

## Organizační pokyny a formální úprava bakalářské práce

### I. Organizační pokyny

- BP se odevzdává ve dvou tištěných exemplářích, po obhajobě se jeden výtisk vrací studentovi: formát A4, jednostranný tisk, pevná vazba (je požadovaná nerozebíratelná vazba, kroužková ani jiná „rychlovazba“ není přípustná).
- Na přední straně desek (tvrdé, tmavé) nahoře se uvádí: název univerzity a fakulty, znak univerzity, nápis *Bakalářská práce*, v levém dolním rohu místo a rok vypracování a v pravém dolním rohu jméno autora, viz příloha.
- Práce se zároveň odevzdává v identické podobě také prostřednictvím IS STAG a na CD nosiči, který je vložen do kapsy nalepené vzadu na vnitřní straně tvrdých desek.
- Na CD i v IS STAG je BP nahrána ve formátu pdf (výtisk práce odpovídá elektronické verzi).
- CD bude označeno jménem studenta a akademickým rokem odevzdání.

### II. Formální úprava bakalářské práce

Bakalářská práce je zpravidla členěna následovně:

- **Titulní list** - generován v IS STAG, pokud je BP psána česky, vkládá se pouze česká varianta a naopak (list se započítává do číslování stran, číslo stránky se nezobrazuje).
- **Zadání** – originál podepsaný vedoucím katedry a děkanem fakulty si student vyzvedne u tajemnice katedry před odevzdáním BP a to v dostatečném časovém předstihu (započítává se do číslování stran, číslo stránky se nezobrazuje).
- **Prohlášení autora** - generováno v IS STAG, pokud je BP psána česky, vkládá se pouze česká varianta a naopak (započítává se do číslování stran, číslo stránky se nezobrazuje).
- **Anotace a klíčová slova** (započítává se do číslování stran, číslo stránky se nezobrazuje).
  - *Anotace*
  - *Klíčová slova*
  - *Annotation*
  - *Key words*
- Poděkování vedoucímu, konzultantovi, rodičům apod. (nepovinné, započítává se do číslování stran, číslo stránky se nezobrazuje).
- **Obsah** - zahrnuje názvy všech kapitol a podkapitol s uvedením čísel příslušných stran (započítává se do číslování stran, číslo stránky se **zobrazuje**).
- **Seznam použitých zkratk a symbolů** – uvedeny musí být všechny zkratky a symboly včetně použitých jednotek, které se v práci vyskytují. Seznam musí být úplný a má zahrnovat i obecně známé symboly fyzikálních veličin s příslušnými jednotkami. Do seznamu zkratk nepatří zkratky institucí (TUL), akademické tituly (Ing.) nebo chemické značky a vzorce (N, NaCl).
- **1 Úvod**
- **2 Teoretická část**
- **3 Experimentální část**
- **4 Diskuze výsledků** (dle řešené problematiky a po domluvě s vedoucím práce může být diskuze součástí experimentální části).

- **5 Závěr**
- **Literatura**
- **Seznam příloh** (započítává se do číslování stran, číslo stránky se zobrazuje).
- **Přílohy** (nezapočítávají se do číslování stran).

#### **Formát práce:**

- Doporučený typ písma: Arial (11); Time New Roman (12); Calibri (11).
- Řádkování 1,5.
- Doporučené okraje: 35 mm (vlevo); 20 mm (vpravo).
- Zarovnání textu do bloku.
- Pokud je třeba některé části textu zvýraznit, používáme buď *kursivu*, písmo p r o l o ž e n é, **tučné** nebo VERZÁLKY. Zásadně se nepoužívá podtrhávání slov a to ani u nadpisů (podtrhávání textu je pozůstatkem z doby psacích strojů).
- Číslování stran práce je průběžné, bez přerušení, arabskými číslicemi. Začíná od obsahu a končí poslední stranou seznamu literatury (předcházející listy se započítávají, ale číslice se na ně netiskne).
- V práci se neuvádí seznam obrázků, tabulek a grafů, ani jejich počet.
- Hlavní kapitoly – např. 1 Úvod, 2 Teoretická část atd. musí začínat vždy na nové stránce!!!
- Podkapitoly navazují na předchozí text bez nadměrných mezer.
- Citace literárních zdrojů v textu (nikoliv u nadpisů) se uvádí v hranatých závorkách a dle ISO 690.
- V případě použití loga TU v Liberci v záhlaví, případně v zápatí práce, používejte výhradně aktuální logo ([www.tul.cz](http://www.tul.cz) → intranet studenti → propagace).
- Označení univerzity je TU v Liberci, nikoliv TU Liberec.
- Při psaní názvů firem dodržujte jejich označení dle obchodního rejstříku, tzn. např.:  
Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o. (nikoliv Magna), popřípadě to lze řešit následujícím způsobem:  
Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o. (dále jen Magna).
- Text práce je psán v trpném rodě.

