

Vliv typu plniva a procesních podmínek na drsnost povrchu vstřikovaných výrobků

Bc. Jan Ondřík

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Ondřík**
Osobní číslo: **T17286**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv typu plniva a procesních podmínek na drsnost povrchu vstříkovaných výrobků**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na zadané téma
2. Na základě získaných znalostí připravte zkušební tělesa pro hodnocení
3. Ohodnoťte připravené vzorky zvolenými metodami
4. Shrňte získané výsledky a prodiskutujte je

Rozsah diplomové práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh: **dle pokynů VDP**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006, 278 s. ISBN 978-80-7080-617-6.

MERNA, J. *Polymery.* Skripta VŠCHT Praha 2010.

Injection moulds for beginners

Autor: Rainer Dangel ISBN: 9781569906316

Injection molding process control, monitoring, and optimization / Yi Yang, Xi Chen,

Ningyun Lu, Furong Gao

impaktované zahraniční časopisy, patenty a další

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Dagmar Měřínská, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 7. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, 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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít 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 05.05.2019

.....

¹⁾ 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.

²⁾ 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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 výtěžku jím 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zkoumáním a hodnocením kvality povrchu u vstříkovaných tělísek z (nano)kompozitních materiálů. Výzkum je zaměřen zejména na vyhodnocení jakosti povrchu (nano)kompozitního materiálu v závislosti na použitém plnivu a použitých procesních podmínkách. Dále jsou porovnávány mechanické vlastnosti těchto vzorků. Součástí výzkumu, je také to, do jaké míry ovlivní teplotní zatížení, tyto (nano)kompozitní směsi.

Klíčová slova: Vstříkování, Drsnost povrchu, 2D a 3D snímání povrchů, Tahová zkouška, FTIR, Tepelná degradace

ABSTRACT

This thesis concerns to exploration and evaluation of surface quality by injection specimens from (nano)composit materials. Research is concentrated especially to evaluation of surface quality of (nano)composite materials in relation on used fillers and process conditions. Further are compared mechanical properties of these specimens. This research include of this research is moreover how (nano)composites affect temperature load.

Keywords: Injection molding, Surface roughness, 2D and 3D scanning surfaces, Tensile test, FTIR, Thermal degradation

Rád bych touto cestou vyjádřil své poděkování doc. Ing. Dagmar Měřínské, Ph.D., za její odborné rady, cenné postřehy a velkou trpělivost při vedení této diplomové práce.

Rovněž bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi a Ing. Mileně Kubišové, Ph.D., za jejich vstřícnost a nápomoc při získávání nezbytných informací a dat v oblasti jakosti a metrologie.

„Ten, kdo nedokáže změnit svůj názor, nedokáže nikdy nic.“

Winston Churchill

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce i verze elektronicky nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST..... | 10 |
| 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY | 11 |
| 1.1 NANOKOMPOZITY | 13 |
| 1.2 VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ | 14 |
| 1.3 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ | 15 |
| 1.4 MATRICE..... | 16 |
| 1.5 PLNIVO (OBEZNĚ)..... | 17 |
| 1.5.1 Částicová plniva | 18 |
| 1.5.2 Nanoplňiva | 18 |
| 2 POLYSTYREN, POLYOLEFINY A PLNIVA | 20 |
| 2.1 POLYSTYREN..... | 20 |
| 2.2 POLYOLEFINY..... | 22 |
| 2.3 PLNIVA..... | 26 |
| 2.3.1 Silikáty | 27 |
| 2.3.2 Uhlíčan vápenatý | 32 |
| 2.3.3 Oxid Titanický | 33 |
| 3 ZPRACOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ | 36 |
| 3.1 TECHNOLOGIE MÍCHÁNÍ | 36 |
| 3.2 TECHNOLOGIE VSTRÍKOVÁNÍ..... | 37 |
| 4 METODY VYHODNOCENÍ | 44 |
| 4.1 STRUKTURA POVRCHŮ DLE Norem ČSN EN ISO | 44 |
| 4.1.1 Základní pojmy | 44 |
| 4.1.2 Parametry povrchu profilu | 46 |
| 4.1.3 Vyhodnocení parametru jakosti povrchu | 48 |
| 4.1.4 3D snímání povrchu plochy | 48 |
| 4.1.5 Srovnání 2D a 3D metod pro snímání povrchu..... | 52 |
| 4.2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY POLYMERŮ | 52 |
| 4.3 INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE S FOURIEROVOU TRANSFORMACÍ (FTIR)..... | 54 |
| 4.4 DEGRADACE POLYMERŮ..... | 56 |
| 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE | 57 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 58 |
| 6 PŘÍPRAVA VZORKŮ..... | 59 |
| 6.1 VYUŽITÉ POLYMERNÍ MATERIÁLY A PLNIVA | 59 |
| 6.2 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ | 60 |
| 6.2.1 Příprava směsí | 60 |
| 6.2.2 Míchání směsí | 60 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.2.3 | Vstřikování směsí..... | 61 |
| 6.3 | VYTVORENÉ SÉRIE VZORKŮ | 63 |
| 7 | EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ..... | 64 |
| 7.1 | ZYGO NEWVIEW™ 9000 - KONTROLA JAKOSTI POVRCHU | 64 |
| 7.2 | ZWICK 1456 – TAHOVÁ ZKOUŠKA | 69 |
| 7.3 | BINDER FD 53 – TEPLTNÍ ZATÍŽENÍ | 72 |
| 7.4 | AVATAR 360 – FTIR | 73 |
| 8 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT – DISKUZE | 74 |
| 8.1 | JAKOST POVRCHU VSTRÍKOVANÝCH TĚLES | 74 |
| 8.1.1 | Výsledky směsí s plnivem Cloisite 30B..... | 76 |
| 8.1.2 | Výsledky směsí s plnivem kaolin..... | 80 |
| 8.1.3 | Výsledky směsí s plnivem oxidu titaničitého..... | 84 |
| 8.1.4 | Výsledky směsí s plnivem uhličitan vápenatý | 89 |
| 8.2 | TAHOVÁ ZKOUŠKA | 94 |
| 8.2.1 | Výsledky měření | 94 |
| 8.2.2 | Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s Cloisite 30B | 95 |
| 8.2.3 | Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s kaolinem..... | 97 |
| 8.2.4 | Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s oxidem titaničitým | 99 |
| 8.2.5 | Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s uhličitanem vápenatým | 101 |
| 8.3 | TEPLTNÍ ZATÍŽENÍ | 104 |
| | ZÁVĚR | 106 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 109 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 119 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 121 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 123 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 126 |

ÚVOD

Tématem diplomové práce je *Vliv typu plniva a procesních podmínek na drsnost povrchu vstřikovaných výrobků*.

Polymerními, potažmo kompozitními materiály, jsme obklopeni takřka na každém kroku. Tyto materiály jsou v současnosti pevně zakotveny v technické praxi a stávají se z nich do určité míry konvenční materiály.

Při zpracovávání je u těchto materiálů kladen značný důraz na kvalitu a jakost jejich povrchů. Současně se výrobci snaží o zvýšení této kvality za narůstajících požadavků, na mechanické vlastnosti a minimalizace nákladů na tento typ výroby. Z tohoto hlediska je nutnost pochopení vlivů jednotlivých změn ve výrobě na jakost povrchu důležitější než kdy dříve, a to i z hlediska nulové tolerance defektů (snížené kvality) na celé ploše výrobku.

Tato práce je zaměřena na proces vstřikování (nano)kompozitních směsí, kdy byly předmětem zkoumání dva polymerní materiály, konkrétně polypropylen (PP) a polystyren (PS), v kombinaci s různými komerčně dostupnými plnivy. Dalšími proměnnými byla odlišná koncentrace těchto plniv, způsob jejich zpracování do směsi a změna velikosti zpětného tlaku u vstřikování.

Z naměřených dat byly získány informace, které proměnné jakým způsobem a do jaké míry ovlivňují nejen jakost vstřikovaného povrchu, ale také mechanické (tahové) vlastnosti těchto materiálů. Součástí výzkumu také bylo vystavení vzorků teplotnímu zatížení a následné posouzení, zda došlo u některých kompozitů k teplotní degradaci.

Cílem práce bylo spíše obecně shrnout zjištěné poznatky ze všech měření, jež by mohly být nápomocny při optimalizaci výroby, než definovat jeden, nebo dva vzorky, které nejlépe reagovaly na změnu kritérií.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Co to je kompozitní materiál? Kompozitní materiál je tvořen minimálně dvěma, nebo více chemicky či fyzikálně odlišnými složkami, respektive fázemi. Tyto složky je možno dělit na výztuž a matici, kde je výztuží myšlena tvrdší, pevnější a tužší nespojitá složka a maticí naopak spojitá a zpravidla poddajnější fáze. [1]

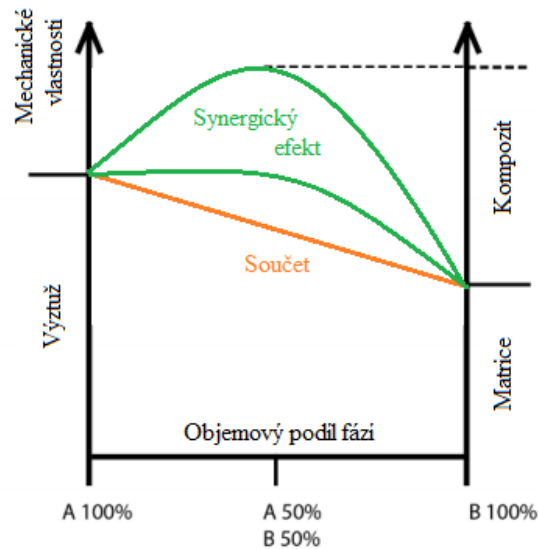
Definice, jež charakterizují kompozitní materiály, je velmi mnoho. Pro ukázkou je možno uvést tyto: „*Jakýkoliv materiál, který není čistá látka a obsahuje více než jednu složku, může být teoreticky klasifikován jako kompozitní materiál*“. Nevýhodou takovéto definice je fakt, že tímto způsobem by se mezi kompozitní směsi mohla zanást jakákoliv směs. Kompozit zkrátka není možné označovat za kombinaci dvou a více složek. Proto je nutné zavést přísnější kritéria pro definici „moderních kompozitů“.

V případě druhé definice je již zdůrazněna víceúčelovost kompozitních systémů: „*Kompozity jsou multifunkční materiálové systémy, které mají charakteristiky neobdržitelné žádným z jednotlivých materiálů. Jsou to kohezivní struktury, vytvořené fyzikální kombinací dvou nebo více kompatibilních materiálů, liší se složením, vlastnostmi a někdy tvarem*“. [2]

Hlavním přínosem kompozitních materiálů oproti konvenčním homogenním materiálům, je možnost kombinací dvou a více materiálů, případně i několika fází, které je možno účinně propojovat a tím kladně ovlivnit výsledné vlastnosti konečného kompozitního materiálu. Pro představu je možné tento **synergický účinek** naznačit následujícím vztahem (který se neslučuje s obvyklým myšlením).

$$2 + 3 = 8$$

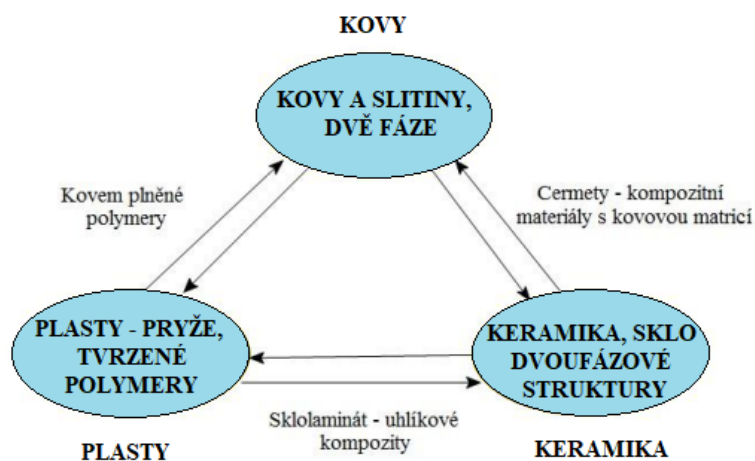
$$(A) + (B) = (C)$$



Obr. 1 Synergický efekt [4]

Materiál lze považovat za kompozit v případech, kdy splňuje tyto podmínky:

- podíl výztuže musí být alespoň 5 % nebo větší;
- vlastnosti sloučených složek se musí lišit;
- kompozit musí vzniknout smícháním složek;
- matrice musí být méně pevná než výztuž;
- smícháním složek získáme lepší vlastnosti, než by tomu bylo pouhým součtem původních složek. [1, 3]

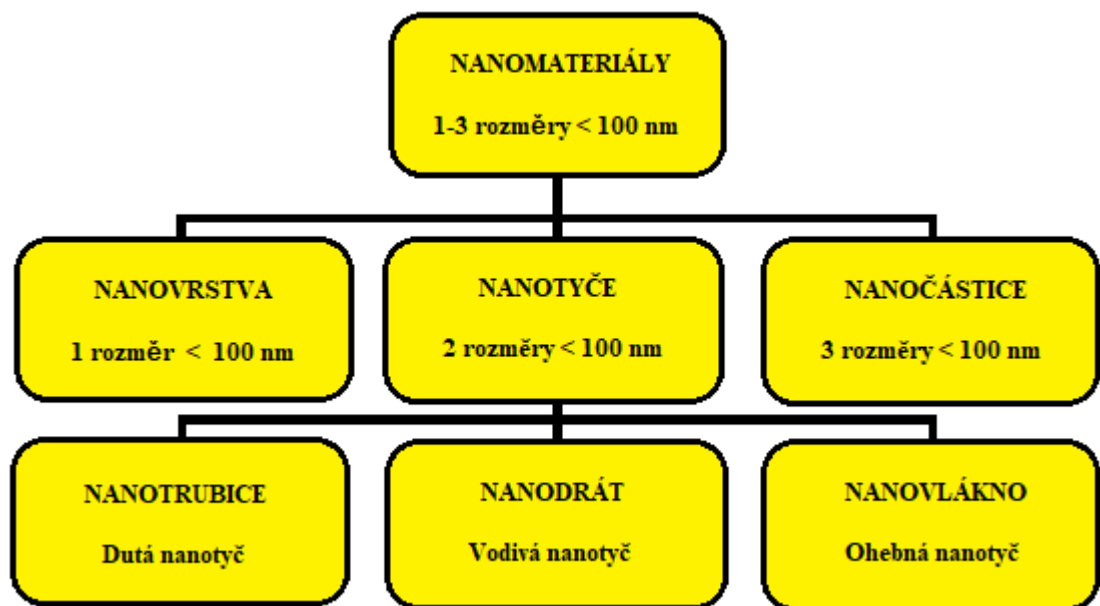


Obr. 2 Vztahy ve vývoji kompozitních materiálů [5]

1.1 Nanokompozity

Nanokompozitní aplikace jsou nejprogresivnější odvětví materiálové chemie dneška. V případě nanokompozitů je jejich struktura rozšířena o podmínku, že velikosti částic plniva se musí pohybovat v rozmezí jednotek až desítek nanometrů (obecná hranice pro maximální velikost částice je 100 nm), při splnění této podmínky je plnivo označováno jako nanoplivo. Výsledné vlastnosti nanokompozitů jsou svázány jak se složením, tak s velikostí částic, jejich uspořádáním a morfologií. [6, 7, 8, 9]

Můžeme tedy tvrdit, že pojmy nanokompozit a nanoplivo jsou do jisté míry specifitější označení pro kompozit a plnivo. Je nutné brát v potaz, že použití nanopliva nezaručuje, že výsledný materiál se bude moci označovat jako nanokompozit. V případě, že v systému není dosaženo jistého stupně disperze plniva a tím splnění podmínky velikosti částic v matrici, je nutné takovýto materiál nadále označovat jako kompozit. [10]



Obr. 3 Dělení nanomateriálů v závislosti na velikosti a tvaru částic

Velký zájem vědeckých (univerzitních i korporátních) laboratoří o tyto nanomateriály vedl k jejich rozsáhlému výzkumu, což mělo vliv na jejich další modifikace. Tato zkoumání dala vzniknout novému vědnímu oboru nazvaného nanotechnologie. Za velmi důležitou osobnost v tomto ohledu je považován držitel Nobelovy ceny za fyziku profesor Richard Feynmann, který již od 60. let minulého století vedl přednášky věnované nanomateriálům a dalo by se říct, že právě od této doby zájem o nanomateriály rostl. I přes fakt, že se o nanomateriálech mluví již přes sedmdesát let, k jejich masovému

zpracovávání začalo docházet až na přelomu tisíciletí a proto je nanomateriál označován jako materiál 21. století.

Hlavním přínosem nanomateriálů je fakt, že takovéto nanočástice se začínou chovat tak, jako by byly tvořeny pouze povrchem a je možné zanedbávat vlastnosti jejich „jádra“. Je však nutné brát v úvahu možné toxické riziko, zejména v případě organických nanoplňiv, a to s odkazem na současné výzkumy, které prokázaly jejich nepříznivý dopad jak na přírodu, tak živé organismy. [11]

Kompozitních nanomateriálů se využívá zejména (s ohledem na charakter využitého nanoplňiva) ve výrobě senzorů, elektromechanických měničů, magnetického chlazení, zobrazovacích metod v medicíně, nebo ve zpracovatelském průmyslu polymerních materiálů. Své místo našly ve výrobě nátěrových hmot, solárních článků, nebo potravinovém průmyslu (tvorba obalového materiálu, jež déle ochrání svůj obsah). [12]

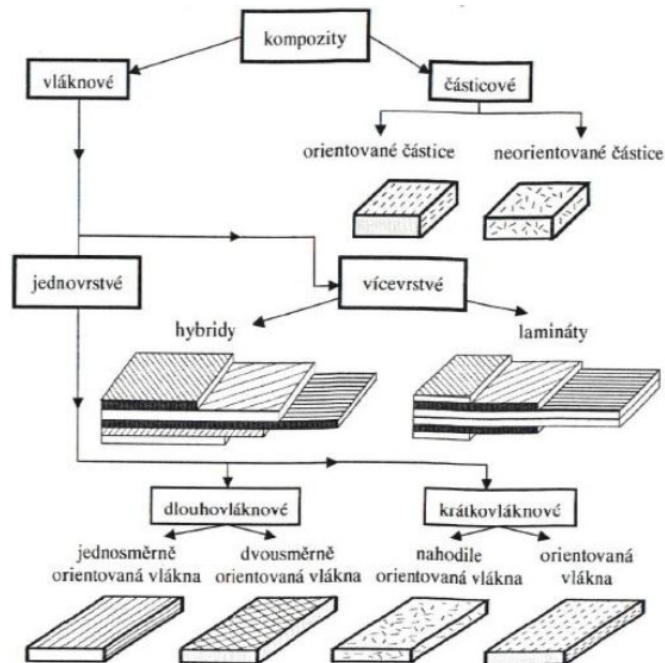
Jednou z dalších možných variant využití nanokompozitů je propojení polymeru s jílovým vrstevnatým minerálem. Takovéto polymer-jílové vazby jsou zkoumány již od sedmdesátých let minulého století. Značný pokrok však nastal až v devadesátých letech za přispění společnosti Toyota, která přišla s nápadem vytvoření nanostruktury v polymeru, a to za pomoci organicky upraveného jílu. Tento materiál byl vybudován na Polyamidu 6 a organofilním montmorillonitu, výsledné vlastnosti prokázaly velké zlepšení bariérových vlastností, mechanických vlastností, tepelné odolnosti, a to už při nízkém obsahu jílu. [10]

1.2 Vlastnosti kompozitních materiálů

Vlastnosti kompozitních materiálů jsou velmi ovlivňovány nejen vlastnostmi jednotlivých materiálových složek, z nichž jsou tvořeny, ale také jejich množstvím a interakcí mezi nimi. K celkovému zefektivnění mechanických vlastností se přistupuje zvyšováním obsahu vyztužující složky, a to až k podílu 80 %. Aby bylo dosaženo plné pevnosti materiálu, je tedy nutné zajistit, aby vyztužná vlákna byla zcela propojená (smočená) s pojícím materiálem a je nezbytná velká přilnavost (adheze) mezi vlákny a matricí a tím také dokonalý přenos silové složky z matrice na vyztuž. Vlastnosti výsledného celku také do značné míry ovlivňuje orientace směru vyztužného systému. [13, 14]

1.3 Rozdělení kompozitních materiálů

Dělení kompozitních materiálů může probíhat dle různých kritérií a kategorií, pro náš případ je však nejvhodnější rozdělení na částicové a vláknité kompozity viz obr. 4.



Obr. 4 Dělení kompozitních materiálů [15]

Zásadní rozdíl ve struktuře kompozitních materiálů může být v druhu využití matrice, neboli dle základní spojité fáze, kdy rozlišujeme kovové kompozity, polymerní kompozity (termoplastová, reaktoplastová, elastomerní matrice), keramické kompozity a ostatní anorganické kompozity.

Dalšími znaky pro dělení kompozitních složek mohou být strukturální podoba, nebo geometrie dispergované fáze do matrice. Dle těchto faktorů rozlišujeme disperzní, vláknové (dlouhá, krátká vlákna) a částicové (pravidelné, nepravidelné tvary částic) kompozity.[1, 16]

V neposlední řadě má velký vliv na výslednou podobu a vlastnosti také velikost vyztužující fáze. Z tohoto hlediska je možné kompozity rozdělovat do tří skupin.

- Nanokompozitní materiály – jedná se o kompozitní složku, kde je matrice tvořena polymerem a částice plniva se pohybují ve velikosti jednotek nm. [5]
- Mikrokompозitní materiály – v praxi mají nejširší uplatnění, největší rozměry příčného plniva jsou v rozpětí 1 – 100 μm , jejich znakem je menší hustota než polymerní matrice, což má za výsledek kladný poměr modulu pružnosti i pevnosti v tahu k hustotě.

- Makrokompozitní materiály – tyto systémy jsou opatřeny výztuží o velikosti až 100 mm a jsou využívány zejména ve stavebnictví (např. železobeton, kombinace plastů a dřeva atd.). [17]

V našem případě nás zajímá zejména (nano)kompozitní materiál, neboli polymerní (nano)kompozit, jež je složen ze spojitě fáze polymerní matrice a nespojitě fáze plniva. [6, 18]

1.4 Matrice

Pod pojmem matrice je možné si zjednodušeně představit pojivo plnicí složky. Nejčastěji využívaným pojivem bývá pryskyřice (reaktoplast). Úkolem matrice je mimo jiné chránit výztuž vůči okolním vlivům, napomáhat přenášení tlaku kolmo na plnivo (zejména u vláken), k přenášení silové složky dochází za pomoci adheze vzniklé mezi maticí a výztuží. Typ matrice také určuje vlastnosti výsledného kompozitu, jakými jsou odolnost proti teplotám a korozi, nebo elektro-izolační vlastnosti atd. [15, 19]

Dle povahy matrice dělíme kompozity do těchto pěti skupin:

- s kovovou maticí (MMCs);
- s keramickou maticí (CMCs);
- **s polymerní maticí (PMCs) – termoplastická, reaktoplastická;**
- s uhlíkovou maticí;
- se skleněnou maticí;

Polymerní matrice

Polymerní matrice jsou využívány zejména pro svou dostupnost, dobrou korozivzdornost a chemickou odolnost, ale také pro svoji vysokou pevnost a modulovou pružnost. Elektro nevodivost je podmíněna nevodivým typem plniva (skleněné, křemičitanové, polymerní).

Dle vlastností nebo výrobního postupu rozlišujeme jedná-li se o polymer termoplastický nebo reaktoplastický. Termoplastické matrice jsou v porovnání s elastomery zpravidla houževnatější. Mez kluzu se pohybuje při teplotě 20 °C pod 100 MPa a modul pružnosti je v rozmezí 2 - 4 GPa. Výrobky mohou být v případě amorfních polymerů využívány v teplotách zpravidla do 50 °C pod teplotou skelného přechodu (T_q) a výrobky

ze semikrystalického polymeru mohou být využívány v teplotách 50 – 100 °C pod bodem tání krystalů (T_m).

Mezi další výhody polymerních matric patří zejména to, že plní funkci pojiva i po prvním narušení výztuže (spíše u vláknového plniva) a v případě termoplastické matrice je výhodou její opakovatelné zpracovávání z důvodu jejich dlouhých strukturálně lineárních řetězců, jež jsou spojeny pomocí mezimolekulárních sil. [20, 21, 22]

V případě termoplastů, u nichž dává vyztužování smysl, se nejčastěji jedná o:

- polyamid (PA 6, PA 66);
- polyetylen (PE);
- polypropylen (PP);
- polykarbonát (PC);
- polysulfon (PSU);

Využití termoplastických polymerů má nejčastěji zásadní vliv na cenu výsledného produktu, kdy rozdíl oproti reaktoplastické matrici se pohybuje o -25 až -80 % ceny. [1]

1.5 Plnivo (obecně)

Vzhledem k trendu stále se zvyšujících nároků na materiál a jeho kvalitu je nutné materiály stále modifikovat (vyvíjet) tak, aby jejich výsledné vlastnosti byly co možná nejkvalitnější a využitelné v širokém spektru aplikací. Tohoto stavu může být (zpravidla také bývá) docíleno přidáním vhodných plniv do polymerní matrice. Vlastnosti plniv se mohou velmi lišit v závislosti na využitém materiálu, jeho modifikaci, přípravě nebo úpravě povrchu. Přidáním vhodného plniva neboli výztuže je možné docílit zvýšení mechanických vlastností kompozitů, a to zejména pevnosti a tuhosti. [23]

Plniva rozdělujeme dle několika kritérií:

- velikost částic (konvenční plniva, nanoplňiva);
- výskyt (přírodní, syntetická);
- afinita matrice a plniva (pasivní, aktivní);
- složení (anorganická, organická);

1.5.1 Částicová plniva

Částice jako takové mohou mít nepravidelný, nebo pravidelný tvar a mikro, až nano rozměry. Tyto částice lze připravovat několika způsoby. Jedním z nich je mletí, kdy dochází k drcení makro částicového materiálu za pomoci kulového nebo planetového mlýna. Tímto vznikají částice o nepravidelném tvaru, s velkým rozptylem velikostí a obsahem nečistot. Další variantou výroby je tzv. pyrolýza, kdy je vstupní surovina převedena z nějaké fáze do fáze plynné (potažmo kapalně). Tento plyn je poté za pomoci trysky vhněn do plamene. Výsledným produktem jsou zpravidla aglomeráty (spečenec), než jednotlivé částice. V případě další metody je možné do jisté míry ovládat výslednou velikost částic vstupního materiálu, tato metoda se jmenuje sol-gel, spočívá v přípravě roztoku solu, jež je následně za pomoci polyesterifikace či polykondenzace přeměněn na gel. Tento gel se ponechá dostatečně vyzrát a následně je filtrován do tekutiny, která se nechává sušit při teplotě minimálně 8000 °C. [24]

Částicové kompozity

Částicové kompozity s polymerní maticí se vyznačují nízkou hustotou a vyšším modulem pružnosti v tahu. Nevýhodou těchto kompozitů je jejich malá odolnost vůči chemikáliím, a také tepelná nestabilita. Plnivo je nejčastěji vytvářeno za použití mikro mletí anorganických materiálů.

