobře
<i>Posouzení správnosti používání formálních zápisů obsažených v práci. Posouzení typografické a jazykové stránky práce.</i>	
Z formálního hlediska jsem v práci nezaznamenal žádné výraznější gramatické chyby nebo překlepy. Grafická forma zpracování je také vynikající. Jistým nedostatkem je fakt, že autor nevyužívá obrázků a tabulek k objasnění	

popisů v textu, mnoho obrázků a tabulek uvádí zcela bez souvislosti s prezentovaným obsahem. Seznam použitých symbolů je nekompletní a u některých použitých symbolů tak není jasný jejich význam ani rozměr.

Výběr zdrojů, korektnost citací

B - velmi dobře

Posouzení výběru pramenů pro zpracování práce, kompletnosti a relevantnosti zdrojů. Ověření, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Autor cituje poměrně dost knih a elektronických zdrojů, které se z většiny věnují teorii reologie a také měření reologických dat, ale minimum prací, které by se soustředili přímo na výsledné parametry popisující tokové vlastnosti různých druhů plastů. Forma citování není zcela správná, neboť citace jsou používány (s výjimkou obrázků) výhradně na koncích odstavců. Jsou tedy nekonkrétní. Není dodržena ani normou doporučené značení citací dle jejich pořadí v práci. Vlastní zápis citované literatury v seznamu je proveden správně.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrnutí aspektů závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily navržené celkové hodnocení. Stanovení případných otázek, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Z celkového hlediska působí práce uceleným dojmem. Drobné výtky mám k závěru, který je částečně spíše souhrnem provedené práce. Vzhledem k postupným iteracím a korekcím získaných dat z důvodu chybějících informací o přesné hodnotě hustoty tavenin bych v závěru spíš očekával tabulku s konečnými hodnotami parametrů charakterizujícími tokové vlastnosti měřených vzorků. Není také zřejmé, při jakých teplotách probíhalo měření, což je u reologických měření dost podstatná informace.

Dle mého názoru práce svou kvalitou a obsahem splňuje zadání a požadavky kladené na bakalářskou práci a doporučuji ji k obhajobě s kvalifikačním stupněm

B – velmi dobře.

Datum: 22. 6. 2021

Podpis:

Ing. Jiří Moravec, Ph.D.
v. r.

Otázky k obhajobě:

- 1) Na str. 9 (kap. 1.1.1) uvádíte, že PUR může být vyráběn v podobě reaktoplastu, termoplastu i elastomeru. Co rozhoduje o konečné podobě?
- 2) Na str. 16 (kap. 2.1.2) píšete, že u tavenin polymerů se při smykovém toku vyskytují normálová napětí z důvodu orientace molekul. Projevuje se to nějak na tokovém chování tavenin a jejich popisu pomocí známých reologických modelů?
- 3) Co si lze představit pod pojmem elongační tok (str. 17, kap. 2.1.4)? Čím se liší od toku smykového?
- 4) U popisu MFR a MVR uvádíte, že MFR je vhodnější pro „neplněné materiály“ a MVR pro „plněné materiály“, protože „obsah plniva zkresluje závislost MFR na tekutosti“. Jakou roli hraje při porovnání MFR a MVR hustota měřené látky? Dají se pomocí hustoty indexy vzájemně přepočítávat? Není změna indexu MVR/MFR se změnou obsahu plniva dána právě změnou hustoty vzorku? Nebo se zde projevuje i něco jiného, třeba stlačitelnost nebo normálová napětí?
- 5) Pro jakou látku (jaký reologický model) platí vztah v rovnici (8) na str. 20? Co představuje v rovnici symbol m ? Symbol není uveden v seznamu symbolů.
- 6) Pro jaký tvar kapiláry platí korigované vztahy v rovnicích (11) a (12)? Co představují symboly R a d použité v rovnicích? Symboly nejsou uvedeny v seznamu symbolů. Použil jste nějaké korekce pro úpravu hodnot v rámci vlastního měření?
- 7) Při jakých teplotách byla provedena měření (jaká byla teplota vzorku při průchodu hlavou)? Nikde v práci jsem tuto informaci nenašel.

