

# Posudek bakalářské práce

*Martin Lipták*

## OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

*Vedoucí práce: Ing. Jan Skočilas, Ph.D.*

Tématem práce byla optimalizace výrobního procesu vstřikování plastů. Dle zadání měla být práce zaměřena především na rešeršní popis funkce stroje, výrobního procesu a parametrů, které tento proces ovlivňují s ohledem na kvalitu a mechanické vlastnosti vyráběných produktů. Z praktického hlediska měl autor na základě rešerše doporučit vhodné nastavení stroje pro výrobu vylisků ze zvoleného materiálu. Náročnost zadání bakalářské práce je průměrná.

V souladu se zadáním je většina kapitol v práci zaměřena na rešeršní obsah. Autor stručně popsal rozdělení polymerů, jejich strukturu a základní vlastnosti. Více se zaměřil na polyetylén a polypropylén. Popsal také základní prvky a funkci vstřikovacího lisu, proces vstřikování a také hlavní parametry, které mají důležitý vliv na výrobní proces. V závěru této teoretické části autor stručně shrnul získané obecné poznatky. Práce obsahuje i krátkou kapitolu s praktickou částí, v níž autor měnil velikost vstřikovacího tlaku a dotlaku a následně hodnotil, jaký vliv mají tyto parametry na pevnost vyrobených zkušebních tělísek. Obě části práce jsou zpracovány poměrně stručně. V teoretické části zůstal autor převážně v rovině obecného hodnocení a obecných doporučení. V některých kapitolách mi chyběly popisy částí stroje či procesu vstřikování (např. popis pohonného systému, řídicího systému, čidel, bezpečnostních prvků, způsobu řešení chlazení formy, ...). V praktické části bylo provedeno měření na cca 70 vzorcích při 7 různých konfiguracích nastavení vstřikovacího tlaku a dotlaku. S hlavním závěrem učiněným na základě získaných výsledků o optimálním nastavení vstřikovacího tlaku a dotlaku lze však polemizovat (vysvětlení viz dále v poznámkách k práci). Z odborného hlediska hodnotím bakalářskou práci jako průměrnou. Z celkového pohledu byly splněny všechny požadované body zadání. Zvolená metodika práce odpovídala požadavkům zadání.

Práce je psaná slovenským jazykem. Z tohoto důvodu nebyla hlouběji kontrolována gramatická správnost práce. Jsem-li to však schopen alespoň částečně posoudit, neobsahuje práce významnější gramatické chyby. Text je psaný srozumitelně a poměrně přehledně. Také grafická podoba práce je zdařilá. Z hlediska rozsahu práce bych v některých částech uvítal trochu širší obsahový záběr a také konkrétnější formulaci závěrů získaných z rešerše včetně konkrétnějších doporučení. Také by práci pomohlo, kdyby obrázky, které se v ní vyskytují, byly řádně popsány v textu. Uvítal bych i seznam použitých zkratk (značení materiálů) a také seznam použitých symbolů.

Výhrady mám ke způsobu citování literatury. Citování zdrojů na koncích odstavců není správné a zejména při častém používání je dosti nešťastné. Není totiž často vůbec jasné, k jaké informaci se daná citace vlastně vztahuje. Autor používá téměř výhradně tuto formu citací.

Detailnější informace k hodnocení práce uvádím na dalších stranách v podobě poznámek a dotazů ke konkrétním částem textu. Předložená bakalářská práce splnila dané zadání. S ohledem na komentáře, poznámky a nejasnosti, uvedené dále, hodnotím práci klasifikačním stupněm