### **III. Obsah jednotlivých kapitol práce:**

#### **1 Úvod**

Stejně jako závěr práce je i úvod částí, která není napsána na první pokus. V úvodu, který tvoří zpravidla jednu až maximálně dvě normostrany by měl autor čtenáře seznámit s problematikou, které se bude v práci věnovat. Úvod by měl být přehledem, který uvede do problematiky i méně zasvěceného čtenáře (snažte se vytáhnout podstatné informace a ty dát do souvislosti). **Celý text musí být logicky provázaný. Věty musí na sebe navazovat.** Vyprávíte příběh a jeho **pointou jsou Vaše cíle**. Úvod by neměl být členěn jinak než pomocí odstavců (nadpisy nižších kapitol nebo zvýraznění jsou nežádoucí).

*Do úvodu práce patří:*

- stručné seznámení čtenáře s problematikou,
- stanovení cíle práce,
- čitelný text,

- vhodně zvolená slovní kombinace,
- popsání logického členění celé práce může být také součástí úvodu, autor může seznámit čtenáře s informacemi, které najde na začátku teoretické části a které budou v části praktické. Platí však pravidlo přiměřeného množství informací, které má autor podat.

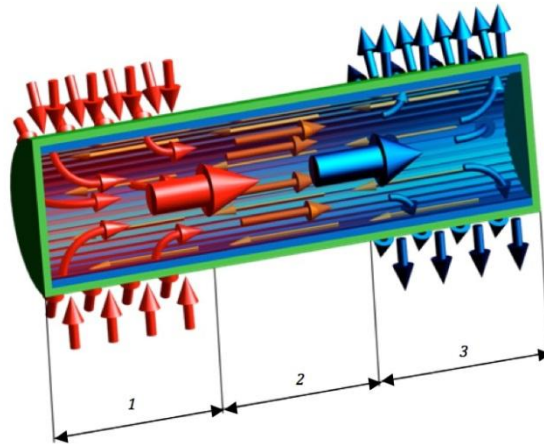
## 2 Teoretická část

Teoretická část je *zájmové území* (pokud píšete o vstřikování plastů, je jistě nezbytná charakteristika tohoto procesu) a *literární rešerše*, zabývající se řešenou problematikou. Jde o souhrn informací, které jste o dané problematice získali z nejrůznějších informačních zdrojů. Chybou je opomenout zásadní práce, které se tématu věnovaly. Pokud však někoho citujete, musí být pro to důvod. **Jednotlivé kapitoly a jejich obsah musí na sebe logicky navazovat.** Je vhodné, aby vyhledáváním údajů z literatury Vaše práce nekončila, údaje je vhodné kriticky zhodnotit a případně ukázat, kde jsou ještě mezery našeho poznání. Tato část práce má prokázat, že se její autor orientuje v řešené problematice.

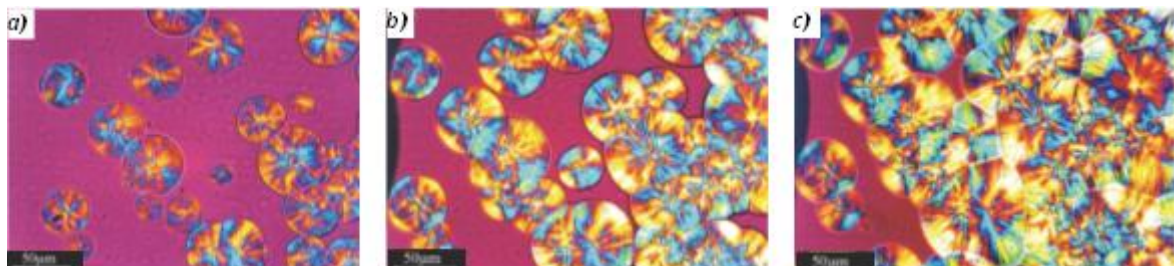
### Poznámky k sazbě textu:

