

# **Syntetické polymery vyztužené krátkými keratinovými vlákny**

Bc. Karolína Hánová

---

Diplomová práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Karolína Hánová**

Osobní číslo: **T15727**

Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Inženýrství polymerů**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Syntetické polymery vyztužené krátkými keratinovými vlákny**

Zásady pro vypracování:

Cílem teoretické části práce bude rešerše o přípravě kompozitních směsí s přírodními vlákny, zejména keratinovými, jejich charakterizaci a aplikačních možnostech. Cílem experimentální části bude poté příprava kompozitních směsí syntetických polymerů s krátkými keratinovými vlákny a zhodnocení jejich vlastností oproti čistým polymerům.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**WOOL**, Richard P. **Bio-based polymers and composites**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, c2005, 620 s. ISBN 01-276- 3952-7.

**SIMPSON, W a G CRAWSHAW**. **Wool: science and technology**. Cambridge, England: Woodhead, c2002, 368 s. ISBN 08-493- 2820-9.

**GENNADIOS, Aristippos**. **Protein-based films and coatings**. Boca Raton: CRC Press, 2002, 650 s. ISBN 15-871-6107-9.

**DALEV, Pencho G**. **Utilisation of waste feathers from poultry slaughter for production of a protein concentrate**. *Bioresource Technology*. 1994, 48(3), 265-267.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ondřej Krejčí, PhD.**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

**15. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce:

**16. května 2016**

Ve Zlíně dne 1. března 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....20.5.2016.....

.....*Karolína Hánová*.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací;

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

<sup>2)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá modifikací vlastností polypropylenu vyztužením keratinovými vlákny, které jsou vyrobeny z vlny, což je odpadní materiál obsahující bílkovinu keratin. Teoretická část se zabývá shrnutím informací o bílkovině keratinu, rozdělení vláken vhodných k použití do syntetických kompozitů a výrobě a použití kompozitů. Praktická část se zabývá přípravou polypropylenových kompozitů vyztužených keratinovými vlákny a vyhodnocením jejich vlastností – hustota, obsah popela, DSC, tahová zkouška a tvrdost.

Klíčová slova: Polypropylen, vlna, keratinová vlákna.

## **ABSTRACT**

This master thesis deals with the modification of polypropylene properties reinforced by keratin fibers, which are made from wool, which is a waste material containing the protein keratin. The theoretical part summarize information about the protein keratin, the distribution of fibers suitable for use in synthetic composites and manufacture and use of the composites . The practical part is focused to the preparation of polypropylene composites reinforced by keratin fibers and evaluation of their properties – density, ash content, DSC, tensile test and hardness.

Keywords: Polypropylene, wool, keratin fibres.

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Ondřeji Krejčímu, PhD. za odborné vedení a cenné rady k mé práci, také za pomoc, trpělivost a věnovaný čas při experimentech.

Poděkování patří také mé mamince, mé rodině a mému příteli za trpělivost a podporu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 POLYPROPYLEN.....</b>	<b>12</b>
1.1 TYPY POLYPROPYLENU.....	12
1.2 VÝROBA PP .....	13
1.3 ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÍ PP .....	14
<b>2 VLNA.....</b>	<b>15</b>
<b>3 BÍLKOVINY .....</b>	<b>18</b>
<b>4 VLÁKNA.....</b>	<b>23</b>
4.1 PŘÍRODNÍ VLÁKNA .....	23
4.2 SKELNÁ VLÁKNA.....	24
<b>5 KOMPOZITY .....</b>	<b>25</b>
5.1 KOMPOZITY VYZTUŽENÉ PŘÍRODNÍMI VLÁKNY .....	25
5.2 KOMPOZITY VYZTUŽENÉ SKLENĚNÝMI VLÁKNY .....	26
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>27</b>
<b>6 PŘÍPRAVA KOMPOZITŮ .....</b>	<b>28</b>
6.1 POLYMER.....	28
6.2 PŘÍPRAVA KERATINOVÝCH VLÁKEN .....	28
6.2.1 Úprava vlny .....	28
6.2.2 Odtučnění vlny .....	29
6.2.3 Mletí.....	29
6.3 MÍCHÁNÍ.....	30
6.4 LISOVÁNÍ.....	31
<b>7 METODY HODNOCENÍ.....</b>	<b>33</b>
7.1 HUSTOTA.....	33
7.2 STANOVENÍ POPELA.....	33
7.3 DSC – DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE .....	33
7.4 TAHOVÁ ZKOUŠKA .....	34
7.5 TVRDOST SHORE D.....	35
<b>8 VÝSLEDKY .....</b>	<b>36</b>
8.1 HUSTOTA.....	36
8.2 STANOVENÍ POPELA.....	36
8.3 DSC – DIFERENCIÁLNÍ SKENOVACÍ KALORIMETRIE .....	37
8.4 TAHOVÁ ZKOUŠKA .....	43
8.5 TVRDOST SHORE D.....	47
<b>9 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ.....</b>	<b>48</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>66</b>



<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>69</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>71</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>73</b>

## ÚVOD

Ovčí vlna je materiál s výbornými vlastnostmi, díky kterým našla vlna využití nejen v textilním průmyslu, ale i v kosmetickém průmyslu a jako tepelná a zvuková izolace budov. Hlavním problémem vlny, ale i jiných zdrojů keratinu, je nespočetné množství produkce ročně, z které se vybírá jen nejkvalitnější materiál. V dřívější době se velké množství keratinového odpadu, převážně z peří, používal jako součást krmných směsí, avšak toto využití je Evropskou unií zakázáno. A tak vzniká velké množství odpadu, který končí ve spalovnách nebo na skládkách. Takové využití materiálu je nevhodné a je to plýtvání cenného materiálu. Proto má keratin velké zastoupení v oblasti výzkumu, perspektivní místo má keratin jako výztuž syntetických kompozitů i ve výrobě keratinových filmů.

Diplomová práce se zabývá přípravou keratinových vláken, které jsou použity jako výztuž pro polypropylen. Dále se zabývá změnou vlastností kompozitů oproti samotnému polypropylenu a ovlivnění vlastností kompozitu podle změny podmínek míchání kompozitů, měněny byly doba míchání, počet otáček a hlavně obsah plniva. Měřena byla hustota, obsah popela, tvrdost, teplota tání a krystalizace z DSC, napětí a prodloužení při přetržení, modul pružnosti a maximální napětí a prodloužení z tahové zkoušky.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYPROPYLEN

Polypropylen patří mezi polyolefiny, stejně jako polyetylen, polyisobutylen nebo poly-1-buten.

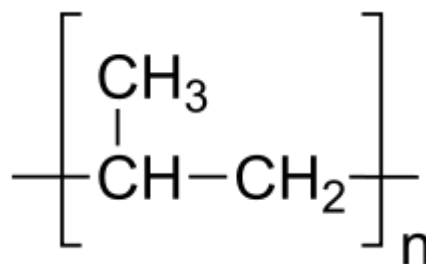
PP je krystalický nepolární polymer, díky krystalinitě je neprůhledný. Je dloužitelný, a tak je vhodný pro výrobu vláken. Vzhledem k nepolárnosti má výborné elektroizolační vlastnosti, má nízkou hustotu a je citlivý k fotooxidaci. Dobře odolává vroucí vodě, je svařitelný a po povrchové úpravě jej lze slepovat a potiskovat. Ve formě vláken se obtížně barví.

Dá se modifikovat kaučuky nebo plnit různými plnivy. Přidáním kaučuku se zvýší houževnatost, klesá krystalinita, ale sniží se mechanické vlastnosti a modul pružnosti.

Porovnání s HDPE:

PP má nižší hustotu, menší propustnost pro plyny a horší odolnost povětrnosti.

Má lepší odolnost trhlinám a menší sklon ke korozi za napětí (nejmenší z polyolefinů). Má vyšší teplotu tání a teplotu měknutí. Má vyšší tvrdost a pevnost v tahu i tlaku.



Obrázek 1 Strukturální vzorek polypropylenu [5]

### 1.1 Typy polypropylenu

Typy polypropylenu se liší zejména takticitou, to můžeme vidět na obrázku číslo 2.

#### Izotaktický PP

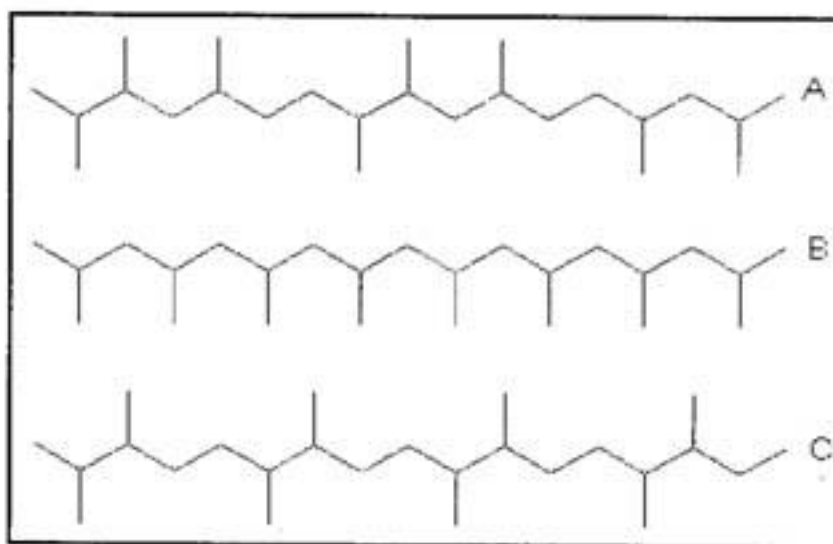
Izotaktický polypropylen má všechny methylové skupiny na stejné straně roviny (atomy řetězce leží v jedné rovině proložené základním řetězcem). Řetězec je stočený do šroubovice. Polypropylen s vyšším podílem izotaktického podílu má lepší vlastnosti. Je nerozpustný v heptanu, s porovnáním s ataktickým PP má vyšší krystalinitu, krystalinita se pohybuje v rozmezí 60 – 70 %, a vyšší hustotu, hustota se pohybuje kolem 0,91 g/cm<sup>3</sup>. [1, 2, 4]

### Syndiotaktický PP

Má methylové skupiny střídavě pod a nad rovinou. Má horší mechanické vlastnosti a náročnější syntézu než izotaktický, i proto se v technickém měřítku významně neprosadil. [1, 2, 4]

### Ataktický PP

Má nepravidelné uspořádání methylových skupin. Je rozpustný v heptanu, hustota ataktického PP se pohybuje kolem  $0,86 \text{ g/cm}^3$  a má téměř nulovou krystalinitu. Ataktický podíl sice zlepšuje rázovou houževnatost, ale snižuje teplotu tání a zhoršuje mechanickou pevnost a odolnost rozpouštědlům. Ataktický podíl je nežádoucí a proto je snaha jej snižovat již při výrobě. [1, 2, 4]



Obrázek 2 Struktura polypropylenu; A – ataktický PP, B – izotaktický PP, C – syndiotaktický PP [6]

## 1.2 Výroba PP

Monomer pro výrobu polypropylenu je propylen  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ , který vzniká zpracováním ropy. Polymerace může být iontová srážecí, bloková nebo v plynné fázi, s použitím katalyzátorů (modifikované Ziegler – Natta katalyzátory). Polymerační techniky s různými katalyzátory mohou řídit molekulovou hmotnost s úzkou distribucí. [1, 2, 29]

### 1.3 Zpracování a použití PP

Polypropylen se zpracovává běžnými zpracovatelskými technologiemi, převážně vstřikováním a vytlačováním, lze jej vyfukovat a tvarovat. Válcovat lze jen modifikovaný PP a lisování je omezeno teplotou kvůli termooxidaci. Polypropylen se zvlákňuje z taveniny.

Polypropylen má široké uplatnění. Vyrábějí se z něj například trubky, fólie, desky, obalové fólie, varné sáčky (na rýži), vázací pásy, netkané textilie, vlákna (oblečení, ponožky), koberce, motouzy, automobilový průmysl (například přístrojová a palubní deska, ventilátory, nárazníky, vnitřní vybavení, součásti světel a volantu a další). Uplatnění má polypropylen i v elektronice (součásti vysavačů, mixerů), ve výrobě hraček, i ve zdravotnictví – díly injekčních stříkaček (díky odolnosti sterilizačním teplotám). [1, 2, 3, 4]

Některé obchodní označení: Mosten – Litvínov, Tatren – Bratislava, Borealis – Vídeň. [2]

## 2 VLNA

Vlna se získává stříháním živé či mrtvé ovce nebo chemickou cestou ze stažené ovce. Stříháním ovcí se získá vlna ve formě rouna, které tvoří souvislou vrstvu spojenou vlasovým tukem a potem. Ovce se stříhá jednou ročně a podle druhu, pohlaví a stáří ovce je hmotnost rouna 3 – 6 kg. Po ostříhání se musí vlna vyprat od nečistot.

Nečistoty, které se nachází ve vlně:

- ovčí pot, močovina – odstraní se praním.
- ovčí tuk (10 – 20 %) – esterifikované a volné mastné kyseliny, steroly, lano – kyseliny, odstraňování praním. Zpracovávají se na lanolin, který se využívá v kosmetice.
- náhodné nečistoty – rostlinné zbytky, prach, dehet – odstraní se karbonizací v koncentrované kyselině sírové, vypráním a vytřásáním.

Hlavní složkou vlny je keratin, který tvoří 30 – 60 % hmotnosti vlákna. Vlna obsahuje přibližně 60 % vlákna, 15 % vlhkosti, 10 % tuku, 10 % potu a 5 % nečistot.

Vlákno tvoří pigment, keratin a voda. Z prvků má největší podíl uhlík (50 %), kyslík a dusík (40 %) a síra (3 – 4 %).

Složení vlny ovlivňuje několik parametrů, jako pohlaví, druh, stáří ovce, ale také místo chovu a strava. [7 - 11, 13]

### **Vlastnosti vlny**

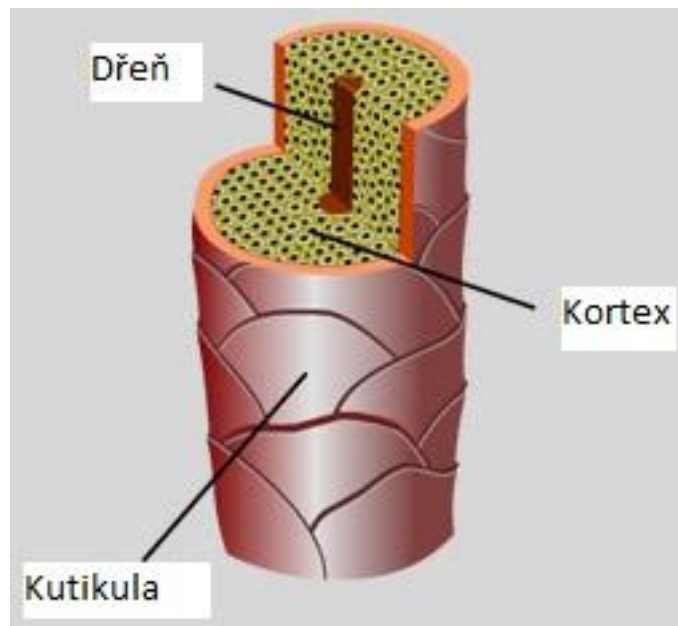
Ovčí vlna má jedinečné vlastnosti i široké možnosti aplikací. Doposud ji nedokázal překonat žádný textilní materiál. Vlna je odolná a pevná díky zesílení kovalentními můstky.

Pozoruhodnou vlastností vlny je hygroskopičnost, je schopna pohlcovat vodu až do 50 % své hmotnosti, přitom zůstává na dotek suchá a zachovává si svůj objem. Vlhkosti se zbaví, když přestane být okolí mokré. Proto oděv z vlněné látky také výborně pohlcuje pot z těla a vypařuje ho do okolí. Pro srovnání, bavlna pohlte vodu jen do 8 % své hmotnosti a syntetické vlákno asi jen do 3 %.

Vlna je odolná proti plísním a je nestravitelná pro hlodavce, ale náchylná vůči molům. Vlna je nehořlavá, obnovitelná a ekologická. [7 - 11, 13, 21]

### Morfologie vlny

Na obrázku číslo 3 můžeme vidět řez vláknem vlny, které se skládá ze tří částí. Vnější část (kutikula) tvoří šupinkovitý povrch vlákna, vnitřní část (kortex = kůrová část) a uvnitř vlákna je dřeň, díky dřeni má vlna tepelné izolační vlastnosti. [14]



Obrázek 3 Řez vláknem vlny [22]

### Využití vlny

V textilním průmyslu má ovčí vlna a výrobky z ní široké a nepostradatelné zastoupení (ve formě vláken i plsti). [7 - 11, 13]

Ovčí vlna je výborným izolačním materiálem, původním úkolem bylo chránit ovce před zimou, teplem, větrem a deštěm. Vlna se používá jako izolace do srubových a roubených obvodových stěn. Chrání obytné prostory v létě před přehříváním a v zimě před promrznutím. Vlnu lze použít jako zvukovou izolaci.

Vlna se dá využít jako dlouhodobý filtr pro čištění vzduchu od pylu, prachu nebo cigaretového kouře, aniž by se stávala toxickou, a tak se po výměně může kompostovat.

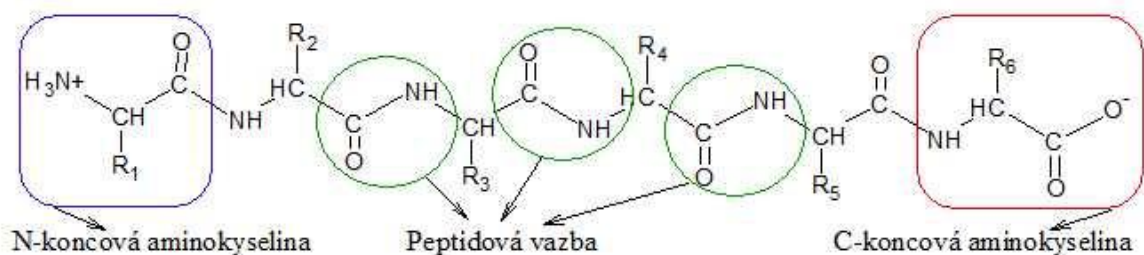
V kosmetickém průmyslu se využívá lanolin, který je vedlejší produkt při praní vlny. Další využití v kosmetickém průmyslu z vlny jsou keratinové hydrolysáty v produktech o péči o pleť a vlasové kosmetice. [7 - 11, 13,21]



Materiály podobné ovčí vlně jsou velbloudí vlna, srst lamy alpaky a lamy vikuně, kašmírová vlna, mohér, kozí srst, kravská a telecí srst, králičí a zaječí srst, koňské žíně. Strukturou se vlně podobají i lidské vlasy. [7, 8, 11]

### 3 BÍLKOVINY

Bílkoviny neboli proteiny jsou základní stavební materiál buňky, která je základní jednotkou živých organismů. Bílkoviny jsou organické sloučeniny, které jsou složeny z aminokyselin spojených peptidovou vazbou (-CO-NH-), neboli vytváří peptidový řetězec, který můžeme vidět na obrázku číslo 4. Peptidový řetězec je tvořen ze stovek až tisíců aminokyselinových zbytků, přehled základních aminokyselin je na obrázku číslo 5. Pořadí aminokyselin v peptidovém řetězci je pro každou bílkovinu jedinečné a geneticky dané. Každá změna může vést k zásadní změně vlastnosti bílkoviny, až k mutaci. Funkce bílkovin v lidském těle je velice rozmanitá, jsou zásadním zdrojem dusíku a esenciálních aminokyselin, slouží jako enzymy (např. trypsin), regulují průběh dějů v živých organismech (hormony), mají podpůrnou funkci (např. kolagen), transportují látky (např. hemoglobin) aj. [17 – 19]



Obrázek 4 Peptidový řetězec [18]

#### Rozdělení bílkovin

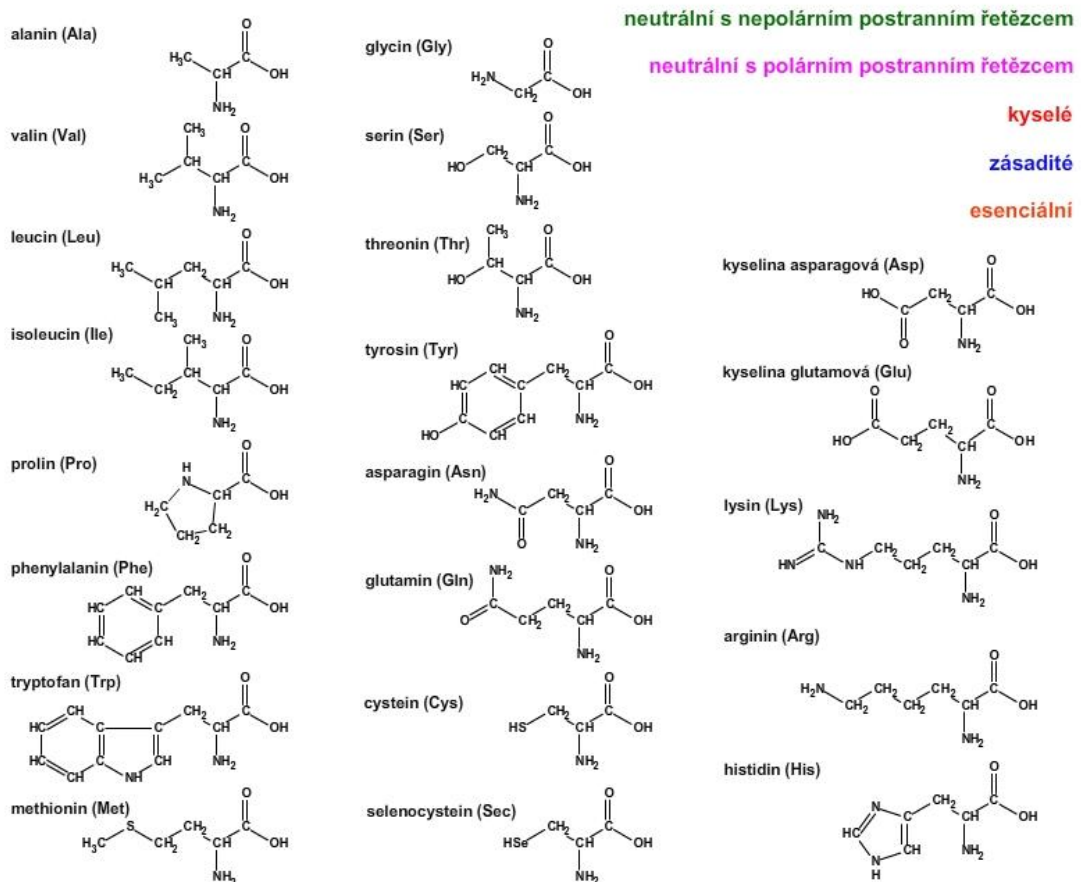
Podle počtu aminokyselin v peptidovém řetězci rozlišujeme dipeptidy (2 aminokyseliny), oligopeptidy (méně než 10 aminokyselin), polypeptidy (10 až 50 aminokyselin) a bílkoviny (více než 50 aminokyselin).