**velmi dobře (B).**

### Otázky k obhajobě:

- 1) Na str. 15 v kapitole 3.1 se vyskytuje pojem komonomér. Co tento pojem představuje?
- 2) Na str. 17 v kapitole 3.2 se v textu píše o indexu izotakticity. Zajímalo by mě, co si autor pod tímto pojmem představuje. Jakých limitních hodnot tento index dosahuje?
- 3) Na str. 22 v kapitole 5.1.1 se píše o vstřikovací a plastifikační kapacitě. Prosím o vysvětlení těchto dvou pojmů.
- 4) Občas je v práci zmíněn pojem odvzdušnění taveniny. Nikde jsem však nenašel informaci, kdy je to nutné řešit a jak je to vlastně řešeno. Může mi to autor krátce objasnit?
- 5) V práci jsem bohužel nenašel žádnou informaci o pohonu a hlavně řídicím systému stroje. Zajímalo by mě např., jak je řešen dotlak? Jsou na stroji nějaká tlaková čidla, která pomáhají dotlak regulovat v průběhu procesu? Jak je řízený pohyb šneku? Jsou tam nějaké prvky s bezpečnostní funkcí?
- 6) Na str. 30 se v kapitole 5.2.1.2 píše: „Programováním spätného tlaku nepriamo programujeme teplotu nadávkovanej taveniny.“ Jak funguje programování zpětného tlaku? Dá se to dělat za provozu?
- 7) Na str. 37 je v kapitole 7.4 uvedeno, že teplota formy byla nastavena při prvním experimentu na 40 °C. Proč nebyla zvolena teplota 47,5 °C, která byla dle práce [20] optimální (viz informace uvedené na předchozí straně)? Stejný dotaz mám i ke zvolenému teplotnímu profilu tavicí komory, který se také liší od optimálního.
- 8) Na str. 39 v 1. odstavci autor uvádí, že bylo prvních 10 až 15 vzorků vždy vyhozeno. Vyskytují se při výrobě vždy v prvních vzorcích vady? Čím to je způsobeno? Jak dlouho trvá jeden výrobní cyklus?
- 9) Při hodnocení kvality vzorků vychází autor pouze z meze pevnosti, ačkoliv ve změřených datech uvádí i prodloužení vzorků. Z prodloužení vzorků nic vyhodnotit nelze? Proč nebyl vyhodnocen ani modul pružnosti?
- 10) S jakou přesností (v jakém rozsahu) dokáže použitý stroj Waltr + Bai ZD 10/90 měřit síly a prodloužení?

### Poznámky k práci:

#### 1) Citace literatury

Jak bylo uvedeno v hlavní části hodnocení, autor cituje literární zdroje formou odkazů umístěných převážně na koncích odstavců, což není správné. V některých místech je naznačen správný způsob citování, např. na str. 19 ve 3. odstavci, kde však pro změnu za textem „Bernadeu et al.“ chybí odkaz na zdroj ([9]). Stejně je to na str. 36 v kapitole 7.1 („Jiřího Lukáša“). Je to zřejmě dáno tím, že odkazy na tyto zdroje jsou uvedeny na koncích odstavců. Na str. 21. ve 2. odst. také vypadá citace [6] správně, pokud by však nebyla umístěna až za koncovou tečku věty.

Při citaci více zdrojů (např. str. 25, 1. odstavec) je vhodné umístit odkazy do jedné závorky a oddělit je čárkou, případně pomlčkou, jedná-li se o skupinovou citaci více děl postupně seřazených za sebou.

#### 2) Odkazy na obrázky a jejich značení

V celé práci nepoužil autor ani jednou přímý odkaz z textu na konkrétní obrázek (snad s výjimkou str. 21, kde se v kap. 5.1 odkazuje na obrázek 24, avšak zřejmě chybně, protože se chtěl/měl, předpokládám, odkázat na obr. 25). Obrázky jsou číslovány proto, aby mohl pisatel navést čtenáře přímo na požadovaný konkrétní obrázek. Lze samozřejmě použít i nepřímé

vyjádření v podobě např. „na následujícím obrázku...“. Ani tento způsob odkazů na obrázky však autor téměř vůbec nevyužívá. Při čtení jsem mnohdy váhal, zda mají být některé obrázky vůbec v práci obsaženy, když nejsou potřeba k vyjasnění textu.

U obr. 2 a 3 (str. 10) mi nebylo jasné, proč jsou umístěny v dané kapitole a nejsou uvedeny spíš o stránku dál v kapitole 2.2.4, kam by se tematicky víc hodily.