Příkladem takovýchto systémů jsou vrstevnaté hlinitokřemičitany (slídy), hlinitokřemičitany (kaolin, mastek) a uhličitany (těživec, vápenec). Sférický tvar částic by neměl být moc velký, aby nedocházelo ke snížení pevnosti polymeru. K navýšení tuhosti se zpravidla využívá sférických částic s rozměrem od 1 do 10 μm , jež jsou považovány za „velké“ částice (skleněné kuličky, duté skleněné kuličky, vápenec). [5, 25]

1.5.2 Nanoplňiva

Pod názvem nanoplňivo v praxi označujeme materiál, jehož minimálně jeden rozměr se pohybuje v rozmezí nanometrů (do 100 nm). U zpracovávání polymerních materiálů bývají nejčastěji využívanými nanoplňivy anorganické oxidy (keramické materiály ZnO , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , aj.) a jílové vrstevnaté minerály.

Jílové minerály jsou považovány za nejdůležitější skupinu silikátů (viz kapitola 2.3) z důvodu jejich velmi malé velikosti částic, vrstevnaté struktury o tloušťce kolem 1 nm a příčné délce cca od 30 nm do několika μm , jež jsou vázány pomocí slabších Van der

Walsových sil (vazeb). V závislosti na velké ploše povrchu těchto plniv, stačí v praxi přidání jen velmi malého množství tohoto plniva do směsi k získání výrazného zlepšení vlastností (mechanických, tepelných, chemických) výsledné kompozitní směsi.

Tyto jíly mají v případě kompozitních směsí úlohu nejen nanoplňiva, ale také nanokompozitní výztuže. Tato typy materiálů mají v současnosti velké využití v mnoha aplikačních oblastech, jako například letecký, automobilový průmysl, medicína a zpracování polymerních materiálů (spojeno s dalšími oblastmi). [26, 27]

2 POLYSTYREN, POLYOLEFINY A PLNIVA

2.1 Polystyren

Nízká cena a skvělé užité vlastnosti jsou ty faktory, jež dělají z polystyrenu (potažmo houževnatého polystyrenu HIPS) velmi využívaný polymerní materiál. Standartní polystyren je v dnešní době jedním z nejvyužívanějších polymerů (stavebnictví, automobilový a letecký průmysl). Mezi styrenové polymery však také patří kopolymery jako akrylonitril-butadien-styren (ABS) nebo styren-butadien (SB) [19, 28]

Styren je monomer určen pro výrobu styrenových plastů, nejedná se však o žádnou převratnou novinku v světě polymerů, jelikož jeho objev se datuje k polovině 19. století. Název je odvozeninou slova Styrax, což je název stromu, jenž se vyskytuje převážně na Asijském kontinentu a z jehož mízy byl původně získáván. [29]

Roku 1831 byl prvně popsán polymerní materiál polystyren, tehdy označován jako styrenoxid. Na popsání polystyrenové struktury má největší zásluhu německý lékárník Hermann Staudinger, jenž jako první využil označení polystyren a následně také jeho strukturální vzorec (dvacátá léta 20. století). [30]

V současnosti je styren průmyslově vyráběn pomocí dehydrogenace etylbenzenu, který je připravován Fridel-Craftsovou reakcí z etanu a benzenu za přítomnosti chloridu hlinitého. [19, 31]

Styren je olejovitá bezbarvá kapalina s nasládlým zápachem. Jedná se o těkavou organickou látku, vyznačující se špatnou rozpustností ve vodě, ale naopak dobrou v organických rozpouštědlech. Vliv na něj má proces oxidace za vzniku peroxidů, jenž je katalyzátorem jeho polymerace. Styren se využívá nejčastěji jako rozpouštědlo, či surovina na výrobu polystyrenu, nenasycených polystyrenů a kopolymerů styrenu. [29]

Polystyren lze získat různými druhy polymeračních reakcí, radikálovou (blokovou, suspenzní, emulzní), stereospecifickou, iontovou. Největšího významu u výroby homopolymeru se však přikládá polymeraci radikálové (suspenzní, emulzní). [30, 32]

V případě výroby izotaktického, nebo syndiotaktického semikrystalického polystyrenu, se využívá tzv. komplexně koordinační polymerace s metalocénovými katalyzátory, význam těchto styrenů roste zejména v posledních letech. [33]

Polystyren (PS)

Jedná se o amorfní, nepolární, bezbarvý, čirý polymer s vysokým leskem, jenž je odolný vůči vodě, olejům, alkoholům a ředěným anorganickým kyselinám. PS je také materiál s širokou škálou využitelných vlastností, což ho zařazuje mezi nejvyužívanější polymery. Hustota PS je $1,05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a molární hmotnost se pohybuje v řádech stovek tisíc. Je možné tento materiál bez větších problémů vytlačovat i vstříkovat. [32, 34]

Teplota skelného přechodu (T_g) je v případě polystyrenu poměrně vysoká (kolem $100 \text{ }^\circ\text{C}$), teprve nad touto teplotou dochází k pohybu segmentů řetězců a chování materiálu přestává být sklovité a mění se na kaučukovité. V praxi to znamená, že materiál je za pokojových teplot křehký. Nevýhodou tohoto materiálu je fakt, že k měknutí dochází již u teploty kolem $80 \text{ }^\circ\text{C}$, což znemožňuje jeho využití u aplikací, které by byly vystaveny například vařící vodě. [35]

Mechanické vlastnosti odpovídají profilu Hookova zákona, kdy závislost deformace na napětí je téměř lineární. V případě měření za pokojových teplot je možné tvrdit, že veškeré deformace až do přetržení jsou vratné. Prodloužení se pohybuje pouze v řádech jednotek % ($2 - 3 \%$), avšak modul pružnosti je poměrně vysoký (3200 MPa), který je však stejně jako T_g odvíjí od molární hmotnosti. [28, 36]

Problematickou sekci polystyrenu je vysoká a dobrá hořlavost, ke vzplanutí dochází velmi snadno. Tento fakt je v posledních letech řešen zejména u zateplování výškových budov a je nutné se z bezpečnostního hlediska striktně držet normy ČSN 73 0810:2016. Dalším negativem je jeho malá odolnost vůči UV záření (dochází ke žloutnutí). [32, 37, 38]

Díky jeho vysokému modulu je možné PS využívat jako konstrukční plast, avšak v praxi je ve velké míře využíván na produkty „denní spotřeby“, což ho řadí mezi komoditní polymery. [32, 34]

Výroba a zpracovatelnost

Prvním závodem, který započal s výrobou (kontinuální polymerací styrenu v bloku), byl německý chemický závod IG Fasbenindustrie v roce 1931. [39]

U nás se nejčastěji setkáváme s polystyrenovými plasty pod označením KRASTEN, jež jsou vyráběny společností Kaučuk Kralupy (Synthos Kralupy a.s.) [40]

K nejčastějšímu způsobu zpracování této polymerní hmoty patří vstřikování (75 – 85 % veškerého množství), vytlačování a tepelné tvarování vytlačovaných desek.

V případě zpracování vytlačováním se využívá výšemolekulárního typu polystyrenu s nízkou tekutostí. Tepelné tvarování PS desek a fólií se využívá zejména v obalové technice. [41]

2.2 Polyolefiny

Polyolefiny jsou částečně krystalické termoplasty. Tyto polymery zastupují skupinu syntetických polymerů, jež jsou globálně zpracovávány v největším množství. Důvody využití polyolefinů jsou zejména jejich specifické vlastnosti, dobrá zpracovatelnost, ale zejména nízká cena. Mezi nejznámější polyolefiny považujeme polypropylen (PP) a polyetylen (PE). Jejich společnými znaky je schopnost izolantu proti elektrickému proudu, chemická odolnost, nízký koeficient tření a nízká absorpce vody, zároveň je tato skupina polymerů vhodná k přípravě (nano)kompozitních materiálů. [42]

Polypropylen (PP)

Historie tohoto materiálu sahá až do sedmdesátých let 19. století, kdy francouzský chemik Marcellin Berthelot připravil pomocí reakce propylenu s kyselinou sýrovou první propylen, avšak tato lepkavá sraženina nenašla v tehdejší době uplatnění. Ta skutečná historie polypropylenu začíná rokem 1952 za využití organokovových katalyzátorů, jejichž báze stojí na hliníku a titanu. Tento postup vyvinul německý chemik Karl Ziegler původně pro nízkotlakou polymeraci etylenu. V následném roce tento postup zdárně využil Ital Giulio Natta k syntéze izotaktického PP, čímž se z PP stal první stereoregulární polymer. [43]

Přestože je PP klasickým představitelem velkotonážního plastu, některé jeho modifikace spadají i do kategorií konstrukčních, či speciálních materiálů. Nejčastější aplikace PP jsou v současnosti automobilové díly, drobné spotřební zboží, hračky, sportovní potřeby, domácí spotřebiče.

Nové modifikace zapříčinily, že využití PP v posledních letech zase roste, k čemuž také napomáhá jeho poměrně dobrá recyklovatelnost. [43, 44]

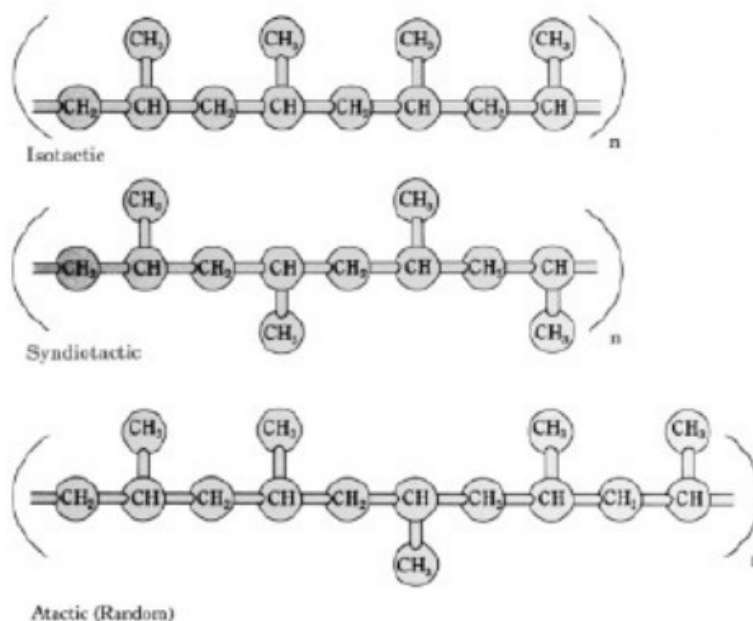
Výroba polypropylenu

V případě polypropylenu je jeho monomerem propen (propylen) $CH_2 = CH - CH_3$, jenž je velmi dostupnou petrochemickou surovinou. K jeho zpracování je možné využít odpadních plynů z ropných rafinérií, kapalných uhlovodíků (po pyrolýze), nebo vyšších alkanů ze zemního plynu. Rozhodujícím faktorem v přípravě PP je čistota propenu, a z tohoto důvodu jsou na ni kladeny velmi vysoké nároky. Propen je za běžných okolností bezbarvý plyn bez zápachu nebo chuti. Problematickým faktorem je fakt, že se vzduchem tvoří výbušnou směs, z tohoto důvodu je dodáván v tlakových láhvích a zkapalněném stavu. Z lékařského hlediska je v běžných dávkách propen zdravotně nezávadný, avšak při velkých koncentracích prokazatelně způsobuje narkózu. [45]

Dnes se PP vyrábí za pomoci polymerace blokové, srážecí a plynné. Katalyzátory bývají zpravidla sloučeniny vzniklé ze soli přechodného kovu $TiCl_3, TiCl_4, VCl_4$ a organokovu $Al(C_2H_5)_3, Al(C_3H_7)_3, Zn(C_2H_5)_2$. Nejrozšířenější jsou $TiCl_3$ a $Al(C_2H_5)_3$, které označujeme jako Ziegler – Nattovy. [46]

Chemické složení a struktura polypropylenu

Hlavní částí PP je monomerní jednotka, jejíž uspořádání je dáno úhlem valenčních atomů uhlíku. Tyto jednotky jsou antisymetrické, takže se do výsledných makromolekul mohou tvarovat (skládat) různými způsoby. Z tohoto důvodu rozlišujeme tři typy polypropylenu: izotaktický, syndiotaktický, nebo ataktický.



Obr. 5 Stereoizomery polypropylenu – nahoře izotaktický, uprostřed syndiotaktický, dole ataktický PP [47]

Nejčastějším uspořádáním je forma izotaktická, ve které jsou metylové skupiny pravidelně uspořádány po jedné straně polymerního řetězce. Toto opakující se uspořádání PP se také vyznačuje nejvyšší mírou krystalinity. V případě syndotaktického PP se jedná o metylové skupiny, jež jsou pravidelně uspořádány po obou stranách řetězce. Tento druh je vyráběn za přispění metallocenových katalyzátorů. Poslední skupinou jsou ataktické PP, tento druh PP má metalové skupiny náhodně orientované po celé délce řetězce. Množství segmentu v celém řetězci je ovlivněno použitými katalyzátory a podmínkami krystalizace. [47]

V praxi se setkáváme jediné s izotaktickou formou s malým podílem ataktické formy. Avšak díky novým metallocenovým katalyzátorům jsme schopni tvořit další konfigurace jako hemi-izotaktický PP. V tomto případě jde o metylové skupiny, jež jsou uspořádány na jedné straně polymerního řetězce jako u iPP a zbylé metylové skupiny jsou nahodile uspořádány po druhé straně řetězce. Podíl struktur bývá zpravidla více než 80 % váhy izotaktický, naopak podíl ataktický by neměl být vyšší než 10 % hmotnosti. [43, 47]

Vlastnosti a použití polypropylenu

Polypropylenová výrobní fáze se značně podobá fázi polyetylenové, konkrétně nízkotlakému způsobu. V případě zvláknování PP je požadován tzv. izotaktický index vyšší než 95 %. Snahou je dosáhnout co nejmenší podíl ataktické složky. Ta způsobuje nižší teplotu tání, snížené mechanické vlastnosti i odolnost vůči rozpouštědlům, avšak naopak zvyšuje rázovou houževnatost. Stejně jako v případě PE má i PP strukturu takřka nepolární. Z důvodu vysoké krystalinity (60 až 75 %) je PP neprůhledný. Teplota tání je u iPP 176 °C, v případě komerčních produktů se pohybuje od 160 do 170 °C, výhodou je také možnost využití PP i při vyšších teplotách, a to až do 135 °C. V porovnání s PE se PP vyznačuje nižší hustotou a odolností vůči záporným teplotám, avšak má vyšší tvrdost, pevnost a otěruvzdornost. Aromatické a chlorované uhlovodíky se chovají jako rozpouštědla polypropylenu nad teplotou 80 °C. Botnající účinky na něj mají estery, uhlovodíky, nebo ketony. Rostlinné ani minerální oleje nikterak neabsorbují, a proto nemají vliv na vlastnosti PP. Polypropylen je také oproti polyetylenu více náchylný ke korozi (tvorbě puklin), a také je mnohem méně odolný vůči UV záření.

Polypropylen je možné zpracovávat takřka všemi způsoby určenými ke zpracování termoplastů. Využívá se zejména zvláknování, vyfukování (fólie, duté nádoby), vstřikování, vytlačováním se tvoří produkty, jež mohou být následně také svařovány, nebo do určité míry

tepelně dotvarovány. Tekutost taveniny je hlavním faktorem, který ovlivňuje použití u jednotlivých technologií. Čím vyšší je molekulová hmotnost, tím roste viskozita a klesá tekutost taveniny. [43 – 48]

Polypropylenová vlákna se vyznačují malým smrštěním a zejména nízkou cenou. Jejich koeficient tření je vysoký, jsou odolné vůči plísním, mrazu a nenavlhají. Výhodou je také to, že jsou lehčí než voda, což může být výhodou u některých typů aplikací.

Významným produktem jsou fólie a desky, které jsou transparentní a využívají se zejména jako obalový materiál. Vstřikované výrobky mohou být jak malých, tak velkoformátových rozměrů.

Nadmolekulární struktura PP

PP spadá do kategorie polymorfních polymerů, může tedy existovat ve více krystalických modifikacích, jejichž vznik se odvíjí od podmínek (teplota, tlak, čas) působících při krystalizaci. [47]

Tyto struktury označujeme jako modifikace α , β a γ . Specifickou modifikací je smektická forma.

α - modifikace – jedná se o nejčastější krystalickou strukturu iPP. K jejímu vzniku dochází za normálních podmínek krystalizace. Hustota se pohybuje kolem $0,94\text{g}/\text{cm}^3$ a teplota tání je cca $170\text{ }^\circ\text{C}$. [47]

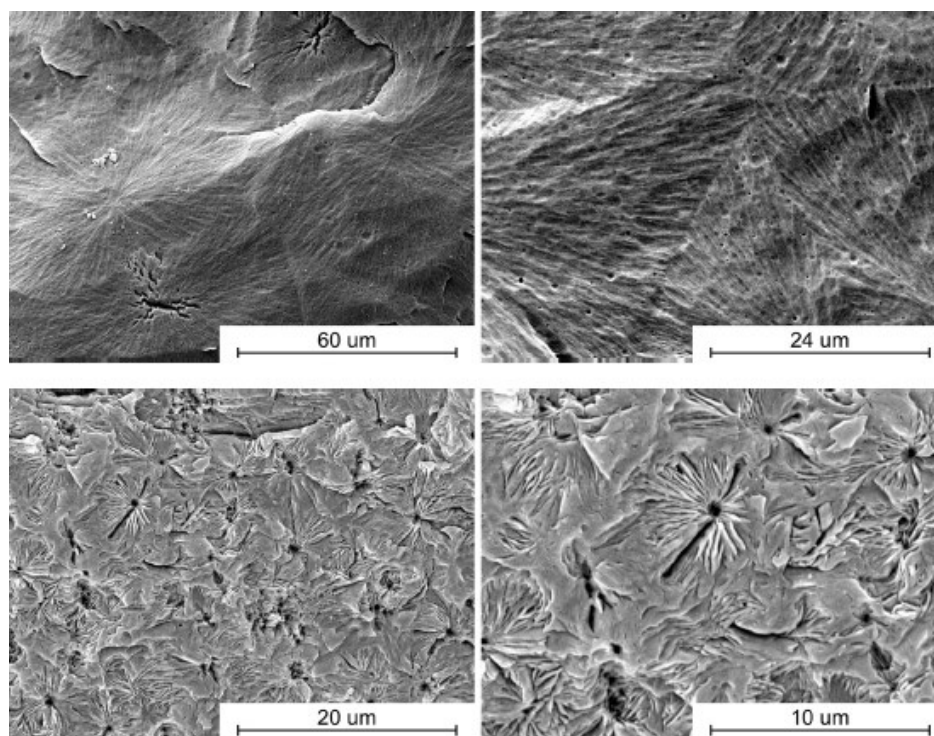
β - modifikace – tato fáze vzniká za krystalizace iPP při teplotě v rozmezí $128 - 132\text{ }^\circ\text{C}$, avšak za specifitějších podmínek. Rychlost růstu sférolitů je až o 70%, než v případě α - modifikace. Hustota je v tomto případě $0,92\text{g}/\text{cm}^3$ [47]

γ - modifikace – tato fáze nevzniká za běžných podmínek, její výskyt je podmíněn přítomností vysokých tlaků během krystalizace a její výskyt je nejčastěji spojován se stereoblokovými kopolymery. [47]

Smektická forma – u této formy PP mluvíme o tzv. parakrystalické fázi, která se vyskytuje mezi amorfni a krystalickou fází. [47]

Celá řada světových výrobců se zabývá výrobou právě iPP, a to jak v čisté formě, tak v různých modifikacích. Českému trhu jsou známé značky jako Slovnaft (TATREN), BASF (NOVOLEN), nebo Vestolen (VESTOLEN). U nás je předním výrobcem iPP společnost Chemopetrol (MOSTEN). Právě modifikace významně ovlivňují výsledné

vlastnosti. Z komerčního hlediska je nejvyužívanější modifikací tzv. α -iPP, v určitých aplikacích je ovšem také vyhledáván β -iPP. Pokud dojde ke srovnání α -iPP s β -iPP, tak β -iPP má nižší hustotu krystalů, entalpii tání a teplotu tání, avšak dosahuje vyššího tahového napětí a velikosti prodloužení. [49, 50]



Obr. 6 Sfěrolitická struktura : α -iPP, bez nukleačního činidla (nahore),
 β -iPP, s nukleačním činidlem (dole) [50]

2.3 Plniva

Plniva jsou přísady, jimiž se mění zpravidla mechanické vlastnosti polymerního materiálu. Směs vzniklou smícháním plniva a polymerního materiálu označujeme jako kompozit viz kapitola 1. Plniva obecně rozdělujeme dle původu na organická a anorganická, a dále dle výskytu na přírodní a syntetické. [51]

- **Anorganická (minerální) plniva:**

Částicová – saze, písek, kovy, síran vápenatý, křemičitan vápenatý, slída, mastek, síran barnatý, uhličitan vápenatý, jílové minerály (kaolin, montmorillonit)

Vláknitá – hliníková, skelná vlákna.

- **Organická (přírodní) plniva:**

Částicová – usňový prach, dřevěný prach, dřevní moučka.

Vláknitá – vlákna ze zemědělských plodin, textilní stříže a vlákna, uhlíkové vlákna. [52]

2.3.1 Silikáty

Základní strukturální jednotkou silikátů je tetraedr SiO_4 . Tyto obsažené minerály jsou v přírodě jedněmi z nejběžnějších a nejdůležitějších součástí hornin. Křemičitany (i s křemenem) tvoří cca 75 % zemské kůry. V našich podmínkách jsou silikáty, potažmo jílové minerály, těženy zejména jako druhotné suroviny u povrchové těžby kaolinu a uhlí. [53, 54]

Silikáty dělíme v praxi do 6 kategorií, dle jejich krystalické struktury.

- Neosilikáty (ostrůvkové křemičitany)
- Cyklosilikáty (kruhové křemičitany)
- Sorosilikáty (skupinové křemičitany)
- Inosilikáty (řetězcové křemičitany)
- Tektosilikáty (skeletové křemičitany)
- **Fylosilikáty (vrstevnaté křemičitany) [54]**

Jílová plniva (Fylosilikáty)

Toto označení je obecně známějším termínem pro jednu z kategorií silikátů, konkrétně fylosilikátů, označení je odvozeno z latinského slova fylos, neboli list. Právě list vhodně vystihuje tvar těchto plniv, u nichž je tloušťka zanedbatelná, avšak plocha povrchu velmi velká.

V současnosti jsou jílová plniva určitým trendem. Zájem o tyto minerály je velký kvůli jejich schopnosti přijímat do své struktury (krystalové) komplexní ionty, polymery, nebo velké organické molekuly.

Technologicky vzato jsou za jílové minerály brány ty, jejichž částice nepřevyšují velikost 2 μm . Zpravidla se jedná o různorodé silikáty s vrstevnatou strukturou, hydroxidy a oxidy hliníku, železa a manganu, nejrůznější formy oxidu uhličitého, křemičitany, zeolity atd., za splnění podmínky jemnosti částic. Ve velmi zúženém vnímání jsou jílové materiály jen jemně krystalové silikáty s vrstevnatou strukturou (krystalovou strukturou). Mezi takové řadíme především: halloysit, illit, montmorillonit, kaolinit. [55]

Význam jílových materiálů je značný zejména v průmyslových odvětvích, jako zpracování plastů, odvětví keramiky, slévárenství, papírenství, farmakologii, nebo stavebnictví. Aplikační potenciál, však každým rokem roste. Mohou být využity jako sorbenty, katalyzátory, filtry, plniva, molekulová síta, izolace aj. Snaha o využití jílových materiálů je dána jejich širokým výskytem, unikátními vlastnostmi, snadným získáváním, což kladně ovlivňuje také cenu. [56]

Kategorizace jílových materiálů

Jíl je přírodní směsný materiál, složen zejména z velmi jemných zrnitých minerálů. Jíl s přiměřeným obsahem vody vykazuje plastické chování, avšak po vysušení a vypálení se stává tvrdým. Fylosilikáty jsou hlavní součástí těchto jílů, jedná se o silikáty s vrstevnatou strukturou, součástí jílů jsou ale také i jiné minerály, nebo minerální hmoty. Tyto příměsi mohou, ale nemusí ovlivňovat výslednou plasticitu, nebo tvrdost jílového materiálu. Do těchto minerálů řadíme nekystalické i kystalické modifikace SiO_2 a minerální skupiny živce, alofanů, oxidů, karbonátů a hydroxidy hliníku či železa. [57, 58]

Velmi malé rozměry krystalů, společně s vrstevnatou strukturou, dělají z jílových minerálů velmi zajímavý materiál s několika unikátními vlastnostmi jako:

- schopnost reakce s organickými látkami (po určité úpravě jílového materiálu zpravidla vermikulitů, nebo smektitů). Po této reakci je možné tvořit výrobky, které jsou následně schopné reakce s látkami organickými, načež vznikají tzv. organo-jílové komplexy;
- schopnost iontové výměny a sorpce, kdy druh a množství u výměny kationtů, může velmi silně ovlivňovat fyzikální vlastnosti. Smektitové a Vermikulové skupiny mají největší potenciál výměny;
- schopnost vázání vody velmi ovlivňuje technologické vlastnosti výsledného produktu, jakožto schopnost tvorby suspenze, tvarová stálost, plasticita atd. [55]

Minerály skupiny smektitů

Z jílových minerálů představují zejména smektity vhodnou základnu pro sloučení s organickými molekulami, polymery a oligomery. Tyto směsi mají velké využití jako katalyzátory, sorbenty, nebo prekurzory k přípravě nanokompozitů (polymer – silikát) atd. [59]

Významnou vlastností takovýchto struktur je schopnost využití mezivrstevních prostor, kam je možné umístit různé typy kationtů. Tuto vlastnost označujeme jako botnavost. [60]

Montmorillonit

Montmorillonit (MMT) řadíme do skupiny smektitů. Podle struktury je řazen do skupiny tzv. 2:1 jílu (třívrstvá struktura). Název je odvozen dle francouzského města Montmorillon, v jehož okolí se vyskytují významné zásoby. Tento jíl se vyskytuje v podobě bělavé, narůžovělé, žlutavé, šedé, nebo světle hnědé. Vznik je dán zvětráváním čedičových tufů a je běžnou součástí jílových půd a hornin. V současnosti se jedná o nejvyužívanější vrstevnatý jílový minerál. Plnivem jsou jeho aluminosilikátové destičky o tloušťce cca 1 nm a průměrné podélné délce 0,5 – 1 μm . Už využití relativně malého poměru těchto částic v kompozitní směsi (zpravidla 2 – 6 objemových %) může vést k výraznému zlepšení vlastností kompozitního materiálu (za předpokladu rovnoměrné dispergace plniva). Takovéto vlastnosti (nano)kompozitního materiálu není za použití obvyklých plniv (zpravidla) možné dosáhnout vůbec, nebo za použití mnohem většího obsahu plniva.