Podle tvaru rozlišujeme bílkoviny na fibrilární (například keratin, kolagen, elastin), které mají natažené peptidové řetězce a na globulární (albuminy), které mají peptidové řetězce sbalené do klubíčka.

Podle složení můžeme bílkoviny rozdělit na jednoduché, které obsahují pouze aminokyseliny a na složené, které kromě aminokyselin obsahují i nebílkovinnou složku. Je-li nebílkovinnou složkou sacharid, označuje se složená bílkovina glykoprotein (například imuno-

globulin), kde převažuje bílkovinná složka, ve složené bílkovině, ve které převažuje sacharid, se označuje proteoglykan. Složená bílkovina s fosfátovou složkou se označuje jako fosfoprotein (například kasein, vitein), navázání lipidu k bílkovině se označuje lipoprotein. K bílkovině se můžou vázat i ionty kovů, takové složené bílkoviny se označují metaloproteiny, do kterých se řadí i hemoglobin a transferin. [17 – 19]

### Přehled základních aminokyselin



Obrázek 5 Přehled základních aminokyselin [18]

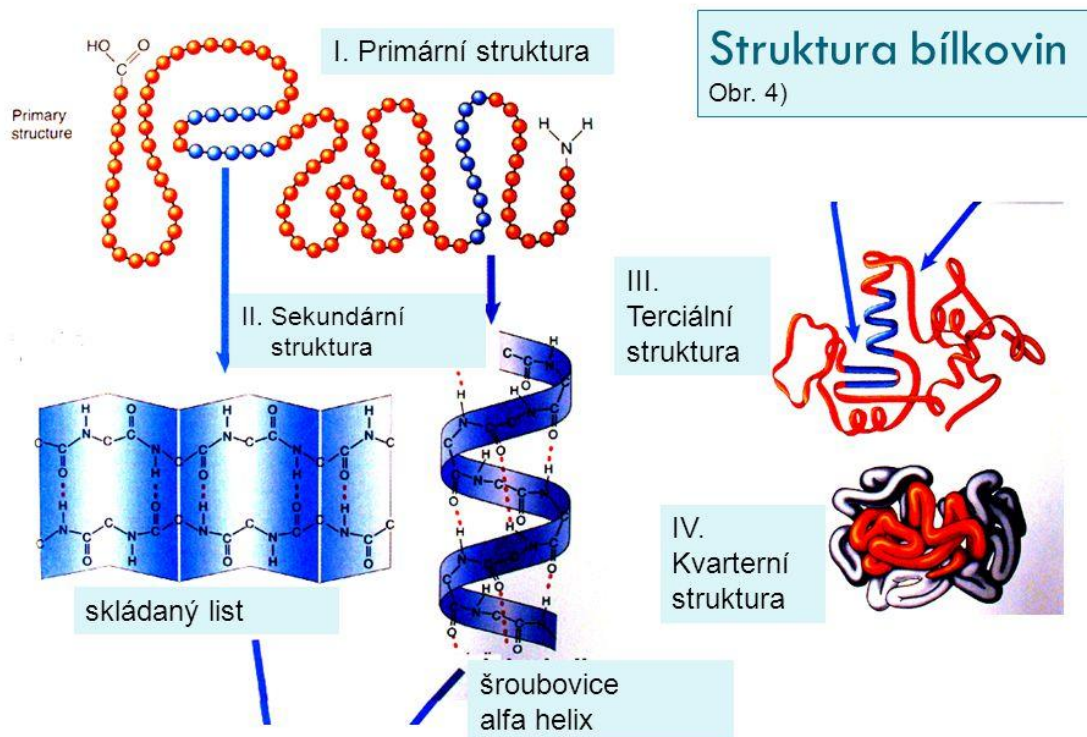
### Struktura bílkovin

K popisu prostorového uspořádání bílkovin se rozlišují 4 úrovně: primární, sekundární, terciární a kvartérní struktura, jak můžeme vidět na obrázku číslo 6.

Primární struktura je dána sekvencí aminokyselin v peptidovém řetězci. Sekundární struktura je prostorové uspořádání peptidových řetězců po vzniku vodíkových vazeb mezi protilehlými skupinami NH a CO. Výsledkem vzniku vazeb jsou dvě struktury:  $\alpha$ -helix, kde je

peptidový řetězec stočený do šroubovice, a  $\beta$ -struktura (= struktura skládaného listu), kdy je peptidový řetězec skoro rozvinutý v podobě skládaného listu.

Terciární struktura je prostorové uspořádání aminokyselinových zbytků umístěných v lineární sekvenci daleko od sebe zpevněné vodíkovými, popřípadě disulfidickými můstky. Někdy je obtížně definovatelná hranice mezi sekundární a terciární strukturou. Kvarterní struktura udává vyšší celky, které vznikají reakcí jednotlivých řetězců do komplexu, které jsou stabilizované převážně nekovalentními vazbami. [17 – 19]



Obrázek 6 Struktura bílkovin [21]

## Keratin

Keratin patří mezi vláknité (fibrilární) bílkoviny. Keratin se může považovat spíše za řadu vzájemně se lišících bílkovin než považovat za jednu bílkovinu. Tyto bílkoviny mají společné znaky, jako je odolnosti proteolytickým enzymům, nerozpustnost ve vodě a přítomnost příčných disulfidických vazeb. Díky vazbám se po zesíťování bílkoviny spojí do pro-

storové sítě, ve které se ale stanou součástí velké makromolekuly a ztratí svou identitu. Proto se musí disulfidické můstky rozštěpit, rozštěpení může proběhnout oxidačním způsobem, redukčním (thionukleárním) způsobem nebo enzymaticky (použitím speciálních enzymů, které jsou schopny štěpit disulfidické můstky). Produkty štěpení se nazývají keratinové hydrolysáty, ty jsou rozpustné a podle rozdílu v rozpustnosti se rozlišují na tři frakce:  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$  – keratinové hydrolysáty.

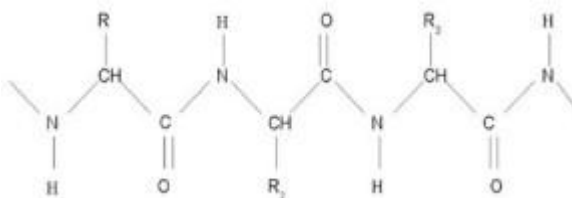
Keratin je základní stavební látkou všech vyšších obratlovců, kde plní krycí a mechanickou funkci. Keratin se vyskytuje jako odpad v masném a kožedělném průmyslu, a to jako peří, srst, koňské žíně a hřívky, rohy, kopyta a vlna. Keratin je také základní složkou vlasů, chlupů a nehtů.

Keratinový roztok se používá na výrobu mikrokapsulí, enkapsulují se zejména léčiva, barviva, vůně, ochucovadla, tuky a oleje. Keratinové hydrolysáty se využívají jako povlaky na ryby a maso nebo v kosmetických přípravcích. V zemědělství se keratin využívá na výrobu dusíkatých hnojiv, dříve se keratin získaný z peří používal jako součást krmných směsí. [11, 12, 21]

### Primární struktura keratinu

Primární struktura keratinu je tvořena aminokyselinami, které jsou navzájem spojeny peptidickými vazbami. Primární strukturu keratinu je znázorněna na obrázku číslo 7.

Keratin se od ostatních bílkovin (např. kolagenu, elastinu) liší tím, že obsahuje velký počet aminokyselin obsahující síru, zejména cystein, cystin a metionin. Díky těmto aminokyselinám obsahující síru má keratin schopnost vzájemně vázat aminokyseliny disulfidickými můstky. Podle obsahu síry v keratinu se může keratin rozdělit na měkký a tvrdý keratin. Měkký keratin obsahuje do 2 % síry a tvrdý keratin obsahuje až 20 % síry.



Obrázek 7 Primární struktura keratinu [16]

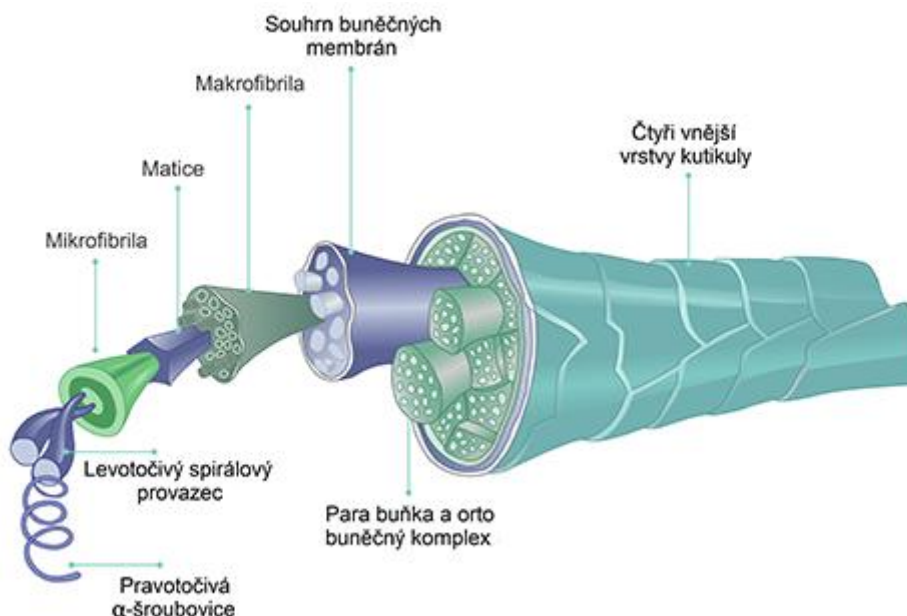
### Sekundární struktura keratinu

Sekundární struktura je dána složením aminokyselin. U keratinu se vyskytují čtyři konformace –  $\alpha$  keratin,  $\beta$  keratin,  $\gamma$  keratin a amorfní keratin. Nejčastěji se vyskytující je  $\alpha$  keratin, vyskytuje se u savců a obsahuje pravotočivé  $\alpha$  helikální prostorové uspořádání. Méně se vyskytující je  $\beta$  keratin, který můžeme naléznout u ptáků a plazů, je uspořádán do struktury skládaného listu. Keratin, který má globulární tvar se označuje jako  $\gamma$  keratin, je pro něj typická nízká molekulární hmotnost a vysoký obsah síry. Amorfní keratin nemá pravidelnou strukturu.

### Terciární struktura

Terciární struktura je tvořena levotočivým superhelixem, ten se skládá ze tří pravotočivých  $\alpha$  helixů. Superhelixy se dále spojují, čtyři navzájem stočené superhelixy vytváří protofibrilu, která je základní jednotkou mikrofibril. Ze dvou středových protofibril a sedmi kolem nich je tvořena mikrofibrila. Jednotky terciární struktury jsou kromě disulfidických můstků zpevněny i vodíkovými můstky. [11, 12,14, 16]

Na obrázku číslo 8 můžeme pozorovat strukturu vlny, která je tvořena keratinem.



Obrázek 8 Struktura vlny [15]

## 4 VLÁKNA

Vlákna můžeme rozdělit na přírodní a chemická (umělá). Přírodní se dále mohou rozdělit na rostlinná (bavlna, len, konopí, juta, sisal, kokosová vlákna) a živočišná (hedvábí a vlákna ze zvířecí srsti jako vlna, mohér, kašmír). Chemická vlákna jsou vyrobená z anorganických materiálů (skleněné), organických materiálů (celulóza) nebo polymerů (PE, PP, PA, PES, PAN, aj.). Výhodou chemicky vyrobených vláken je, že lze upravit požadované vlastnosti, na rozdíl od přírodních, u kterých jsou vlastnosti dané. [23 – 25]

### 4.1 Přírodní vlákna

Výhodou přírodních vláken oproti chemickým je snadná obnovitelnost a jsou ekologické. Nevýhodou je to, že jsou dány vlastnosti, které si u chemických vláken lze nastavit.

Přírodní vlákna lze rozdělit podle původu na rostlinné a živočišné.

Mezi živočišné se řadí keratinová vlákna: vlny (ovčí, mohérová, kašmírová, angorská, lamy alpaky a jiné), srst (hovězí, kozí, zaječí, králičí) a fibroinová vlákna (produkce hmyzu): pravé přírodní hedvábí (bourec morušový) a tussah (bourec jablečný, dubový). [23 – 25]

Rostlinná vlákna se mohou využít z různých částí rostlin: ze semen (bavlna), lodyh (juta, konopí, len), listů (sisal, manilské konopí) i plodů (kokosová vlákna). [23 – 25]

Přírodní vlákna, jako je celulóza a proteinová vlákna, poskytují výztuže komoditních termoplastů (PE a PP), které jsou šetrné k životnímu prostředí. Přírodní vlákna mají nižší hustotu než anorganické výztuhy, jako jsou mastek, sklo nebo uhlíčan vápenatý. [27]

#### **Keratinová vlákna**

Patří mezi přírodní vlákna živočišného původu.

Lze je získat ze srstí zvířat – ovčí vlny, kozí, králičí a hovězí srsti, koňských žíní, ale i velbloudí či lamí srsti. [23 – 25]

## 4.2 Skelná vlákna

Skelná vlákna lze vyrábět z několika druhů skla, s označením E, S, A, C podle vhodné aplikace. E sklo je vhodné pro elektroizolační aplikace, C sklo je chemicky odolné, pro použití v kompozitech je vhodné E sklo a S sklo, které snáší teplotu až 1000 °C. [23 – 25]

Materiál pro výrobu je písek, vyrábí se tažením z taveniny. Poté se vlákno ochladí a povrchově se upraví vrstvou, chránící před oksličováním a zvyšující adhezi a smáčivost maticemi. [23 – 25]

Skelná vlákna mají malou odolnost únavě, hustota vláken se pohybuje kolem 2,5 g/cm<sup>3</sup>. Má tuhost podobnou hliníku a asi třetinovou oproti tuhosti oceli. [14]



## 5 KOMPOZITY

V posledních desetiletích došlo k pokroku v použití kompozitních materiálů ve stavebních aplikacích, v rámci technických kruhů přinesly kompozity revoluci tradičních materiálů a umožnily řadu nových a zajímavých možností. [26]

Kompozitní materiál je složený materiál, složený ze dvou nebo více složek. Kompozit se skládá z matrice (termosetová nebo termoplastická) a vyztužovacího materiálu, vyztužovací materiál může být ve formě vláken, částic nebo rohože. [23, 25]

Kompozity se používají pro zlepšení vlastností, snížení ceny nebo hmotnosti. K výhodám kompozitů patří rozměrová přesnost, vysoká pevnost v tahu, vysoká rázová houževnatost, vynikající elektroizolační vlastnosti, nízká teplotní vodivost, odolnost vůči chemikáliím, malá teplotní roztažnost, nízká hustota a dlouhá životnost. Jsou využívány jako náhrada kovů (zejména hliníku) v letectví – redukce hmotnosti, vyšší chemická a tepelná odolnost (PEEK plněný uhlíkovými nebo skleněnými vlákny). [23]

V současné době se spotřeba termoplastických kompozitních materiálů zvyšuje ve srovnání s termosetovými kompozity (ty dominovaly v letech kolem roku 1995) z důvodu ekologických problémů, i vzhledem k vývoji vysoce výkonných inženýrských polymerů, jako polyetereterketon (PEEK), polyfenylensulfid (PPS) nebo polykarbonát (PC), které mají vynikající mechanické vlastnosti. I polypropylen, který má univerzální konstrukční schopnosti na molekulární úrovni, vykazuje mnoho prospěšných vlastností, vysokou tepelnou stabilitu, snadné zpracování a odolnost proti korozi a je vhodný pro přípravu kompozitů. [29]

Výroba kompozitů: pultruze, ovíjení, laminování (i ruční), lisování, vstřikování.

Použití v letectví, automobilovém (kryty klimatizace, nosič zavazadel), železničním a lodním průmyslu, výroba sportovního náčiní (hokejové hole, tenisové rakety, šípky do luků, stanové výztuže), protipovodňových systémů, stavebnictví, elektrotechnika, konstrukce v chemickém průmyslu a jiné. [23, 25]

### 5.1 Kompozity vyztužené přírodními vlákny

Dobré interakce vlákno / polymer lze dosáhnout, když jsou obě složky chemicky kompatibilní. Rostlinná vlákna na bázi celulózy (jako je dřevo, len, juta a sisal) a anorganická plnivá jsou hydrofilní. Chceme-li získat chemickou kompatibilitu mezi hydrofilním plnivem a

hydrofobním termoplasty (PE, PP), je vhodné použít přísady, jako jsou vazebná činidla nebo kompatibilizátory (například anhydrid kyseliny maleinové byl použit pro zvýšení vlastností celulózových vláken pro vyztužení PE a PP). Zvýšenou interakci vlákno / polymer můžeme pozorovat pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. [27, 30, 31]

Proteinová vlákna jsou hydrofobní i hydrofilní v závislosti na aminokyselinové sekvenci. Keratinová vlákna získaná z drůbežního peří mají 60 % hydrofobních aminokyselin, zbytek tvoří hydrofilní aminokyseliny, tak lze očekávat, že dojde k chemické kompatibilitě mezi PP a keratinovým vláknem. Pro míchání vlny a polypropylenu lze využít modifikovaný polypropylen anhydridem kyseliny maleinové (MAPP). Obecně platí, že přídavek anhydridu kyseliny maleinové nemá významný vliv na tahové vlastnosti směsi. Bez použití kompatibilizátoru měly kompozity nižší napětí při přetržení než samotný PP, ale přidáním MAPP v malé koncentraci (4 %) se napětí při přetržení kompozitů zvýšilo nad hodnoty samotného PP. [27, 30, 31]

Povrch vláken může sloužit jako nukleační místo pro polymerní krystaly, které se tvoří na povrchu vlákna a jsou odlišné od krystalů vytvořených v polymeru. To znamená, že polymer obklopující vlákna má odlišné vlastnosti než samotný polymer. Transkrystalinita může ovlivnit smykovou deformaci na rozhraní vlákno / polymer. [27, 30]

## 5.2 Kompozity vyztužené skleněnými vlákny

Skelná vlákna (GF) jako výztuž polypropylenu se používají hlavně jako plnivo pro zlepšení mechanických vlastností. Prospěšné vlastnosti umožňují uplatňovat kompozity z polypropylenu vyztužené skleněnými vlákny (GFPP) jako náhradu za kovy. Již několik let se z kompozitů na bázi polypropylenu výztužným skelnými vlákny vyrábí díly pro automobilový průmysl, například systémy rozvodu vzduchu. V automobilovém průmyslu je široká škála aplikací kompozitů s dlouhými skelnými vlákny (LGFPP). Základní mechanické vlastnosti dlouhoválných kompozitů jsou až dvakrát lepší oproti kompozitům s krátkými vlákny. [28, 29]

Polypropylenové kompozity mají své použití v automobilovém průmyslu, ať jsou to kompozity vyztužené skleněnými rohožemi, ale i plněné částicovými plnivy (uhličitán vápenatý nebo mastek). Polypropylenové kompozity mají vysokou pevnost i vysokou tuhost. [28, 29]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 PŘÍPRAVA KOMPOZITŮ

V této kapitole bude popsána příprava keratinových vláken z vlny a příprava kompozitů z polypropylenu a vláken podle různých faktorů.

### 6.1 Polymer

Pro přípravu kompozitů byl použit polypropylen Borealis HD 204 CF.

### 6.2 Příprava keratinových vláken

V této kapitole bude popsána příprava keratinových vláken z vlny.

#### 6.2.1 Úprava vlny

Před samotným odtučněním byla vlna vyprána od nečistot, a to vypráním vlny ve vlažné vodě, poté ve vodě s mycím prostředkem a následným propráním vodou pro odstranění mycího prostředku.

Na obrázku číslo 9 je zobrazena neupravená vlna.



Obrázek 9 Neupravená vlna

### 6.2.2 Odtučnění vlny

Odtučnění bylo provedeno pro odstranění tuku (lanolinu) z vlny. Pro odtučnění vlny bylo použito enzymatické odtučnění enzymem Lipex 100T.

Vypraná vlna byla smíchána s destilovanou vodou v poměru 1:25. Poté pomocí 5M NaOH bylo upraveno pH na hodnotu 8 a následně byl přidán 1 % přídavek enzymu na hmotnost suché vlny. Nádoby s vlnou byly odtučněny po dobu 24 hodin při teplotě 40 °C. Po 24 hodinách byla odtučněná vlna promyta vodou a nechána v horkovzdušné sušárně při teplotě 80 °C po dobu asi 65 hodin a poté byla teplota zvýšena na 103 °C po dobu 24 hodin.

Na obrázku číslo 10 je zobrazena vlna po odtučnění.



Obrázek 10 Vlna po odtučnění

### 6.2.3 Mletí

Vysušená vlna byla pomleta na univerzálním řezacím mlýně s velikostí ok síta 3 milimetry. Univerzální řezací mlýn je zobrazen na obrázku číslo 11.