### 3) *Poznámky a nejasnosti k obsahu práce*

- Str. 10 – kap. 2.2.1 ... „polytetrafluoretylen (PTFE)“ – tetrafluoretylen je TFE.
- Str. 10/11 – kap. 2.2.2 ... kapitola je zpracována dost obecně. Jaký je např. rozdíl mezi kaučukem a pryží? Také není zcela jasně vymezena odlišnost mezi kaučuky/pryží a termosety (vulkanizace je také chemická reakce).
- Str. 12 – kap. 2.2.4 – amorfní struktura ... jsou amorfní materiály průhledné/průsvitné díky indexu lomu světla nebo díky struktuře?
- Str. 13 – kap. 2.3 ... informace uvedené v druhém odstavci platí jen pro amorfní látky, z textu to však nevyplývá.
- Str. 14 – obr. 13 a 14 ... na obrázcích je téměř nečitelný popis vertikální osy; v grafech jsou dvě křivky, avšak v popisku obrázku je uvedeno jen, že se jedná o průběh deformace. Otázkou tedy je, co která křivka představuje?
- Str. 15 – kap. 3.1 ... je zde používáno značení PE-HD, přičemž v předchozích částech bylo použito HDPE – bylo by správné používat jednotné značení.
- Str. 16 – Tab. 1 ... píše se zde o lineárním a rozvětveném PE – lineární může být jak HDPE, tak LLDPE. Pro který platí uvedené hodnoty? Rozvětveným je myšlen LDPE?
- Str. 17 – kap. 3.2 ... v textu se mluví o indexu izotakticity, ataktických a syndiotaktických homopolymerech. Bylo by fajn vysvětlit, co to znamená (alespoň se odkázat na obrázky).
- Str. 19 – kap. 4 ... v této části jsem očekával informace o recyklaci materiálů – text je však zaměřen pouze na PP. Proč zde není popsán i PE nebo další druhy plastů? Navíc se zde objevují nové informace, které bych čekal spíš v předchozí kapitole 3.2, jako např. informace o krystalinitě či o plnivech v PP. Co je PMC, PP-g-MA? Jedná se stále o PP? Práci by slušel seznam zkratk.
- Str. 21 – konec 2. odstavce ... použil bych spíš slovo „stuhne“ než „stvrдне“.
- Str. 21 – kap. 5.1 ... dle textu se vstřikovací lis skládá z vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky. Na obrázku jsou uvedeny uzavírací jednotka, forma a vstřikovací jednotka. Nabízí se tedy otázka, jak je to s formou – je součástí uzavírací jednotky nebo je to samostatný díl?
- Str. 22 – obr. 26 ... je použit pojen „taviaca komora“, v textu pod obrázkem (a také dále na str. 24) je použit pojem „tavná komora“. Není v těchto pojmech rozdíl?
- Str. 23 – kap. 5.1.1.2 – 3. odstavec ... je zde poměr L/D – předpokládám, že jde o poměr délky a průměru šroubu. Mělo by to však být v práci uvedeno (buď přímo v textu, nebo v seznamu symbolů, který zde však není).
- Str. 23 – poslední odstavec ... rozsahem dráhy je myšlen rozsah axiálního pohybu šroubu? Pokud ano, je to rozsah, který je využíván pro dotlak? Líbilo by se mi, kdyby tyto věci byly v práci více vyjasněny.
- Str. 24 – obr. 28 ... naznačené toky materiálu nejsou zřejmě nakresleny moc dobře, neboť vedou jádrem šroubu, aniž by tam byl naznačen kanálek.
- Str. 25 – kap. 5.1.1.5 ... osobně bych uvítal obrázky řešení otevřené a uzavřené trysky.