To, že toto nanoplivo má tak specifické vlastnosti je možné vysvětlit jeho neskutečně velkou mezifázovou plochou (plnivo / polymer), která u MMT může být v ideálním případě až 750 m^2/g . Podstatným faktorem je také destičkový tvar Montmorillonitového plniva s aspektálním poměrem 500 – 1000. Tento poměr určuje výsledné vlastnosti MMT jako bariérové vlastnosti, modul pružnosti, odolnost vůči teplotě, nebo hoření. Komerčně využívanými MMT jsou zpravidla Cloisite, nebo Nanofil. [10, 57, 60]

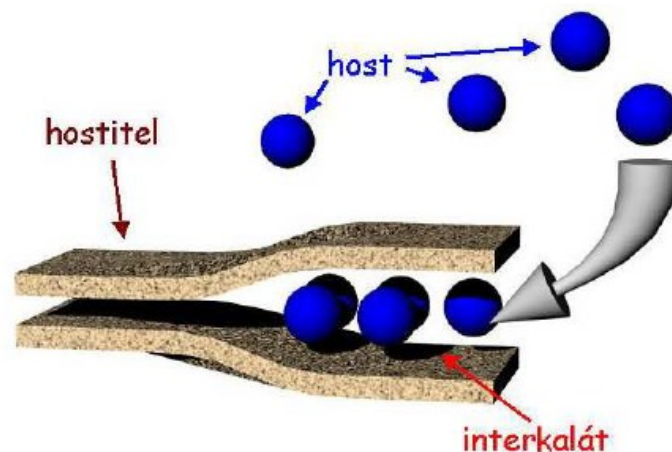
Struktura MMT

Montmorillonitová struktura byla navržena profesory Hoffmanem, Wilmem a Endellem a je tvořena dvěma vzájemně se pronikajícími křemičitanovými tetraedrickými sítěmi a oktaedrickou sítí hydroxidu křemíku, nebo hliníku. [10]

Modifikace jílových struktur

K povrchovým úpravám jílu docházelo ve zpracovatelském průmyslu již v 50. letech minulého století, kdy byly tyto materiály aplikovány zejména ve výrobě kosmetiky, barviv, či maziv.

Přírodní forma smektitů je zpravidla oblast mezi vrstvami vyplněna různými kationty. Právě kationty, které v těchto mezerách převažují, výrazně ovlivňují vlastnosti těchto smektitů. Bude-li tímto kationtem sodík, dojde k výraznému ovlivnění reologických vlastností jako tixotropie a viskozity. Proto je pro určité aplikace potřebné, aby tuto mezeru vyplňoval pouze jeden typ kationtu. Tohoto stavu lze dosáhnout například pomocí vícenásobného sycení kationtem, nebo za pomoci metody zvaná interkalace. [10]



Obr. 7 Proces interkalace [61]

Interkalace je proces, který otevřel cestu k tvorbě zcela nových materiálových složek s určitými vlastnostmi. Jedná se o proces, při kterém dojde k vmezeření (vsunutí) vhodné látky mezi jednotlivé vrstvy silikátu. Toto vede k zvětšení prostoru mezi vrstvami a zároveň k zvětšení afinity plniva k polymeru. V tomto kroku může nastat delaminace, nebo exfoliaci, kdy dojde k rozpadu na jednotlivé vrstvy. [10]

Další možnou modifikací jílu je tzv. organofilizace, tedy modifikace pomocí organické molekuly. K reakci dochází ve vodné suspenzi zpravidla jílu, kde dochází k záměně Na^+ za dané organické kationty, zpravidla amoniové občas také fosfonické, nebo dusíkaté. Čím větší má použitý kation molární hmotnost, tím větších mezer mezi vrstvami bude dosaženo, současně však značně klesá elektrostatická přitažlivost. [10, 61]

Kaolin

Jedná se o světlou horninu jílovitého typu, jenž zpravidla vzniká zvětváním živce. Hlavní jílová složka je tvořena fylosilikátovým minerálem kaolin. Tento minerál má obecný chemický zápis $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. [10, 62, 63]

Vznik a složení

Chemická struktura u tohoto jílu je relativně neměnná a stálá, avšak i přesto se vyskytuje určitá obsahová variabilita hlavních oxidů, nebo příměsí. Ve velmi zjednodušené podobě lze chemické složení popsat následovně: 46,5 % SiO_2 , 39,5 % Al_2O_3 a 14 % H_2O . Příměsemi kaolinu mohou být nepatrná množství oxidu draslíku, titanu, hořčíku, nebo železa. Samotné označení tohoto jílu (kaolin) je odvozeninou názvu čínské vesnice Kao-ling (hlína, pocházející z vysokého kopce). [10, 63]

Jednou z dalších možností získávání kaolinu je pomocí nízkoteplotní hydrotermální přeměny živcové horniny. Po přeplavení této reziduální horniny je získán jíl, jehož obsahem je zejména kaolinit. Nejedná se však o jedinou složku kaolinu, ten může obsahovat také určité množství slídy a křemene, nebo reliktů živce, oxidy manganu, železa a jílové minerály, které jsou mimo jiné důvodem zbarvení kaolínu. Vyšší obsah těchto příměsí je však pro komerční zpracování nežádoucí. [10, 52]

Využití a vlastnosti kaolínu.

Kaolín je využíván zejména pro své unikátní vlastnosti. Označením unikátní je myšlena zejména jeho žáruvzdorný charakter a plasticita. Schopnost žáruvzdornosti (její míra) je dána především obsahem oxidu hlinitého v kaolínu. Čím je množství Al_2O_3 větší, tím je výsledný materiál více odolný vůči žáru. [10, 64]

Kaolín je často využíván ve výrobě keramiky, šamotu a porcelánu. Jeho využití, je ale i u celé řady dalších aplikací, jakožto nátěrové hmoty (nátěrový kaolín), nebo jako plnivo v gumárenském průmyslu. Jedním z nejvýznamnějších odvětví, kde je kaolín využíván, je však papírenský průmysl, který však vyžaduje velmi čistý (bílý) kaolin, a také vysokou jemnost jeho částic. Tyto podmínky vyžadují přísnou kontrolu použitého kaolinu. [10]

Kaolín, jež nesplňuje požadované vlastnosti, není možné v tomto průmyslu využít, a to může vézt k jeho hromadění. Tento přebytečný (hrubozrnný) kaolín je možné využít

jakožto surovinu k syntéze zeolitu, nebo jako plnivo u výroby keramiky, cementu atp. [25, 65]

S kaolínem, respektive jeho těžbou, se můžeme setkat i na území České republiky a to především v oblastech Plzeňska, Karlovarska či Znojemska. Největší světová ložiska jsou však na území USA, kde se těží cca 90 % kaolínu, ale dále také ve Velké Británii, Německu, Brazílii, Kolumbii, Číně, nebo Indii. [10]

2.3.2 Uhličitan vápenatý

Bílá krystalická látka, která není rozpustná ve vodě, i takto je možné charakterizovat uhličitan vápenatý. Jeho aplikace je v zemědělství, potravinářském, či farmaceutickém průmyslu, stavebnictví, nejčastěji v podobě plniva polymerních výrobků. [66]

Vznik a složení

Chemický vzorec uhličitanu vápenatého ($CaCO_3$) je tvořen třemi elementy určitých vlastností, které se vyskytují u všech anorganických i organických látek na Zemi. Těmito elementy jsou vápník, kyslík a uhlík. [66]

Jeho výskyt je zpravidla v usazeninách, tyto usazeniny jsou zpravidla tvořeny odumřelými organismy (jež žily v mořích). Tato odumřelá hmota vytvořila po velmi dlouhém procesu sedimentační horninu (vápenec). Vápenec obsahuje zpravidla až 95 % $CaCO_3$. [67]

Látka se vyskytuje v několika polymorfních modifikacích. Nejčastěji jako minerály aragonit a kalcit.

- Aragonit – tvar částic je kosodélníkový a z roztoků je vylučován za vyšších teplot.
- Kalcit – tvar klencový, zpravidla vzniká jako organická usazenina.

Uhličitan vápenatý se však vyskytuje u celé řady dalších minerálů jako křída, vápenec, či mramor. [68]

Další modifikací je syntetický uhličitan, jehož název je vaterit. Tvar krystalické struktury a rozmanitá velikost částic u uhličitanu vápenatého je závislá nejčastěji na okolnostech, za kterých docházelo k vytváření a formování finálního materiálu. [67]

Za přispění vědců J. Chena a L. Xianga bylo zjištěno, že výslednou strukturu i morfologii u uhličitanu vápenatého je možno velmi snadno řídit pomocí změny reakční teploty. [69]

Využití a vlastnosti

Uhličitan vápenatý se řadí mezi nejvyužívanější plniva (prášková), důvodem jsou jeho specifické vlastnosti, kterými je malá absorpce změkčovadel, dobrá dispergovatelnost, snadná dostupnost a nízká cena. [51]

Používá se v případě obyčejných termoplastů, ale jeho potenciál je zejména využíván u všech typů PVC. Jedním z důvodů je relativní měkkost tohoto minerálu, jež ovlivňuje v případě velké koncentrace plniva ve struktuře kompozitu jeho výslednou tuhost (klesá). Tímto dochází k zvýšení pevnosti v ohybu, a to až o 25 %. Zejména se však zvyšují mechanické vlastnosti PVC, což je dáno širokou distribucí plniva (velikost částic). Dalším pozitivem uhličitanu vápenatého je jeho odolnost vůči tepelným, nebo chemickým účinkům, a také odolnost proti vlhkosti a atmosférickému stárnutí. [70, 71]

Jeho reakční schopnost a polarita bohužel omezuje jeho aplikovatelnost do polymerů, které by byly vystaveny působení kyselin. Jednou z dalších typických vlastností je ztužující efekt oproti jiným plnivům. [51]

2.3.3 Oxid Titaničitý

Oxid titaničitý, obecně známý pod pojmy titanka, či titanová běloba, je anorganická látka bílého zabarvení. Jedná se o nejstabilnější sloučeninu titanu a kyslíku, což je zapříčiněno optimální elektronovou soustavou těchto prvků. Nejznámější modifikací titanové běloby (rudy) je ilmenit. [9]

Vznik a složení

Samo označení ilmenit, vzniklo podle místa objevu v Ilmenských horách, které se nacházejí v jižní části pohoří Ural. Zpravidla nese nesprávné označení titanát (titaničitan) železnatý, avšak jeho správné označení zní trioxid železnato – titaničitý. Chemický zápis oxidu titaničitého je $FeTiO_3$, avšak v této podobě se vyskytuje pouze na Měsíci, kde není kyslík. V našich podmínkách jej zapisujeme jako $FeO \cdot TiO_2$ (podvojný oxid). Kromě těchto dvou oxidů může obsahovat také oxidy Mn, Al, Si, V, Cr, P, Ca, Nb, Ni, aj. Z tohoto důvodu je nejlepší využívat obecného označení ilmenitová ruda. [9, 12, 72]



Obr. 8 Krystal ilmenitu [12]

Jak je patrné na obr. 8 v případě ilmenitové rudy se jedná o tmavě šedý, až černý neprůhledný minerál, který není nikterak výrazně lesklý s výjimkou lomových ploch. Je velmi chemicky odolný a náchylný na zvětrávání, což je příčinou vzniku oxidů.

Minerál se vyskytuje v těchto krystalových modifikacích – romboedrická (brookit) a tetragonální (rutil a anatas), jež se od sebe odlišují poměrem os. V praxi má pigmentové vlastnosti, které se dále využívají pouze tetragonální forma.

Materiál je definován jakožto univerzální bílý pigment (a řadíme jej mezi achromatické). Z chemického hlediska se v případě oxidu titaničitého jedná o nejstabilnější spojení kyslíku a titanu. [9, 12, 72]

Využití a vlastnosti

K výrobě oxidu titaničitého se využívají dva způsoby. První z nich je chloridový, u kterého se využívá plynného chlóru k rozkladu minerálu. Druhou možností je postup sulfátový, kdy se k rozkladu využívá kyseliny sírové. U jednotlivých technologií se krom rozkladové složky mění také technologie (stroj). [12, 72, 73]

Titanka je nejrozšířenějším a nejvýznamnějším pigmentem na světě. Je to dáno jejími specifickými vlastnostmi, jakými jsou vyjasňovací schopnost, či vysoká kryvost. Tím pádem ji můžeme najít takřka kdekoliv. Její největší využití je především v nátěrových hmotách, ve hmotách plastických, koženkovém a gumárenském průmyslu, ale také v papírenském průmyslu. Využití titanové běloby najdeme i u výroby keramiky, smaltu, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu. [9, 12, 72, 74]

3 ZPRACOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Zpracovávání polymerních (kompozitních) materiálů nejčastěji dělíme na dva způsoby. Prvním způsobem je tzv. tvarování, druhou možností je tváření (v plastickém stavu).

V případě tvarování je materiál v pevném (tuhém) stavu a jeho zpracování je obdobné jako u ostatních technických materiálů, k zvýšení tvarovacích možností je možné využít zvýšené teploty, avšak u tohoto procesu zpravidla nedochází k nijak velkému přeskupování částic. K tvarové úpravě dochází zpravidla u výchozího polotovaru (mechanické obrábění, ohýbání trubek, tvarování desek, atd.).

V případě tváření polymerů dochází naopak k extrémnímu přemístování částic hmoty, a to zpravidla v podobě taveniny (kapalný stav) do podoby finálního produktu. Jedná se o vstřikované, vytlačované, či vyfukované výrobky. Technologie tváření využívá vysokých teplot, tlaku a času. Zejména pak jejich kombinaci. Ustálení výsledného tvaru dosáhneme za pomoci sušení, síťování a nejčastěji chlazení. Přejít materiálu ze stavu plastického do tuhého se vyznačuje zmenšením objemu výrobku (smrštěním). Velikost smrštění nebývá zpravidla větší než 0,5 %, avšak je nutné s ní počítat v rámci technologických přídatků. [75 - 78]

3.1 Technologie míchání

Polymerní kompozitní směsi nejčastěji složené s polymerní matrice a určitého druhu plniva je nutné před samotným zpracováním zamíchat. Hlavním požadavkem na výslednou směs je, aby měla co možná nejvyšší homogenitu, jež se posuzuje dle výsledků testů z odebraných vzorků. Výsledné směsi mohou obsahovat složky jako tuhé, tak kapalné, nebo plynné.

U posuzování míry homogenizace směsi je důležitým ukazatelem mezní velikost částic. Tato mezní velikost může být makroskopická (nad 100 μm), mikroskopická (1-100 μm), koloidní (1-1000 nm), nebo molekulární (do 1 nm). [79]

Míchání směsi může být samovolné, nebo také nucené (kompoundace).

Kompoundace

Kompoundace je důležitým a zároveň nezbytným krokem u přípravy (nano)kompozitní směsi. Pokud je nutné dosáhnout určitých vlastností u výsledného produktu, je potřeba zvolit vhodný způsob zamíchání celé směsi (nejčastěji compoundaci). Kompoundace je vhodná hlavně k dosažení co největší dispergace (propojení) nanoplňiva s matricí a zároveň by měla způsobit co možná největší exfoliaci organofilizovaného plniva. V procesu compoundace je však nutné hlídat teploty a mechanické namáhání tak, aby nedocházelo k degradaci jak matrice, tak nanoplňiva.

Výsledný stupeň exfoliace je dán použitým zařízením, ale také postupem přimíchávání jednotlivých složek. V případě využití jílového plniva (montmorillonitu) je nutné jej nejprve upravit organickou sloučeninou, jež je smíchána v compoundačním zařízení, společně s polymerem za teploty vyšší než je T_m polymeru. Tímto krokem je dosaženo většího oddálení jednotlivých vrstev plniva, což způsobí vniknutí polymerní matrice do těchto prostor. Takovéto míchání je daleko účinnější, nežli promíchání všech složek najednou. Následné určování míry interkalace/exfoliace probíhá za pomoci XRD měření, v kombinaci s technikou SEM, nebo AFM. [80, 81]

Míra exfoliace je také dána typem využitého kompatibilizátoru. Taktéž výsledná velikost interkalace je závislá na charakteru kompatibilizátoru. Je tím myšlena molární hmotnost a obsah polárních skupin v řetězci.

Dalším faktorem ovlivňující míru dispergace montmorillonitu je druh zvoleného strojního zařízení. Aby bylo dosaženo rozpadu taktoidů, je nutné dodat do systému takovou energii, která bude větší než vazebné síly sítí plniva. Vyššího stupně exfoliace je dosaženo také vyššími otáčkami šneku, nebo také využitím dvoušnekového hnětacího zařízení, kdy dojde k vyššímu tření a smykovému namáhání, což způsobí nárůst počtu částic, které se začnou blížit nanorozměrům. [82, 83]

3.2 Technologie vstřikování

Technologie vstřikování je v současnosti jednou z nejrozšířenějších technologií k zpracovávání a zhotovování termoplastických výrobků. V posledních letech se však čím dál více využívá k zpracovávání také kaučukových směsí. V případě vstřikování se jedná o cyklický proces, kterým lze opakovatelně vyrábět velmi kvalitní a rozměrově přesné výrobky. Součástí procesu výroby je vstřikovací stroj a vstřikovací forma, potažmo

zpracovávaný polymerní materiál. Technologie vstřikování je velmi komplikovaný fyzikální proces, za kterého je polymerní hmota (zpravidla v podobě granulátu), přeměněna na taveninu. Na konci tohoto prostoru je za pomoci pístu vstříknuta do dutiny formy, která má tvar budoucího výrobku. Po dostatečném ochlazení, kdy nehrozí zborcení výrobku, dojde k otevření formy a výrobek je za pomoci vyhazovacího systému vysunut z formy, následně se celý proces opakuje. [77, 84, 85]

Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je tvořen přesně danými kroky, které jsou řazeny za sebou. K jeho vhodnému popisu je nutné definovat časový (nultý) respektive počáteční bod. Zpravidla je za nulový bod bráno uzavření vstřikovací formy. Časovou posloupnost těchto operací popisuje následující obrázek (Obr. 9). [77]

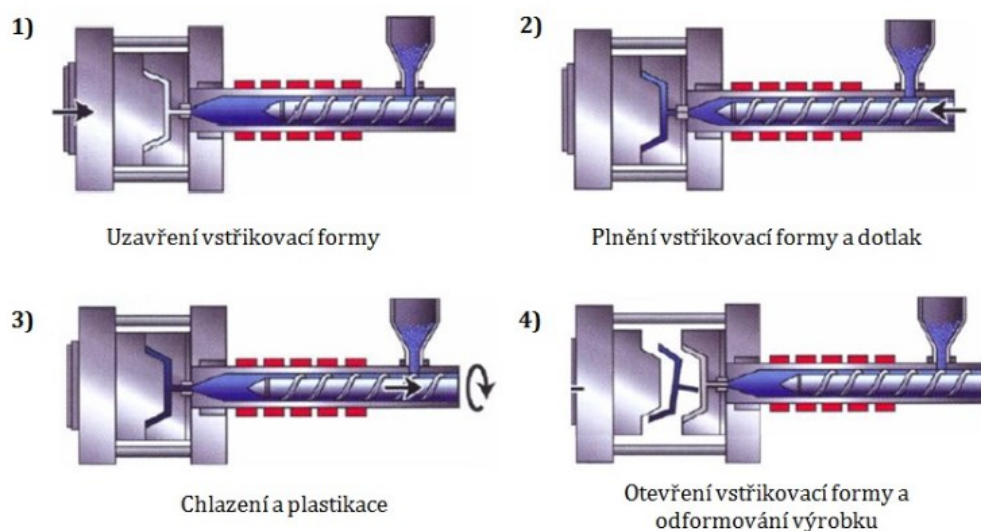


Obr. 9 Postup kroků vstřikování u plastikační jednotky (vnitřní prsteneček) a formy (vnější prsteneček) [86]

Postup vstřikovacího cyklu po uzavření formy je následující, dutina formy je prázdná a vstřikovací jednotka je v prvotní (počáteční) poloze, s již připravenou polymerní taveninou. Následně dochází k příjezdu vstřikovací jednotky k formě, poté dojde k pevnému spojení s formou dosednutím vstřikovací trysky. Dalším krokem je vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy s následným dotlakem a doplněním taveniny. V této části šnek vykonává pouze pohyb posuvný (axiální směr), což na čelo taveniny působí jako píst. Mezitím ve formě již dochází k přestupu tepla z taveniny na stěny formy. Vstřikovací jednotka mezitím odjíždí a přichází opětovný proces plastikace materiálu. Ve chvíli kdy je výrobek (vstřík) dostatečně ochlazen dochází k otevření vstřikovací formy a k jeho vyhození za pomoci vyhazovačů, nebo stírací desky. Forma je zkontrolována a dochází k zopakování celého procesu. [77, 87]

Vstřikovací stroj

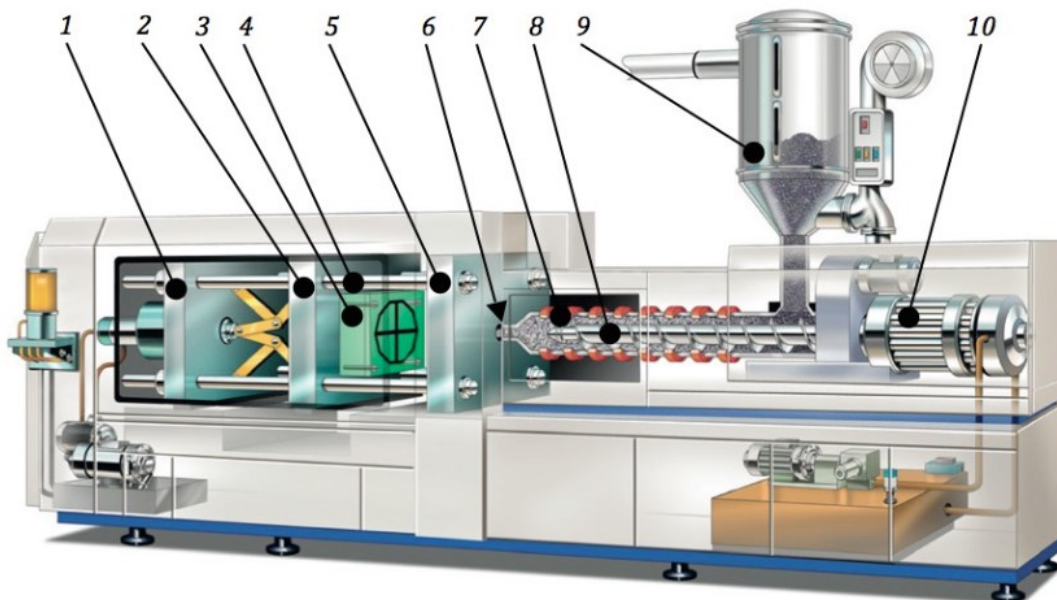
Jedná se zpravidla o jednoúčelový stroj, který je plně automatizován a umožňuje výrobu velkého množství produktů, které jsou dány tvarem formy, jež je do stroje umístěna. Jejich předností je velká efektivita a rychlost výroby. Samotná pořizovací částka stroje je často zanedbatelná v porovnání s náklady na pořizování vstřikovacích forem. Při výběru vstřikovacího stroje je nutné, brát ohled nejen na ekonomickou stránku, ale také technické parametry stroje. [77, 85]



Obr. 10 Vstřikovací cyklus [77]

Těmito parametry jsou:

- podmínka stálého tlaku, teploty a možnost jejich časování;
- podmínka opakovatelnosti;
- podmínka dostatečné tuhosti a pevnosti strojního systému.



Obr. 11 Vstřikovací stroj

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikovacího stroje, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupce stroje, 5 – pevná upínací deska stroje, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka na polymerní polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku [88]

V současnosti je na trhu velké množství konstrukčních a pohonných řešení vstřikovacích strojů, jejichž volbu je nutné zohlednit i v závislosti na velikosti (případně objemu) vstřikovací formy. Nejčastěji jsou stroje sestavovány přímo, dle požadavků zákazníka, avšak z hlediska konstrukce je nutné, aby každý stroj obsahoval:

- vstřikovací jednotku (zajišťuje zpracování polymeru a vstřikování do formy);
- uzavírací jednotku (zajišťuje pohyby formy a zabezpečuje uzavření formy během cyklu);
- ovládací a řídicí jednotku (zajišťuje a kontroluje funkčnost stroje). [77, 85]

Volba vstřikovacího stroje

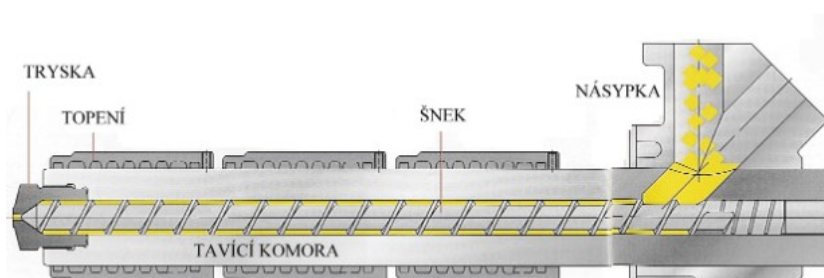
Před samotným nákupem vstřikovacího stroje je nutné si ujasnit, jaké výrobky (rozměry) budeme vstřikovat. Základními parametry při výběru stroje jsou:

- uzavírací síla – maximální síla (v N), kterou je stroj schopen vyvinout na formu tak, aby zůstala uzavřena;
- vstřikovací síla – síla (v N) jakou vytváří čelo šneku na polymerní taveninu;
- vstřikovací tlak – tlak (v MPa), působící na taveninu čelem šneku;
- plastikační kapacita – množství (v Kg) polymeru, který je za 1 hodinu možné převést do podoby taveniny;
- vstřikovací kapacita – maximální hmotnost výrobku (v gramech) obdobou může být tento údaj v podobě objemu (v cm^3). [89]

Vstřikovací jednotka

U vstřikovací jednotky vyžadujeme plnění zejména těchto dvou úkolů:

- přeměnu výchozího polymerního materiálu (zpravidla granulátu) do podoby taveniny o požadované homogenitě a viskozitě;
- druhým hlavním úkolem je tuto taveninu následně vstříknout za pomoci vysokého tlaku do uzavřené tvarové dutiny formy.



Obr. 12 Řez plastifikační jednotkou [90]

Uzavírací jednotka

Svým konstrukčním provedením a technickým procesem je vstřikovací uzavírací jednotka velmi podobná lisům, proto jsou v praxi velmi často vstřikovací stroje označovány jako tzv. vstřikolisy. Uzavírací jednotka zajišťuje co možná nejrychlejší otevření, či uzavření vstřikovací formy a zabezpečuje její uzavření po dobu vstřikovacího cyklu. Dalším funkčním prvkem uzavírací jednotky je funkce odformování (vyhození) výrobku.