Obrázek 11 Univerzální řezací mlýn

### 6.3 Míchání

Míchání kompozitů bylo provedeno na stroji Brabender při teplotě 230 °C

Podmínky míchání:

- Obsah vláken – 10, 17,5 a 25 %
- Otáčky – 20, 30 a 40 otáček za minutu
- Doba míchání – 10, 15 a 20 minut

Objem míchací komůrky Brabendru je 45 cm<sup>3</sup>, pro lepší zamíchání bylo zvoleno 42 cm<sup>3</sup>.

Tabulka 1 Podmínky míchání směsí

Směs číslo	Plnivo (%)	Otáčky (ot. / min)	Doba míchání (min)
1	10	20	10
2	10	40	10
3	25	20	10
4	25	40	10
5	10	20	20
6	10	40	20
7	25	20	20
8	25	40	20
9	17,5	30	15
10	17,5	30	15

Po zamíchání byly vylisovány destičky.

#### 6.4 Lisování

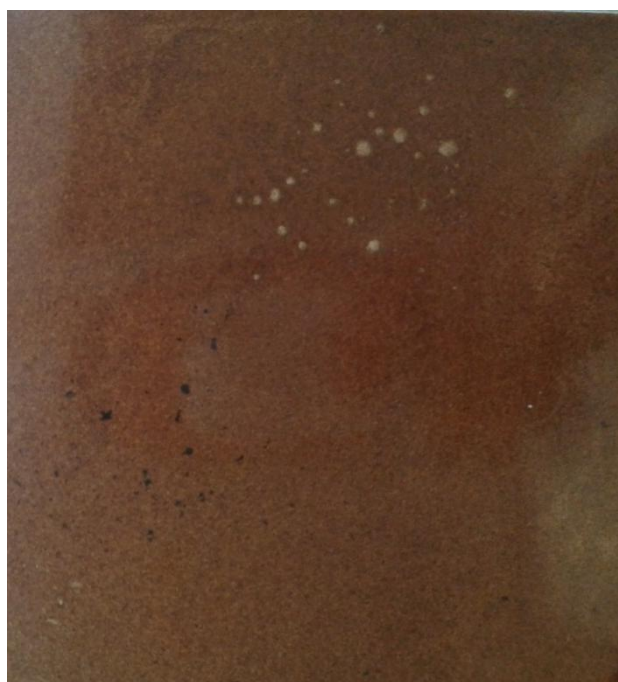
Lisování bylo provedeno v ručním lise při teplotě 220 °C. Navážka byla 17 g na rozměry rámečku 125 x 125 x 1 mm. Doba dotahování byla v rozmezí 1,5 – 2 minut, lisování trvalo 1 minutu a chlazení v hydraulickém lise trvalo 4 – 5 minut.

Na obrázcích číslo 12 a 13 je směs číslo 1 po zamíchání a po vylisování.

Z vylisovaných desek byly následně vysekány lopatky pro tahovou zkoušku.



Obrázek 12 Směs číslo 1 po zamíchání



Obrázek 13 Směs číslo 1 po vylisování



## 7 METODY HODNOCENÍ

### 7.1 Hustota

Stanovení hustoty bylo provedeno pyknometricky. Měření bylo provedeno při teplotě 23,7 °C. Hustota vody při 24 °C je 0,9973 g/cm<sup>3</sup> [32].

Byly měřeny 2 vzorky polypropylenu, vlny a směsi číslo 3, a poté byla spočítána hustota, průměry a směrodatná odchylka.

### 7.2 Stanovení popela

Stanovením popela bylo určeno množství anorganických látek a nečistot. Principem metody je spálení vzorku nad plamenem a vyžhání popela v muflové peci.

Do přežíhaného vychladlého kelímku bylo naváženo přibližně 1,5 gramu vzorku, který byl spálen nad plynovým kahanem a poté byl žhán v muflové peci (teplota 650 °C) po dobu 30 minut. Poté byl popel zvážen a byl vypočítán obsah popela v hmotnostních procentech. Stanovení bylo provedeno na dvou vzorcích a poté byl spočítán průměr.

Výpočet byl proveden podle vzorce:

$$P = \frac{m}{n} * 100 (\% \text{ hm.})$$

Kde m je hmotnost popela a n je navážka vzorku v gramech.

### 7.3 DSC – Diferenciální skenovací kalorimetrie

Měření DSC bylo provedeno na přístroji Mettler Toledo.

Pro vlnu byl proveden jeden ohřev v rozmezí teplot 25 – 300 °C, s rychlostí ohřevu 10 °C za minutu a průtok dusíku v průběhu měření byl 20 mililitrů za minutu.

Pro polypropylen a směsi byly provedeny dva ohřevy a chlazení v rozmezí teplot 25 – 230 °C, s rychlostí ohřevu 10 °C za minutu, průtok dusíku v průběhu měření byl 20 mililitrů za minutu. První ohřev byl proveden pro odstranění tepelné paměti materiálu, proto bylo vyhodnocení provedeno z druhého ohřevu.

Výpočet krystalinity byl proveden podle vzorce:

$$X_c = \frac{\Delta H}{\Delta H_{100}} * 100 (\%)$$

Kde  $X_c$  je krystalinita v procentech,  $\Delta H$  je měrné teplo v J/g a  $\Delta H_{100}$  je měrné teplo pro 100 % krystalický polypropylen (207 J/g).

#### 7.4 Tahová zkouška

Tahová zkouška slouží k hodnocení mechanických vlastností materiálu.

Z vylisovaných desek byly pro tahovou zkoušku vysekány lopatky, průměrná tloušťka lopatky byla asi 1,23 mm, průměrná šířka byla asi 6,30 mm. Z každého vzorku bylo vysekáno 8 lopatek, z kterých bylo vybráno alespoň 5 pro vyhodnocení.

Rychlost posuvu čelistí trhacího stroje byla 100 mm/min.



Obrázek 14 Vysekané lopatky směsi číslo 3 pro tahovou a po tahové zkoušce

## 7.5 Tvrdost Shore D

Před stanovením tvrdosti byly přelisovány 2 mm desky. Lisování bylo provedeno v ručním lise při teplotě 220 °C. Doba dotahování byla v rozmezí 1 minuta a 45 s – 2 minut, lisování trvalo 1 minutu a chlazení v hydraulickém lise trvalo 5 minut.

Stanovení bylo provedeno 5 provedeno podle normy ČSN EN ISO 868.

Poté byl vypočítán medián a směrodatná odchylka.

## 8 VÝSLEDKY

V této kapitole jsou prezentovány výsledky, které byly naměřeny a vypočítány.

### 8.1 Hustota

V tabulce 2 jsou vypočítané hodnoty hustoty.

Tabulka 2 Vypočítané hodnoty hustoty

Vzorek	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )
Borealis	0,8835
Směs 3	0,7505
Vlna	0,2609

Hustota čistého polypropylenu je větší než hustota kompozitu. Hustota polymeru je 0,88 g/cm<sup>3</sup>. Hustota vlny se špatně měřila, ale i tak je výrazně nižší než hustota polypropylenu, což je zřejmě příčinou snížení hustoty kompozitu, která je 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

### 8.2 Stanovení popela

V této kapitole jsou prezentovány výsledky stanovení popela, které jsou shrnuty v tabulce číslo 3.

Tabulka 3 Stanovení obsahu popela

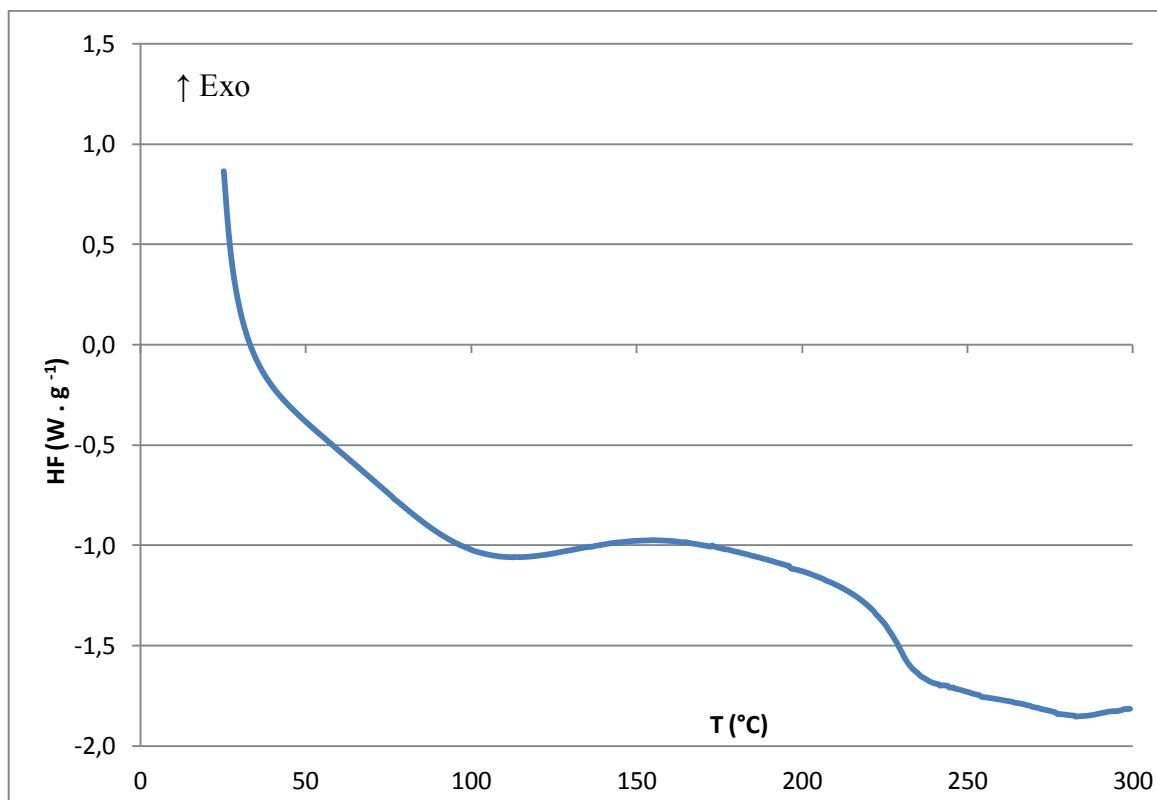
směs	Obsah popela v % hm	SO	směs	Obsah popela v % hm	SO
1	0,17	0,01	7	0,25	0,03
2	0,23	0,01	8	0,24	0,03
3	0,20	0,02	9	0,19	0,02
4	0,25	0,03	10	0,20	0,03
5	0,27	0,00	Upravená, pomletá vlna	1,13	0,06
6	0,35	0,03	Vlna surová	5,36	0,08

Největší obsah popela ze směsí mají směsi číslo 5 a 6, i když obsahují jen 10 % plniva, to může být způsobeno nerovnoměrným rozmícháním vlny ve zvoleném vzorku. O něco menší obsah popela mají směsi 4, 7 a 8, které mají 25 % plniva. Podobný obsah popela má i směs číslo 2, která obsahuje 10 % plniva. Ve středu hodnot obsahu popela jsou směsi 9 a 10. Nejmenší obsah popela má směs číslo 3, obsahující 25 % plniva a směs číslo 1, obsahující 10 % plniva. U neupravené vlny byl stanoven výrazně vyšší obsah popela oproti vlně odtučněné, to může být způsobeno nespalitelnými nečistotami v neupravené vlně.

Vliv obsahu plniva není zcela patrný, to může být způsobeno nerovnoměrným rozmícháním vlny ve zvoleném vzorku.

### 8.3 DSC – Diferenciální skenovací kalorimetrie

V této kapitole jsou vyhodnoceny teploty tání a krystalizace a krystalinity z ohřevu i chlazení.

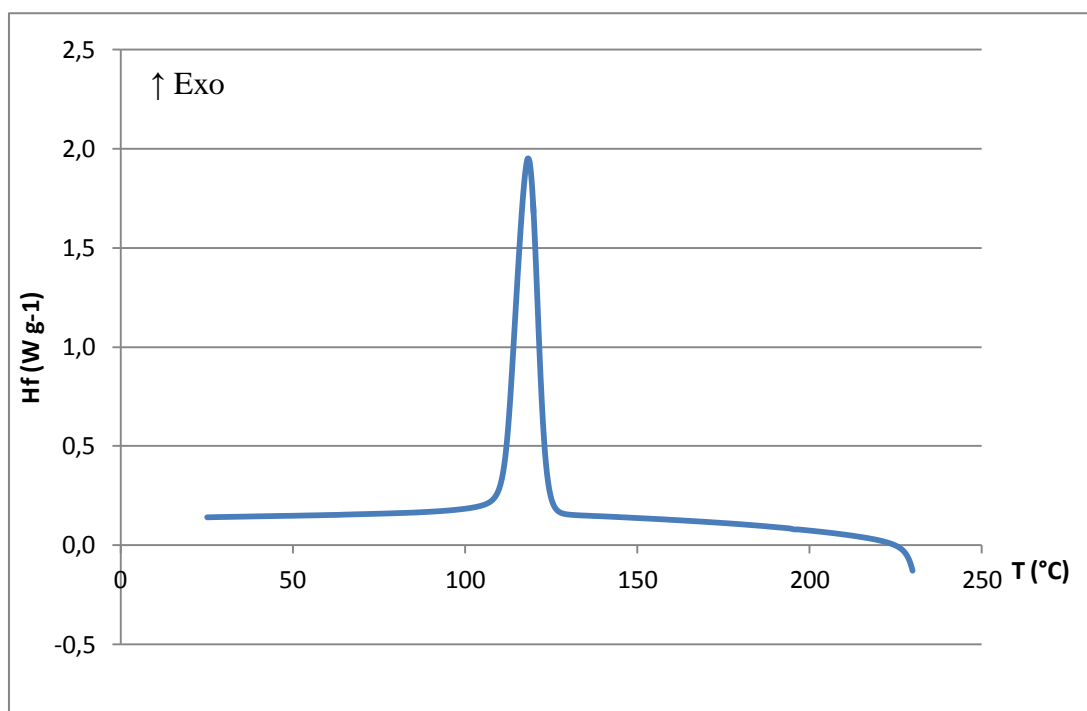


Obrázek 15 Křivka DSC pro vlnu

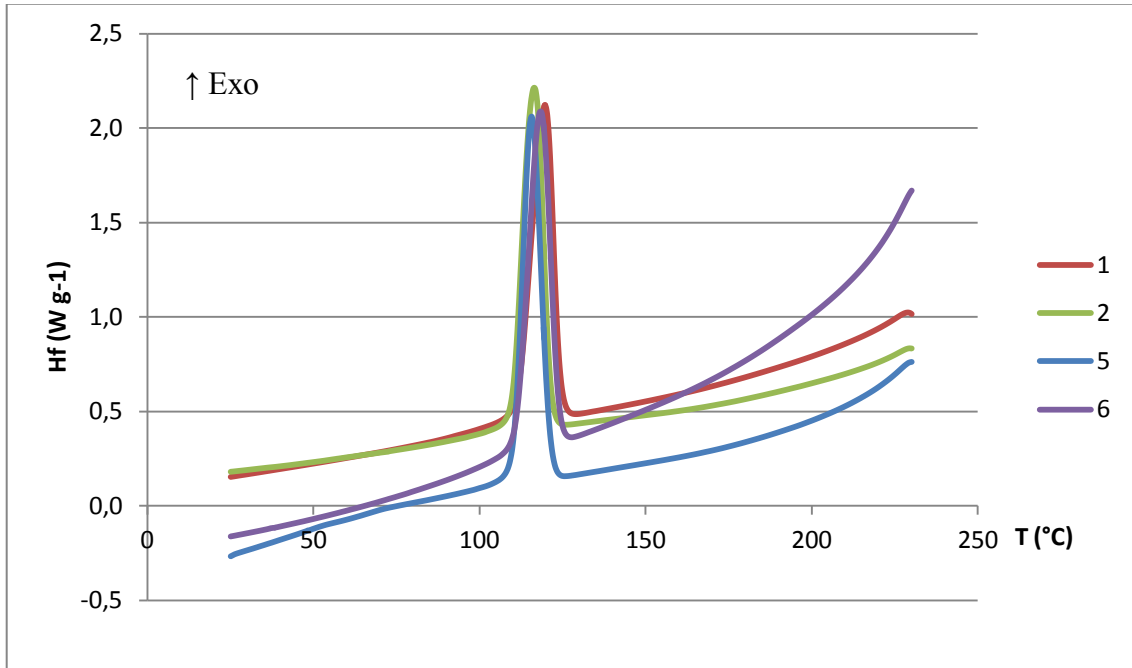
Na obrázku číslo 15 je křivka ohřevu pro vlnu, v grafu jsou patrné 2 poklesy teploty. První pokles je rozmezí teplot 95 – 130 °C, s píkem při teplotě 112,5 °C, pokles znamená odpaření zbytkové vlhkosti, která je vázána vodíkovými můstky. Druhý pokles nastal při teplotě 241,7 °C, což zřejmě odpovídá teplotě skelného přechodu vlny, to znamená, že vlna přechází na kaučukovité chování.

Tabulka 4 Hodnoty krystalinity a teploty tání z ohřevu

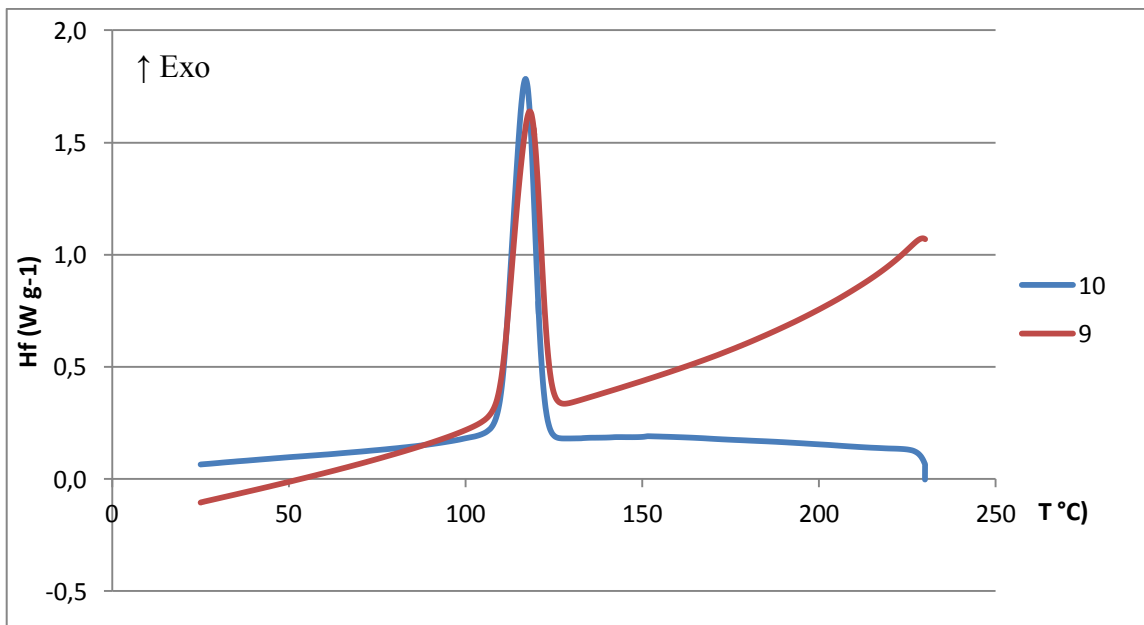
Směs	X <sub>c</sub> (%)	T <sub>t</sub> (°C)
PP	40,46	118,27
1	39,05	119,72
2	38,59	116,48
3	30,33	120,70
4	30,94	115,91
5	38,20	115,58
6	40,46	118,31
7	30,18	117,38
8	29,90	114,06
9	34,68	118,11
10	35,71	116,98



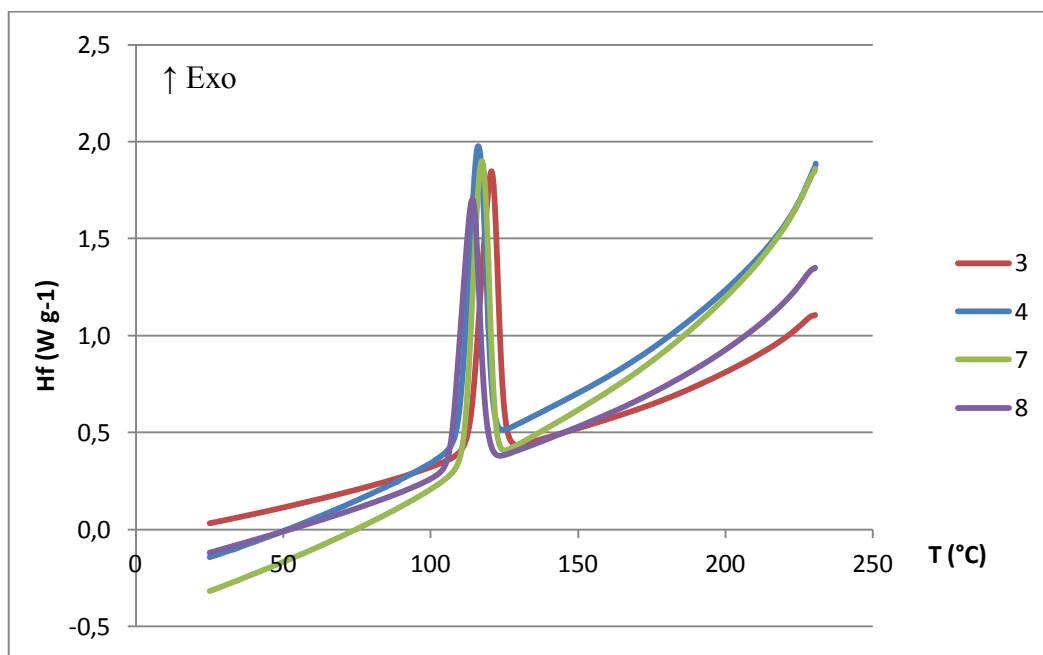
Obrázek 16 Graf ohřevu pro PP



Obrázek 17 Graf ohřevu pro směsi obsahující 10 % plniva



Obrázek 18 Graf ohřevu pro směsi obsahující 17,5 % plniva



Obrázek 19 Graf ohřevu pro směsi obsahující 25 % plniva

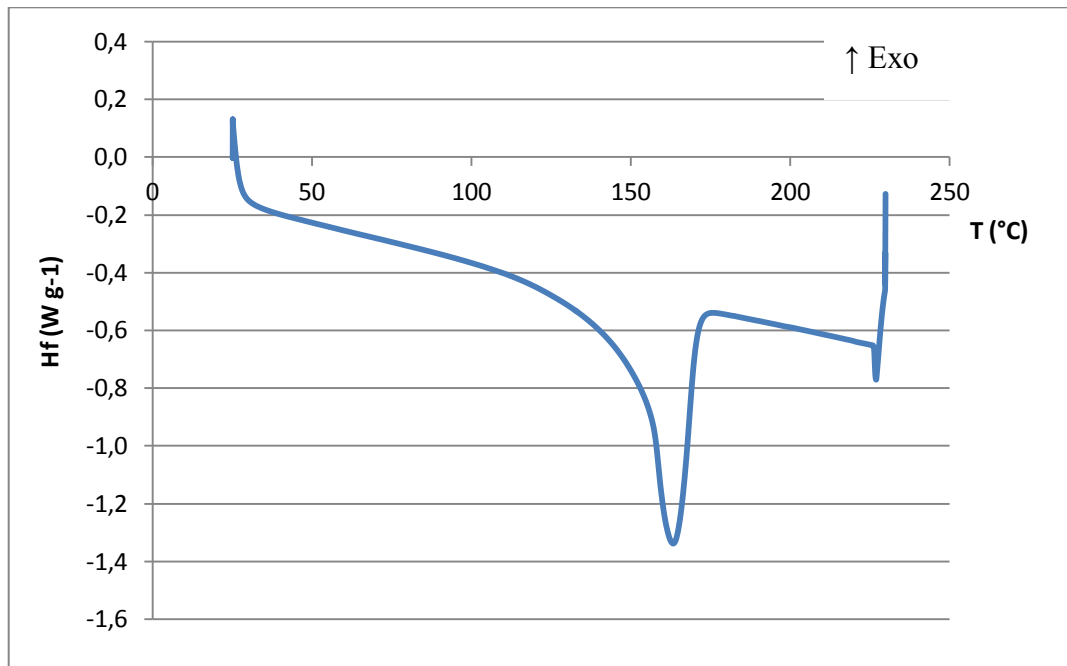
V tabulce číslo 4 byly zobrazeny hodnoty krystalinity a teploty tání z ohřevu. Největší krystalinitu při ohřevu má čistý PP téměř 40,5 %, srovnatelnou krystalinitu má směs číslo 6. Směsi číslo 1, 2 a 5 mají krystalinitu v rozmezí 38 – 39 %. Jsou to směsi s nejmenším podílem plniva. Směsi 9 a 10, s obsahem plniva 17,5 %, mají krystalinitu 34,7 – 35,7 %. Směsi s největším obsahem plniva, to jsou směsi 3, 4, 7 a 8 mají nejnižší krystalinitu, jejich krystalinita se pohybuje kolem 30 %.