- Členění podkapitol používejte max. do čtyř úrovní (za číslem kapitoly, resp. podkapitoly se tečka nepíše), např.:
    - 2 Teoretická část
    - 2.1 Krystalizace polymerů
    - 2.1.1 Kinetika krystalizace polymerů z taveniny
    - 2.1.1.1 Mechanismus a rychlost nukleace
    - 2.1.1.2 Růst krystalitů
    - 2.1.1.3 Celková rychlost krystalizace
    - 2.1.2 Heterogenní krystalická morfologie reálných výstřiků
  - Každý obrázek, tabulka a rovnice musí být v textu citovány s udáním zkratky pro obrázek (obr.) či tabulku (tab.), za kterou se nepíše zkratka pro číslo (tedy obr. 2.5, nikoliv obr. č. 2.5). Je vhodnější v každé hlavní kapitole používat zvláštní číslování s předřazením čísla příslušné kapitoly.
  - Za číslem obrázku či tabulky musí být uveden podrobný popis včetně legendy a podmínek měření.
  - Obrázky a tabulky mají být umístěny co nejbliže jejich první zmínce v textu.
  - Obrázky a tabulky je vhodné od textu oddělit jednou mezerou, popř. odsazením.
  - Obrázky i tabulky v práci musí být číslovány, aby nedošlo k záměně, např.:
    - Obr. 1 Schéma technologického procesu
    - Tab. 1 Mechanické vlastnosti polypropylenu
- Číslování obrázků a tabulek lze také rozdělit v teoretické a experimentální části, např.:
- Obr. 2.1 Schéma technologického procesu
  - Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti polypropylenu
  - Obr. 3.1 Schéma technologického procesu
  - Tab. 3.1 Mechanické vlastnosti polypropylenu
- Obrázky jsou číslovány pod obrázkem, viz příklad.
  - Tabulky jsou číslovány nad tabulkou.
  - Popisky obrázků a tabulek jsou v českém jazyce.
  - Popisky obrázků a tabulek je vhodné psát o jednu velikost menším písmem (zabráníte tím splynutí popisu s vlastním textem práce).

- Grafy označujeme jako obrázek (např. Obr. 3.2 Grafická závislost modulu pružnosti na teplotě).
- V případě mikroskopických snímků je důležitou součástí měřítko (nebo velikost zvětšení).
- Symboly na obrázku a v tabulce jsou součástí popisu obrázku, resp. tabulky (viz příklad).



**Obr. 2.6** Princip činnosti kapilární tepelné trubice [59]  
1 – výparná část, 2 – adiabatická část, 3 – kondenzační část



**Obr. 3.4** Průběh izotermní krystalizace PP bez nukleačních činidel při  $T=473\text{ K}$  (SM) [84]  
a) po 15 min; b) po 65 min; c) po 115 min

- Rovnice musí být číslovány a pod rovnicemi je vhodné vysvětlit označení symbolů formou legendy, viz následující příklad:

$$Q_{pl} = \frac{m_v}{t_c} \cdot (H_t - H_v) \quad (2.7)$$

kde značí:	$Q_{pl}$	-	tepelný tok mezi taveninou polymeru a stěnou formy [W],
	$m_v$	-	hmotnost výstřiku včetně vtokové soustavy [kg],
	$t_c$	-	dobu vstřikovacího cyklu [s],
	$H_t$	-	měrnou entalpii taveniny [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ].
	$H_v$	-	měrnou entalpii výstřiku při vyjmutí z formy [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ].

- Jeden symbol označuje jednu veličinu, nikoliv dvě a více.
- Daný symbol je vysvětlen u rovnice, ve které se vyskytuje poprvé, dále se v práci již znovu neuvádí.
- Je nutné sjednotit jednotky veličin v seznamu zkratk a symbolů, v legendách u rovnic apod.