IV. DETAILNÍ POZNÁMKY OPONENTA K PRÁCI

Obsah práce	
<i>Detailní poznámky či nejasnosti k obsahu práce.</i>	
Str./kap./odst./obr.	Poznámka
s.10/o.2	V textu píšete o dvou základních druzích PE-HD a PE-LD. Stálo by za to však zmínit, že jsou i další varianty. Dále v textu např. píšete o tom, že se z PE vyrábí ložiska nebo kluzná vedení. Tyto součásti jsou ale obvykle vyráběny z PE-UHMW, což je ještě něco jiného.
s.16/k.2.1.2	Když v kapitole uvádíte, že se v taveninách vyskytují normálová napětí, očekával bych, že v kapitole bude uvedeno více informací o tom, jaký to má dopad na chování tavenin, na jeho popis (použití modely, parametry) případně na efekty při provádění měření.
s.18/o.1	Uvádíte, že „ <i>obsah plniva zkresluje závislost MFR na tekutosti</i> “. MFR charakterizuje tekutost vzorku. Obsah plniva může ovlivňovat tekutost vzorku a tím i index MFR. Nelze ale říct, že se mění závislost MFR na tekutosti.
s.18/obr.8	V popisku uvádíte, že se jedná o závislost hmotnostního a objemového indexu toku taveniny na obsahu plniva. Je to skutečně tak? Pokud ano, pak na vertikální ose chybí jednotka $\text{cm}^3/10 \text{ min}$ pro MVR.
s.18/k.2.1.6.1/o.1	Uvádíte, že mocninový model je „ <i>jednoduchý model přesně popisující oblast smykového napětí ve viskozitě v závislosti na smykové rychlosti. Tento model zanedbává vlastnosti nenewtonských kapalin při malých rychlostech deformace...</i> “. To, jak přesně matematický model popisuje reálné chování látek závisí na tom, jak přesně aproximuje daná závislost naměřená data, ne na tom, o jaký matematický model se jedná. Co se týká malých rychlostí deformace, není mi jasné, proč by model měl zanedbávat vlastnosti nenewtonských kapalin při malých rychlostech deformace. Model vychází z toho, že při nulové rychlosti smykové deformace je ve vzorku nulové smykové napětí. Model ale lze použít pro libovolný rozsah smykových rychlostí (opět je to jen věc přesnosti s ohledem na naměřená data).
s.19/o.1	Trochu zde mísíte pojmy. Koeficient konzistence neobsahuje teplotní závislost viskozity. Koeficient konzistence závisí obecně na teplotě. Viskozita (zdánlivá) je dána oběma vlastnostmi, tedy jak koeficientem konzistence, tak indexem toku - viz rovnice (1). Index toku nemusí představovat pouze pseudoplastické chování taveniny. Pseudoplastické to je v případě, že je index toku menší než 1. Pokud je větší než 1, jedná se o dilatantní chování. Mocninový model je obecnější typ modelu - např. pro $n = 1$ přechází do Newtonova modelu.
s.19,20/kap.2.2	Vztahy v této kapitole byly odvozeny nebo převzaty z nějaké literatury? Není mi to jasné. Není zde žádný popis a odkaz na literaturu je jen u tabulky korekčních součinitelů.
s.20/rov.(10)	Rovnice je špatně. Aby se jednalo o viskozitu, nesměl by být ve vztahu uveden index toku n . Takto se jedná o vyjádření součinitele konzistence, ale pak by byla špatně jednotka uvedená za vztahem.
s.22/k.3/ř.6	„ <i>měnicích se podmínek (nenewtonské kapaliny)</i> “ - Co jsou měnicí se podmínky? Smyková rychlost, teplota, tlak, způsob zatěžování, ...? Na reometru lze za měnicích se podmínek měřit i newtonské látky (např. závislost dynamické viskozity na teplotě).
s.22/k.3.1/o.1	Není mi jasné, z jakého hlediska se jedná o nehomogenní tok. Je to brané z pohledu rozložení smykové rychlosti?
s.23/k.3.2	Poslední věta odstavce není šťastně formulovaná. Při měření tokových vlastností vzorku jsou měřenými daty otáčky (rychlost rotace) a krouticí moment na hřídeli. Z dat se vytváří toková křivka a z ní se pak stanovují výsledné parametry popisující tokové vlastnosti.
s.24/k.3.4/ř.6	Obvykle se sleduje závislost smykového napětí na smykové rychlosti (smyková rychlost je nastavovaná veličina).
s.24/k.3.4/ř.9	Rozměry kapiláry nejsou získány z měření. Jedná se obvykle o parametry dané.
s.26/k.5/ř.4	Není mi jasné, proč by data z rotačního reometru měla být spolehlivá pouze při nízkých smykových rychlostech. Co je tím myšleno?
s.28/k.5.1.3	Bylo by vhodné definovat, jaké vzorky byly na váze váženy (vzorky vystupující z hlavy, vzorky granulátu, které se sypou do extruderu, ...).
s.29/o.2	V první větě odstavce nepíšete nic o úpravě teplotního rozložení v extruderu. Znamená to tedy, že všechny vzorky byly v extruderu taveny při stejném teplotním rozložení jednotlivých ohřívacích segmentů?