Na teplotu tání nemá obsah plniva významný vliv, což je patrné i z obrázků číslo 16 – 19, na kterých jsou grafy z ohřevu čistého PP a směsí podle obsahu plniva. Teploty tání směsí byly stanoveny v rozmezí 115 – 120 °C, což se velmi neliší od teploty tání čistého PP, která je 118 °C.

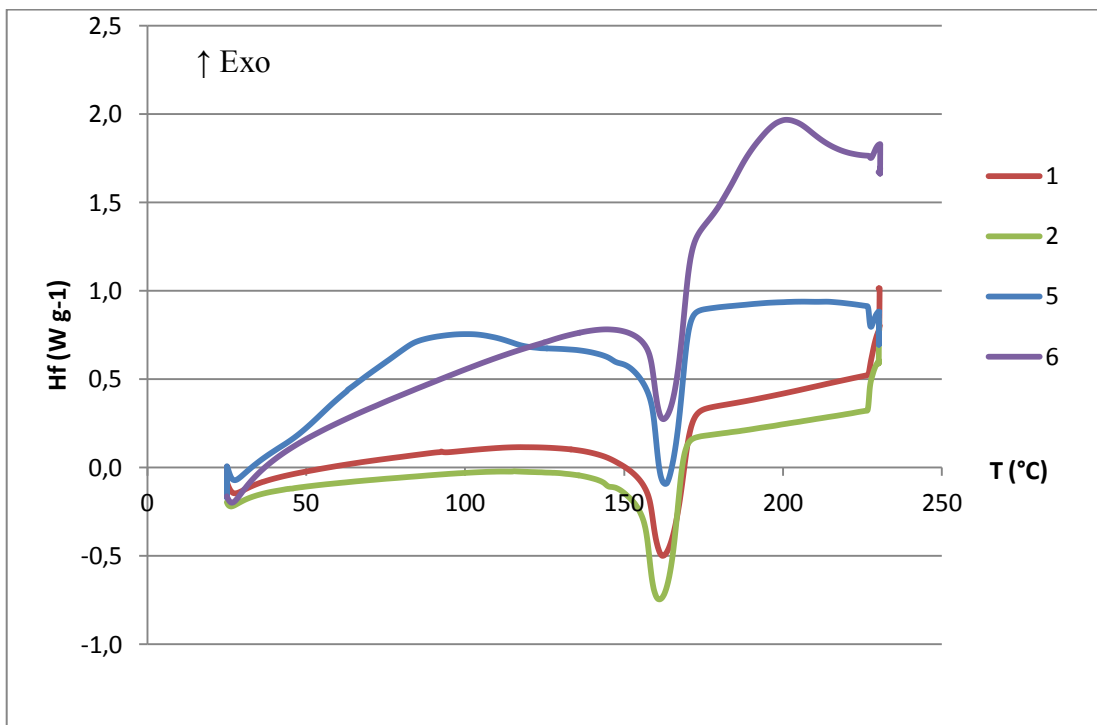


Tabulka 5 Hodnoty krystality a teploty krystalizace z chlazení

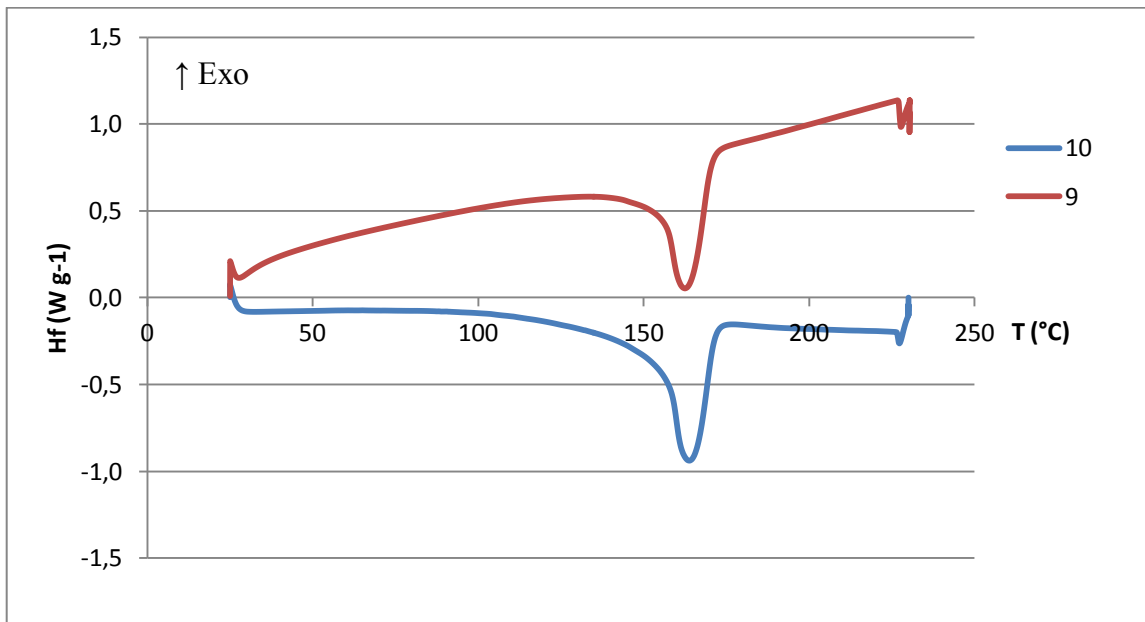
	Xc (%)	Tc (°C)
PP	42,13	163,20
1	34,26	162,31
2	34,02	161,31
3	33,49	162,81
4	26,33	162,50
5	50,49	162,98
6	45,45	163,07
7	26,20	161,21
8	26,12	161,60
9	36,87	162,52
10	35,16	163,71



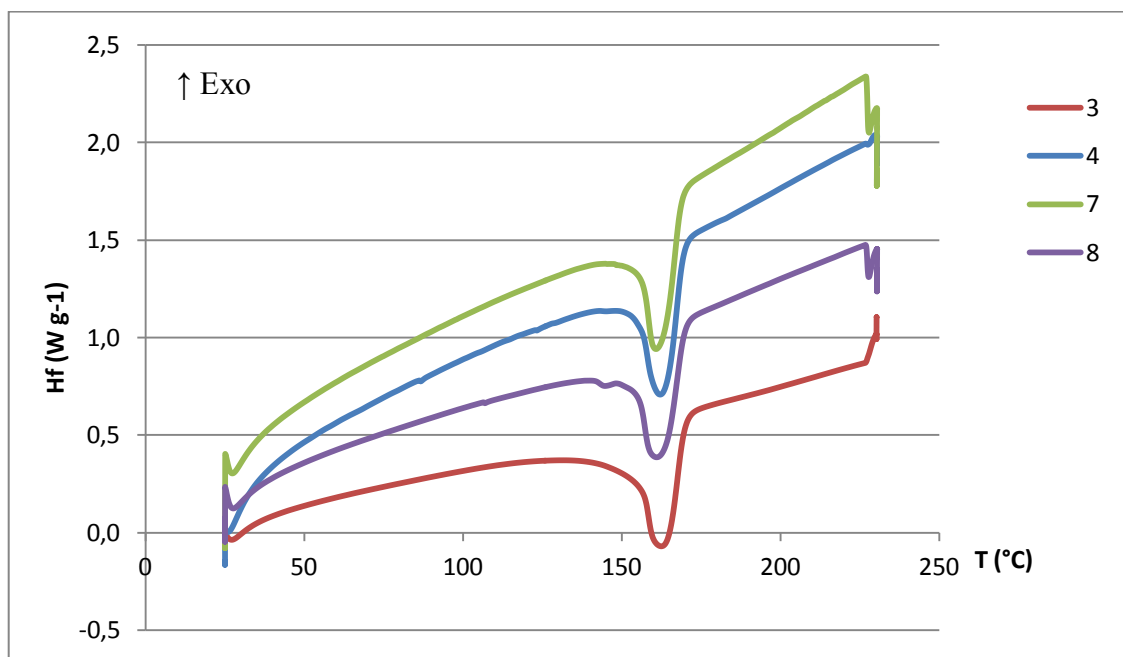
Obrázek 20 Graf chlazení pro PP



Obrázek 21 Graf chlazení pro směsi obsahující 10 % plniva



Obrázek 22 Graf chlazení pro směsi obsahující 17,5 % plniva



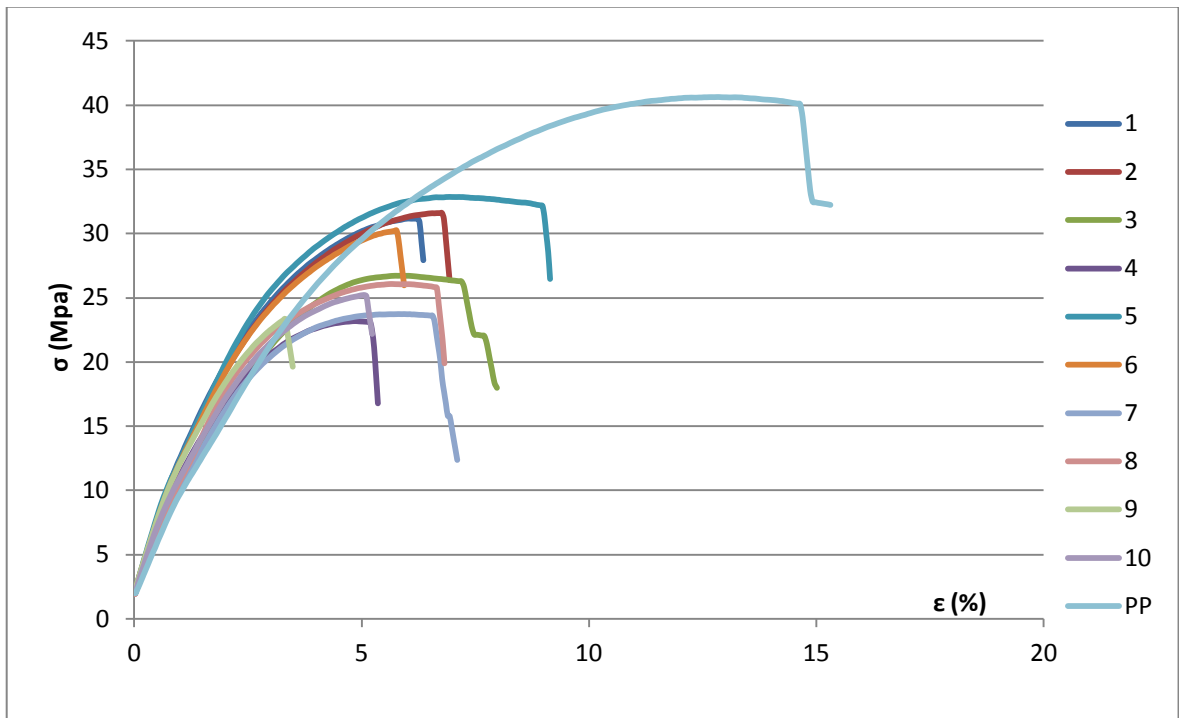
Obrázek 23 Graf chlazení pro směsi obsahující 25 % plniva

V tabulce číslo 5 byly zobrazeny hodnoty krystalinity a teploty krystalizace z chlazení. Krystalinitu při ochlazování má nejvyšší směs číslo 5 (50,5 %), pak číslo 6 (45,5 %), to jsou směsi, které obsahují 10 % plniva a byly míchány 20 minut. Čistý PP má krystalinitu 42 %. Směsi s obsahem plniva 17,5 % mají krystalinitu 35 – 36,9 %. Krystalinitu kolem 34 % mají směsi číslo 1 a 2. Směs číslo 3 má krystalinitu 33 %, směsi číslo 4, 7 a 8 mají krystalinitu kolem 26 %.

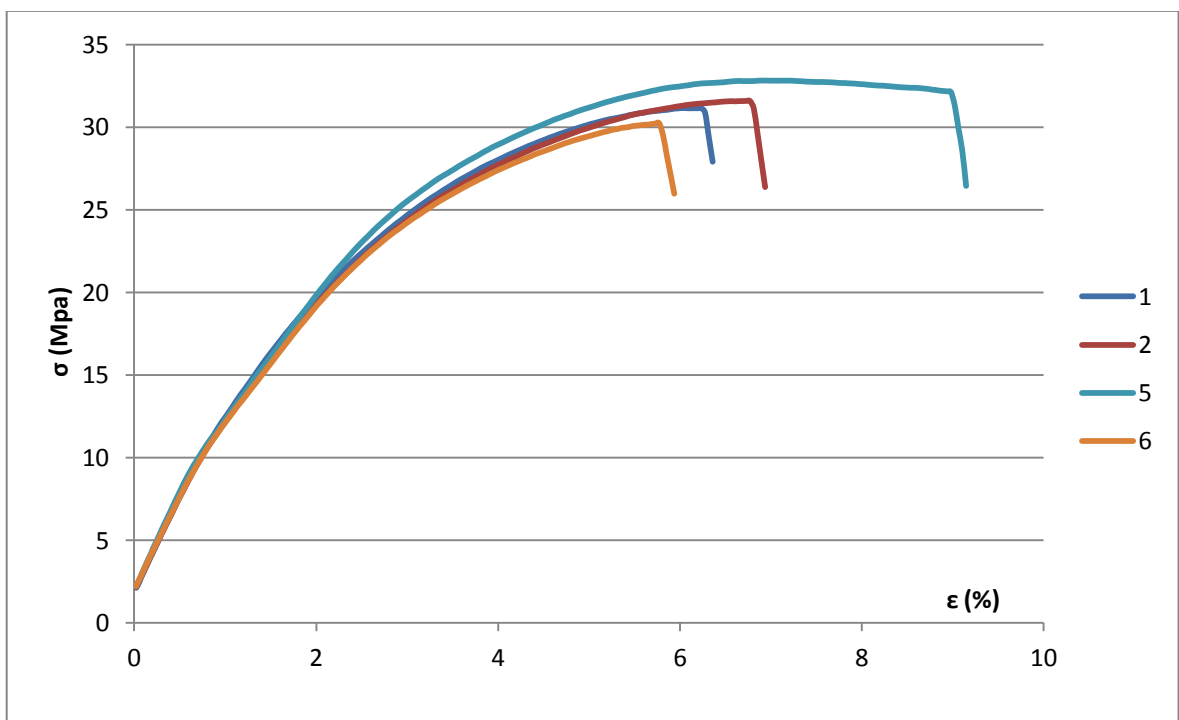
Teploty krystalizace byly stanoveny u směsí v rozmezí 161 – 163 °C, což je velmi blízké teplotě krystalizace PP, která byla stanovena 163 °C. Na teplotu krystalizace nemá obsah plniva významný vliv, to můžeme pozorovat na obrázcích číslo 20 – 23, na kterých jsou grafy z chlazení čistého PP a směsí podle obsahu plniva.

#### 8.4 Tahová zkouška

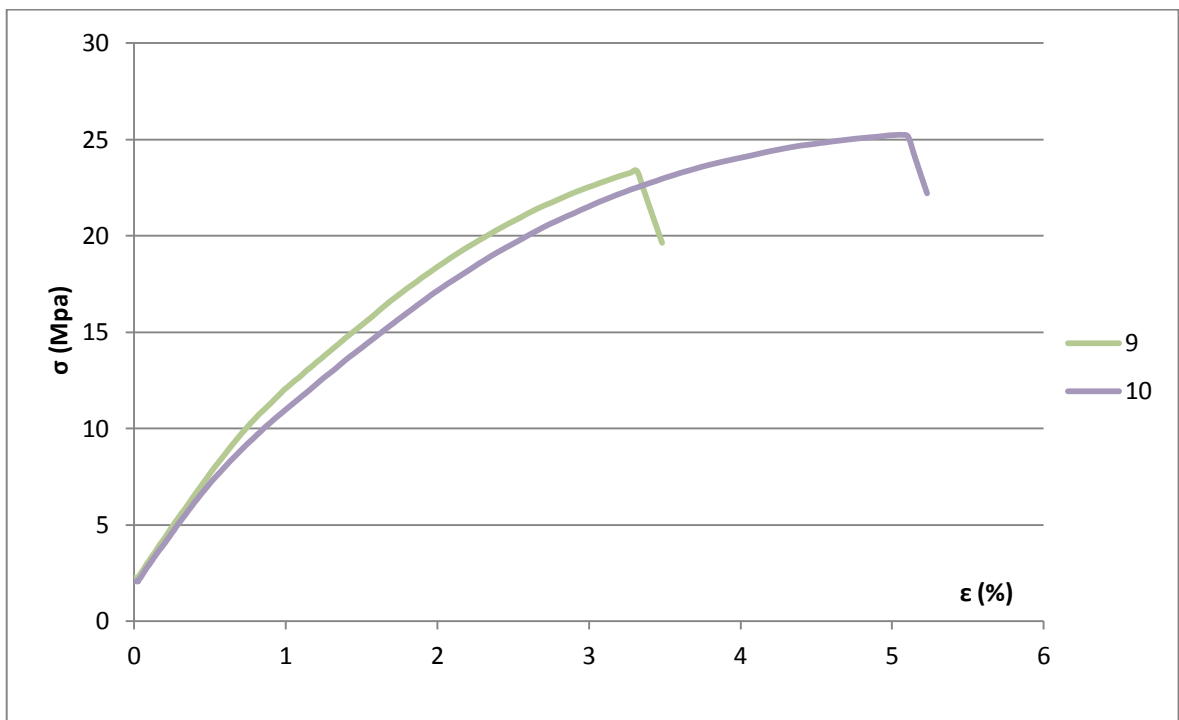
V této kapitole jsou prezentovány výsledky z tahové zkoušky pro vzorky čistého polypropylenu a jeho směsí s keratinovým vláknem. V tabulce číslo 6 jsou vyhodnoceny hodnoty z tahové zkoušky. Na obrázcích číslo 24 – 27 jsou grafy tahových zkoušek.