Podmínkou velikosti uzavírací síly je fakt, že musí být větší, než síla, kterou vytvoří tlak taveniny, jenž je vstříknutá do dutiny formy. Uzavírací jednotky mohou být ovládány různými způsoby, dle druhu využitého pohonu, proto je dělíme jako:

- elektromechanické;
- hydraulické;
- hydraulicko – mechanické. [87]

Procesní podmínky vstřikování

Je obecně známý fakt, že nastavení optimálních vstřikovacích podmínek je poměrně složitý proces, který do značné míry ovlivňují nejrůznější faktory od použitého vstřikovaného materiálu, složitosti vstřikovací formy až po typ šneku uvnitř komory.

V průběhu let ale došlo k takovým technickým pokrokům a vývoji technologie, že dnes rozlišujeme zejména 4 hlavní technologické faktory ovlivňující proces vstřikování.

- Tlak
- Teplota (válce, trysky, formy)
- Čas
- Vzdálenost

V tomto případě nás bude zejména zajímat tzv. zpětný tlak (protitlak).

Zpětný tlak je generován při zpětném pohybu šroubu po ukončení vstřikování materiálu. Jedná se o kontrolovaný procesní parametr, který je však často mylně přehlížen.

Šroub se otáčí a přivádí čerstvý materiál do topného válce. Tento materiál je umístěn před šroubem a posouvá šroub zpět, čímž na čelním konci šroubu dochází k nárůstu tlaku. Tento tlak se využívá k zvýšení promíchání plastické hmoty (zvláště pokud je přidáno barvivo, plnivo, či aditiva), odstranění malého množství vzduchu zachyceného ve válci a řízení hmotnosti výstřiku, udržováním přesné hustoty daného objemu taveniny. [91, 92]

Operátoři by tento tlak měli udržovat co nejnižší a v žádném případě by neměli překračovat 20 % hodnotu maximálního jmenovitého tlaku vstřikovacího stroje.

Nastavení zpětného tlaku v případě míchání směsí by mělo začínat na hodnotě 3,5 bar a v případě potřeby být zvýšeno o 0,7 bar, přičemž maximální nastavení je 20,7 bar. Vyšší hodnoty by mohly způsobovat stárnutí a tepelnou degradaci plastů. Avšak v případě homogenizace při vstřikování je možné využívat zpětného tlaku o velikosti, od několika

jednotek bar, až nad 100 bar. Větší hodnoty se však příliš nedoporučují z důvodu možné tepelné degradace polymerního materiálu. [91, 92]

Na rozdíl od obecné domněnky, účelem protitlaku není zvýšení teploty polymeru, protože i přes zvyšující se zpětný tlak nedochází k podstatnému zvýšení teploty taveniny. Účinek rychlosti otáček je v tomto směru mnohem vyšší.

Jakákoliv změna v procesu vstřikování obvykle vyvolá několik účinků (výstupních změn). V případě zvyšování protitlaku způsobuje pomalejší zastavení šneku, tato doba je často delší než nastavená, nebo dovolená doba chlazení. Tato skutečnost prodlužuje dobu cyklu, protože stroj nedovolí otevřít svorku, dokud není šnek v požadované poloze. Této prodlevě se dá zabránit zvýšením otáček šneku. [91, 92]

Výhody zvýšeného zpětného tlaku.

- Lepší regulování teploty taveniny (nezvyšuje teplotu taveniny).
- Rovnoměrnější viskozita a teplota taveniny.
- Vyšší promíchání barev, plniv a aditiv, pokud je použit vhodný šnek.
- Lepší kontrola velikosti záběru.
- Lepší plnitelnost / míchatelnost částic, což zabraňuje vzniku spálených míst a degradaci v místech průměru šneku, kde dochází k míchání.
- Zabraňuje ucpání šroubu, neroztavenými přísadami.

Výhody nižších velikostí zpětného tlaku

- Může zabránit přetrhávání výztužných vláken v pryskyřicích.
- Může zabránit degradacím u polymerních hmot, jako je PVC a acetal (podmíněno využitím vysokých otáček šneku). [91, 92]

4 METODY VYHODNOCENÍ

K vyhodnocení vlastností (nano)kompozitních materiálu, se v praxi využívá široké spektrum kontrolních měření, či testování. V tomto případě bylo využito kontroly jakosti povrchu, mechanické zkoušky (tahová zkouška) a testu na tepelnou degradaci za přispění testu FTIR.

4.1 Struktura povrchů dle norem ČSN EN ISO

Následující normy ČSN EN ISO se zaměřují na dodržování určitých pravidel u kontroly jakosti u určitých povrchů, zároveň se těmito normami je nutné řídit u geometrických požadavků na výrobek. ČSN EN ISO 4287 je norma, která se věnuje termínům, definicím a parametrům, jež jsou využívány u popisování struktury povrchů. Pojednává zejména o parametrech, které se u povrchu výrobků mohou měřit, či pozorovat a budou doloženy výpočtem. [93]

Norma ČSN EN ISO 4288 se věnuje postupům, jež kontrolují a měří strukturu povrchu a zároveň určují pravidla, které usnadňují porovnávání naměřených hodnot s tolerančními mezemi, které určuje výše zmíněná norma ČSN EN ISO 4287 a další. [94]

Norma ČSN EN ISO 25178-2 se zaměřuje zejména na plošné vyhodnocování povrchu zkoumaného materiálu, avšak zároveň také definuje termíny, definice a parametry pro povrchy s plošnou texturou. Vyhodnocování takového povrchu je obdobné, jako u metody profilové. [95]

4.1.1 Základní pojmy

Základní parametr – vlnitost, drsnost a tvar. Podle jejich vlnové délky, jsou nastaveny hranice mezi jednotlivými parametry.

Tvar – obsahuje také nerovnosti, které mají v datech vyšší vlnovou délku, než vlnitost. Tyto nerovnosti mohou být tvořeny úmyslně, nebo také ne. Neúmyslné nerovnosti mohou být dány malou tuhostí, nástroje, stroje, nebo opotřebovaným povrchem vstříkovací formy. [93]

Těmto stopám po nástrojích se obecně říká drsnost povrchu. Míra velikosti stop po řezném nástroji závisí na velmi mnoha faktorech, jako je řezná rychlost, rychlost posuvu, materiál obrobku, materiál a ostrost nástroje a mnohé další. V případě využití jiných metod

zpracovávání, typických pro polymerní a kompozitní materiály, jako je odlévání, vstřikování, vytlačování a další. Může docházet k dalším typům defektů, jako je otištění stěny formy, nebo zápusťky do povrchu výrobku.

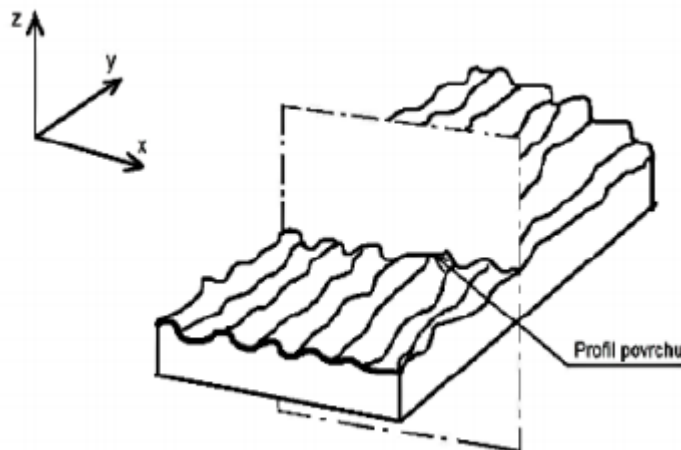
Filtr profilu – díky jeho využití nastane rozdělení na profily krátkovlnné a profily dlouhovlnné. V případě přístrojů určených k měření vlnitosti, drsnosti a zjišťování základního profilu jsou využívány 3 typy filtrů. Tyto filtry se vyznačují stejnou přenosovou charakteristikou, avšak mají rozdílné hodnoty mezní vlnové délky (cut – off).

Druhy mezních vlnových délek:

- filtr profilu λ_c – popisuje mezník mezi vlnitostí a složkami drsnosti;
- filtr profilu λ_f – popisuje mezník mezi delšími složkami vln a vlnitostí;
- filtr profilu λ_s – popisuje mezník mezi kratšími složkami vln a vlnitostí.

Souřadnicový systém – je popsán jako parametr struktury povrchu, zpravidla se jedná o osu, jež simuluje pravotočivý (kartézský) souřadnicový systém. Osa X je vedena rovnoběžně se směrem snímání povrchu a středovou čarou. Osa Y je kolmá na snímání povrchu a osa Z je zpravidla rovnoběžná s osou snímání měřeného povrchu. [93]

Profil povrchu – mapa povrchu, která je průřezem rovnoběžným s osou X.



Obr. 13 Profil povrchu [93]

Dráha snímání povrchu – je dráhou snímacího (měřicího) zařízení u měření. Tyto dráhy rozdělujeme na l_n , l_t a l_r . Kde l_t je celková délka, u níž je součet hodnocen společně s přeběhem i náběhem. l_n je vyhodnocovací délkou, dle které se hodnotí celý profil povrchu. l_r je základní délkou, podle které se vyhodnocuje míra nerovnosti, nebo drsnosti. [93, 94]

4.1.2 Parametry povrchu profilu

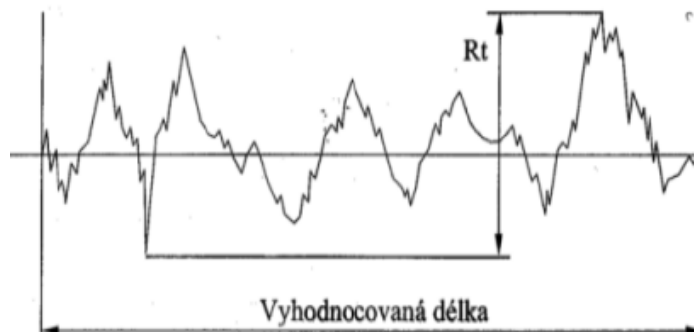
Tyto parametry se využívají k hodnocení struktury povrchu snímaného materiálu. Svoje opodstatnění mají zejména u 2D snímání povrchu, které je prováděno kontaktním způsobem. [93]

Výškové parametry – prohlubně a výstupku

Jsou dány normou ČSN EN ISO 4287 a definují hodnoty prohlubní a výstupků. Mezi tyto parametry patří zejména **R_p** (největší výška výstupku profilu), ze které vychází výška **Z_p**, která je nejvyšším výstupkem měření v rozsahu základní délky. Opakem je parametr **R_v** (respektive **Z_v**), jež popisuje nejnižší bod (prohlubeň). Dalším důležitým parametrem je hodnota **R_z**, což je součet nejvyšší výšky **Z_p** a nejnižší prohlubně **Z_v** v rozsahu základní délky, obecně tento parametr označujeme jako největší výšku profilu. [93]

Parametr **R_t** je obdobou parametru **R_z**, avšak v tomto případě vyhodnocujeme pouze omezenou (vyhodnocovanou) délku.

Výškové parametry – hodnoty pořadnic



Obr. 14 Celková výška profilu
u vyhodnocované délky [93]

Zřejmě nejznámějším parametrem u široké veřejnosti je veličina **R_a**, která udává drsnost povrchu ve směru výšky. Tato střední aritmetická úchylka profilu je dána pomocí aritmetického průměru absolutních hodnot pořadnic **Z(x)**, jež jsou vybrány ze základní délky (**l_r**). Tento parametr nemá však dostatečnou vypovídací schopnost, protože dostatečně nereaguje na prohlubňové, nebo naopak výškové extrémy snímané plochy. [94]

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1)$$



Obr. 15 Parametr Ra [93]

Dalším velmi důležitým parametrem je **Rq**, který popisuje průměrnou kvadratickou úchylku profilu. V praxi se jedná o kvadratický průměr souřadnic $Z(x)$ vyhodnocovaný ze základní délky (l).

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx} \quad (2)$$

Posledním hojně využívaným parametrem je celková výška profilu **Rt**, kde se jedná o součet největší výšky Z_p a nejnižšího bodu Z_v profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [93]

$$Rt = Z_p + Z_v \quad (3)$$

Samozřejmě existuje v této kategorii mnohem více parametrů, kterými se však tato práce nezabývá, ale je možné je nalézt v normě ČSN EN ISO 4287.

Délkové parametry

Průměrná vzdálenost profilů prvků, neboli **Rsm**, je průměrnou hodnotou šířek X_s prvků u profilu, a to v rozsahu celé základní délky.



Obr. 16 Vzdálenost prvků profilu – Rsm [93]

$$Rsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (4)$$

4.1.3 Vyhodnocení parametru jakosti povrchu

Není-li definován směr měření tak je nutné obrobek (výrobek) připravit ve směru řezu, jenž nejpravděpodobněji odpovídá nejvyšším hodnotám drsnosti Ra a Rz. Měření se provádí zejména v té části plochy, kde se očekávají kritické hodnoty. Tento povrch zpravidla určujeme vizuální kontrolou. V této části by se však měly nerovnosti vyskytovat stejnoměrně. Stejně tak pomocí této kontroly určíme, jestli se jedná o profil, jehož drsnost je periodická, nebo naopak neperiodická, dle čeho určíme další postup k vyhodnocení parametrů drsnosti. [94]

4.1.4 3D snímání povrchu plochy

V současnosti je trend stále se zvyšujících požadavků na kvalitu výsledného povrchu. Z tohoto důvodu bylo nutné přistoupit na nové úhly pohledu v oblasti měření, současně však brát ohled na zaběhlé vyhodnocovací metody. V oblasti výroby se staly nezbytnými kontroly okamžité kvality výroby, a také snaha o předvídaní chování použitých materiálů, což může zajistit odhalení určitých konstrukčních, nebo materiálových nedostatků. Nejvíce je však rozšířena snaha o celoplošné hodnocení jakosti povrchu výrobku.

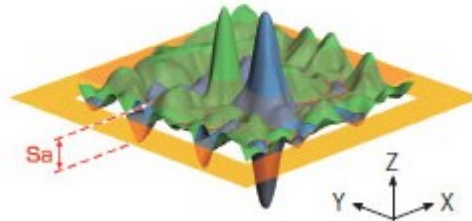
V případě hodnocení povrchu u prostorového zobrazování, nezíská kontrolor jen podrobnější údaje o průběhu nerovnosti na povrchu, ale i mnohé další informace, jakožto dobu životnosti, nebo funkční vlastnosti povrchu. V případě 3D vyhodnocování textury povrchu se používají informace, které se získaly za dlouhou dobu využívání 2D analýzy povrchu. V tomto ohledu dochází k propojení terminologie a popisu struktury povrchu s novými pojmy, matematickými a geometrickými postupy a výpočty. [95]

Sa – parametr výšky (střední amplituda ve směru výšky)

Jedná se o aritmetický 3D parametr, obdobný k parametru drsnosti 2D Ra. Tento parametr vyjadřuje průměr absolutních hodnot $Z(x, y)$ v měřené oblasti A. Je možné jej považovat za ekvivalent aritmetického průměru měřené oblasti na 3D zobrazovacím diagramu, za předpokladu, že propadliny byly změněny za vrcholy,

pomocí konverze absolutních hodnot. Výhodou tohoto typu měření je ten, že jeden extrém má jen velmi malý vliv na výsledné údaje. [96]

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |Z(x,y)| dx dy$$

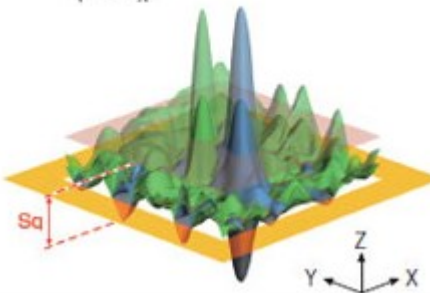


Obr. 17 S_a – aritmetický průměr výšky [96]

S_q – základ průměrné výšky

Jedná se o 3D parametr obdobný (přejatý) k 2D parametru drsnosti R_q . Vyjadřuje čtvercový průměr $Z(x, y)$ v měřené oblasti A . Je ekvivalentní průměrnému střednímu čtverci naměřené oblasti. V 3D diagramu zobrazovacím diagramu jsou následně vysoké píky (extrémy) rozděleny na menší útvary. [94]

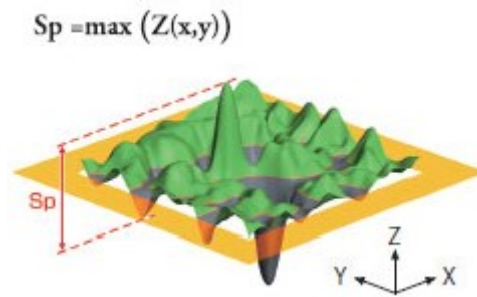
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A Z^2(x,y) dx dy}$$



Obr. 18 S_q – základ průměrné výšky [96]

S_p – maximální výška píku

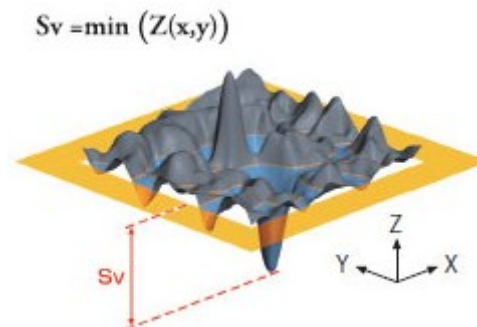
Obdobou tohoto parametru je 2D parametr R_p . Vyjadřuje maximální hodnotu výšky píku Z_p na povrchu měřené oblasti A . Povrchovým vrcholem bývá označován bod nad průměrnou hladinou povrchu (plocha XY). Toho se často využívá pro vyhodnocení vlivu třecí síly, nebo odporu elektrického proudu. [96]



Obr. 19 S_p – maximální výška píku [96]

S_v – maximální hloubka prohlubně

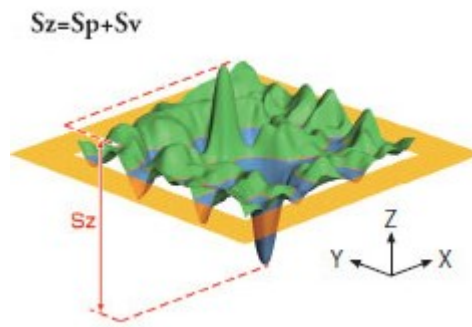
Tento 3D parametr je odvozený z 2D parametru R_v . Popisuje maximální hodnotu hloubky prohlubně Z_v na povrchu měřené oblasti A. Povrchová prohlubeň je takové místo, které je pod průměrnou hladinou povrchu (plocha XY). Tohoto parametru se v praxi využívá k hodnocení povrchové odolnosti a korozivzdornosti. [94]



Obr. 20 S_v – maximální hloubka prohlubně [96]

S_z – maximální výška profilu

3D parametr, který je obdobou 2D parametru R_z . Vyjadřuje součet maximální hodnoty výšky píku Z_p a maximální hodnoty hloubky prohlubně Z_v na povrchu měřené oblasti A. Tento parametr je využíván velmi často. Využívá se k hodnocení míry lesku, odlesku, pevnosti povrchu, zpracování povrchu, třecí síly a schopnosti odporu elektrickému kontaktu. [96]



Obr. 21 S_z – maximální výška profilu [96]

Ssk – parametr výšky (charakteristický průměr ve směru výšky)

V případě tohoto parametru se jedná o rozšíření parametru 2D R_{sk} . Parametr vyjadřuje kvocient střední hodnoty koordinační krychle a hodnoty souřadnic krychle S_q v měřené oblasti A . To udává stupeň zkosení a současně popisuje symetrii vrcholů a údolí kolem středního bodu.

$S_{sk} = 0$: Symetrický průměr (normální rozdělení)

$S_{sk} > 0$: Šikmo dolů vzhledem k průměrné lince

$S_{sk} < 0$: Šikmo vzhůru vzhledem k průměrné lince

Tento parametr je využíván zejména pro hodnocení lesku a odlesku. [96]

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^3(x, y) dx dy \right] \quad (6)$$

Sku – špičatost omezené stupnice povrchu

Jde o 3D parametr rozšířený z 2D parametru R_{ku} . Tento parametr vyjadřuje kvocient střední kvadratické hodnoty souřadnic a čtvrtou mocninu S_q v měřené oblasti A . To znamená, že špičatost je měřítkem k určení ostrosti povrchu a popisuje orientaci (ostrost) rozložení a výšky.

$S_{ku} = 3$: Normální rozdělení

$S_{ku} > 3$: Rozložení výšky je špičaté

$S_{ku} < 3$: Forma rozložení výšky drsnosti povrchu je na celé ploše stlačena. [96]

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^4(x, y) dx dy \right] \quad (7)$$

4.1.5 Srovnání 2D a 3D metod pro snímání povrchu

Proto, abychom dosáhli 3D parametru vlnitosti, či drsnosti je nezbytně nutné nejprve profil povrchu filtrovat vhodným typem filtru a poté vytyčit hodnoty 3D parametru. Během měření jsou 3D parametry definovány pro celou vyhodnocovanou plochu, avšak parametry 2D jsou pouze průměrnými hodnotami vztaženými na velké množství délek základních.

2D měření bylo nezbytným mezistupněm vývoje jakosti a metrologie, avšak v dnešní době se stává nedostatečným a je nahrazováno měřením 3D. Nejčastěji využívanými parametry k stanovování jakosti či kvality povrchu jsou výše zmíněné parametry Ra a Rz. Z výsledné hodnoty Ra, ale není možné logicky vyvodit, jaké vlastnosti budou mít různé materiály s obdobnou jakostí, ani vyřešit otázky rychlosti opotřebení, schopnosti odolávání zátěže a mnohé další.

Výhodou 3D měření a vyhodnocování jakosti povrchu je, že z těchto informací můžeme získat údaje o použitém materiálu do takové míry, abychom mohli určit jeho vhodnost pro danou aplikaci.

Vyhodnocení prostorové charakteristiky povrchu je celistvější a má vyšší vypovídající charakter než měření za použití 2D parametrů. Díky prostorovým parametrům můžeme také měřit i komplikovaněji konstruované povrchy, avšak v těchto případech se jedná o daleko komplikovanější jak samotné snímání, tak vyhodnocování získaných dat. [93, 95, 97]

4.2 Mechanické zkoušky polymerů

Polymerní výrobky a produkty z nich vyrobené jsou velmi často namáhány, a to jak mechanicky, tak klimaticky. Proto je nutné tyto polymerní [(nano)kompozitní] materiály podrobovat mechanickým zkouškám. Každá z těchto zkoušek je normalizována, a to z hlediska opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků. Normy jako takové popisují tvary zkušebních těles a postup při jejich výrobě. Zároveň také předepisují průběh zkoušek a jejich následné vyhodnocování. Mechanické zkoušky se vyznačují zejména tím, že při nich ve většině případů dochází k destrukci testovacích vzorků. [98]

V případě potřeby získání informací o degradačním chování polymerního (kompozitního) materiálu jsou sledovány pomocí vývojových křivek vlastnosti materiálu, kdy se hodnota nezátíženého (nedegradovaného) materiálu definuje hodnotou 100 %.

Podle získaných dat ze zkoušek, je možno předpovídat chování testovaného materiálu u jeho aplikací. [98]

Degradace materiálů jsou zpravidla sledovány pomocí zkoušek, které dělíme do skupin podle jejich charakteru.

- Statické zkoušky – zkušební tělísko je zatěžováno pozvolně, kdy dochází k nárůstu zatížení od nuly, až do chvíle přetržení tělesa. Tyto zkoušky jsou prováděny za daných podmínek napětí, deformace, teploty a času. Do této kategorie řadíme zkoušky tahové, ohybové, tlakové, zkoušky tvrdosti, zkoušky Creep aj.
- Dynamické zkoušky – účinky se mění okamžitě (skokově), nebo ve velmi malém časovém intervalu. Sem jsou řazeny zkoušky rázové, vrubové, odrazové aj.
- Únavové zkoušky – Zkoušky probíhají jako dlouhodobé experimenty, které mají za úkol simulovat prostředí, kterému bude materiál vystaven. V tomto případě není deformace podmínkou a řadíme sem UV, tepelné a jiné degradace. [99]

Tahová zkouška

Průběh tahové zkoušky je takový, že dochází k zatížení zkušební tělísko postupně od nuly, předepsanou tahovou rychlostí se zvyšující se tahovou silou. Test zpravidla končí přetržením tělesa. Cílem této zkoušky je získání deformační a napěťové charakteristiky pro daný testovaný materiál.

U testování jednoosým zatížením u izotropního materiálu je napětí rozloženo rovnoměrně celým průřezem zkušební tělesa. V případě anizotropního polymerního tělesa je však napětí rozloženo zpravidla nerovnoměrně a dochází ke vzniku smykových napětí. V případě polystyrenových plastů mají jejich molekuly snahu o orientaci ve směru toku taveniny, z tohoto důvodu vznikají anizotropní molekulární struktury s různými stupni makromolekulární orientace, kdy nastává situace rozdílných vlastností materiálu v různých směrech zatížení.

Výsledný diagram tahové zkoušky je vázán na využitý materiál a podmínky testování (teplota, deformační rychlost). Rychlost deformace volíme co možná nejmenší tak, aby se plně ukázaly vlastnosti materiálu, ale je nutné brát ohled na to, aby nedocházelo k přílišnému dloužení materiálu. Naopak v případě volby vysoké rychlosti je snaha zatížit materiál rázovým tahem. [100, 101]

Tahová zkouška je definována dle normy ČSN EN ISO 527.