s.30/k.5.2.1.2	Z popisu je jasné, že maximální otáčky pro experimenty byly limitované maximálním tlakem ve stroji. Není ale jasné, zda byly něčím limitovány minimální otáčky. To se pak dá dočíst až o několik stran dál v diskuzi výsledků. Bylo by vhodnější uvést i tuto informaci už v této kapitole.
s.31/k.5.3.1.1 s.35/k.5.3.2.1 s.41/k.5.3.3.1	Nikde není uvedena teplota vzorku, ani teplotní rozložení jednotlivých ohřívacích zón extruderu. To je u reologických dat důležitá informace. Také není jasné, pro jakou teplotu platí hustota vzorku uvedená v kapitole, ani to, zda byla tato hustota získána někde z literatury nebo zda byla změřena. O tom se pak lze něco dočíst až o mnoho stran dál, ale mělo by to být uvedeno hned u prvního výskytu dané hodnoty, případně ještě před tím.
s.32,36,42/rov.(9)	V původní rovnici (9) na straně 20, kterou jste použil pro výpočet, je na pravé straně rovnice navíc člen s indexem toku (člen v závorce). Při dosazení jste ale tento člen zcela vynechal. Jakou smykovou rychlost tedy stanovujete? Vynechání celého členu nemá žádný fyzikální smysl. Na straně 33 děláte korekci použité hodnoty. Proč už tedy na straně 32 nepředpokládáte nějaký index toku (např. 1 jako pro newtonskou látku)? To by mělo alespoň nějakou logiku.
s.46/k.5.4	Pokud je ve výpočtech použita hustota pevné fáze, nejsou výsledky správně. Tento fakt měl být zmíněn již v kapitolách popisujících výsledné tokové vlastnosti. Proč jste rovnou nepoužil hodnoty odečtené z grafu? Z textu není jasné, z jakých konkrétních křivek jste hodnoty vzal (na grafu je křivek hodně).
s.48/k.5.4.1.1	Laboratoř ústavu je vybavena pecí, kde s teplotou 350 °C není problém. Navíc u plynového hořáku je trochu problém s rovnoměrností teploty v celém vzorku, což by při ohřevu v peci nebylo.
s.48/k.5.4.1.2	Na konci 2. odstavce je uvedeno, že výhodou automatizované varianty je odstranění požadavku na nádobu z teplotně odolného skla. Tomu ale vůbec nerozumím. Když potřebuji změřit teplotu vzorku při teplotě přes 300 °C, tak potřebuji i nádobku, která odolá stejné teplotě, když v ní bude vzorek umístěn.
s.48/k.5.4.1.3	Ponorných teplotních čidel je hodně. Jaký konkrétní druh čidla by to měl být?
s.48/k.5.4.2/ř.3	Melt flow indexer zvládne měřit MVR i MFR?
s.49/o.1	SRD senzor vypadá zajímavě. Otázkou je, jaký je rozsah měřitelných viskozit a jaká je přesnost měření.
s.49/k.5.5/o.2	Vysokofrekvenční kamery a obrazová analýza jsou použitelné pro pozorování mnoha dějů. Otázkou je, zda by v tomto případě nebylo jednodušší nějaké manuální řešení přepínání směru toku extrudovaného vzorku (na váhu a mimo váhu), přičemž při přepnutí by se automaticky zapínalo a vypínalo i měření doby toku.
s.50/obr.30	Rovnice popisující naměřená data jsou jiné, než v předchozích grafech (po druhých iteracích). Předpokládám, že je to dáno úpravou hodnoty hustoty. Nikde však nejsou hodnoty hustot definované a celkově to tedy působí nepřehledně.
s.52/tab.12	Proč jsou v tabulce uvedeny hodnoty určené z výpočtů s hustotou odpovídající hustotě pevné fáze (po 2. iteraci), když v byla v předchozích kapitolách diskutována úprava hustoty?
s.53	Z poloviny je závěr spíš souhrnem prováděných činností než závěrem práce. Chybí mi porovnání naměřených dat s daty z literatury. Existují taková data? Jsou výsledky reálné (odpovídají hodnotám měřeným někým dalším)? Pokud taková data neexistují, nemohlo být provedeno nějaké kontrolní měření se vzorkem o známých vlastnostech, kde by se ukázalo, zda je použita metodika měření a vyhodnocení v pořádku? Jaká je přesnost naměřených výsledků. Na takové otázky bych očekával v závěru práce odpovědi.