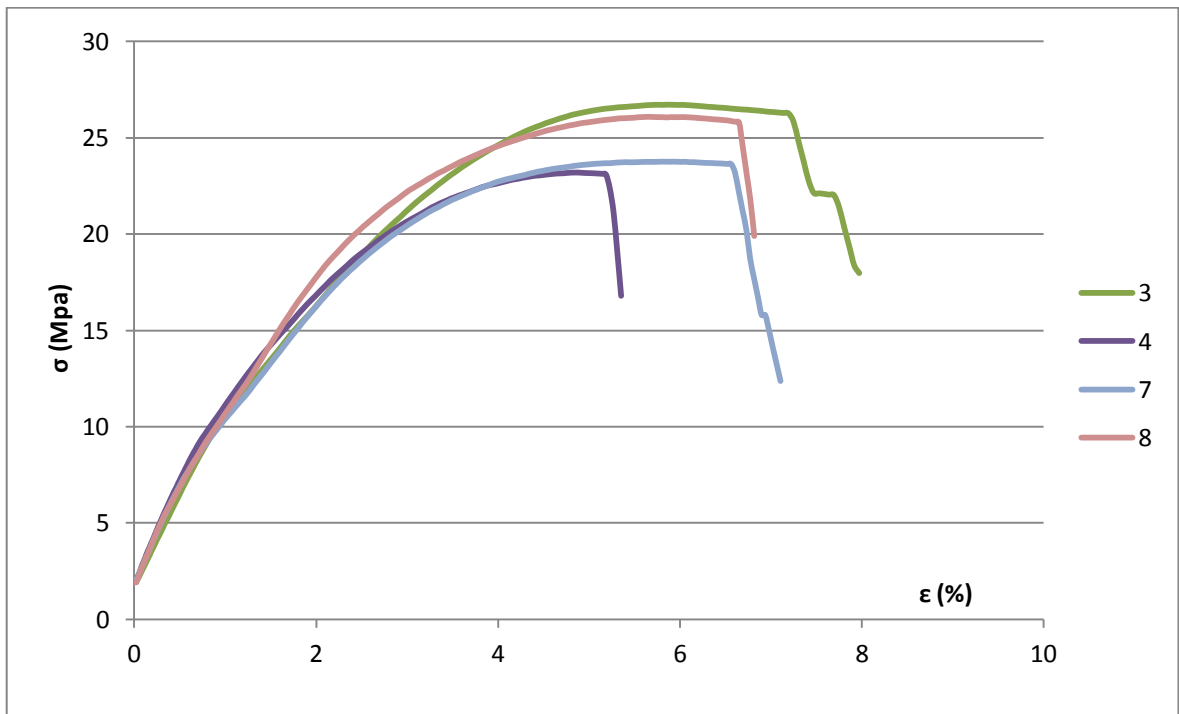
Obrázek 24 Graf závislosti napětí na prodloužení směsí a čistého PP



Obrázek 25 Graf závislosti napětí na prodloužení směsí plněných 10 % plniva



Obrázek 26 Graf závislosti napětí na prodloužení směsí plněných 17,5 % plniva



Obrázek 27 Graf závislosti napětí na prodloužení směsí plněných 25 % plniva

Z obrázku číslo 24 je patrné, že největší maximální napětí má samotný PP, dosahuje maximálního napětí kolem 40 MPa. Kolem 30 – 32 MPa se pohybují směs číslo 1, 2, 5 a 6. Jsou to směsi, které obsahují nejméně plniva (10 %). Kolem 26 MPa jsou směsi 3 a 8, kolem 25 MPa se pohybují směsi 9 a 10. Nejnižší maximální napětí mají směsi 4 a 7, které dosahují maximálního napětí asi 23 MPa.

Největšího prodloužení při přetržení 15,31 % dosahuje čistý PP. Nejbližší hodnotu prodloužení k čistému polypropylenu má směs 5 (10 % plniva), která dosahuje prodloužení při přetržení 9,15 %. Směsi obsahující 25 % plniva, směsi číslo 3, 4, 7 a 8, dosahují prodloužení při přetržení 5 – 8 %. Směsi obsahující 10 % plniva, číslo 1, 2 a 6 dosahují prodloužení při přetržení kolem 6 %. Prodloužení při přetržení směsí obsahující 17,5 % plniva, tedy směsi číslo 9 a 10, se pohybuje kolem 3 – 5 %.

Nejmenší modul pružnosti má čistý PP 840 MPa, nejbližší čistému PP je směs číslo 3, která má modul pružnosti 994 MPa. Další směsi obsahující 25 % mají nejnižší modul pružnosti. Nejvyšší modul pružnosti mají směsi s 10 % plniva, nejvyšší modul pružnosti 1216 MPa má směs číslo 5.

Tabulka 6 Vyhodnocené hodnoty z tahové zkoušky

	$\sigma_{\text{break}}$ (MPa)	SO	$\epsilon_{\text{break}}$ (%)	SO	$\sigma_{\text{max}}$ (MPa)	SO	$\epsilon_{\text{max}}$ (%)	SO	E (MPa)	SO
1	2,5	2,1	6,36	1,7	29,39	4,1	5,76	1,1	1192	70
2	3,4	1,9	6,94	2,5	31,57	1,5	7,00	0,7	1198	52
3	2,4	0,3	7,98	23,8	26,41	0,8	5,95	0,5	994	28
4	1,6	0,6	5,36	0,9	22,82	1,4	5,00	0,5	1160	36
5	1,9	1,5	9,15	3,0	32,38	1,3	6,85	0,4	1216	73
6	2,2	2,1	5,94	1,7	30,93	1,5	5,82	0,8	1174	75
7	1,4	1,6	7,10	1,0	23,68	1,6	5,98	0,6	1095	53
8	3,7	0,8	6,82	1,1	25,75	1,3	5,89	0,6	1197	77
9	2,3	2,1	3,48	2,6	25,64	2,9	3,32	1,2	1170	52
10	2,2	1,2	5,23	0,9	25,70	0,6	5,06	0,4	1140	38
PP	2,3	0,1	15,31	3,3	40,55	1,6	12,70	0,9	840	48

## 8.5 Tvrdost Shore D

Hodnoty tvrdosti Shore D jsou zobrazeny v tabulce číslo 7.

Tabulka 7 Hodnoty tvrdosti

	Tvrdost (Shore D)	odchylka
PP	72,7	0,9
1	75,4	0,3
2	74,4	0,7
3	74,7	1,3
4	76,4	0,7
5	76,0	0,4
6	75,8	0,6
7	76,6	0,4
8	76,3	0,4
9	76,0	1,1
10	75,3	1,0

Směsi 3, 4, 7 a 8, které mají 25 % plniva, vykazují tvrdost v rozmezí 74,7 – 76,6 Shore D. Středně velkou tvrdost (75,3 – 76 Shore D) mají směsi 9 a 10 obsahující 17,5 % plniva. Směsi 1, 2, 5 a 6, které obsahují 10 % plniva, vykazují tvrdost v rozmezí 74,4 – 76 Shore D. Nejmenší tvrdost má čistý polypropylen, který má 72,7 Shore D. Ze směsí má největší tvrdost směs č. 7. Z výsledků je patrné, že přidavek vlněného vlákna zvyšuje tvrdost kompozitu s PP, ovšem není patrný výrazný rozdíl mezi jednotlivými přísadkami plniva.

## 9 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ

Pro vyhodnocení v této kapitole byl použit program Minitab 17.

Statistický program dokáže nasimulovat pokusy především v námi zvolených mezích (minimum – maximum), ale i mimo zadané meze, a tím usnadňuje přípravu pokusů, protože s vyšším počtem faktorů, roste počet pokusů exponenciálně. Pro naši práci byla zvolena metoda plánování experimentů pomocí faktorových pokusů  $2^3$  na dvou hladinách se dvěma středovými pokusy. Vybranými faktory byly otáčky při míchání, doba míchání a obsah plniva.

V tabulce číslo 8 jsou uvedeny vybrané průměrné hodnoty ze zkoušek DSC a tahových zkoušek použité pro vyhodnocení ve statistickém programu.

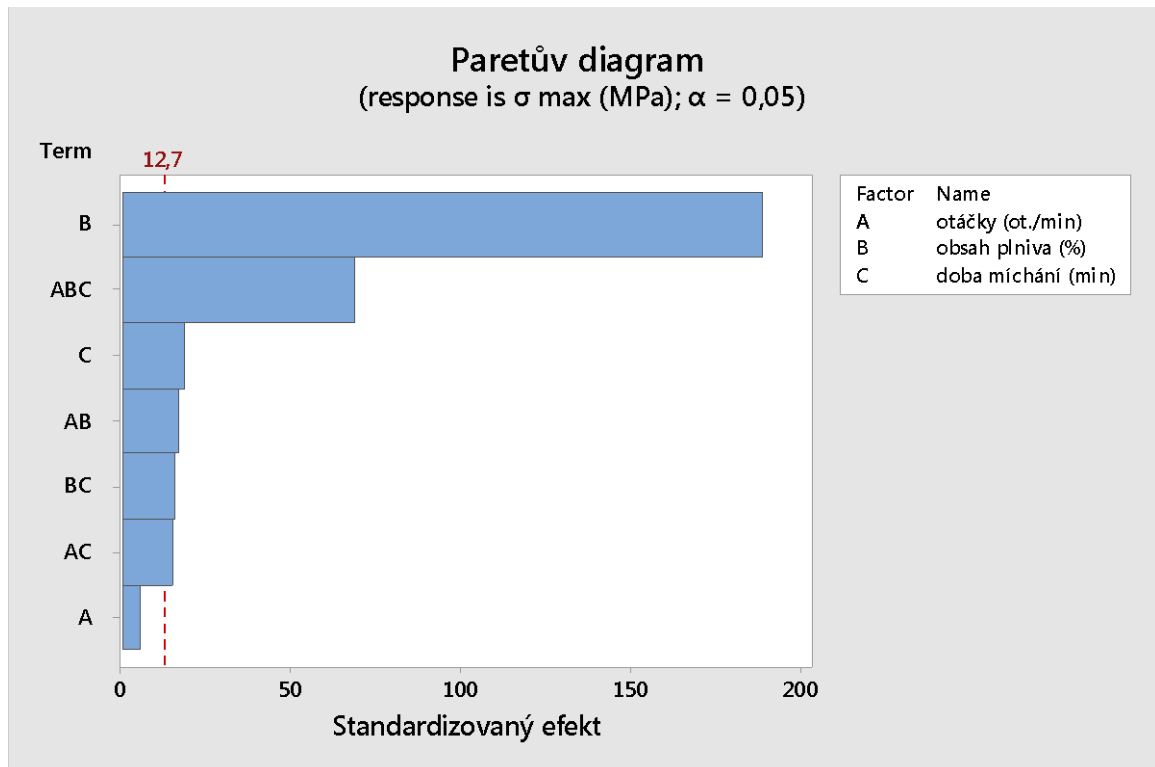
Vyhodnoceny byly Paretovy diagramy, vrstevnicové diagramy a regresní rovnice pro maximální napětí, prodloužení při přetržení, modul pružnosti, krystalinitu a teplotu tání z ohřevu. Paretův diagram říká, jaký vliv na výsledek mají faktory nebo jejich kombinace. Vrstevnicový diagram udává hodnotu měřené veličiny při libovolné kombinaci faktorů. Pomocí regresní rovnice je možné dopočítat hodnoty, pokud by byly zvoleny jiné hodnoty faktorů, i mimo dané hranice minima a maxima.

Tabulka 8 Tabulka hodnot pro statistické vyhodnocení

Otáčky (ot./min)	Obsah plniva (%)	Doba míchání (min)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$\varepsilon_{\text{break}}$ (%)	E (MPa)	Xc (%)	T <sub>t</sub> (°C)
20	10	10	29,39	7,17	1192,15	39,05	119,72
40	10	10	31,57	10,64	1198,05	38,59	116,48
20	25	10	26,41	21,66	994,19	30,33	120,70
40	25	10	22,82	6,08	1159,98	30,94	115,91
20	10	20	32,38	11,56	1216,14	38,20	115,58
40	10	20	30,93	8,66	1174,04	40,46	118,31
20	25	20	23,68	7,86	1095,35	30,18	117,38
40	25	20	25,75	8,30	1196,92	29,90	114,06
30	17,5	15	25,64	6,77	1169,52	34,68	118,11
30	17,5	15	25,70	6,70	1139,66	35,71	116,98



## Napětí



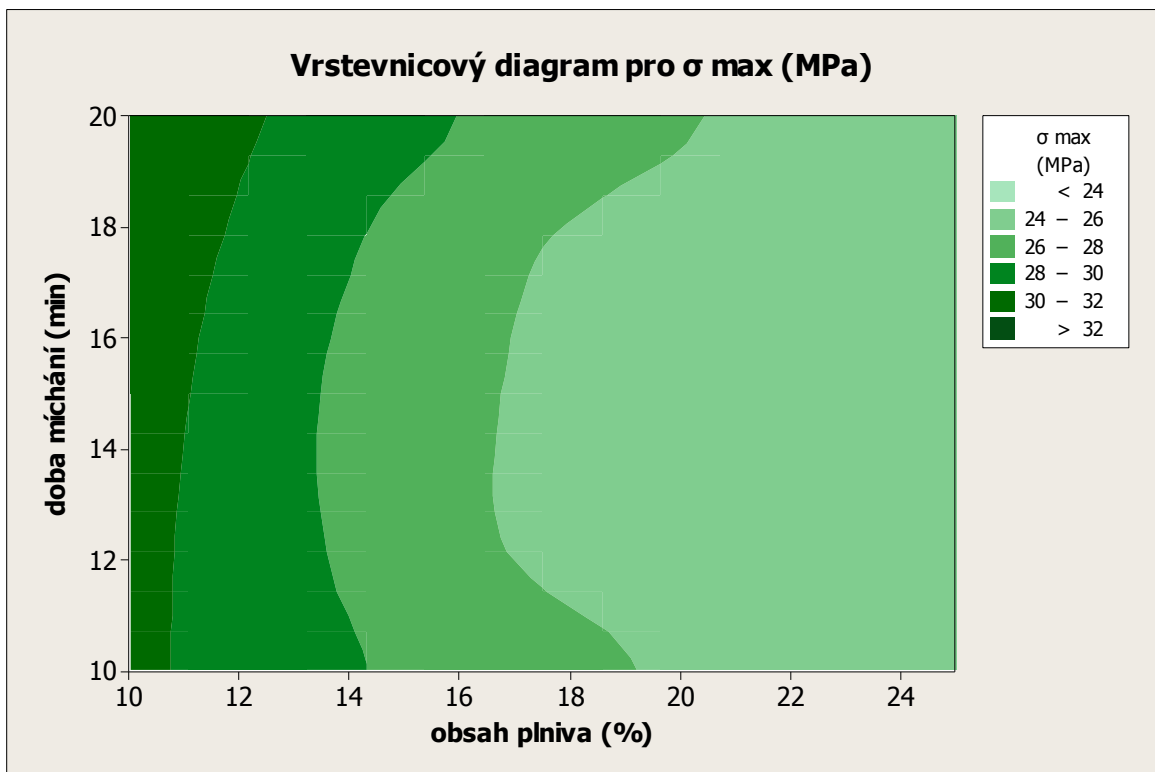
Obrázek 28 Paretův diagram pro maximální napětí

Paretův diagram říká, že největší vliv ze všech faktorů na maximální napětí má obsah plniva. Významný vliv má také kombinace všech tří faktorů. Nevelký vliv má doba míchání. Téměř srovnatelný vliv mají kombinace počtu otáček s obsahem plniva, kombinace obsahu plniva a doba míchání a také kombinace počtu otáček s dobou míchání. Vliv počtu otáček na maximální napětí není statisticky významný.

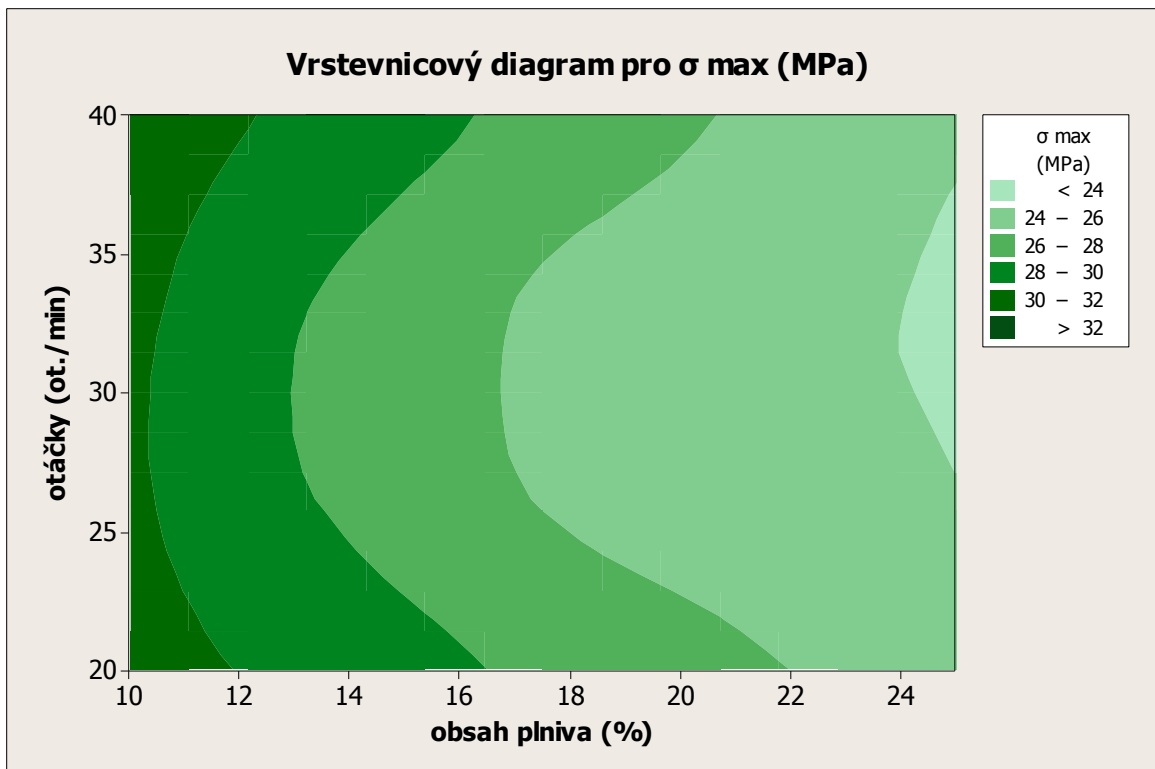
Regresní rovnice:

$$\sigma \text{ max (MPa)} = 8,731 + 0,7926 A + 1,1863 B + 1,6624 C - 0,050200 AB - 0,049135 AC - 0,10004 BC + 0,003097 ABC$$

$$R^2 = 100,00 \%$$



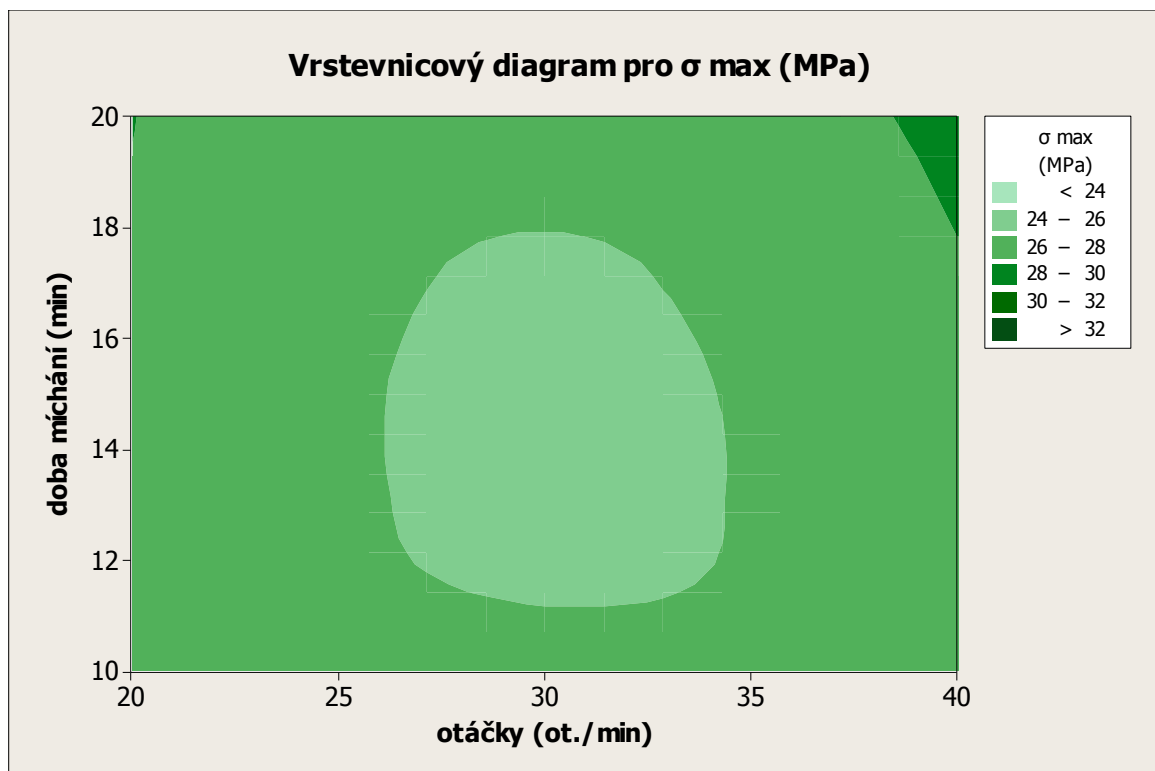
Obrázek 29 Vrstevnicový diagram pro maximální napětí – vliv doby míchání a obsahu plniva



Obrázek 30 Vrstevnicový diagram pro maximální napětí – vliv počtu otáček a obsahu plniva

Nejlepších hodnot maximálního napětí bylo dosaženo podle obrázku číslo 29 při nízkém obsahu plniva, vliv doby míchání není příliš velký, tudíž doba míchání může být volena libovolně.