Postup u tahové zkoušky

Výstupem této zkoušky je grafický pracovní diagram, který popisuje deformační chování testovaného tělesa při podmínkách zatížení. Závislost napětí σ_T na poměrném prodloužení kontrolované části zkušebního tělíska ε definuje charakteristickou křivku pro každý materiál za daných zkušebních podmínek. [90, 91]

Deformace tělesa je sledována pomocí extenzometru (průtahoměru) a měnící se síla zátěže je vztahována na prvotní velikost průřezu. V daném případě mluvíme o tzv. smluvním napětí.

$$\sigma_T = \frac{F}{S_0} [MPa] \quad (1)$$

V závislosti na prodloužení tělesa roste i jeho původní délka z l_0 na l , tuto změnu v praxi označujeme jako deformaci v tahu (poměrné protažení).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} [-] \quad (2)$$

V počáteční části křivky platí Hookeův zákon, který popisuje přímou úměrnost napětí na deformaci.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon [Pa] \quad (3)$$

kde hodnota E (v Pa) je modul pružnosti v tahu (tzv. Youngův modul)

Tyto vztahy je nutné brát jako přibližné indikátory, jelikož v praxi není u žádného polymerního materiálu dodržena ideální lineární závislost a dochází k odchýlkám od Hookova zákona. [38, 100]

4.3 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

FTIR spektroskopie nabízí velkou řadu analytického využití, a to zejména v akademických, analytických, nebo forenzních laboratořích. Tato metoda je hluboko zakořeněná, a to ve všem od jednoduché identifikace sloučeniny, až po procesní a regulační monitorování. FTIR využívá široké škály chemických aplikací, zejména u polymerů a organických sloučenin. [100]

FTIR je preferovanější metodou infračervené spektroskopie (IR). Za použití IR dojde k tomu, že při průchodu záření testovaným vzorkem, určitá část záření bude absorbována a určitá část naopak projde skrze něj. Výsledný signál na detektoru je spektrum představující

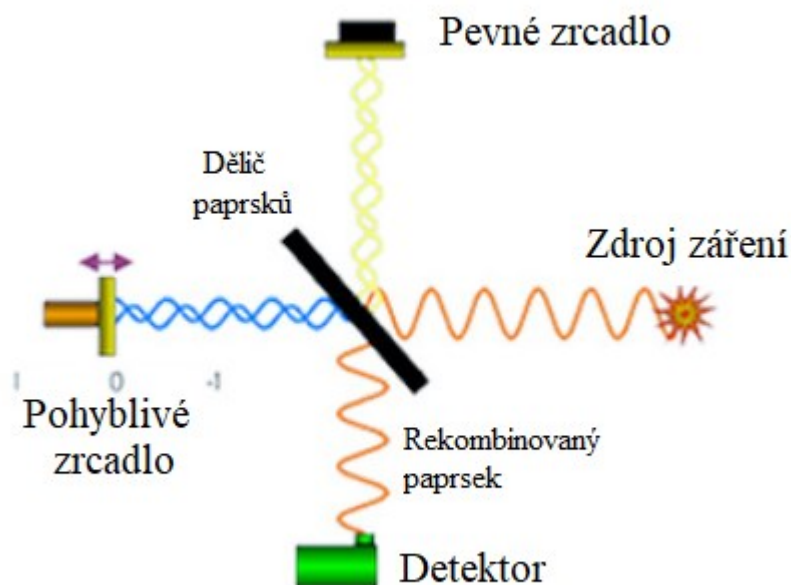
molekulární „otisk prstu“ testovaného vzorku. Právě z tohoto důvodu roste význam IR, protože určité struktury vytvářejí velmi rozmanité spektrální otisky.

V praxi se dá FTIR popsat jako:

- Fourierova transformace konvertuje výstup detektoru na interpretační spektrum;
- FTIR generuje spektra se vzory, které popisují strukturální poznatky. [102]

FTIR využívá interferometrii k zaznamenávání informací o materiálu umístěném v infračerveném paprsku. Fourierova transformace má také za následek spektrum, které analytici mohou použít k identifikaci nebo kvantifikaci materiálu.

- Spektrum FTIR vzniká z interferogramů, které jsou dekodovány do rozpoznatelných spekter.
- Vzorky ve spektru pomáhají identifikovat vzorek, nebo alespoň jeho části. [102]



Obr. 22 Schéma FTIR (Michelsonův interferometr) [102]

Využití FTIR u polymerních látek

FTIR se využívá k rychlé a definitivní identifikaci sloučenin jako jsou směsné plasty, plniva, směsi, barvy, kaučuky, povlaky, lepidla a pryskyřice. Tato metoda může být využita ve všech fázích životního cyklu výrobku, včetně návrhu, výroby a analýzy poruch. To z něj dělá užitečný nástroj pro vědce a inženýry, kteří se zabývají vývojem produktů

a kontrolou kvality. Mezi oblasti využití patří zejména identifikace a ověřování materiálů, hodnocení kopolymerů a směsí, identifikace a kvantifikace doplňkových látek, identifikace kontaminantů (objem a povrch) a hodnocení molekulární degradace. [103]

4.4 Degradace polymerů

Stárnutí polymerů způsobuje nenávratné změny v chování těchto materiálů. Tyto změny jsou dány zpravidla změnou struktury, a to na všech úrovních. Stárnutí může být dáno chemicky (štěpení, větvení, síťování), nebo fyzikálně (stárnutí), kdy degradace může vést zejména u semikrystalických polymerů ke změně jejich krystalinity, nebo relaxačních procesů v materiálu. V některých případech, a to nejčastěji u moderních polymerů mohou být příčinou degradace také aditiva. [104]

Tepelná degradace

Tepelná degradace často vede ke změně struktury polymeru, a to z důvodu zvýšených teplot, jež působí na polymerní materiál. V takovémto případě dochází k takovému absorbování tepelné energie polymerem, až dojde k spontánnímu roztržení jeho chemických vazeb. Tento způsob degradační zátěže je však bezvýznamný u aplikací materiálu v prostředí vzdušného kyslíku, kde je dominantním faktorem degradace oxidativní. Významnou roli hraje u zpracovávání některých polymerů v tavenině. V makromolekulách může docházet ke vzniku funkčních skupin, které se mohou projevit zabarvováním, nebo mít vliv na dlouhodobou oxidační stabilitu. Tyto rozkladné produkty mohou poté dále reagovat a za určitých podmínek tvořit další nechtěné sloučeniny. [104]

K vyhodnocování tepelné stability se v praxi využívá tzv. termické analýzy, diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), nebo termogravimetrické analýzy (TGA).

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem praktické části diplomové práce je vyhodnotit a porovnat jakost povrchu vstříkovaných těles, jež jsou tvořeny polypropylenovou, nebo polystyrenovou matricí a obsahují tři nebo pět hmotnostních % různého plniva (kaolin, Cloisite 30B, oxid titaničitý, uhličitán vápenatý), které jsou do matrice zamíchány dvěma způsoby. První způsob je ruční zamíchání, v případě druhého způsobu došlo ke kompondaci polymerní matrice a plniva.

Tyto směsi budou následně vstříkovány za pomoci vstříkovacího stroje DEMAG. V průběhu vstříkování bude změněn jeden ze vstříkovacích parametrů, a to konkrétně velikost zpětného tlaku z 10 na 70 bar.

Vytvořené vzorky budou zkontrolovány pomocí 3D profilometru Zygo Ametek. Následně bude vyhodnocena kvalita povrchu u každé série (směsi) zkušebních těles. Sekundárním úkolem diplomové práce bude kontrola vzorků pomocí testu FTIR, dále provedení a vyhodnocení tahové zkoušky. Současně bude provedeno teplotní zatížení (nano)kompozitních směsí a následná kontrola pomocí testu FTIR.

Ze získaných hodnot bude porovnáno a vyhodnoceno, do jaké míry jednotlivá plniva (typ a množství) a zpracovatelské postupy ovlivňují jakost povrchu vstříkovaného tělíska. Zároveň budou porovnány mechanické a degradační vlastnosti těchto směsí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Praktická část diplomové práce se zabývá výzkumem vlivu plniva a procesních podmínek při vstřikování vzorků na výslednou jakost povrchu těchto materiálů. Pro přípravu vzorků bylo využito laboratoří v budovách U1 a U15 Univerzity Tomáše Bati, ve kterých se nachází komponentační linka Dvoušnekový vytlačovací stroj Scientific – LabTech a vstřikovací stroj DEMAG Ergotech 50-200 systém. K zjištění jakosti povrchu u připravených vzorků byl použit 3D optický profilometr NewView™ 9000 od společnosti Zygo. Dalším cílem bylo zjištění mechanické (tahové) odolnosti, a to za využití stroje Zwick 1456. Součástí výzkumu byla také zkouška tepelným namáháním za použití laboratorní sušárny BINDER FD53.

6.1 Využití polymerní materiály a plniva

Pro experimentální část byly po konzultaci s vedoucí práce vybrány dva typy polymerních hmot a čtyři typy plniv. V případě polymerních materiálů se jedná o polypropylen (BOREALIS PP HHD 204CF) a polystyren (KRASTEN Synthos PS GP 137). Tyto materiály byly zvoleny záměrně, protože se jedná o zástupce skupiny semikrystalických (PP) i amorfních (PS) polymerů. Současně jsou oba tyto polymery nepolární, jedná o tzv. komoditní polymery, tedy plasty, jež jsou v technické praxi hojně využívány.

Do takto zvolených polymerních materiálů byly přidány čtyři typy plniv, konkrétně kaolin (OT76M), uhličitan vápenatý (Skyspring nanomaterials Calcium Carbonate Nanoparticle 1954RG), oxid titaničitý (PRETIOX RG18P) a jílové nanoplnivo Cloisite (30B). Jedná se o plniva, která jsou v současné době často využívána u širokého spektra technologií. Z tohoto důvodu jsme se domnívali, že právě tato plniva v kombinaci s polymerními matricemi a různými způsoby přípravy nám mohou odhalit, do jaké míry ovlivňují výsledné fyzikální a kvalitativní parametry.

Tato plniva jsou do polymerní matrice zapracována vždy ve dvou koncentračních navážkách (tři a pět hmotnostních %), a zároveň byly tyto směsi připraveny pomocí dvou procesních metod (P1 a P2), kde v případě první metody bylo plnivo do polymeru pouze ručně vmícháno. Pro druhou metodu bylo využito komponentační linky. Materiálové listy použitých polymerů a plniv jsou součástí příloh.

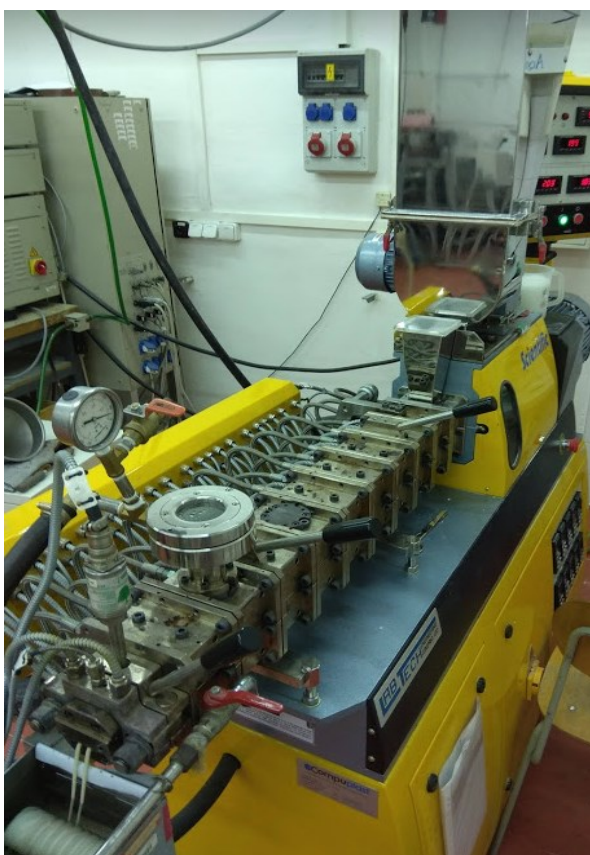
6.2 Příprava zkušebních vzorků

6.2.1 Příprava směsí

Prvním krokem přípravy bylo navážení jednotlivých polymerních materiálů, a to vždy na hmotnost $1500 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ za pomoci laboratorní váhy KERN 440-49N. Stejným způsobem bylo naváženo plnivo v množství 3 a 5 hmotnostních % (45 g a 75 g).

6.2.2 Míchání směsí

Míchání směsí proběhlo dvěma způsoby. V prvním případě se plnivo ručně zamíchalo v připravených nádobách s polymerem. V druhém případě byla sestavena kompundační linka, viz obr. 23, která se skládala z dvoušnekového vytlačovacího stroje Scientific – LabTech, chladicí lázně a granulátoru. Připravené směsi se díky této lince homogenizovaly a vytlačily do podoby strun, jež byly chlazeny pomocí vodní lázně a následně regranulovány.



Obr. 23 Dvoušnekový vytlačovací stroj

Podmínky kompondace:

- Výkon motoru 55 %
- Otáčky dávkovacího šneku pod násypkou 40 ot. /min
- Otáčky hlavních šneků 110 ot. /min.
- Nastavení teplotních pásem viz tab. 1.

Tab. 1 Nastavení teplotních pásem

| Teplotní pásmo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Teplota [°C] | 186 | 188 | 194 | 198 | 202 | 203 | 205 | 205 | 210 | 210 |



Obr. 24 Vstřikovací stroj DEMAG

6.2.3 Vstřikování směsí

Připravené směsi polymerních materiálů a plniv byly dále zpracovány pomocí technologie vstřikování na vstřikovacím stroji DEMAG Ergotech 50-200 systém.

V průběhu vstřikování bylo nastavení ustálené. K jediné změně docházelo u velikosti zpětného tlaku, který byl navyšován z 10 na 70 bar. Předpokladem bylo, že tato změna bude mít vliv na homogenitu vstřikované taveninové směsi, což by mohlo ovlivnit jakost povrchu u vstřikovaných těles. Touto změnou se tedy připravily další série vzorků.

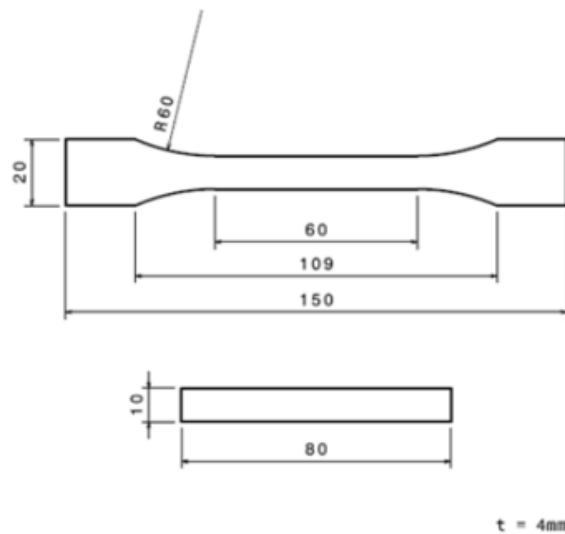
Podmínky vstřikování:

- vstřikovací tlak 1 200 [bar]
- vstřikovací rychlost 120 [cm^3/s]
- čas dotlaku 6 [s]
- dotlak 130 [bar]
- odpor šneku (zpětný tlak) 10 nebo 70 [bar]
- čas chlazení 30 [s]
- nastavení teplotních pásem viz tab. 2

Tab. 2 Teplotní pásma u procesu vstřikování

| Teplotní pásmo | Pod násypkou | MH1 | MH2 | MH3 | Tryska |
|----------------|--------------|-----|-----|-----|--------|
| Teplota [°C] | 60 | 181 | 190 | 215 | 220 |

Výsledkem vstřikování byla zkušební tělesa vhodná pro zkoušku rázové houževnatosti a zkoušku tahem. Tělesa splňují tvarové podmínky dle norem EN ISO 179 (norma pro stanovení rázové houževnatosti pro plasty metodou Charpy) a EN ISO 527-2 (norma pro zkoušku tahem pro tvářené plasty).

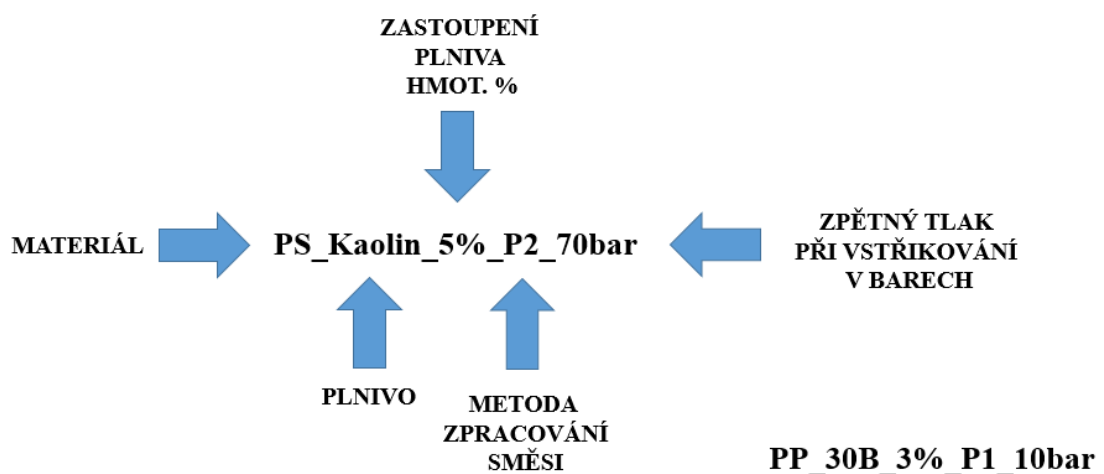


Obr. 25 Zkušební tělesa

6.3 Vytvořené série vzorků

Výše popsaným postupem bylo připraveno 68 sérií vzorků, jež se liší použitým polymerním materiálem (polypropylen, nebo polystyren), dále typem použitého plniva (kaolin, oxid titaničitý, uhličitán vápenatý, jílové nanoplivo) a jeho hmotnostním zastoupením (3 a 5 hmotnostních %). Dále pak způsobem zapracování plniva do polymerní matrice (ruční míchání, komoundace) a změnou velikosti zpětného tlaku z 10 na 70 bar.

Pro takovéto množství vzorků bylo nutné vytvořit vhodný systém označování. Seznam vytvořených sérií vzorků viz přílohy.



Obr. 26 Sériové značení

7 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

V současnosti je trendem nahrazování kovových, či slitinových materiálů za materiály polymerní, nebo kompozitní. Z tohoto důvodu je velmi důležitý výběr polymerních materiálu, plniv a jiných směsných surovin, neméně důležitou stránkou je však také znalost jejich vlastností. Výroba polymerních a kompozitních materiálů je tedy závislá na povědomí o mechanických, chemických, fyzických, či technologických vlastností, nejen jednotlivých materiálů, ale také jejich kombinací. Z tohoto důvodu je nezbytné provádět testování (kontrolní zkoušky) s ohledem na to, v jakém prostředí bude výsledný výrobek využit a jakému namáhání bude vystaven.

7.1 Zygo NewView™ 9000 - kontrola jakosti povrchu

Stěžejním bodem této práce byla kontrola jakosti povrchu. K tomuto účelu byl využit profilometr, neboli také přístroj pro vyhodnocení jakosti povrchu, od společnosti Zygo, který nese označení Zygo NewView™ 9000. Za využití tohoto profilometru, jež se nachází v laboratořích budovy U15 Univerzity Tomáše Bati, lze snadno a rychle měřit širokou škálu povrchů, a to jako hrubých, hladkých, rovných, šikmých, nebo stupňovaných. [105]

Pomocí technologie přístroje Zygo Ametek, došlo k výraznému zrychlení samotného měření. Za využití starší technologie a předpokladu nasnímání stejně velké oblasti, a to bez 3D vizuálního výstupu, jsme museli počítat s dobou snímání 2 – 2,5 hodiny. V případě použití tohoto přístroje jsme se dostali na dobu snímání 22 sekund, což (snímání 680 vzorků) zkrátilo dobu měření z 10 týdnů na 2 dny.

Klíčové vlastnosti:

- vysoce citlivý 1.9 MP senzor;
- rychlé bezkontaktní měření;
- ultra vysoká přesnost a schopnost snímání;
- vylepšené optické zobrazení;
- vynikající 3D vizualizace povrchu. [105]

Tab. 3 Parametry Zygo NewView 9000 [106]

| | |
|---|------------------------|
| Model | NewView 9000™ |
| Konfigurace | Pracovní stanice |
| Opakovatelnost | až 0,08 nm |
| Maximální rychlost vertikálního skenování | až 171 $\mu\text{m/s}$ |
| Rozsah výšky skenovaného profilu | od 0,1 nm do 20 mm |
| Dodatečný optický zoom | 3 objektivy |
| Zorné pole | Od 0,04 do 17,5 mm |



Obr. 27 Profilometr Zygo NewView™ 9000™

Princip bezkontaktního snímání povrchu

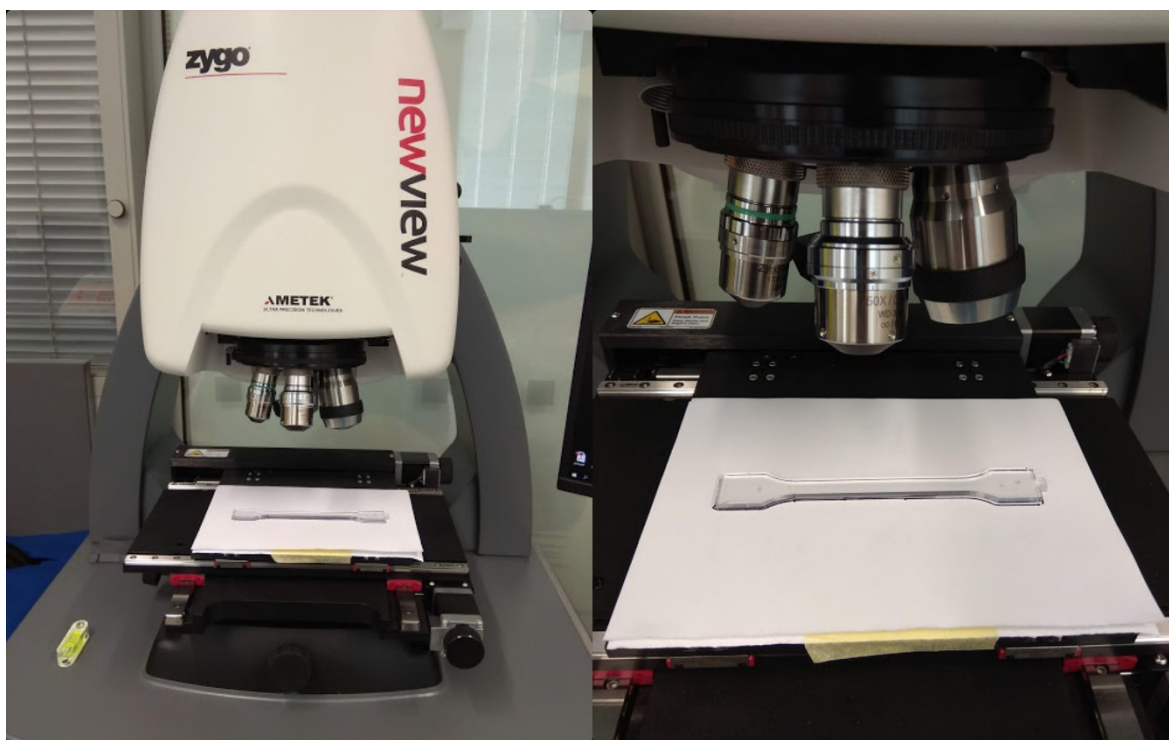
Bezkontaktní snímání není žádnou novinkou, avšak až s příchodem novějších technologií, kterým přestává dělat problém snímání povrchů se špatnou odrazivostí, nabývá na významu. Jeho předností je možnost snímání povrchů, jež jsou za normálních

okolností velmi citlivé na mechanické poškození, nebo v případě měkkých materiálů. Povrch takového tělesa je sledován pomocí měřicí hladiny, jež je zaostřována pomocí softwaru.

Laserový snímač

Tento typ snímače vysílá paprsek polovodičového laseru, jenž se od měřeného objektu (plochy) odráží do optického bodu, který tento odrazový paprsek přijme a vyhodnotí. V praxi to funguje tak, že je paprsek zaostřen na CCD snímací pole.

Příprava vzorků k snímání

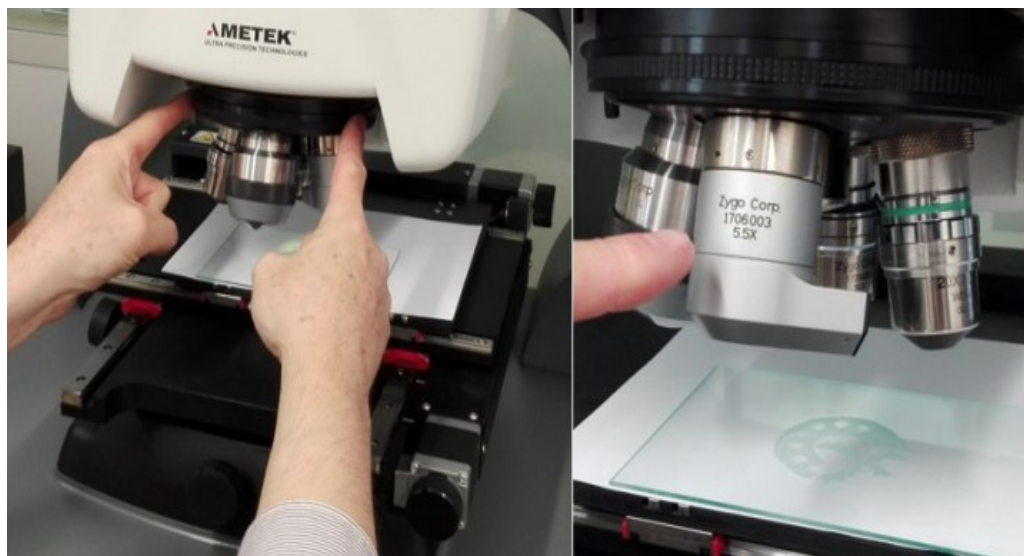


Obr. 28 Umístění vzorku

Postup přípravy vzorků ke snímání je takový, že před prvním snímáním vloží na pohyblivou základnu očištěný vzorek, jež hodláme kontrolovat, dále je potřeba na bočním přístrojovém panelu zvolit vhodný filtr, jenž ovlivňuje výstupní barvu paprsku (v našem případě zelený filtr). Pak je nutné vybrat vhodný objektiv (v našem případě 5,5X).



Obr. 29 Nastavené barevnosti paprsku [107]

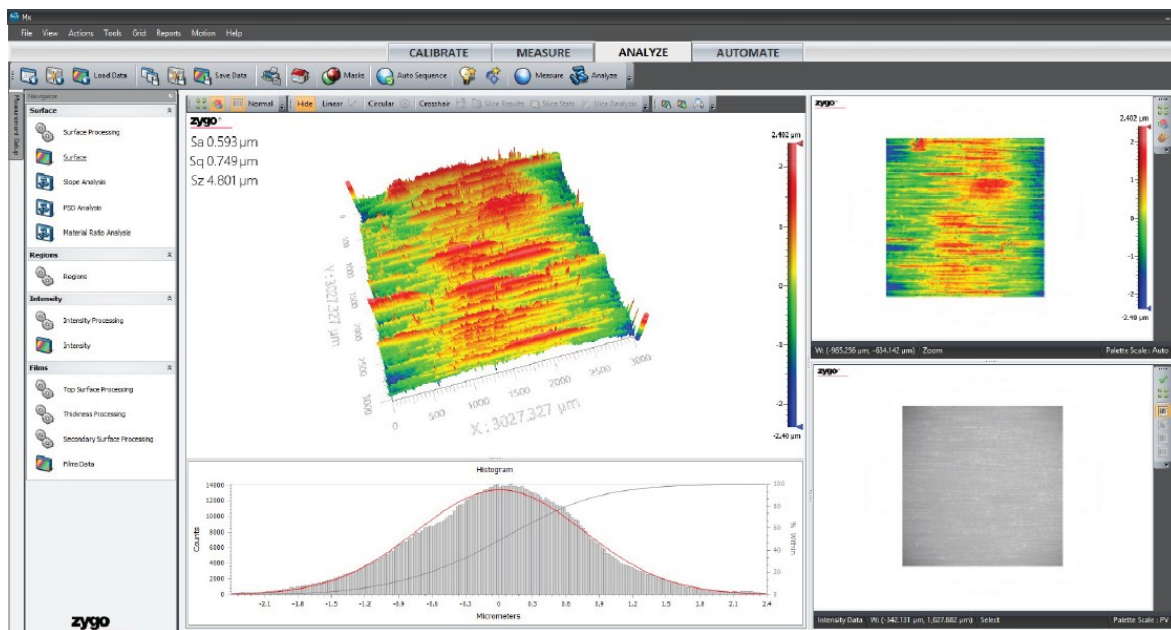


Obr. 30 Volba objektivu [107]

Po nastavení těchto kritérií je nezbytné se přesunout do systémového nastavení a zvolit vhodné parametry pro měření. Těmito parametry myslíme velikost snímané plochy, hloubku scanu, míru přesnosti snímání. Nezbytným krokem před spuštěním měření je zaostření tak, aby přes celou snímanou plochu bylo dosaženo interferenčního obrazce.