Formální poznámky

Detailní poznámky k jazykové a grafické úpravě práce, k citacím apod.

Str./kap./odst./obr.	Poznámka
s.6/k.2.2.	V obsahu je u kapitoly 2.2 jen číslo a o řádek výš text. Zřejmě to má patřit k sobě.
s.9/k.1.1.1/o.1 + další v celém textu	Citování na konci odstavce (obzvlášť až za tečkou) je chybné. Citace musí být konkrétní (musí být zřejmé, co je z ní přebíráno). Pokud je z citace přebíráno více informací, které jsou popisovány v celém odstavci (nebo i ve více odstavcích), stačí uvést tento fakt přímo popisem v textu (citace zdroje pak platí pro celý text, nejen pro daný odstavec a nemusí být tedy opakována za každým odstavcem). Obecně známé informace navíc nemusí být citovány (to je i případ daného odstavce). Při použití citací dle zvoleného způsobu by měla být čísla citací řazena vzestupně tak, jak se objevují v práci (zde tedy [1, 2, 3]).

s.9/k.1.1.1/obr.1 + další v celém textu	Každý obrázek, který je v práci uveden by měl být nějak využit v textu (odkazem na obrázek v místě, kde je popisováno to, co pomáhá obrázek vysvětlit, nebo co je na obrázku znázorněno). To pak při čtení pomáhá lépe porozumět prezentovaným informacím.
s.18/rov.(1)	Tečka nad symbolem γ by měla být pouze nad tímto symbolem, ne nad exponenty.
s.19/o.1	Chybí tečka nad γ , v rovnici (1) nepoužíváte m , ale n .
s.19/k.2.1.6.2	η označujete jako viskozitu, ale nikde v textu (ani v seznamu symbolů) neuvádíte, zda se jedná o viskozitu dynamickou, kinematickou, zdánlivou nebo nějakou jinou. U symbolu λ chybí rozměr (jednotka). Symbol není uveden ani v seznamu symbolů. V textu také uvádíte, že „ n je index toku z mocninového modelu“. Znamená to tedy, že je to index, který bych získal proložením naměřených dat mocninovým modelem? Nebo je to index toku, který je parametrem tohoto (Carreauova) modelu?
s.20/tab.1	Popisky tabulek se obvykle uvádí nad tabulkou.
s.22/k.3/ř.4	smykových
s.22/k.3.1/ř.2	<u>Poiseuillovu</u>
s.24/k.3.4/ř.1	<u>Poiseuillovy</u>
s.26/k.5/ř.5	10 s^{-1}
s.26/k.5.1.1 + další místa	„jsme prováděli“ – do čestného prohlášení v úvodu jste napsal, že jste práci vypracoval samostatně. V práci byste tedy měl používat první osobu jednotného čísla.
s.28/k.5.1.2/ř.2	Místo délky bych použil spíše slovo šířka. Délku bych z hlediska toku uvažoval ve směru toku, tedy kolmo na průtočný průřez.
s.31/rov.(13)	Jako rovnice (13) už byla jedna rovnice označena. Pokud ji využíváte pro výpočet, měl byste tento fakt zmínit přímo v textu, ale rovnice s doplněním už by pak neměla být označena stejným číslem. Stejná poznámka samozřejmě platí i pro ostatní rovnice v celé práci.
s.33,38,44/rov.(1)	Pod číslem (1) už byla uvedena v práci jiná rovnice.
s.33,38,44/o.2/ř.5	Chybí jednotka u hodnoty koeficientu konzistence.
s.48/k.5.4.1.1/ř.3	standardních
s.48/k.5.4.2/ř.5	Čísla rovnic se udávají v kulatých závorkách.
s.57/[23]	Odkaz na zdroj není funkční (špatné kódování znaků).

Poznámky k přílohám

Detailní poznámky k přílohám (výkresová dokumentace, zdrojové kódy programů apod.).

Příloha	Poznámka
	Přílohy v práci nejsou.