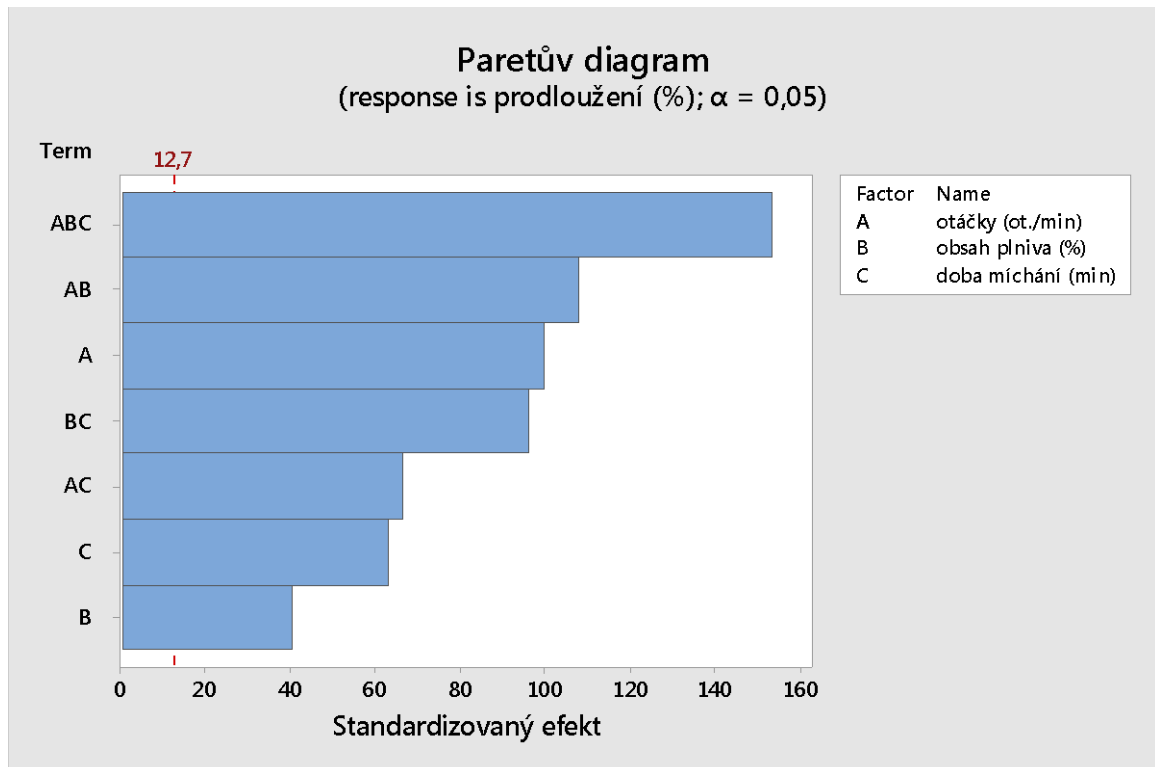
Podobně vychází vrstevnicový diagram také pro kombinaci otáček a množství plniva. Nejlepších hodnot maximálního napětí se podle obrázku číslo 30 dosáhne při nízkém obsahu plnění a téměř libovolném počtu otáček při míchání.



Obrázek 31 Vrstevnicový diagram pro maximální napětí – vliv doby míchání a počtu otáček

Nejlepších hodnot maximálního napětí se podle obrázku číslo 31 dosáhne při vysokém počtu otáček a delší době míchání (20 minut / 40 ot./min).

## Prodloužení



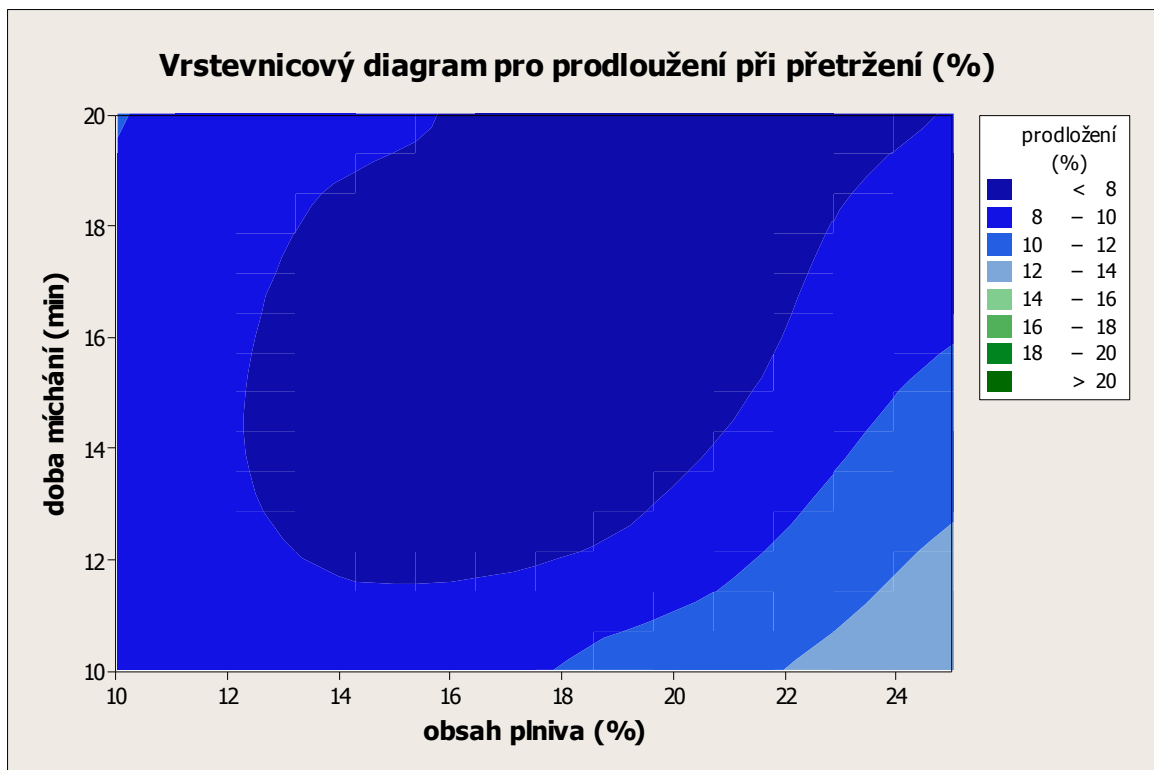
Obrázek 32 Paretův diagram pro prodloužení při přetržení

Na prodloužení při přetržení mají výrazný statistický vliv všechny faktory. Největší vliv má kombinace všech tří faktorů, následuje kombinace počtu otáček s obsahem plniva, vliv počtu otáček a kombinace obsahu plniva s dobou míchání. Menší vliv má kombinace počtu otáček s dobou míchání a vliv doby míchání. Nejmenší vliv má faktor obsah plniva. Z jednotlivých faktorů má největší vliv počet otáček, menší vliv má doba míchání a nejmenší vliv má obsah plniva.

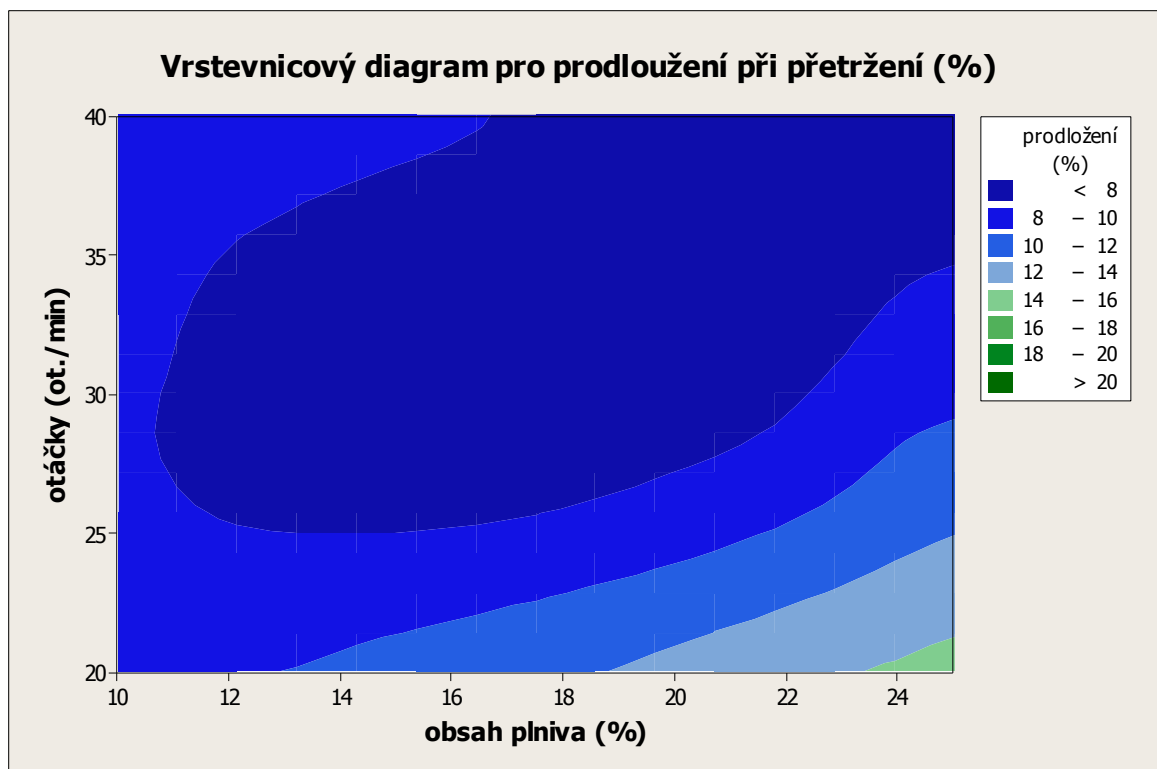
Regresní rovnice:

$$\varepsilon (\%) = -56,531 + 1,8750 A + 4,9446 B + 3,7846 C - 0,138235 AB - 0,106581 AC \\ - 0,27071 BC + 0,007469 ABC$$

$$R^2 = 100,00 \%$$



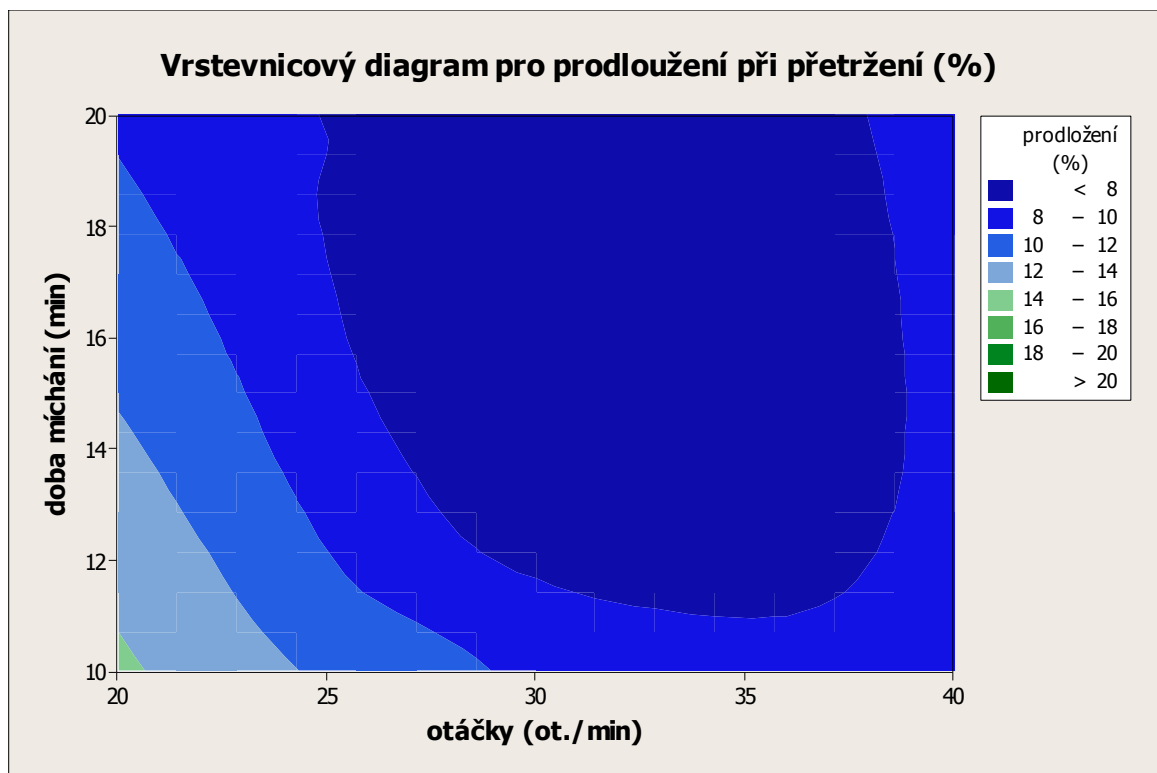
Obrázek 33 Vrstevnicový diagram pro prodloužení při přetržení – vliv doby míchání a obsahu plniva



Obrázek 34 Vrstevnicový diagram pro prodloužení při přetržení – vliv počtu otáček a obsahu plniva

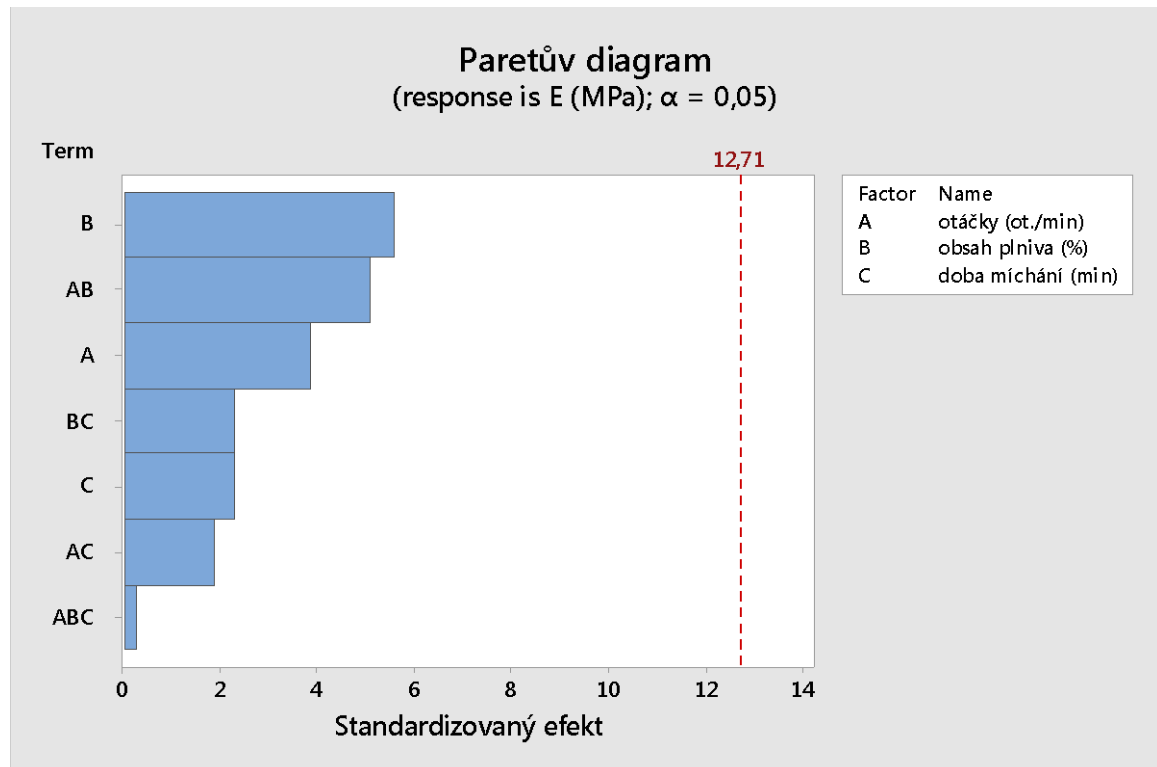
Z vrstevnicových diagramů vyplývá, že nejlepších hodnot prodloužení při přetržení se podle obrázku číslo 33 dosáhne při vysokém obsahu plniva a krátké době míchání (22 – 25 % a 10 – 13 min).

Obdobně je tomu i u vlivu otáček a obsahu plniva, kdy nejlepších hodnot prodloužení při přetržení se podle obrázku číslo 34 dosáhne při vysokém obsahu plniva (nad 24 %) a nízkém počtu otáček (kolem 20 ot./min).



Obrázek 35 Vrstevnicový diagram pro prodloužení při přetržení – vliv doby míchání a počtu otáček

Nejlepších hodnot prodloužení při přetržení se podle obrázku číslo 35 dosáhne při nízkém počtu otáček a krátké době míchání (10 min / 20 ot./min).

**Modul pružnosti**

Obrázek 36 Paretův diagram pro modul pružnosti

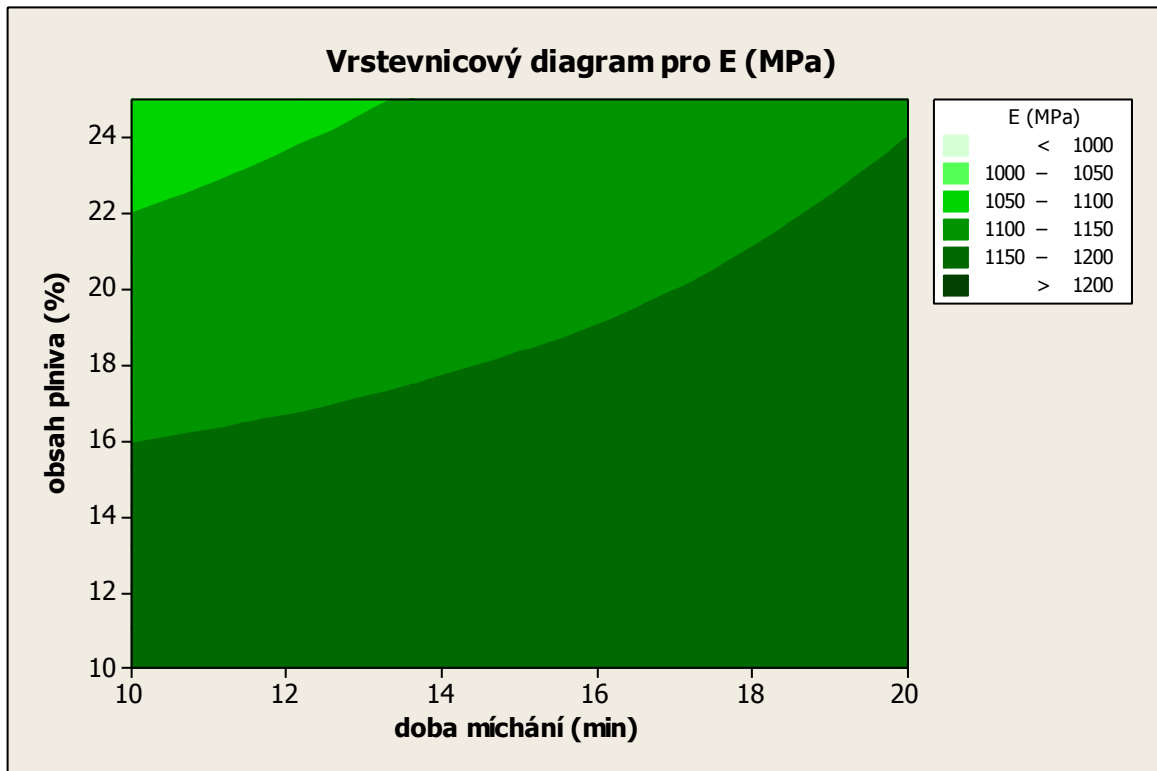
Podle Paretova diagramu pro modul pružnosti není statisticky významný ani jeden z faktorů. Nejvíce se hranici statistické významnosti přibližuje faktor B obsah plniva.

Regresní rovnice:

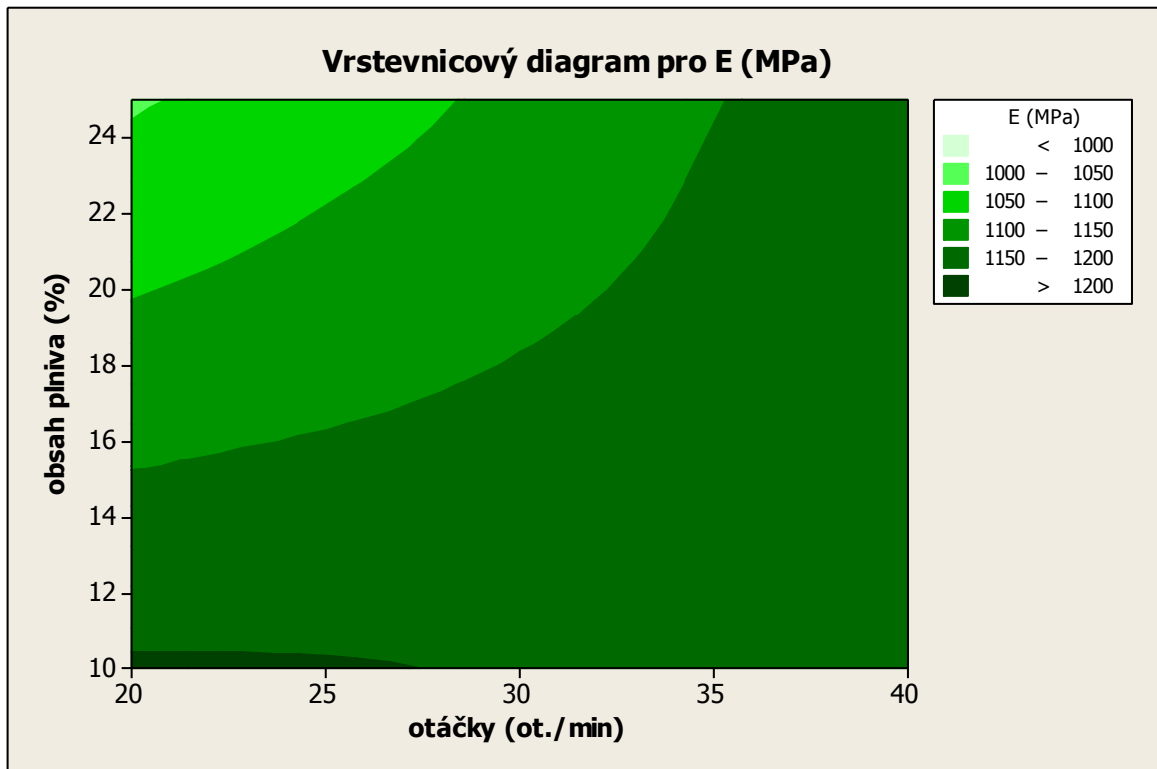
$$E \text{ (MPa)} = 1415 - 3,18 A - 30,08 B + 1,0 C + 0,587 AB - 0,186 AC + 0,623 BC$$

$$- 0,0054 ABC$$

$$R^2 = 98,86 \%$$



Obrázek 37 Vrstevnicový diagram pro modul pružnosti – vliv obsahu plniva a doby míchání

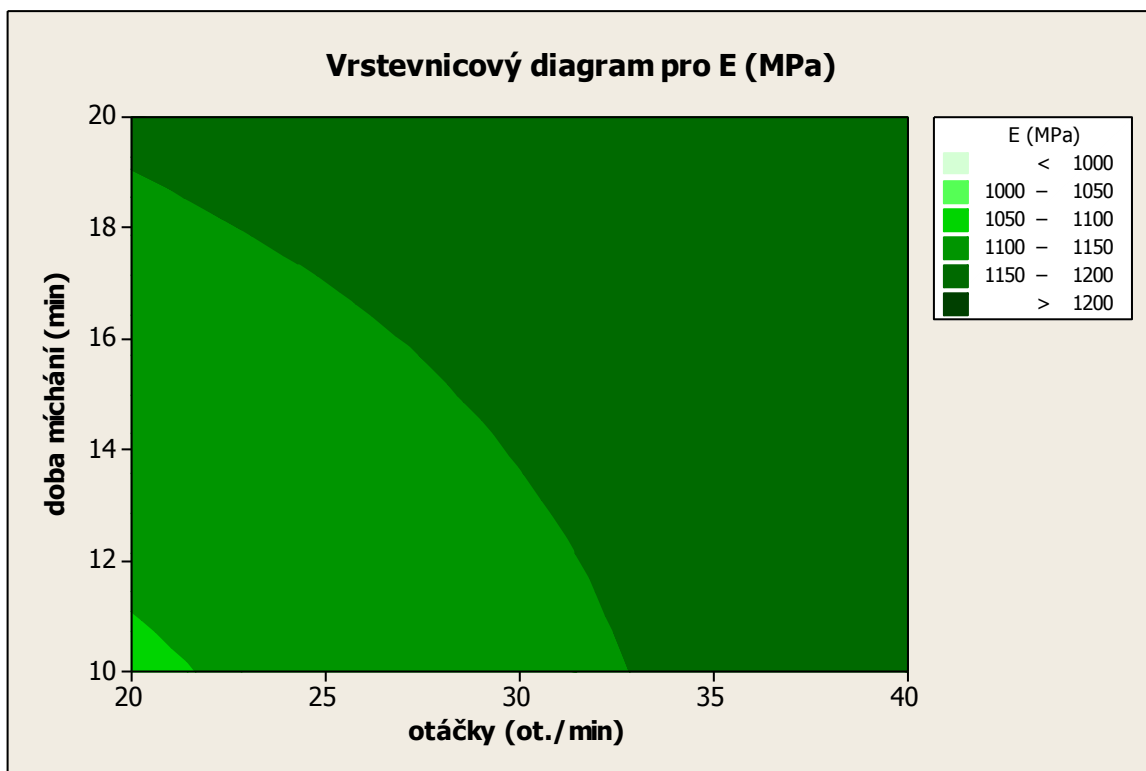


Obrázek 38 Vrstevnicový diagram pro modul pružnosti – vliv obsahu plniva a počtu otáček



Z vrstevnicového diagramu (obrázek 37) je patrný větší vliv obsahu plniva na modul pružnosti než doby míchání. Nejlepších hodnot modulu pružnosti se podle obrázku číslo 37 dosáhne při nízkém až středním obsahu plniva (10 – 16 %) a libovolné době míchání.