Obr. 31 Optimalizace snímání (v kroužku interferenční obrazec) [107]



Obr. 32 Vizualizace snímání jakosti povrchu

Tab. 4 Podmínky kontroly jakosti - Zygo NewView 9000™

| | |
|-----------------------|----------------------|
| Model | NewView 9000™ |
| Filtr | Zelený |
| Objektiv | Zygo 5,5X |
| Snímaná plocha | 3 x 3 mm |
| Hloubka snímání | 300 µm |
| Míra přesnosti měření | Vysoká |
| Kalibrace | Po každém měření |

7.2 ZWICK 1456 – tahová zkouška

Pro zjištění mechanických (tahových) vlastností jednotlivých směsí je nutné provést statickou tahovou zkoušku (v jedné ose). Díky zkoušce byly zjištěny materiálové charakteristiky jednotlivých směsí, a to zejména Youngův modul, mez pevnosti v tahu a maximální protažení vzorku. Tahová zkouška byla provedena na zkušebním stroji ZWICK 1456, kdy k vyhodnocování a ukládání výsledků slouží, testovací software testXpert v7.11, dodávaný výrobcem.

Na tomto přístroji je možné provádět jak tahové, tak tlakové, či ohybové zkoušky, a to jak při laboratorní teplotě, tak za použití teplotní komory. Díky různým typům upínacích přípravků je na tomto stroji možné testovat širokou škálu materiálů a jejich tvarů. Přístroj je vybaven snímačem síly do 20 kN a je opatřen extenzometry pro přesnější měření/vyhodnocování modulu pružnosti. Veškeré výpočty ze získaných dat se provádí automaticky a jsou uloženy v podobě tabulek a grafů.

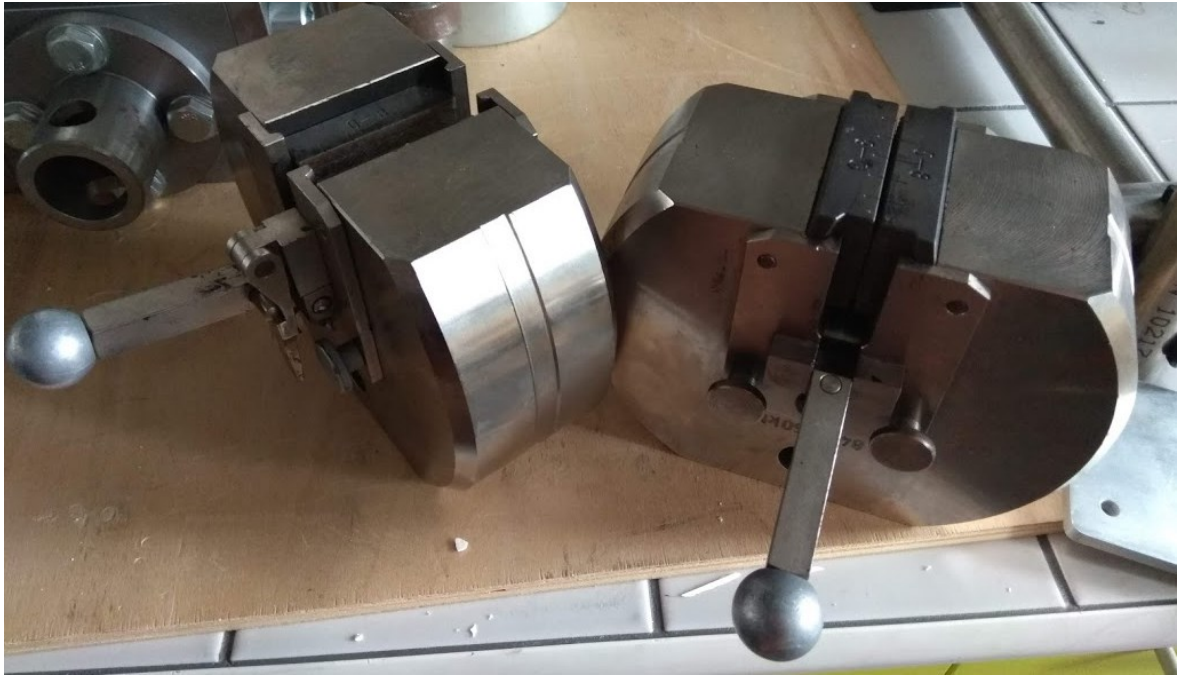
Tab. 5 Parametry ZWICK 1456

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Model | ZWICK 1456 |
| Maximální posuv příčnicku | 800 mm/min |
| Snímače síly | 2,5 kN a 20 kN |
| Teplotní komora | -80 / +250 °C |
| Program | testXpert software |
| Využití na zkoušky | Tah/Tlak/Ohyb |



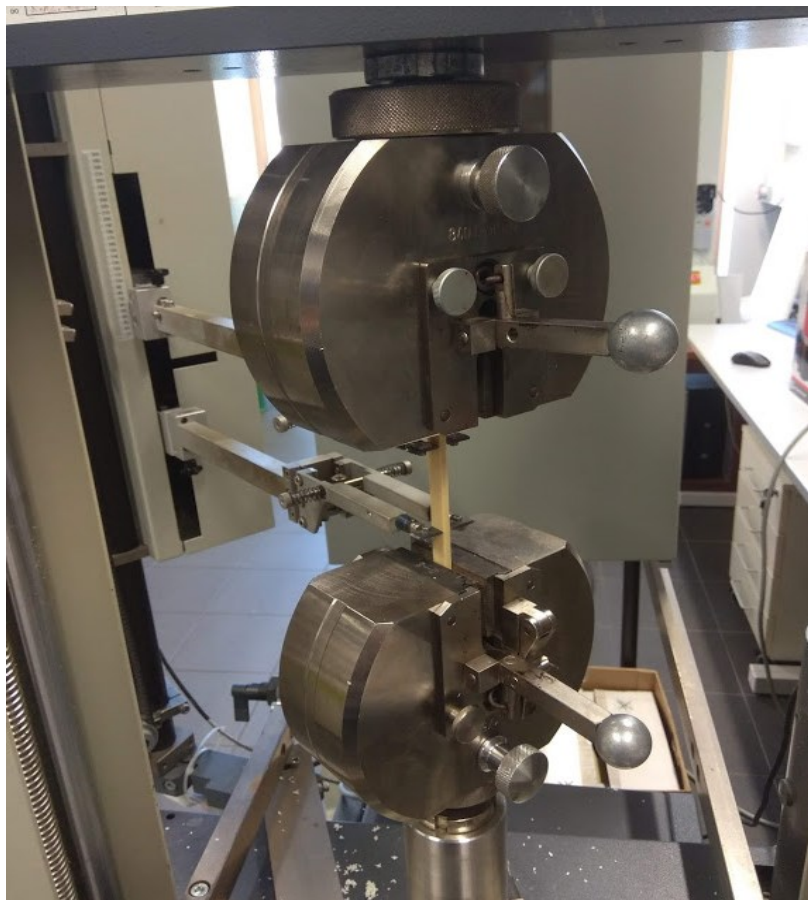
Obr. 33 ZWICK 1456

Před samotným měřením je nezbytné na stroj osadit správný typ čelistí a zkontrolovat připojení vhodných kontrolních čidel, poté je potřeba nastavit velikost posuvové rychlosti, přeměřit a zadat velikost testovacího tělesa. Nezbytným krokem je kontrola rozteče mezi čelistmi extenzometru, v případě, že by se hodnoty na stroji s hodnotou v PC v průběhu měření lišily, není možné tyto údaje následně přepočítat.



Obr. 34 Mechanické čelisti pro zkoušku tahem

Pro tahovou zkoušku byla pomocí vstřikovacího stroje připravena testovací tělesa dle normy EN ISO 527-2. Tato tělesa byla upnuta pomocí mechanických čelistí, viz obr. 34.



Obr. 35 Upnutí testovacího tělesa pro tahovou zkoušku

Tab. 6 Podmínky tahové zkoušky – ZWICK 1456

| | |
|--------------------|---------------------|
| Model | ZWICK 1456 |
| Posuv příčnicku | 50 mm/min |
| Snímač síly | 20 kN |
| Teplotní komora | Bez teplotní komory |
| Program | testXpert software |
| Využití na zkoušky | Tah |
| Teplota při měření | 22 °C (pokožová) |

7.3 BINDER FD 53 – teplotní zatížení

Teplotní zatížení vzorků probíhalo za pomoci laboratorní sušárny BINDER FD53, která byla nastavena na teplotu sušení 60 °C. Cílem tohoto testu bylo zjistit, zda dojde u vytvořených vzorků k určitým viditelným fyzikálním, či chemickým změnám.



Obr. 36 Laboratorní sušárna BINDER FD53

Tab. 7 Podmínky tepelného zatížení – BINDER FD53

| | |
|----------------|--------------------|
| Model | BINDER FD53 |
| Teplota sušení | 60 °C |
| Doba sušení | 150 hodin |

7.4 AVATAR 360 – FTIR

Kontrola vzorků před i po tepelném zatížení proběhla pomocí infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací na laboratorním přístroji NICOLET AVATAR 360 FTIR Spektrometer.



Obr. 37 AVATAR 360 FTIR Spektrometer

8 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT – DISKUZE

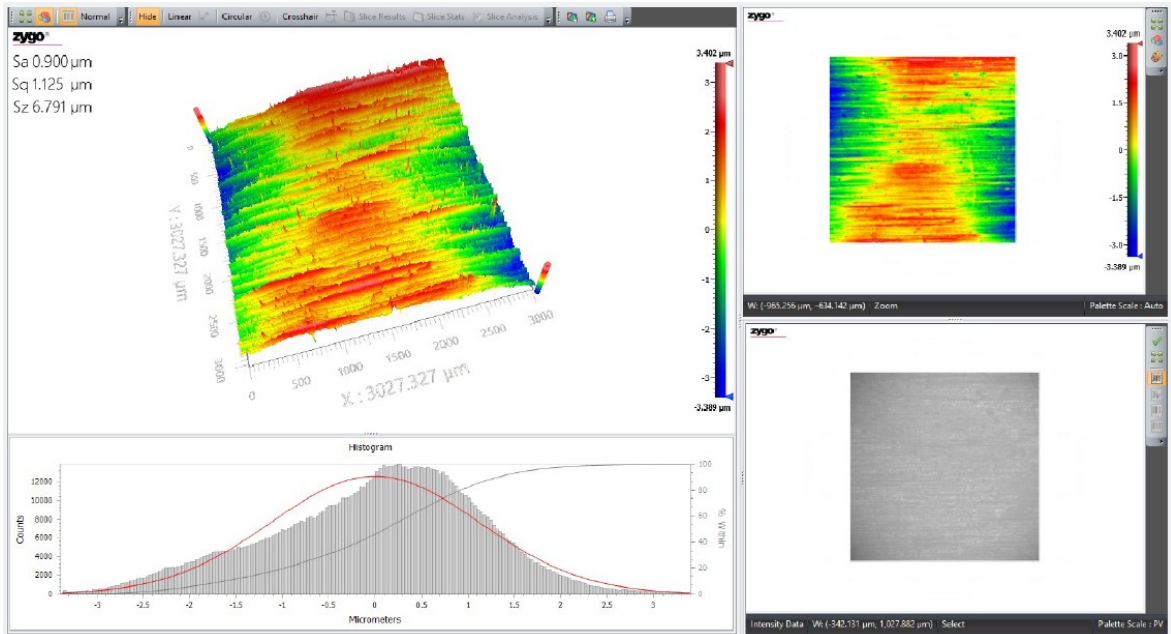
8.1 Jakost povrchu vstříkovaných těles

Měření proběhlo na ploše 3 x 3 mm u každého zkušebního tělíska na jednom místě (tělíska však byla v sériích náhodně překontrolována i na dalších bodech, jejichž hodnoty však odpovídaly měřenému bodu). U všech sérií měření byly vyhodnocovány parametry S_a a S_z . V každé sérii bylo měřeno 10 testovacích těles.



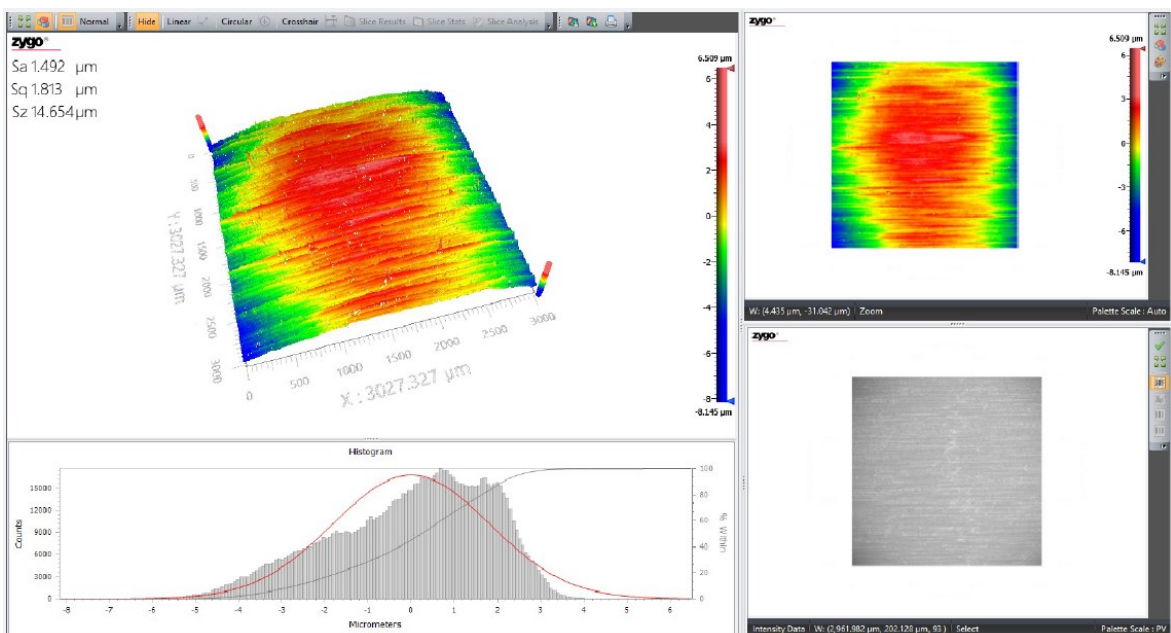
Obr. 38 Zkušební těleso s vyznačeným bodem snímání

Na následujících obrázcích (obr. 39-40) je patrný vizuální výstup z měření jakosti povrchu na přístroji Zygo NewView 9000™. Tímto měřením byla získána 3D vizualizace snímané plochy, která byla značně nápomocná při kontrole získaných dat a nacházení případných extrémů, které by v případě jejich využití mohly značně ovlivnit vyhodnocená data. Dále je vidět 2D výstup, a to jak v podobě monochromatické, tak polychromatické. Součástí výsledků byl také histogram (proložen Gaussovou křivkou), který v prvním případě popisuje takřka ideální rozdělení s mírnou kladnou šikmostí (tzv. pravostrannou) a současně mírnou vícešpičatostí (tzv. leptokurtičnost).



Obr. 39 Výstupní data o jakosti povrchu vzorku série PP_30B_3%_P1_10bar

Na dalším snímku je zobrazen stejný vzorek, který byl ale vytvořen pomocí metody kompondace (tedy metodou P2).



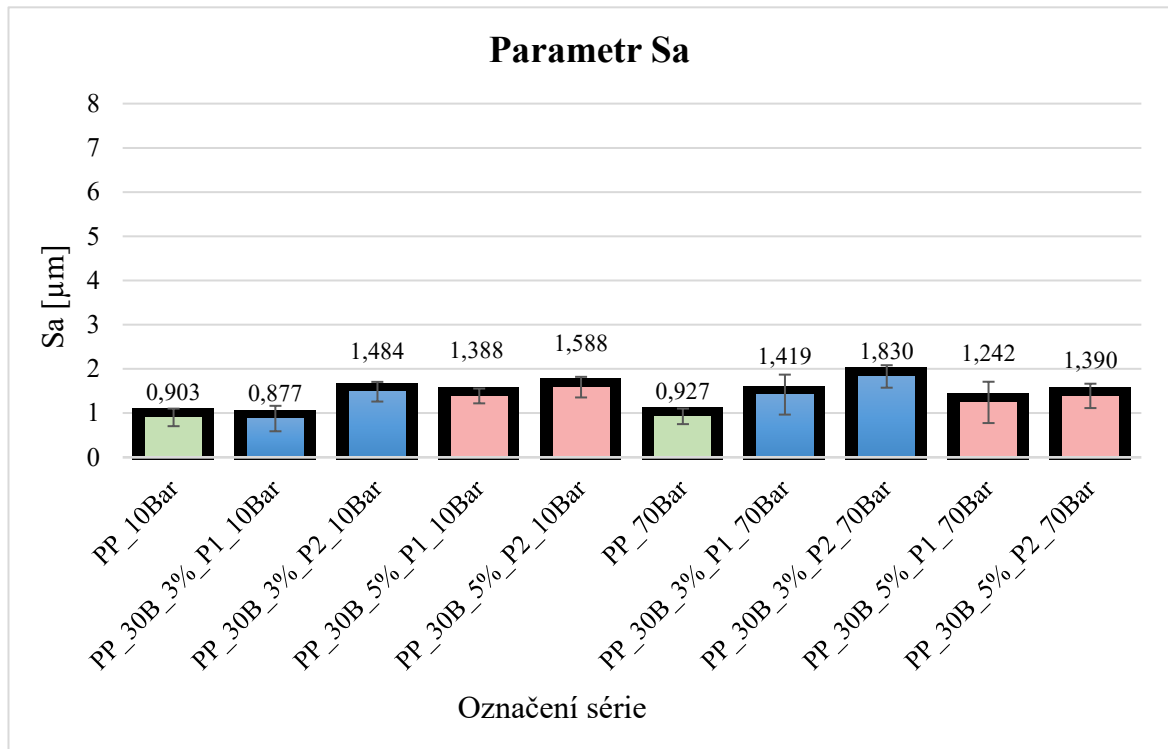
Obr. 40 Výstupní data o jakosti povrchu vzorku série PP_30B_3%_P2_10bar

Předpoklad byl takový, že po využití kompondace dojde k lepšímu promíchání (homogenizování) plniva s polymerem, což povede k zlepšení jakosti povrchu. Jak je však na snímcích vidět, tak došlo k zvětšení jak parametru Sa, tak Sz. Tento jev byl patrný při všech měřeních a výsledky je možné porovnat při pohledu do grafu 1.

8.1.1 Výsledky směsí s plnivem Cloisite 30B

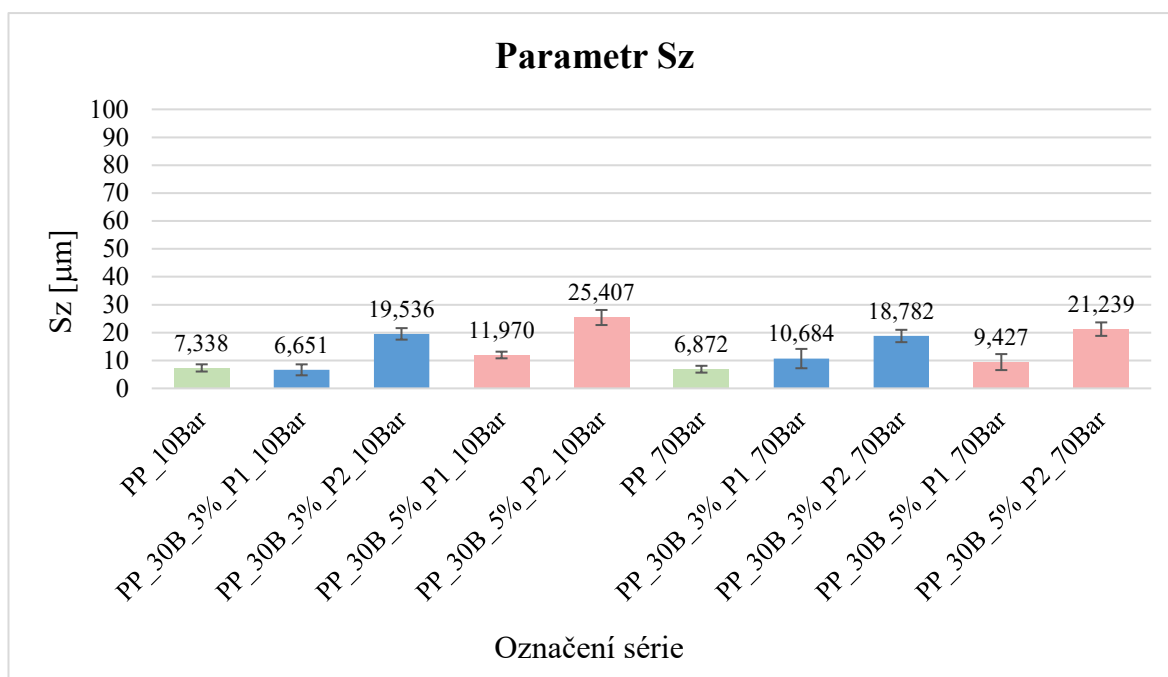
- Polypropylenová matrice s plnivem Cloisite 30B

Graf 1 Srovnání parametru Sa PP s plnivem Cloisite 30B



V grafu je možné pozorovat, že přidáním plniva došlo k výrazné změně jakosti povrchu. Tento trend však nebyl dále navyšován, ani ovlivňován žádnou další proměnnou. Zajímavostí je, že ve všech případech došlo u vzorků zpracovaných pomocí kompondace k malému nárůstu parametru Sa. Nejnižším parametrem Sa se vyznačovala série PP_30B_3%_P1_10bar. Tento fakt mohl být způsoben špatným ručním promísením plniva, nebo tím, že se toto jílové nanoplivo shlukovalo do aglomerátů, které nevystupovaly, což mohlo vést k tomu, že se tato série jevila jako neplněná.

Graf 2 Srovnání parametru Sz PP s plnivem Cloisite 30B



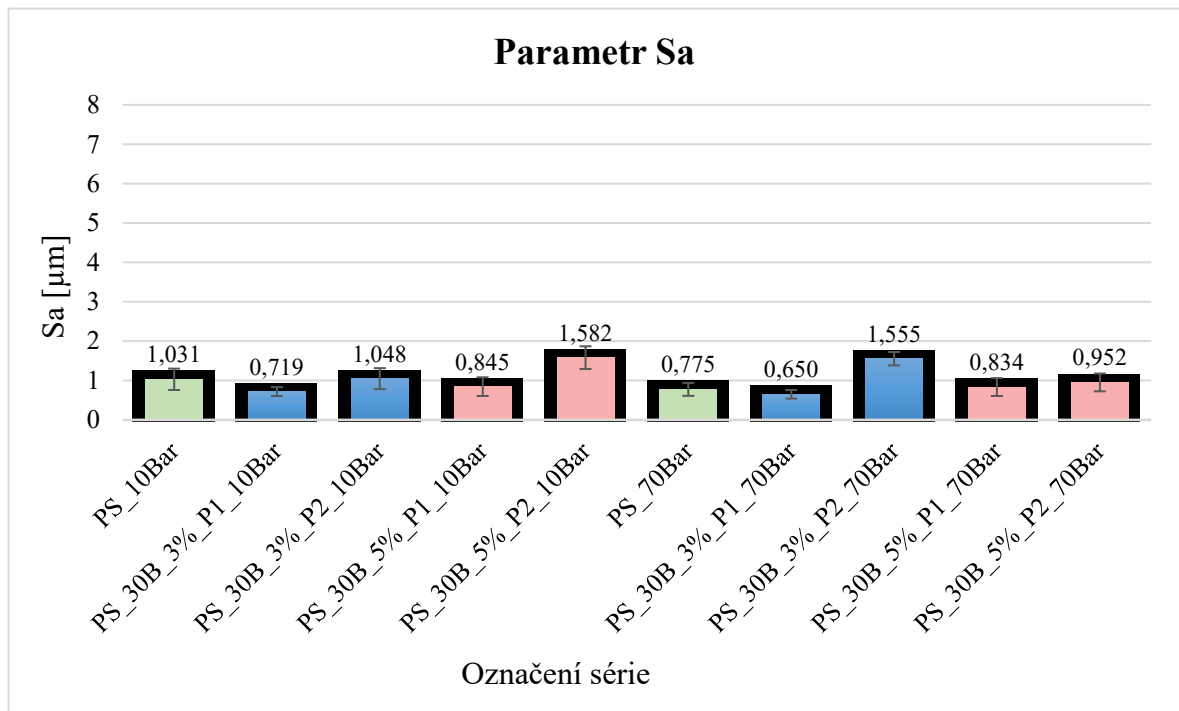
Jak je možné vidět v grafu 2, parametr Sz je u všech ručně promíchaných sérií výrazně nižší, než v případě vzorků vyhotovených pomocí kompondace. Tento jev je pravděpodobně způsoben tím, že matrice polypropylenové směsi neměla po vstříknutí taveniny do formy tendenci vytlačovat částice plniva na povrch. Kdežto v případě kompondace byly tyto částice lépe zapracovány do vstupní směsi a plnivo se tedy nacházelo rovnoměrně v celém objemu. Následkem toho dochází k většímu rozdílu mezi nejhlubší prohlubní a nejvyšším bodem než v případě zapracování plniva P1.

Pozorování:

- Zvýšením míry koncentrace plniva, nedošlo k výrazné změně parametrů Sa, ani Sz.
- Změna velikosti zpětného tlaku, neměla prokazatelný vliv na parametr Sa, ani Sz.
- Proces kompondace měl u všech sérií negativní vliv na velikost parametru Sa i Sz.
- Série PP_30B_3%_P1_10bar dosahuje obdobných výsledků, jako čistý polypropylenový vzorek. To může být dáno špatným promícháním plniva, či jeho shlukování do aglomerátů uvnitř vzorku.