### 3 Experimentální část

Tato kapitola tvoří podstatnou a důležitou část Vaší práce. Zde budete v podstatě psát to, co jste dělali, jak a proč. Vše by mělo být důkladně popsáno, aby kdokoli mohl Vaše pokusy či pozorování v budoucnosti zopakovat. Nezapomeňte popsat charakter vzorků, materiál, specifické

přístrojové vybavení (pokud je to důležité, např. pro srovnání výsledků s publikovanými údaji, uveďte i přesný typ přístroje), popis postupu experimentů včetně fotodokumentace a jiné podrobnosti. Snažte se ale být poměrně struční a věcní. *Materiál a metodika* by neměly tvořit většinu práce. Součástí praktické části jsou zjištěné výsledky experimentů. Měly by tu být především výsledky, které čímsi přispívají k zodpovězení Vašich otázek (např. zjištěné fyzikální vlastnosti materiálu, apod.). Protokoly z měření patří spíše do *příloh*.

#### 4 Diskuse výsledků

Diskuze může být jako samostatná kapitola, nebo součástí kapitoly 3. Vždy s ohledem na řešenou problematiku a po domluvě s vedoucím práce. Diskuze výsledků je však nutná.

*Diskusi* nepodceňujte. Je to nejdůležitější část práce, neboť autor v diskusi ukazuje, jaký má přehled o problematice daného úkolu a ukazuje své schopnosti třídít a srovnávat data a vyvozovat z nich platné a správné závěry. V diskusi musí autor zhodnotit získané výsledky, provést jejich výklad a uvést je do kritického kontextu s informačními zdroji, ať již souhlasného nebo nesouhlasného, v druhém případě by se měl pokusit vysvětlit proč tomu tak je. Může se stát, že po napsání *Diskuse* budete muset přepsat třeba celý *Úvod*. Napsání kvalitní *Diskuse* vyžaduje spoustu času. Počítejte s tím. Za jeden večer to nenapíšete.

Citát: „Z krátké diskuse číší stupidita autora, který vlastně neví co diskutovat.“ Dr. B. Mandák, botanický ústav AVČR

Při diskusi je vhodné respektovat strukturu výsledků. Je možné ji členit na jednotlivé kapitoly nebo psát jako jediný celek. **Diskuse obsahuje shrnutí faktů a srovnání výsledků.** Bývá dobré začít shrnutím a interpretací Vašich výsledků. Součástí diskuse je také vysvětlení rozporů, nejasností či protichůdných výsledků. Vyhýbejte se zbytečným spekulacím, které nemají podklad. Můžete formulovat také nové hypotézy, které by měly být v budoucnu testovány.

#### 5 Závěr

Závěr je ve své podstatě krátkým, jasným a přehledným shrnutím dosažených výsledků v rámci řešené problematiky v rozsahu jedné až dvou stran. Nezapomeňte, že jste si v *Úvodu* vytyčili otázky a cíle. Na ně je třeba reagovat. Můžete i naznačit, jakým směrem by se teď po Vašich "zásadních objevech" měl ubírat další "výzkum".

#### Použitá literatura

Můžete si sice svobodně zvolit styl citací, ale rozhodně musí být všechny použité literární zdroje citovány shodně a v souladu s ISO 690. Zkontrolujte, že zde máte všechny (a naopak právě jen ty) zdroje, které se objevily v textu. Citování literárních zdrojů, které nebyly nepoužity, ať už z důvodu vyvolání pocitu že autor „zná literaturu“ nebo rozšíření („nafouknutí“) seznamu citací, bývá častým prohrěškem. Použité citace uveďte v chronologickém pořadí tak, jak byly v textu použity.

#### Přílohy

Je velmi žádoucí (a pro kvalitní zhodnocení práce někdy i nezbytné) poskytnout primární data a protokoly v příloze. Přílohám předchází jejich seznam.

**Na následujících stranách je pro názornost ukázáno řazení jednotlivých stran Vaší BP:**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Název fakulty



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Liberec 2018

**Jméno a příjmení**



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta strojní



# Vlastnosti kompozitů na bázi polypropylenu s částicovým plnivem rostlinného původu

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Petr Valeš**  
*Vedoucí práce:* Ing. Luboš Běhálek, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Valeš**  
Osobní číslo: **S13000222**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Vlastnosti kompozitů na bázi polypropylenu s částicovým  
plnivem rostlinného původu**  
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracování rešerše na dané téma.
2. Vstřikování zkušebních těles kompozitů v závislosti na množství obsahu částicového plniva.
3. Stanovení fyzikálních a mechanických vlastností kompozitních struktur.
4. Zpracování experimentálních dat, diskuse dosažených výsledků, závěr.