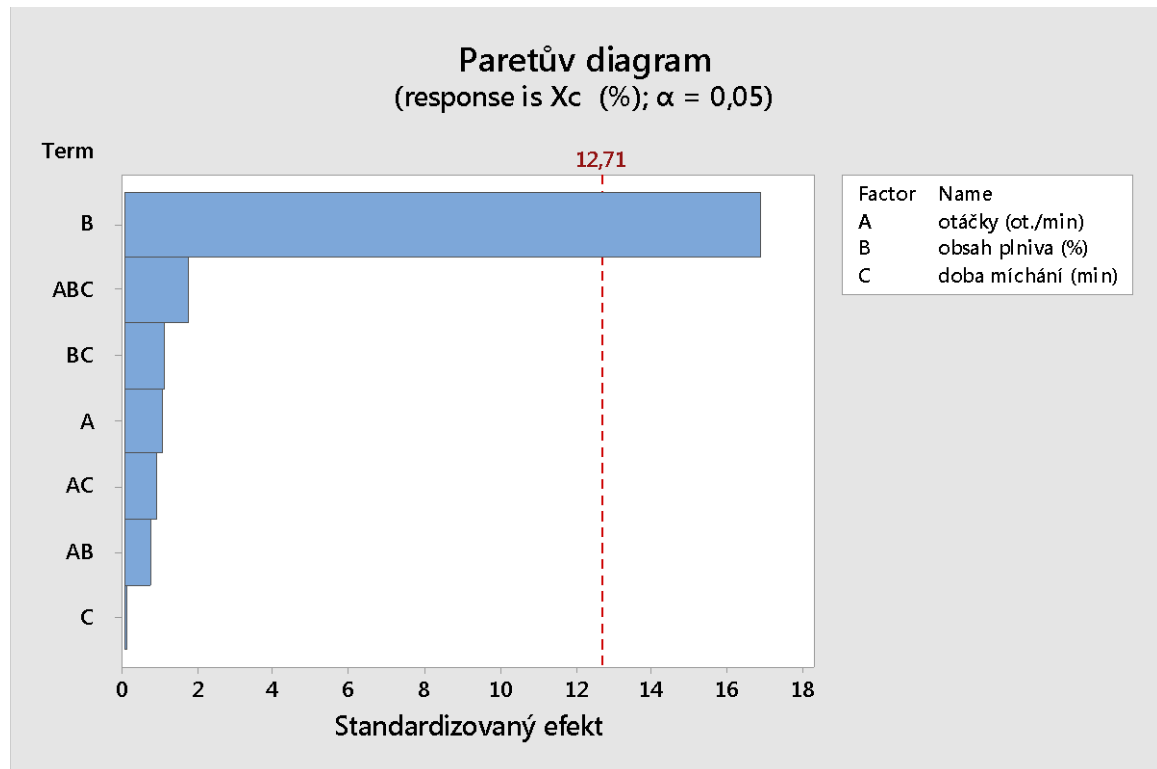
Naopak u diagramu vlivu otáček a množství plniva (obrázek 38) je dosaženo nejlepších hodnot modulu pružnosti jen v úzkém pásu při nejnižším obsahu plniva a nízkém počtu otáček.



Obrázek 39 Vrstevnicový diagram pro modul pružnosti – vliv doby míchání a počtu otáček

Nejlepších hodnot modulu pružnosti se podle obrázku číslo 39 dosáhne v poměrně širokém pásu při vyšším počtu otáček (33 – 40 ot./min) a libovolné době míchání.

## Krystalinita



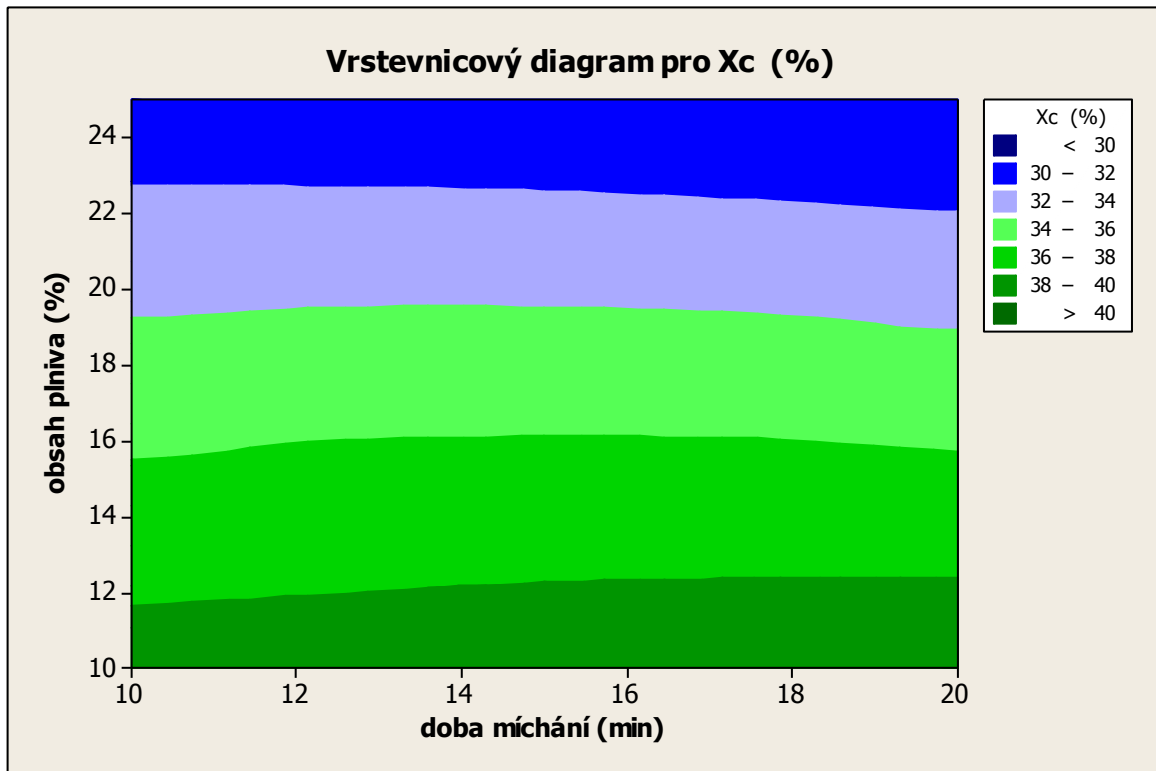
Obrázek 40 Paretův diagram pro krystalinitu

Podle Paretova diagramu je pro krystalinitu statisticky významný jen obsah plniva. Zbylé faktory i jejich kombinace jsou hluboko pod mezní statistické významnosti.

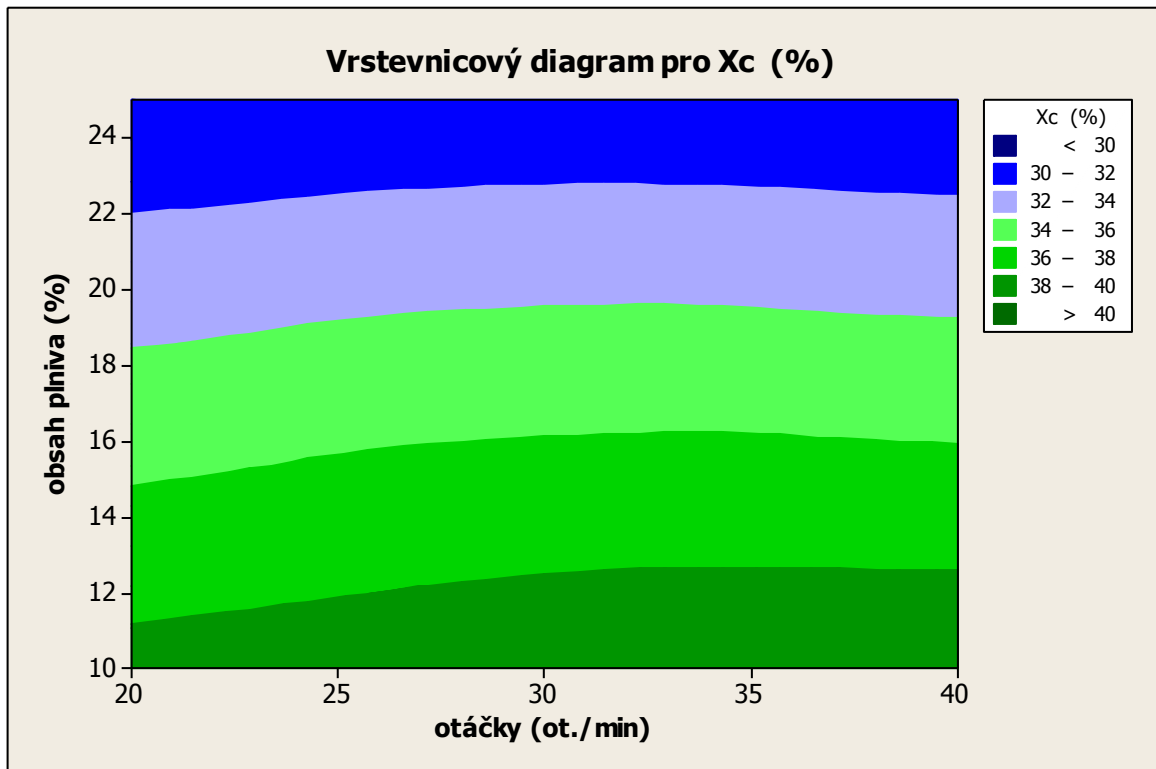
Regresní rovnice:

$$X_c (\%) = 52,44 - 0,314 A - 0,938 B - 0,642 C + 0,0155 AB + 0,0256 AC + 0,0286 BC - 0,001199 ABC$$

$$R^2 = 99,66 \%$$



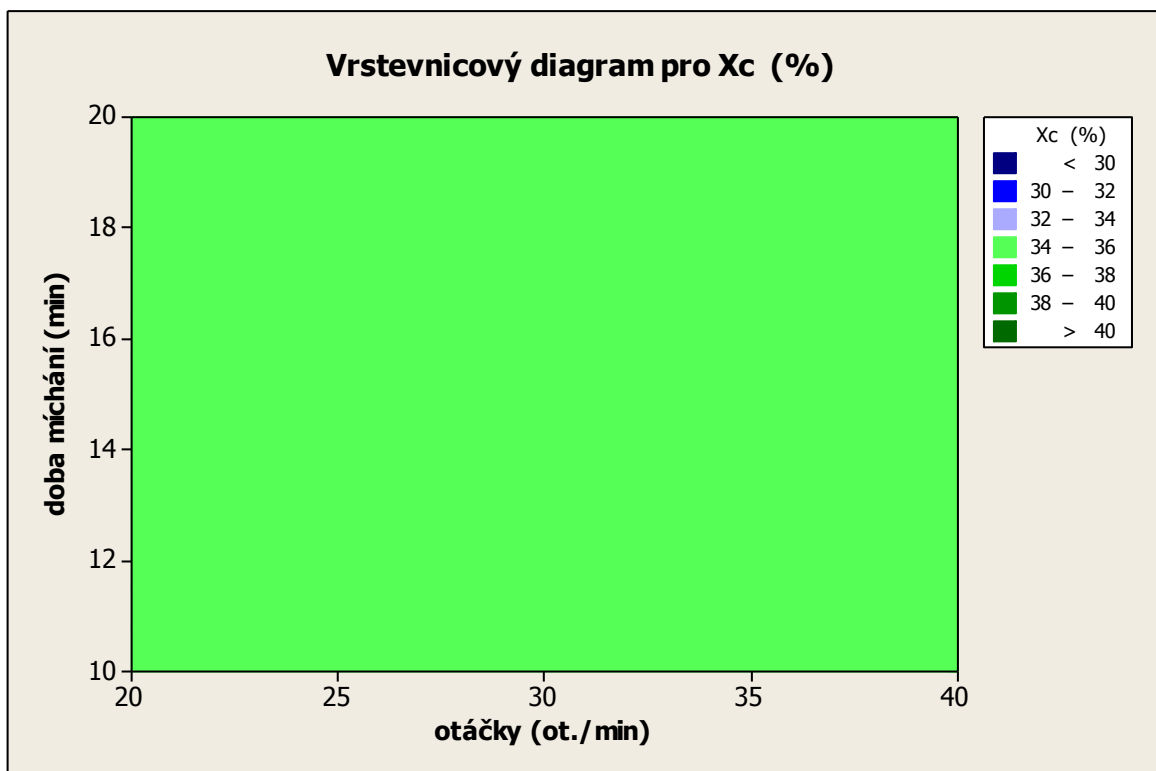
Obrázek 41 Vrstevnicový diagram pro krystalinitu – vliv obsahu plniva a doby míchání



Obrázek 42 Vrstevnicový diagram pro krystalinitu – vliv obsahu plniva a počtu otáček

Nejvyšších hodnot krystalinity se podle obrázku číslo 41 dosáhne při nízkém obsahu plniva (pod 12 %) a libovolné době míchání. Naopak nejnižších hodnot krystalinity dosáhneme při vysokém plnění (nad 23 %).

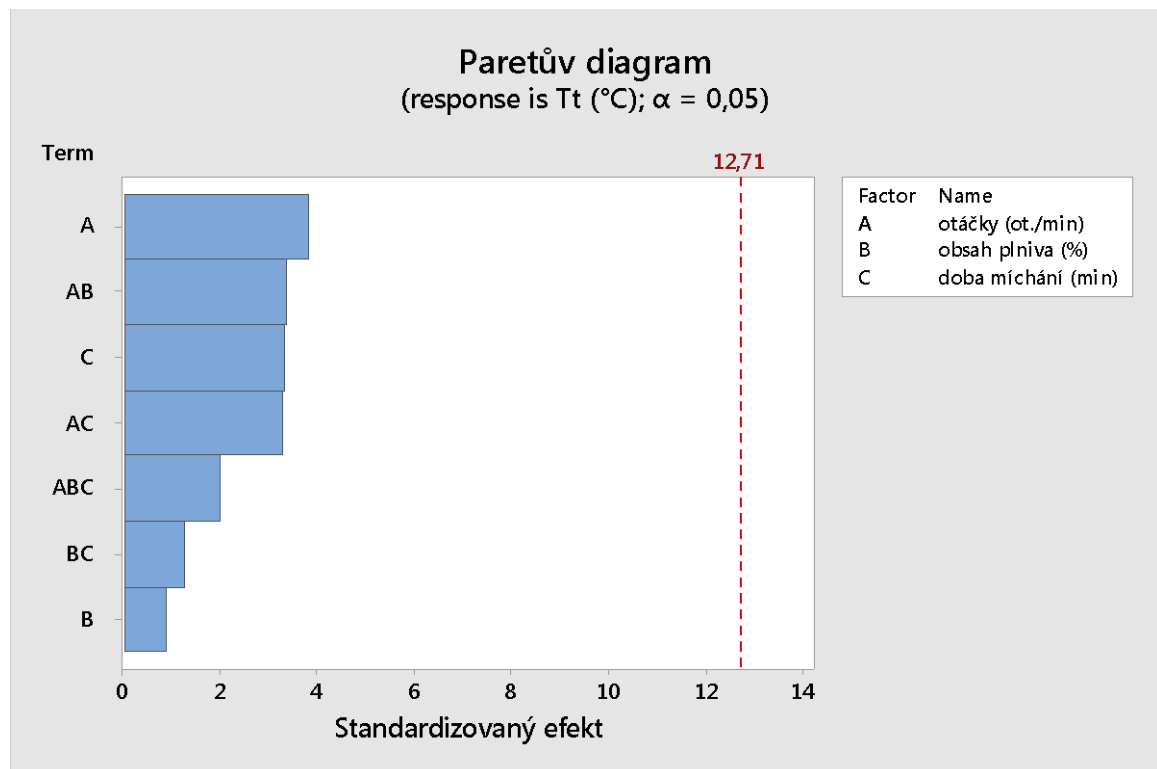
Obdobně je tomu i u porovnání vlivu obsahu plniva a otáček. Nejvyšších hodnot krystalinity se podle obrázku číslo 42 dosáhne při nízkém obsahu plniva a libovolném počtu otáček. Nejnižších hodnot krystalinity opět dosáhneme při vysokém plnění (nad 22 %).



Obrázek 43 Vrstevnicový diagram pro krystalinitu – vliv doby míchání a počtu otáček

Podle obrázku číslo 43 se krystalinita při změně doby míchání ani počtu otáček nezmění.

## Teplota tání



Obrázek 44 Paretův diagram pro teplotu tání

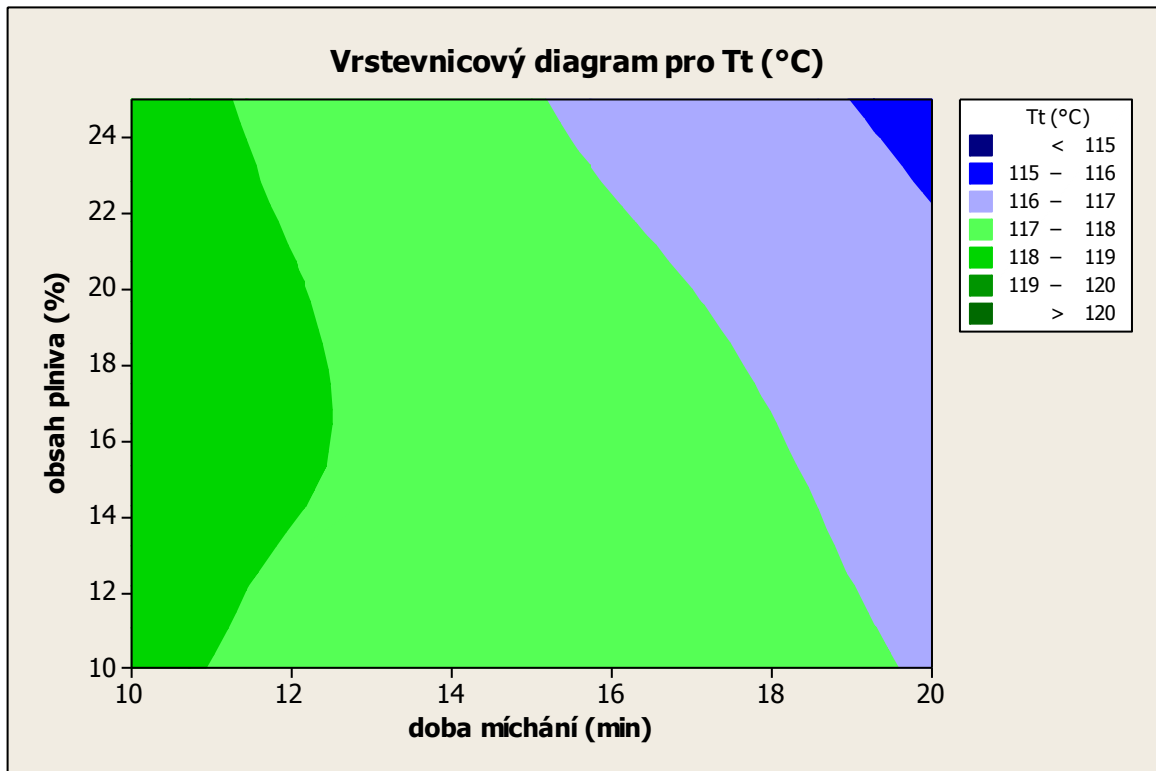
Podle Paretova diagramu pro teplotu tání není statisticky významný ani jeden z faktorů.