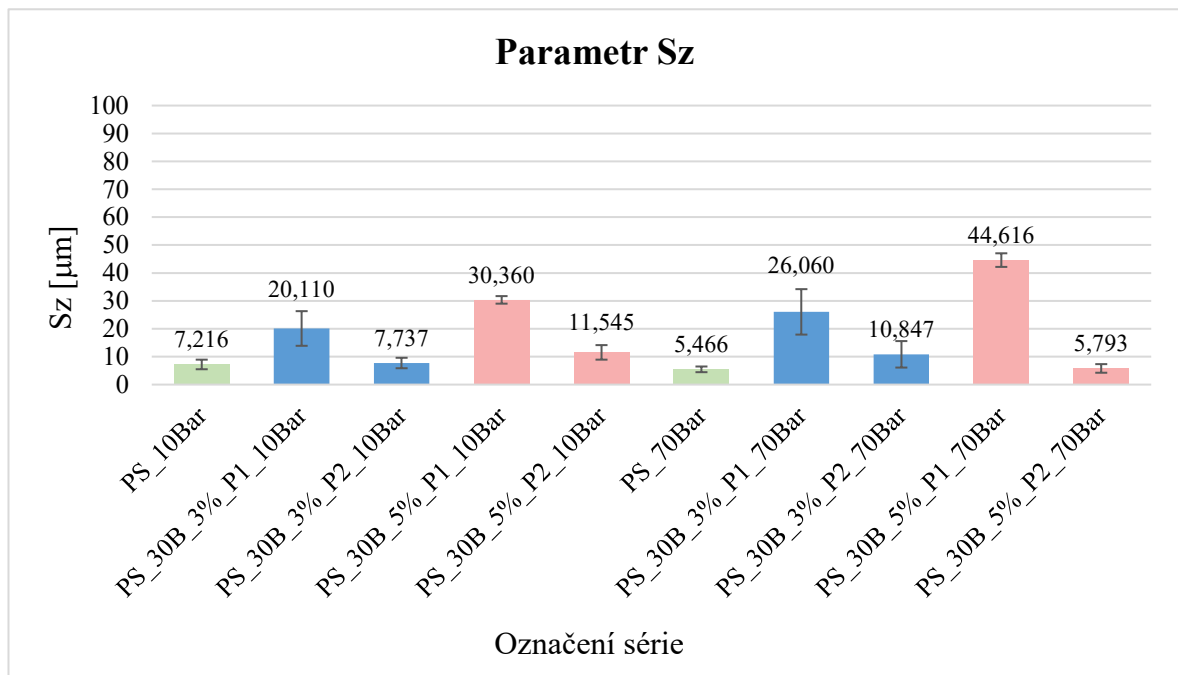
- Polystyrenová matrice s plnivem Cloisite 30B

Graf 3 Srovnání parametru Sa PS s plnivem Cloisite 30B



Z naměřených dat je patrné, že přidání plniva, ani jeho koncentrace neměla zcela zásadní vliv na parametr výšky Sa snímaného vstříkovaného povrchu, k určitému zvýšení drsnosti došlo u dvou sérií (1,582 a 1,555 μm). V obou případech se jedná o způsob míchání pomocí kompondace, avšak s jinou mírou plniva i velikostí zpětného tlaku, takže se nedá tvrdit, že by se jednalo o určitý trend. Zajímavým ukazatelem je, že u všech případů kompondačního procesu došlo k navýšení drsnosti povrchu. Dále by se také dalo hovořit o tom, že nárůst zpětného tlaku z 10 na 70 bar neměl nikterak velký vliv na výsledný povrch.

Graf 4 Srovnání parametru Sz PS s plnivem Cloisite 30 B



V porovnání s parametrem výšky Sa dostáváme v případě parametru Sz opačné údaje. V případě ručního vmíchání plniva dochází k velkému navýšení hodnoty Sz, což je pravděpodobně způsobeno tím, že částice nezhomogenizovaného plniva se nachází těsně pod povrchem, nebo na povrchu vstříkovaného vzorku. To zapříčiňuje velký rozdíl mezi největší prohlubní a nejvyšším bodem. Naopak u sérií zpracovaných kompondací dosahujeme obdobných výsledků jako u sérií bez plniva. Nejbližší k sérii bez plniva mají směsi PS_30B_3%_P2_10bar a PS_30B_5%_P2_70bar, tyto směsi vykazovaly kladné hodnoty, jak v případě parametru Sa, tak Sz, z tohoto důvodu se dají označit, jako nejvhodnější pro další zkoumání, testování.

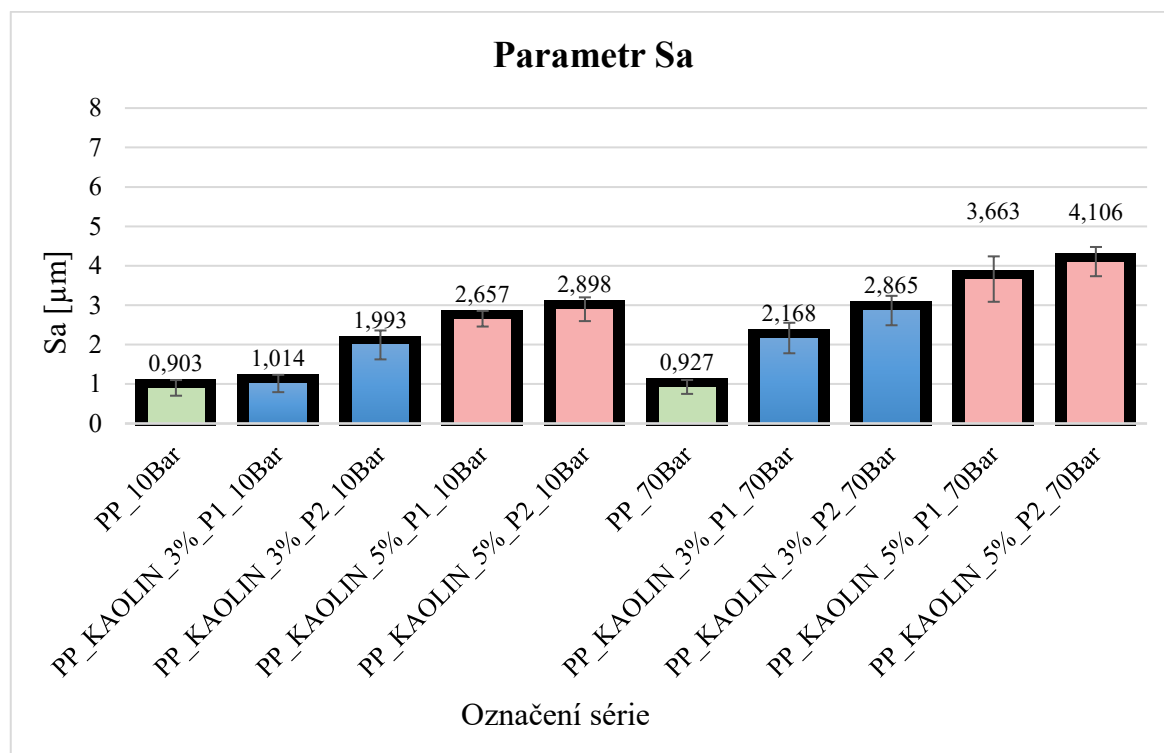
Pozorování:

- Zvýšení míry koncentrace plniva nemá prokazatelný vliv na velikost parametru Sa, avšak v případě ručně míchaných směsí dochází k značnému nárůstu parametru Sz.
- Změna velikosti zpětného tlaku, nemá dle výsledků vliv na parametr Sa, ani Sz.
- Proces kompondace má značný vliv zejména na parametr Sz, kde se s výsledky dostáváme na úroveň neplněných sérií.

8.1.2 Výsledky směsí s plnivem kaolin

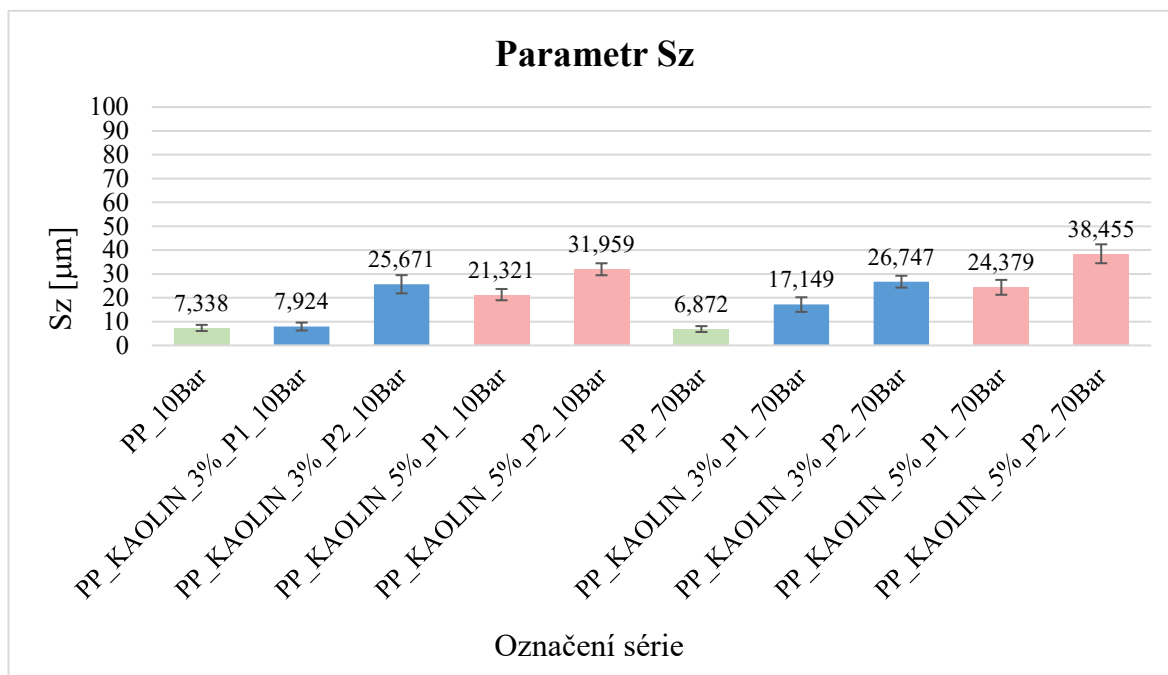
- Polypropylenová matrice s plnivem kaolin

Graf 5 Srovnání parametru Sa PP s plnivem kaolin



V grafu 5 je viditelné, že přidáním kaolinového plniva dochází k značnému zvýšení parametru Sa u všech sérií (kromě série PP_Kaolin_3%_P1_10bar, nejspíš dáno špatným rozprostřením plniva v tavenině, důsledkem čehož se povrch jeví jako neplněný). Je patrné, že k značnému nárůstu dochází v souvislosti s nárůstem míry plniva ve směsi. Změnou velikosti zpětného tlaku z 10 na 70 bar, dochází spíše k zhoršení kvality výsledného povrchu.

Graf 6 Srovnání parametru Sz PP s plnivem kaolin



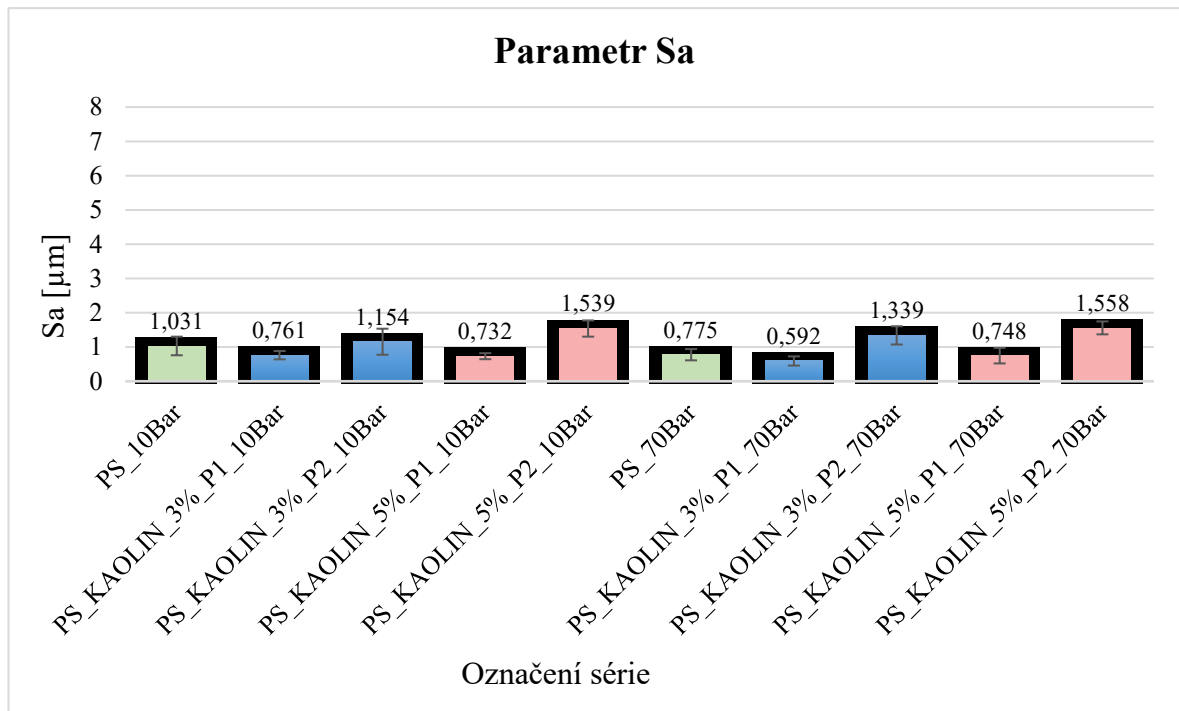
Výsledky parametru Sz potvrzují tvrzení z popisu Sa (graf 5), že přidáním plniva kaolinu dochází k značnému parametru Sz. V případě série PP_Kaolin_3%_P1_10bar je výsledek obdobný, jako u neplněných vzorků z tohoto důvodu nemůžeme tuto sérii považovat za relevantní. Z dalších měření je patrné zvýšení parametru Sz u všech vzorků, kde bylo využito kompondace.

Pozorování:

- Kompondací dochází ke zvýšení parametru Sa i Sz u všech sérií.
- Série PP_Kaolin_3%_P1_10bar je neprůkazná.
- Zvýšením zpětného tlaku dochází k zhoršení kvality povrchu u Sz zpravidla o 1 μm a v případě Sz o 5 μm .
- Zvýšením obsahu plniva dochází k zhoršení kvality povrchu u Sz přibližně o 1 μm a v případě Sz o 3-7 μm .

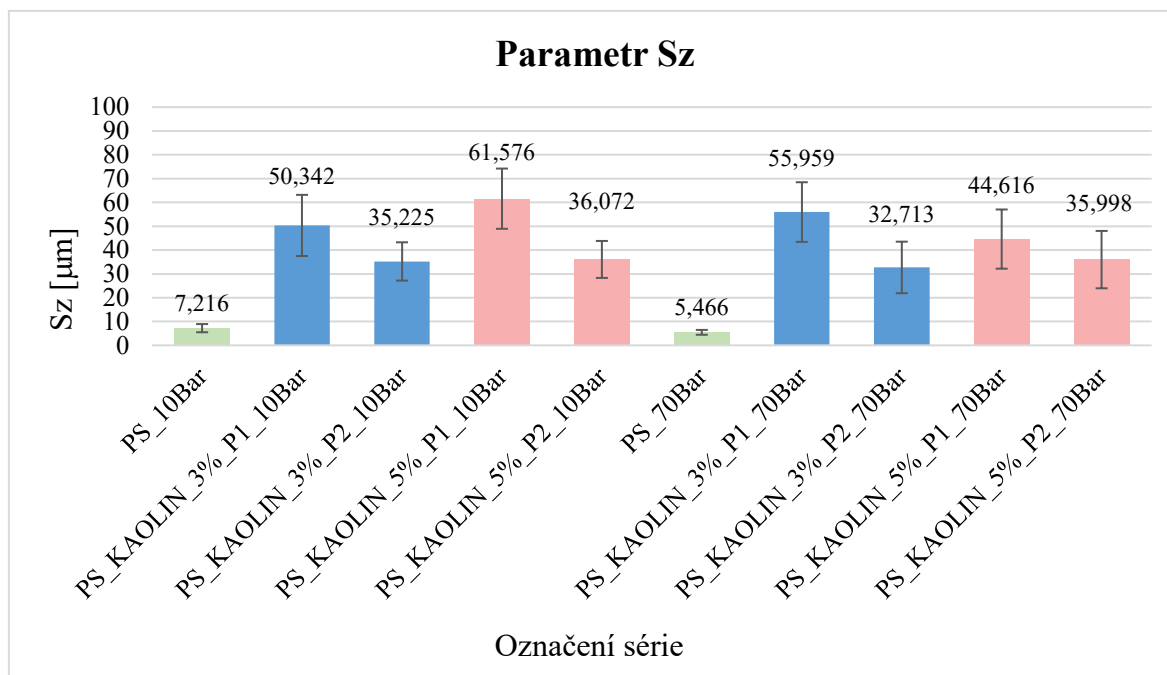
- Polystyrenová matrice s plnivem kaolin

Graf 7 Srovnání parametru Sa PS s plnivem kaolin



Z grafu 7 můžeme vyvozovat, že plnivo ani jeho koncentrace nemají na parametr Sa výrazný vliv. Toto tvrzení můžeme použít i v případě zpětného tlaku. To co viditelně roli hraje, je způsob zakomponování plniva do systému, kdy v případě využití procesu kompondace, dochází k nárůstu parametru Sa a to od 0,4 µm až po 0,75 µm.

Graf 8 Srovnání parametru Sz PS s plnivem kaolin



Z výsledků je na první pohled zřejmé, že plnivo značně zvyšuje parametr Sz (avšak nikoliv míra jeho koncentrace) a to u všech měřených sérií. Z výsledků je také zřejmé, že v případě sérií, u kterých bylo plnivo zpracováno pomocí kompondace je parametr Sz nižší o 1/3, až 1/2. Charakteristikou této série měření jsou značné rozptyly, což značí, že vzorky měly velmi rozdílné výsledky parametru Sz. Velikost zpětného tlaku nesehrála žádnou změnu ve výsledcích.

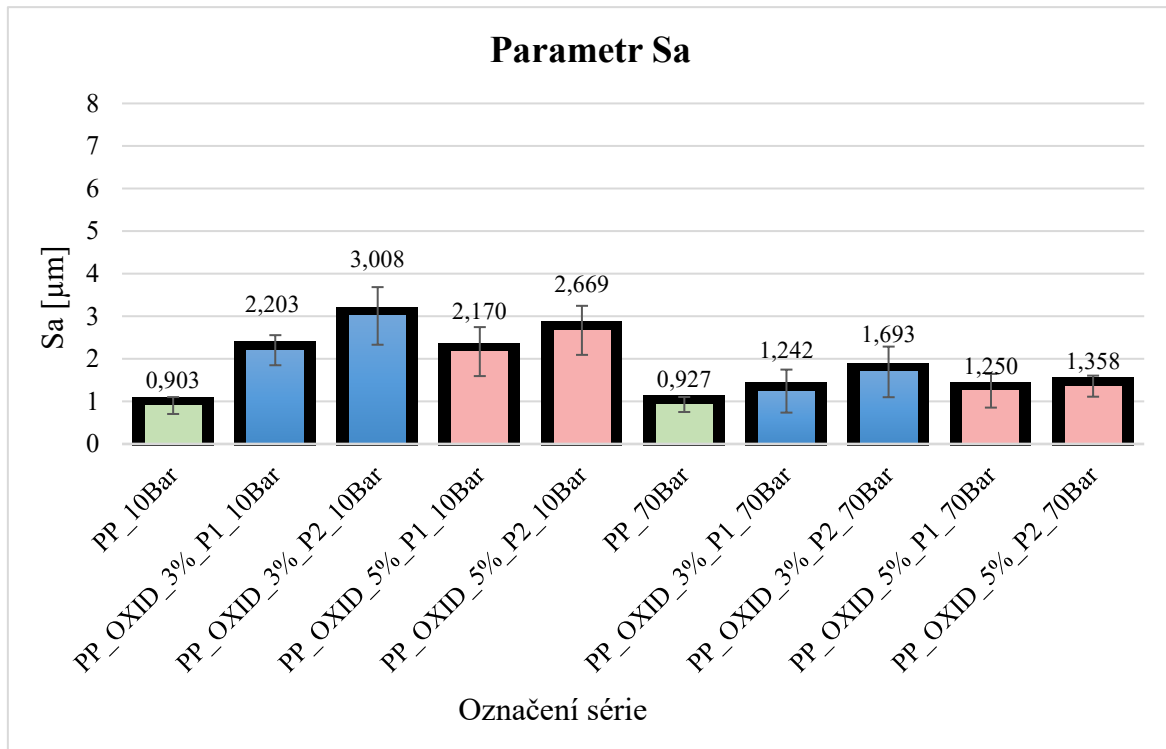
Pozorování:

- Kompoundací dochází k mírnému nárůstu parametru Sa, avšak ke značnému snížení velikosti parametru Sz.
- Z měření nebylo nutné vyloučit žádnou sérii.
- Zvýšením zpětného tlaku nemá vliv ani na jeden z parametrů.
- Zvýšením obsahu plniva nedochází k zhoršení povrchových vlastností.

8.1.3 Výsledky směsí s plnivem oxidu titaničitého

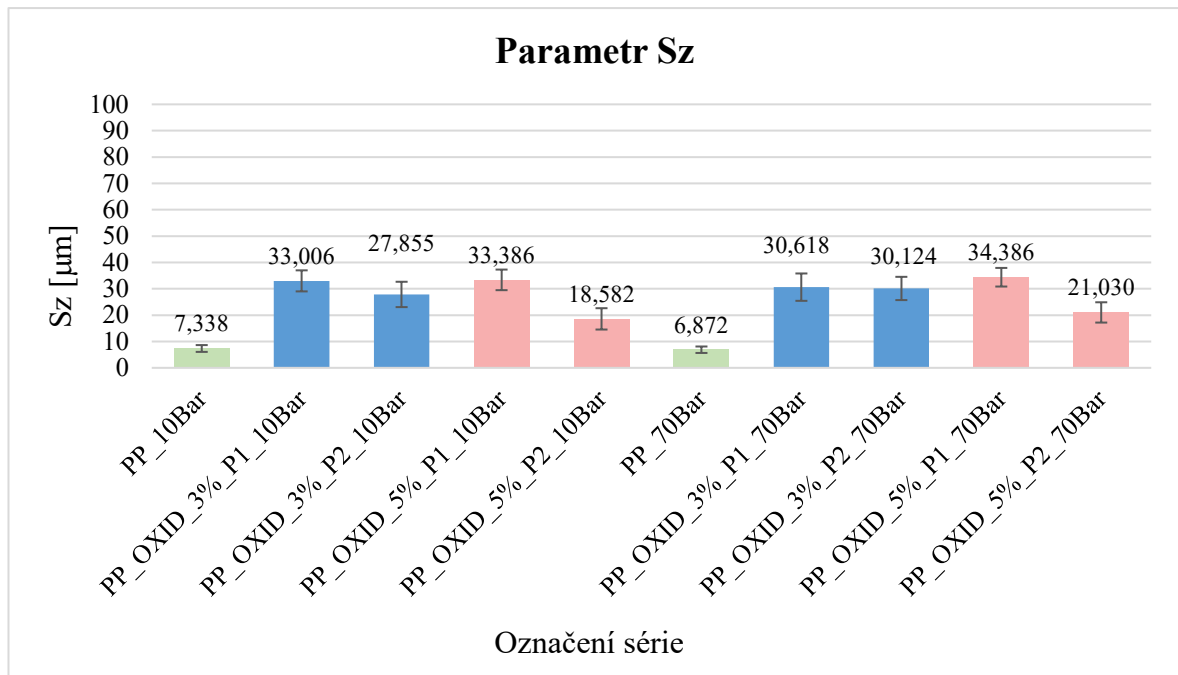
- Polypropylenová matrice s plnivem oxidu titaničitého

Graf 9 Srovnání parametru Sa PP s plnivem oxidu titaničitého



Z výsledků je možné vyčíst, že přidáním plniva dochází ke značnému zvýšení drsnosti povrchu. Ve všech případech dochází u zpracování pomocí kompondace k zvětšení parametru Sa oproti ručnímu míchání. Zdá se, že poprvé mohl určitou změnu na výsledcích způsobit nárůst zpětného tlaku, protože u obou koncentrací plniva došlo po zvýšení velikosti zpětného tlaku ke snížení parametru Sa oproti původnímu měření.

Graf 10 Srovnání parametru Sz PP s plnivem oxidu titaničitého



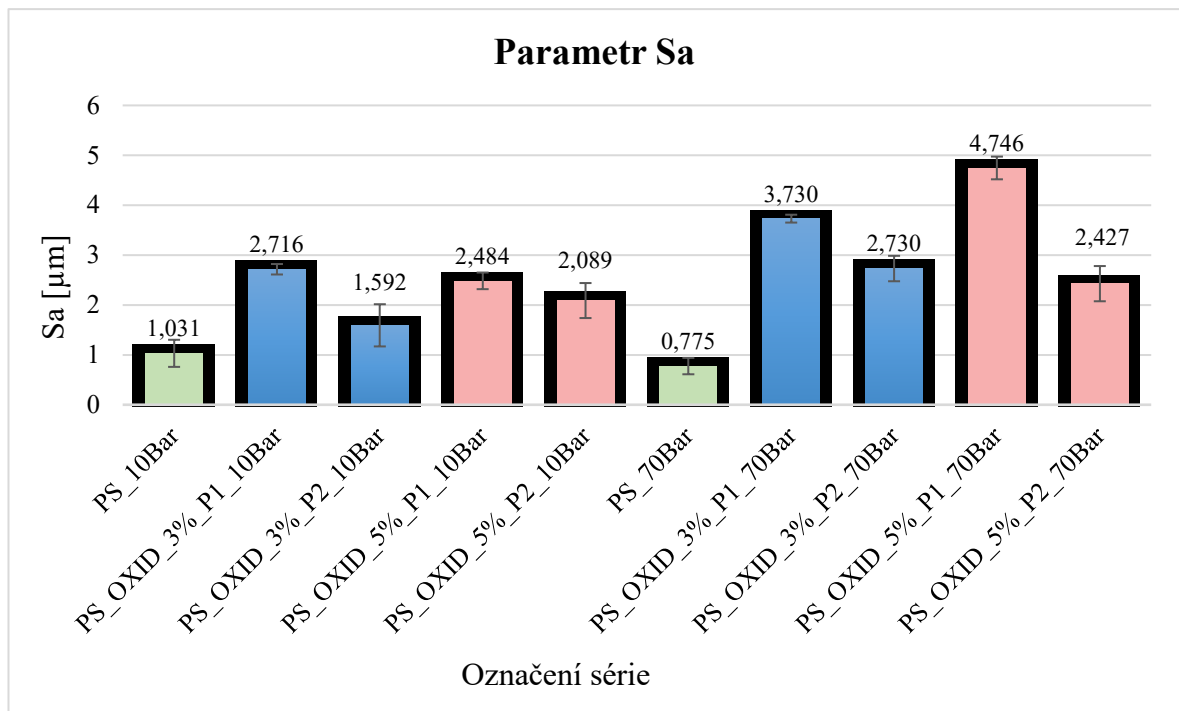
Parametr Sz se přidáním plniva zvýšil v porovnání s neplněnými vzorky přibližně čtyřnásobně a u většiny sérií se pohybuje kolem hodnoty 30 μm . Pouze dvě série jsou výjimkou. Těmi skupinami jsou PP_OXID_5%_P2_10 respektive _70bar. Tento výsledek může být způsoben vlivem kompondace na rozmělnění nanočástic v materiálu.