Rozsah grafických prací: **obrázky, tabulky**  
Rozsah pracovní zprávy: **cca 30 stran textu**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] KAW, Autar K. *Mechanics of composite materials*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. ISBN 0-8493-1343-0.
- [3] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů: klasická a speciální*. Vyd. 1. Brno: VUT, 2003.
- [4] ZHENG, Rong, TANNER, Roger I. A Xi-Jun FAN. *Injection Molding*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. ISBN 978-3-642-21262-8.
- [5] Technické normy ČSN EN ISO.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Běhálek, Ph.D.**  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. listopadu 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. dubna 2018**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

**Anotace**

Bakalářská práce se zabývá přípravou a hodnocením fyzikálních, termických, reologických a mechanických vlastností kompozitů s částicovým plnivem rostlinného původu v závislosti na jeho hmotnostním obsahu. Pro experimentální měření byla použita polypropylenová (PP) matrice a drcené skořápky ořechu jako plnivo.

Klíčová slova: polymerní kompozity, polypropylen, mechanické vlastnosti, částicové plnivo, drcené ořechové skořápky

**Annotation**

This bachelor thesis deals with the preparation and evaluation of physical, thermal, rheological and mechanical properties of composites with particulate filler of plant origin, depending on weight percentage content. Polypropylene (PP) matrix and grinded nuts shells as a filler were used for experimental measurements.

Key words: polymer composites, polypropylene, mechanical properties, particulate filler, grinded nuts shells

## **Poděkování - nepovinné**

Poděkujte, komu chcete. Bývá však dobré si vzpomenout na ty, kdo Vám byli nápomocni. Vhodné je též uvést, ze kterých grantů byla práce financována. Pozor na to, že poděkování si lidé velmi rádi čtou. Rozsáhlá epická šíře nebývá obvykle nejlepším řešením.

*Citát: „Autoři diplomových prací občas nemají soudnost a v nepoměru s nízkou kvalitou své práce děkují i odborníkům, které tak mohou lehce nas...at, protože tím z nich dělají hlupáky. Prof. Chlupáč, UK Praha*

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	8
1 Úvod .....	10
2 Teoretická část .....	11
2.1 Kompozitní materiály .....	11
2.1.1 Matrice kompozitů .....	12
2.1.2 Výztuž kompozitů .....	15
2.2 Polymerní částicové kompozity .....	18
2.2.1 Plnivo .....	18
2.2.2 Tvar částic .....	18
2.2.3 Velikost částic a jejich distribuce .....	19
2.2.4 Příprava částicových kompozitů .....	20
2.2.5 Mezifáze .....	20
3 Experimentální část .....	22
3.1 Charakteristika použité polymerní matrice .....	22
3.2 Charakteristika adhezivního činidla .....	23
3.3 Charakteristika plniva .....	24
3.4 Příprava kompozitu granulací za studena .....	25
3.5 Výroba zkušebních těles vstřikováním .....	26
3.6 Analýza vlastností kompozitů .....	28
3.6.1 Stanovení hustoty .....	28
3.6.2 Stanovení tahových vlastností .....	29
3.6.3 Stanovení ohybových vlastností .....	31
3.6.4 Stanovení rázové houževnatosti Charpy .....	33
3.6.5 Stanovení vrubové houževnatosti Charpy .....	35
3.6.6 Stanovení tokových vlastností metodou MVR .....	36
3.6.7 Studium termických a strukturálních vlastností vzorků metodou diferenciální snímací kalorimetrie (DSC) .....	37
4 Vyhodnocení výsledků a jejich diskuse .....	44
4.1 Vyhodnocení hustoty .....	44
4.2 Vyhodnocení tahových vlastností .....	44
4.3 Vyhodnocení ohybových vlastností .....	47
4.4 Vyhodnocení rázové houževnatosti Charpy .....	50
4.5 Vyhodnocení vrubové houževnatosti Charpy .....	50
4.6 Vyhodnocení tokových vlastností .....	51
4.7 Vyhodnocení termických a strukturálních vlastností metodou DSC .....	52
5 Závěr .....	56
Použitá literatura .....	58