- Str. 26 – kap. 5.1.2.1 ... místo slova „nástroj“ bych volil slovo „forma“.
- Str. 28 – obr. 33 ... jedná se o desku nějakého konkrétního stroje Arburg (třeba toho, na kterém probíhaly experimenty)? Nebo je to univerzální deska na všechny stroje Arburg?
- Str. 28 – kap. 5.2 – 3. odstavec ... je zde uvedeno, že šroub/píst dopravuje plast do tavicí komory. Kde začíná a kde končí tavicí komora? Z předchozího textu jsem měl pocit, že tavicí komora je celý válec, ve kterém je šroub/píst uložený. Na konci odstavce bych ve větě „Plast předá forme teplo...“ použil spíš slovo „Tavenina“. Také mi chybí v textu informace o tom, co se děje s teplem předaným do formy – nikde není žádný popis způsobu řešení chlazení formy. Přitom se jistě jedná o velmi důležitý proces, který má určitě významný vliv na kvalitu výrobků.
- Str. 28 – kap. 5.2 – poslední odstavec ... jak se uzamyká forma?
- Str. 29 – kap. 5.2.1 ... v seznamu parametrů mi chybí teplota komory, doba, po kterou zůstává plast v komoře a také vlhkost materiálu. Nebo tyto parametry nehrají žádnou významnější roli?
- Str. 30 – obr. 35 ... u obrázku by mohla být legenda (a – d), pomohl by i odkaz z textu.
- Str. 31 – kap. 5.2.2.1 ... souvisí spolu nějak tlak a rychlost? Na 4. řádku by místo spojení „pod nastavenou hodnotu“ bylo vhodnější použít „pod minimální potřebnou hodnotu“. Druhý odstavec mi není příliš jasný.
- Str. 32 – 2. odstavec ... a co vstřikovací rychlost? Jaká by měla být?
- Str. 36 – kap. 7.1 – poslední věta ... uvedený materiál byl použit v citované práci [20], nebo byl tento materiál použit v experimentech? Z označení materiálu není jasné, zda se jedná o PP nebo PE. Bylo by vhodnější to v práci zmínit, když doposud bylo používáno pouze toto obecné značení.
- Str. 37 – kap. 7.4 – poslední odstavec ... „vid’ obrázok“ – jaký obrázek (předchozí, následující, číslo)? Zřejmě to má být obrázek 39. Pokud je bublina velká, pak ji tam vidím. Má-li však být jen v kroužku, tak ji nevidím. Nebo je kroužek nula (označení vzorku)? Je to trochu matoucí.
- Str. 40 – 4. odstavec ... píšete, že nebyly provedeny trhací zkoušky u vzorků vyrobených při vstřikovacím tlaku 325 bar a 275 bar. Jaký byl důvod? Je otázkou, zda má tedy smysl uvádět, že jste tyto vzorky vyráběl, protože z hlediska obsahu práce jsou pak zbytečné.
- Str. 30 – Tab. 3 ... myslím, že řazení vzorků podle pořadí provádění jejich tahové zkoušky je zbytečné a zneřehledňuje to orientaci v tabulce při hledání hodnot. Nebo mohlo pořadí měření vzorků ovlivnit získané výsledky? Lepší by bylo seřadit je podle čísla vzorku. Také by podle mne bylo vhodnější sloučit tabulky 2 a 3 do jedné (všechna data by byla přehledně na jednom místě).
- Str. 43 - obrázky 42 a 43 ... nebylo by u obou obrázků vhodnější zvolit počátek vertikální osy v nule?
- Str. 43/44 ... vzhledem k tomu, že není uvedeno, jakou mez pevnosti má mít vyrobený vzorek nebo použitý materiál, nelze na základě výsledků získaných v rozmezí vstřikovacích tlaků mezi 200 a 400 bar říct, že jsou tyto tlaky dostačující a že není třeba používat tlaky vyšší/doporučené (500 až 1200 bar). Co kdyby se při experimentech s těmito vyššími tlaky ukázalo, že hodnota meze pevnosti stoupla? S extrapolací výsledků by se mělo pracovat opatrně.

4) *Nalezené gramatické či jiné formální chyby, nejasnosti a poznámky*

- Titulní strana – jako vedoucí je uváděna i Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D., na oficiálním zadání uvedena není (toto je spíše poznámka pro vedoucího práce);
- Str. 10 – kap. 2.2.1 ... „Široké použití...“.
- Str. 13 – kap. 2.3 – poslední věta ... „Táto teplota sa nazýva teplota rozkladu polyméru  $T_C$ .“
- Str. 16 – kap. 3.1.2 ... této části textu by, myslím, prospělo, kdyby byl formátován do podoby samostatných odstavců nebo odrážek pro jednotlivé typy PE.
- Str. 19 – 3. odstavec ... „Bernardeau et al. zistili, že...“.
- Str. 31 – kap. 5.2.1.3 – 3. řádek ... „... ak sa rýchlosť...“.
- Str. 32 – kap. 5.2.2.2 – 2. odstavec ... „zpôsobujú“.
- Str. 33 – kap. 5.2.3.2 – 4. řádek ... „dotlaku“.

V Praze dne 19. 6. 2018

Ing. Jiří Moravec, Ph.D.

v. r.