Regresní rovnice:

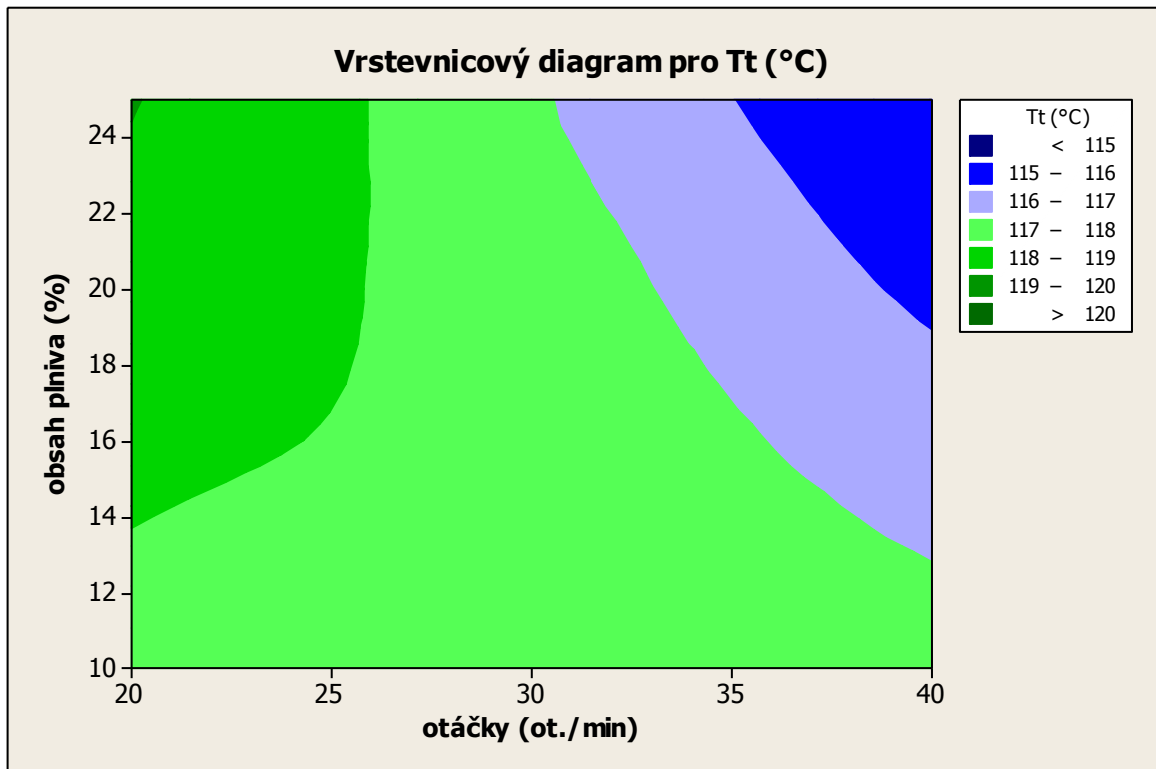
$$T_t (\text{°C}) = 134,93 - 0,559 A - 0,186 B - 1,366 C + 0,0098 AB + 0,0448 AC + 0,0355 BC$$

$$- 0,001500 ABC$$

$$R^2 = 98,19 \%$$



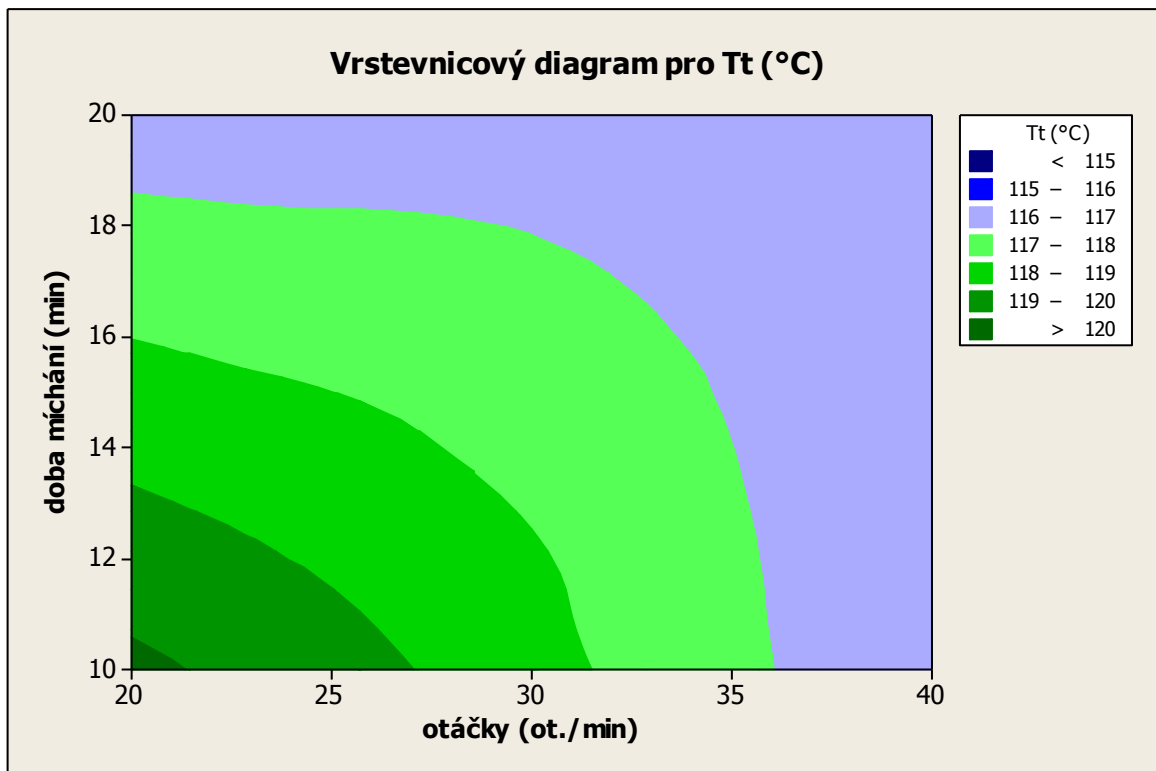
Obrázek 45 Vrstevnicový diagram pro teplotu tání – vliv obsahu plniva a doby míchání



Obrázek 46 Vrstevnicový diagram pro teplotu tání – vliv obsahu plniva a doby míchání

Nejvyšších hodnot teploty tání se podle obrázku číslo 45 dosáhne při krátké době míchání (do 11 minut) a libovolném obsahu plniva. Naopak nízkou teplotu tání získáme při vysokém plnění a delší době míchání.

Na vrstevnicovém diagramu (obrázek 46) vidíme, že nejvyšší teploty tání se dosáhne při nejnižším počtu otáček a nejvyšším obsahu plniva. Nejnižší teplota tání se poté objevuje v rozsahu 36 – 40 ot./min a obsahu plniva nad 20 %.



Obrázek 47 Vrstevnicový diagram pro teplotu tání – vliv doby míchání a počtu otáček

Nejvyšších hodnot teploty tání se podle obrázku číslo 47 dosáhne při nejnižší době míchání a nejnižším počtu otáček (10 % plniva a 20 ot./min).

## ZÁVĚR

Příprava polypropylenových kompozitů byla naplánována a provedena podle daných faktorových pokusů. Po zamíchání keratinových vláken do polypropylenu, byla ze směsí stanovena hustota, obsah popela, tvrdost Shore D, tahová zkouška a teplota tání a krystalizace a krystalinita z měření DSC. Dále byl použit statistický program Minitab 17 pro vyhodnocení vlivu faktorů na maximální napětí, prodloužení při přetržení, modul pružnosti, krystalinitu a teplotu tání.

Bylo zjištěno, že přidání keratinového vlákna snižuje hustotu směsí, protože hustota vlny je nižší než hustota polypropylenu.

Největší obsah popela by měly obsahovat směsi s 25 % plniva, ovšem nejvyšší obsah popela byl stanoven u směsí, které obsahují jen 10 % plniva a nejnižší u směsí, které obsahovaly 17,5 % plniva. Vliv obsahu plniva není zcela patrný, to mohlo být způsobeno nerovnoměrným rozmícháním vlny ve zvolené části vzorku. U neupravené vlny byl stanoven výrazně vyšší obsah popela oproti vlně odtučněné, což je způsobeno nespalitelnými anorganickými nečistotami v neupravené vlně.

Při stanovení DSC u vzorku vlny byly dva výrazné píky, první v rozmezí teplot 95 – 130 °C, kdy se odpařuje zbytková vlhkost. Druhý pokles nastal při teplotě kolem 240 °C, kdy vlna zřejmě přechází na kaučukovité chování.

Obsah plniva nemá výrazný vliv na teplotu tání a krystalizace. Teploty tání směsí jsou v rozmezí 115 – 120 °C, což se velmi neliší od teploty tání čistého PP, která je 118 °C. Teploty krystalizace jsou u směsí v rozmezí 161 – 163 °C a teplota krystalizace PP je 163 °C.

Obsah plniva snižuje krystalinitu směsí, nejvyšší krystalinita byla stanovena u čistého PP. Ze směsí mají nejvyšší krystalinitu směsi s nejmenším podílem plniva a směsi s největším obsahem plniva mají krystalinitu nejnižší.

Z tahových zkoušek vyplynulo, že obsah plniva zvyšuje modul pružnosti, ale snižuje maximální napětí a prodloužení při přetržení. Ze všech testovaných směsí se nejvíce blížila hodnotám čistého PP směs č. 5.

Obsah plniva zvyšuje tvrdost kompozitů, která je vyšší o 2 – 4 Shore D než tvrdost čistého polypropylenu.



Ve statistickém programu byly vyhodnoceny Paretovy a vrstevnicové diagramy a regresní rovnice pro každou veličinu. Z Paretových diagramů vyplývá, že na maximální napětí mají statisticky významný vliv všechny faktory, kromě samotného faktoru počtu otáček. Na prodloužení mají vliv všechny faktory samostatně i jejich kombinace. Naopak pro krystalinitu je statisticky významný jen obsah plniva. Modul pružnosti ani teplota tání nejsou statisticky významně ovlivněny žádným z námi vybraných faktorů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MLEZIVA, Josef. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Vyd. 1. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 8090157041.
- [2] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie II*, (přednášky), Zlín
- [3] <http://www.unipetrol.cz/cs/Stranky/default.aspx>
- [4] Studijní materiály Technické univerzity v Liberci [online]. Dostupné z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf)
- [5] Databáze wikipedia.org [online]. Dostupné z:  
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bd/Polypropylene.svg/220px-Polypropylene.svg.png>
- [6] [http://www.petroleum.cz/vyrobky/system/polypropylen\\_2.jpg](http://www.petroleum.cz/vyrobky/system/polypropylen_2.jpg)
- [7] FUČÍK, František. *Encyklopedie textilních hmot*. Brno: Textilní ústav československý, 1948.
- [8] Studijní materiály Technické univerzity v Liberci [online]. Dostupné z:  
[http://www.kmi.tul.cz/studijni\\_materialy/data/2013-10-04/08-13-23.pdf](http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-10-04/08-13-23.pdf)
- [9] [beskydskeovce.cz](http://www.beskydskeovce.cz) [online]. Dostupné z:  
<http://www.beskydskeovce.cz/?p=vlna-a-vyrobky-z-vlny>
- [10] <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/9718-izolace-z-ovci-vlny>
- [11] MOKREJŠ, Pavel a Ferdinand LANGMAIER. *Aplikace přírodních polymerů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. ISBN 978-80-7318-674-6.
- [12] BLAŽEJ, Anton. *Technologie kůže a kožešin*. Praha: SNTL, 1984.
- [13] BLAŽEJ, Anton a Štefánia ŠUTÁ. *Vlastnosti textilných vlákien*. Bratislava: Alfa, 1982. Edícia literatúry pre spotrebný priemysel.
- [14] POSPÍŠIL, Ladislav. *Přírodní polymery*. (prezentace) [online]. Dostupné z:  
<http://slideplayer.cz/slide/2604635/>
- [15] *Struktura vlákna vlny*. Dostupné z:  
[http://obchod.teplodomova.cz/out/pictures/wysiwigpro/woolmark/Akademie-vlny-WOOLIFE\\_07.png](http://obchod.teplodomova.cz/out/pictures/wysiwigpro/woolmark/Akademie-vlny-WOOLIFE_07.png)
- [16] <http://radekvymazal.cz/keratin/>

- [17] ČEGAN, Alexander a Lucie KORECKÁ. *Biochemie pro bakalářské studium chemie a technické chemie*. Studijní materiály Univerzity Pardubice, 2008.
- [18] [http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni\\_latky\\_bilkoviny.html](http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni_latky_bilkoviny.html)
- [19] VOET, Judith G. a Donald VOET. *Biochemie*. Praha: Victoria Publishing, 1995. ISBN 8085605449.
- [20] *Struktura bílkovin*. Dostupné z:  
[http://images.slideplayer.cz/10/2893291/slides/slide\\_14.jpg](http://images.slideplayer.cz/10/2893291/slides/slide_14.jpg)
- [21] CONZATTI, L; GIUNCO, F; STAGNARO, P; PATRUCCO, A; MARANO, C; RINK, M; MARSANO, E. Composites Based on Polypropylene and Short Wool Fibres. *Composites Part A-applied Science and Manufacturing*. 2013, vol. 47 s. 165-171. ISSN:1359-835X.
- [22] Řez vláknem vlny. Dostupné z:  
<http://www.bioxsine.ch/haarausfall/haarschichten>
- [23] SEDLÁČEK, Tomáš. *Pokročilé materiály a technologie*. (přednášky), Zlín
- [24] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály* (přednáška) [online]. Dostupné z:  
[http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/KM/Kompozity%20Dad/05vlakna.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/05vlakna.pdf)
- [25] VILČÁKOVÁ, Jarmila. *Polymerní kompozity přírodní a syntetické*, (přednášky), Zlín
- [26] <http://www.journals.elsevier.com/composite-structures>
- [27] BARONE, J.R; GREGOIRE, N.T. *Characterisation of Fibre-polymer Interactions and Transcrystallinity in Short Keratin Fibre-polypropylene Composites*. *Plastics, Rubber and Composites*. 2006, vol. 35, no. 6-7 s. 287-293. ISSN:1465-8011.
- [28] ANDRZEJEWSKI, J. et al. *The Influence of the Processing Conditions on the Structure of the PP/Glass Fiber Composites*. [online]. Dostupné z:  
[http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013\\_s1\\_s40-s61.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013_s1_s40-s61.pdf)
- [29] HAMADA, H; FUJIHARA, K; HARADA, A. *The Influence of Sizing Conditions on Bending Properties of Continuous Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites*. *Composites Part a*. 2000, vol. 31, no. 9 s. 979-990. ISSN:1359-835X

- [30] BARONE, J.R. *Polyethylene/keratin Fiber Composites with Varying Polyethylene Crystallinity*. Composites Part a. 2005, vol. 36, no. 11 s. 1518-1524. ISSN:1359-835X.
- [31] BERTINI, Fabio; CANETTI, Maurizio; PATRUCCO, Alessia; ZOCCOLA, Marina. *Wool Keratin-polypropylene Composites: Properties and Thermal Degradation*. Polymer Degradation and Stability. 2013, vol. 98, no. 5 s. 980-987. ISSN:0141-3910.
- [32] Hustota vody, (cit. 24.4.2016), dostupné z: [http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka\\_schauer/tabulky.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/tabulky.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

DSC	Diferenciální skenovací kalorimetrie
PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
HDPE	Vysokohustotní polyetylen
PA	Polyamid
PES	Polyester
PAN	Polyakrylonitril
PEEK	Polyetereterketon
PPS	Polyfenylensulfid
PC	Polykarbonát
GF / PP	Polypropylen vyztužený skelným vláknem
GF	Skelná vlákna
MAPP	Polypropylen modifikovaný anhydridem kyseliny maleinové
LGFP	Polypropylenový kompozit s dlouhými skelnými vlákny
5M	5 molární
NaOH	Hydroxid sodný
Hf	Tepelný tok (Heat Flow)
SO	Směrodatná odchylka
Xc	Krystalinita v procentech
T	Teplota (°C)
T <sub>t</sub>	Teplota tání (°C)
T <sub>c</sub>	Teplota krystalizace (°C)
$\sigma_{\text{break}}$	Napětí při přetržení (MPa)
$\epsilon_{\text{break}}$	Prodloužení při přetržení (%)

---

$\sigma_{\max}$	Maximální napětí (MPa)
$\epsilon_{\max}$	Prodloužení při maximálním napětí (%)
$\Delta H$	Měrné teplo v J/g
$\Delta H_{100}$	Měrné teplo pro 100 % krystalický polypropylen
MPa	Megapascal – jednotka napětí a modulu pružnosti
$\text{g/cm}^3$	Gram na centimetr krychlový – jednotka hustoty
$\text{cm}^3$	Centimetr krychlový
ot. / min	Otáčky za minuty
min	Minuta
s	Vteřina
g	Gram
kg	Kilogram
% hm	Hmotnostní procenta
mm	Milimetr
mm/min	Milimetr za minutu

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1	Strukturní vzorek polypropylenu [5] .....	12
Obrázek 2	Struktura polypropylenu; A – ataktický PP, B – izotaktický PP, C – syndiotaktický PP [6] .....	13
Obrázek 3	Řez vláknem vlny [22] .....	16
Obrázek 4	Peptidový řetězec [18] .....	18
Obrázek 5	Přehled základních aminokyselin [18] .....	19
Obrázek 6	Struktura bílkovin [21] .....	20
Obrázek 7	Primární struktura keratinu [16] .....	21
Obrázek 8	Struktura vlny [15] .....	22
Obrázek 9	Neupravená vlna .....	28
Obrázek 10	Vlna po odtučnění .....	29
Obrázek 11	Univerzální řezací mlýn .....	30
Obrázek 12	Směs číslo 1 po zamíchání .....	32
Obrázek 13	Směs číslo 1 po vylisování .....	32
Obrázek 14	Vysekané lopatky směsi číslo 3 pro tahovou a po tahové zkoušce .....	34
Obrázek 15	Křivka DSC pro vlnu .....	37
Obrázek 16	Graf ohřevu pro PP .....	38
Obrázek 17	Graf ohřevu pro směsi obsahující 10 % plniva .....	39
Obrázek 18	Graf ohřevu pro směsi obsahující 17,5 % plniva .....	39
Obrázek 19	Graf ohřevu pro směsi obsahující 25 % plniva .....	40
Obrázek 20	Graf chlazení pro PP .....	41
Obrázek 21	Graf chlazení pro směsi obsahující 10 % plniva .....	42
Obrázek 22	Graf chlazení pro směsi obsahující 17,5 % plniva .....	42
Obrázek 23	Graf chlazení pro směsi obsahující 25 % plniva .....	43
Obrázek 24	Graf závislosti napětí na prodloužení směsí a čistého PP .....	44
Obrázek 25	Graf závislosti napětí na prodloužení směsí plněných 10 % plniva .....	44
Obrázek 26	Graf závislosti napětí na prodloužení směsí plněných 17,5 % plniva .....	45
Obrázek 27	Graf závislosti napětí na prodloužení směsí plněných 25 % plniva .....	45
Obrázek 28	Paretův diagram pro maximální napětí .....	49
Obrázek 29	Vrstevnicový diagram pro maximální napětí – vliv doby míchání a obsahu plniva .....	50

Obrázek 30 Vrstevnicový diagram pro maximální napětí – vliv počtu otáček a obsahu plniva .....	50
Obrázek 31 Vrstevnicový diagram pro maximální napětí – vliv doby míchání a počtu otáček.....	51
Obrázek 32 Paretův diagram pro prodloužení při přetržení .....	52
Obrázek 33 Vrstevnicový diagram pro prodloužení při přetržení – vliv doby míchání a obsahu plniva .....	53
Obrázek 34 Vrstevnicový diagram pro prodloužení při přetržení – vliv počtu otáček a obsahu plniva .....	53
Obrázek 35 Vrstevnicový diagram pro prodloužení při přetržení – vliv doby míchání a počtu otáček .....	54
Obrázek 36 Paretův diagram pro modul pružnosti .....	55
Obrázek 37 Vrstevnicový diagram pro modul pružnosti – vliv obsahu plniva a doby míchání .....	56
Obrázek 38 Vrstevnicový diagram pro modul pružnosti – vliv obsahu plniva a počtu otáček.....	56
Obrázek 39 Vrstevnicový diagram pro modul pružnosti – vliv doby míchání a počtu otáček.....	57
Obrázek 40 Paretův diagram pro krystalinitu .....	58
Obrázek 41 Vrstevnicový diagram pro krystalinitu – vliv obsahu plniva a doby míchání .....	59
Obrázek 42 Vrstevnicový diagram pro krystalinitu – vliv obsahu plniva a počtu otáček.....	59
Obrázek 43 Vrstevnicový diagram pro krystalinitu – vliv doby míchání a počtu otáček.....	60
Obrázek 44 Paretův diagram pro teplotu tání .....	61
Obrázek 45 Vrstevnicový diagram pro teplotu tání – vliv obsahu plniva a doby míchání .....	62
Obrázek 46 Vrstevnicový diagram pro teplotu tání – vliv obsahu plniva a doby míchání .....	62
Obrázek 47 Vrstevnicový diagram pro teplotu tání – vliv doby míchání a počtu otáček.....	63



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Podmínky míchání směsí .....	31
Tabulka 2 Vypočítané hodnoty hustoty.....	36
Tabulka 3 Stanovení obsahu popela.....	36
Tabulka 4 Hodnoty krystalility a teploty tání z ohřevu .....	38
Tabulka 5 Hodnoty krystalility a teploty krystalizace z chlazení .....	41
Tabulka 6 Vyhodnocené hodnoty z tahové zkoušky.....	46
Tabulka 7 Hodnoty tvrdosti .....	47
Tabulka 8 Tabulka hodnot pro statistické vyhodnocení.....	48