Pozorování:

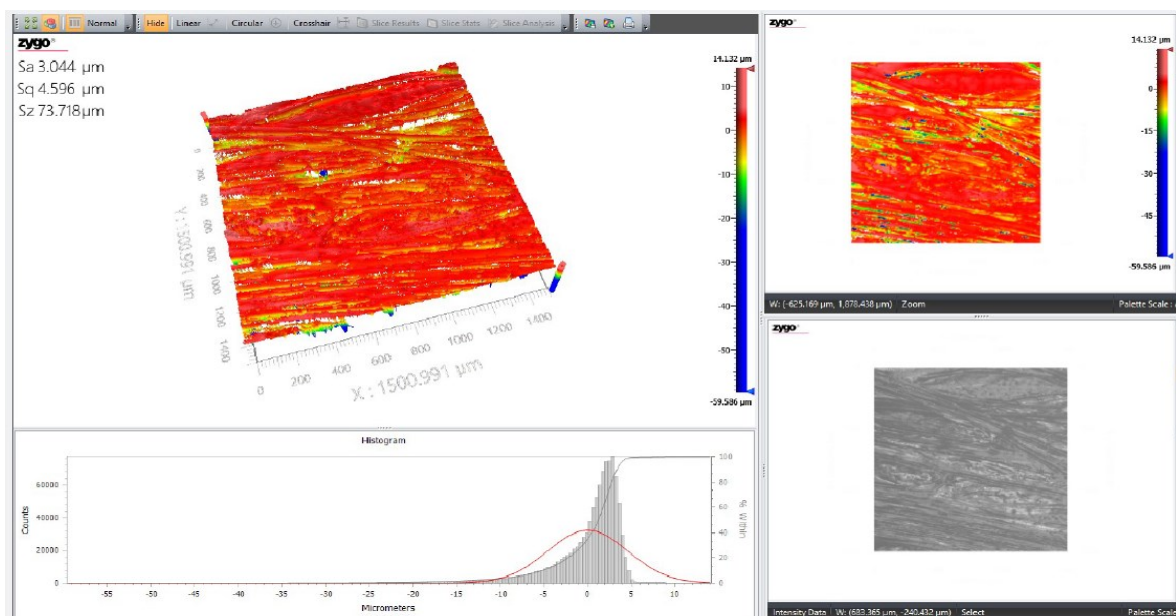
- Kompoundací dochází u vzorků, na něž působil nižší zpětný tlak (10 bar) k značnému nárůstu parametru Sa, avšak ke snížení velikosti parametru Sz, v případě výsledků u kompondace za zvýšeného zpětného tlaku nebyl nárůst parametru Sa nijak markantní. V případě Sz došlo k obdobnému poklesu, jako u nižšího zpětného tlaku.
- Všechna měření odpovídala určitému trendu, proto nebylo nutné, žádnou sérii separovat.
- Zvýšení zpětného tlaku, mělo viditelný vliv u všech sérií parametru Sa v případě parametru Sz je rozdíl v určité toleranci směrodatných odchylek.
- Zvýšením obsahu plniva nedochází k zhoršení povrchových vlastností, ani u jednoho parametru.

- Polystyrenová matrice s plnivem oxidu titaničitého

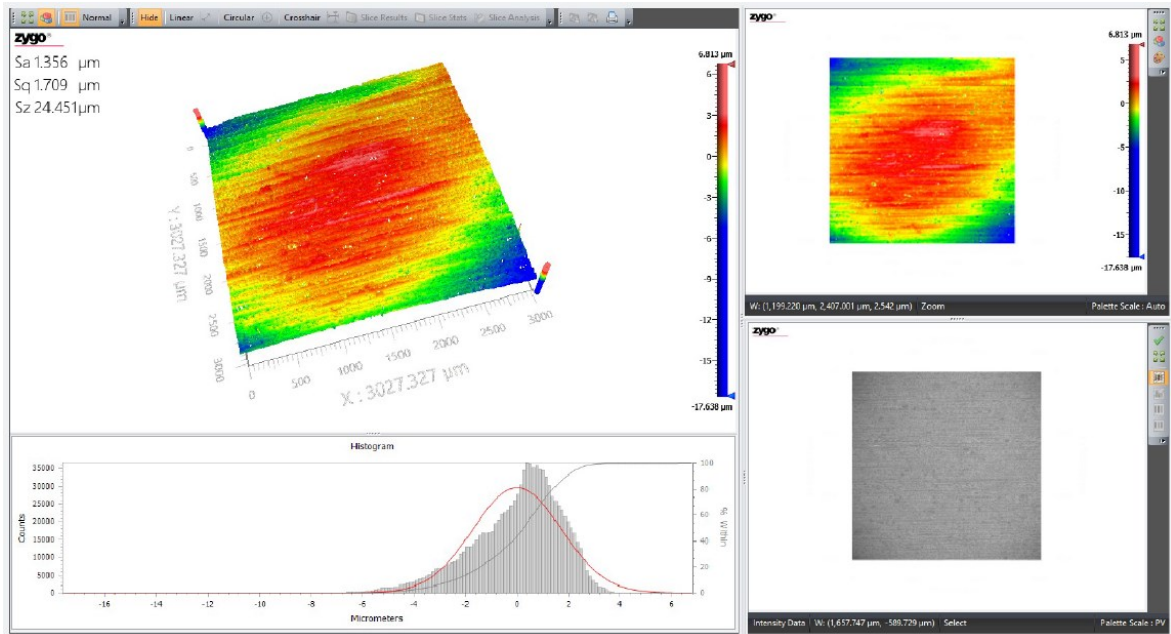
Graf 11 Srovnání parametru Sa PS s plnivem oxidu titaničitého



Přidání oxidu titaničitého do polystyrenové matrice způsobilo značný nárůst parametru Sa, a to zejména v sériích, kde bylo plnivo zamícháno ručně. Struktura povrchu byla značně nahodilá oproti vzorkům, které byly míchány kompondací. (viz obr. 41, 42). Změna velikosti zpětného tlaku u tohoto případu, působila negativně na hodnotu Sa.

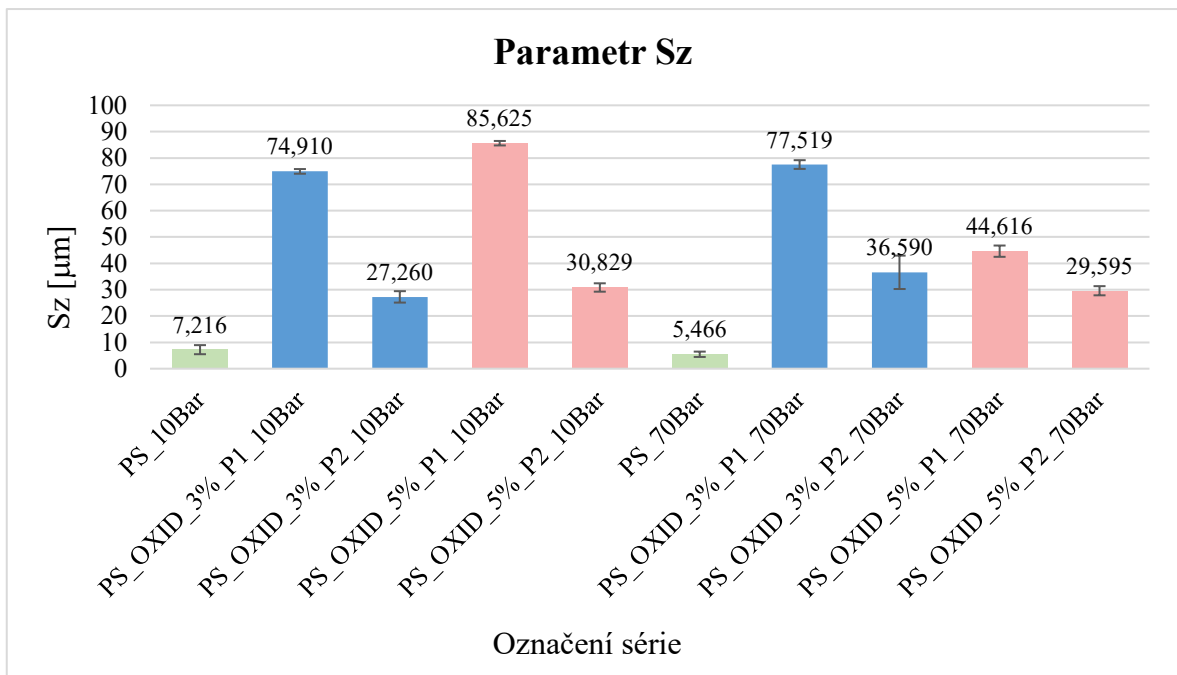


Obr. 41 Směs polystyrenu a oxidu titaničitého (metoda ručního míchání)



Obr. 42 Směs polystyrenu a oxidu titaničitého (metoda compoundace)

Graf 12 Srovnání parametru Sz PS s plnivem oxidu titaničitého



Přidání plniva způsobilo značné zvýšení hodnoty parametru Sz, a to zejména v případě ručního promíchání. Navýšení objemu plniva, ani změna zpětného tlaku z tohoto pohledu nehrály ve vlivu na výsledky měření žádnou roli. Jediný extrém nastal u vzorků PS_OXID_5%_P1_70bar. U této série měření vykazovala, po zvýšení zpětného tlaku o polovinu nižší hodnotu Sz. Tento jev se však u žádné jiné série neprojevil, mohlo se tedy jednat o následek ručního míchání, kdy se dá předpokládat, že došlo k špatnému rozložení

plniva, nebo tvorbě jeho aglomerátů uvnitř vstříkovaného výrobku, čímž se povrch vzorků jevil jako čistý polystyren.

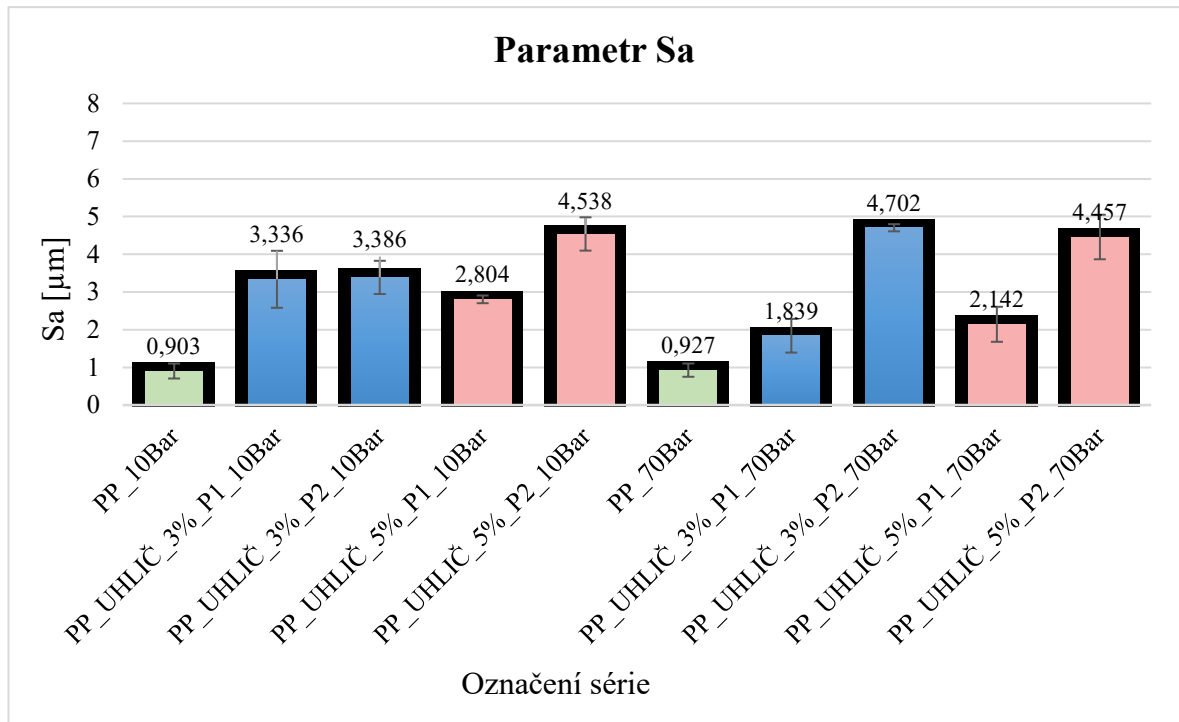
Pozorování:

- Kompoundací dochází k mírnému snížení hodnoty S_a , avšak k značnému snížení u parametru S_z , což vypovídá o celistvější struktuře povrchu vzorků, bez většího množství extrémů (obr. 41, 42).
- Zvýšení zpětného tlaku, mělo prokazatelně negativní vliv na parametr S_a , ale nikoliv na S_z .
- Zvýšením hmotnostního obsahu plniva došlo k určitému zvýšení parametru S_a , v případě parametru S_z nedošlo k žádné zásadní změně v datech.

8.1.4 Výsledky směsí s plnivem uhličitan vápenatý

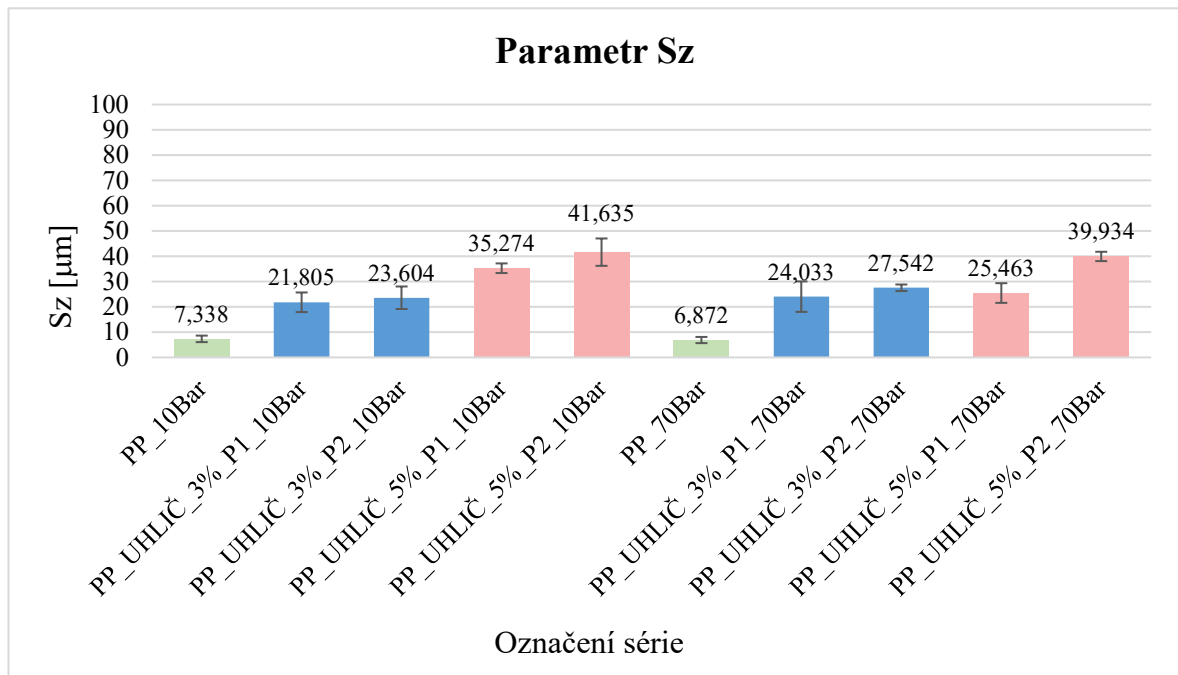
- Polypropylenová matrice s plnivem uhličitan vápenatý

Graf 13 Srovnání parametru Sa PP s plnivem uhličitan vápenatý



Z vyhodnocených dat je patrné, že ve všech případech došlo vlivem kompondace, ke zvýšení parametru Sa v porovnání se vzorky, jež byly připraveny ručním mícháním. Vliv zvýšení zpětného tlaku je patrný v případě ručně míchaných směsí. V případě postupu P2 došlo naopak k navýšení drsnosti povrchu. Vliv změny koncentrace plniva způsobuje mírný nárůst parametru.

Graf 14 Srovnání parametru Sz PP s plnivem uhličitán vápenatý



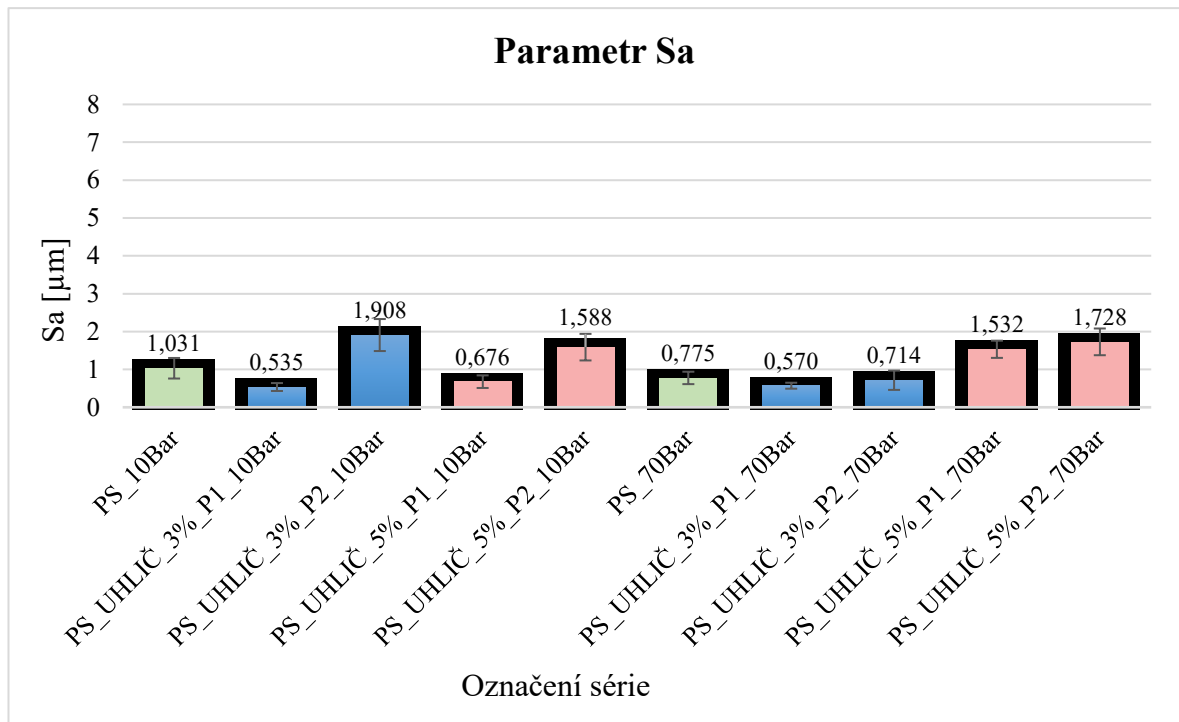
Přidáním plniva došlo ke značnému nárůstu velikosti parametru Sz. Ve všech případech byl parametr Sz vyšší u vzorků připravených kompondací, než v případě ručního míchání. Tento rozdíl je však s ohledem na velikosti směrodatných odchylek zanedbatelný. Navýšení hmotnostního obsahu plniva ve směsi o 2 % zapříčinilo v případě kompondovaných směsí zvýšení parametru Sz o přibližně 40 %.

Pozorování:

- Kompondací dochází u tří ze čtyř sérií ke značnému nárůstu parametru Sa (srovnatelné jsou výsledky pouze u první série, což může být zapříčiněno špatným rozložením plniva u ručně míchaného vzorku), současně také dochází k mírnému nárůstu parametru Sz.
- Zvýšení zpětného tlaku mělo vliv na parametr Sa v případě ručně míchaných směsí, výsledkem byl pokles hodnot. Vliv zpětného tlaku na Sz je sporadický.
- Zvýšením hmotnostního obsahu plniva došlo k minimálnímu nárůstu hodnot Sa a Sz.

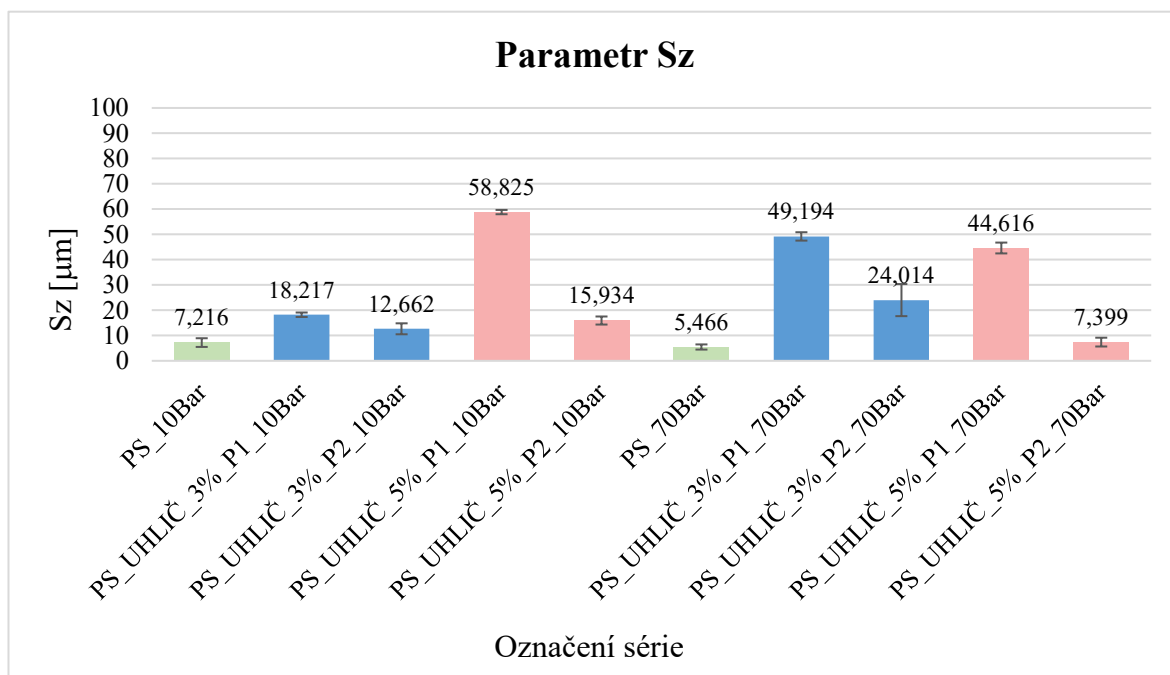
- Polystyrenová matrice s plnivem uhličitan vápenatý

Graf 15 Srovnání parametru Sa PS s plnivem uhličitan vápenatý



Z grafu je pozorovatelný jistý trend nárůstu Sa a to v případě, kdy v postupu zpracování polymerní směsi byl využit proces kompondace. Z výsledků však není jasně patrné, že by na samotný parametr Sa měla vliv míra obsaženého plniva nebo velikost zpětného tlaku. Tyto výsledky mohou být ovlivněny také plnivem samotným. V případě uhličitanu vápenatého se totiž jedná o látku, která je považována za levnější typ plniva s velkou distribucí (velikostí) částic. Obecně se dá tvrdit, že u takovýchto typů plniv se dá předpokládat dosažení rozličných výsledků s větším rozptylem.

Graf 16 Srovnání parametru Sz PS s plnivem uhličitán vápenatý



V případě parametru Sz je pozorovatelným jevem to, že dochází k poklesu velikosti parametru Sz u všech případů využití procesu kompondace, oproti ručnímu míchání. Vliv míry plniva, ani velikost zpětného tlaku, není možné z tohoto pozorování prokázat.

Pozorování:

- Proces kompondace měl negativní vliv u všech měření parametru Sa, avšak snížil rozdíly mezi nejvyšším bodem a nejnižší prohlubní.
- Velikost zpětného tlaku ani hmotnostní obsah plniva neměl prokazatelný, respektive logický vliv na parametr jakosti povrchu Sa. V případě parametru Sz dochází k značnému nárůstu u série PS_UHLIČ_5%_P1_10Bar, důvodem tohoto jevu může být špatné rozložení plniva ve vstříkovaných vzorcích.

Diskuze

Z většiny výsledků je patrné, že významný vliv na jakost povrchu (parametry Sa a Sz) měl proces míchání, kdy při využití procesu kompondace (P2) došlo u většiny směsí (vyjma polystyrenu s oxidem titaničitým) k zhoršení jakosti povrchu z pohledu parametru Sa. V případě parametru Sz se objevil určitý trend, kdy docházelo při využití procesu kompondace k navýšení hodnoty tohoto parametru u polypropylenových směsí (opět s výjimkou PP s oxidem titaničitým) a ke snížení velikosti Sz u polystyrenových směsí. Tento výsledek je pravděpodobně dán tím, že v případě amorfního polystyrenu neměla polymerní hmota po vstříknutí do formy a následném chlazení tendence vytlačet plnivo na povrch. Opakem tohoto procesu mohly být semikrystalické vlastnosti polypropylenu, kdy z důvodu tvorby krystalů mohlo docházet k posunutí plniva na povrch, nebo do jeho těsné blízkosti.

Vliv změny velikosti (nárůstu) zpětného tlaku z 10 na 70 bar není u většiny měření nijak prokazatelný a dalo by se konstatovat, že tato změna (nárůst) nebyla dostatečná.

Změna obsahu plniva ve směsích vzorků z 3 na 5 hmotnostních % nezpůsobila zásadní změnu ve výsledných hodnotách, nebo se tato změna projevila lineárním zvýšením parametrů Sa a Sz, v závislosti na nárůstu plniva.

Nejzajímavější výsledky prokazovaly série jak u polypropylenové, tak polystyrenové matrice, jejichž plnivem byl oxid titaničitý. V případě polypropylenové matice to byla jediná série, u které byl parametr Sz nižší u použití kompondace, než ručního míchání. Současně se zde potvrdil jako v jediném případě vliv navýšení zpětného tlaku, jakožto kladného faktoru na parametr Sa. Jeden z důvodů, proč by tomu tak mohlo být, je, že se v případě oxidu titaničitého jedná o nanoplivo, u kterého se kompondačním procesem dostatečně dispergovaly aglomeráty do celé struktury směsi, čímž došlo jen k minimálnímu ovlivnění jakosti povrchu vstříkovaných vzorků.

Nejméně vypovídající údaje byly získány u kompozitních vzorků, plněných pomocí uhlíčitanu vápenatého. Může to být dáno tím, že se jedná o levnější plnivo s poměrně velkými rozměry částic, které se ve směsích mohly náhodně shlukovat do větších, či menších aglomerátů.

Rozpětí výsledků parametrů Sa a Sz u jednotlivých plniv:

PP + Cloisite 30B → Sa 0,9 – 1,9 μm; Sz 6,7 – 25,4 μm

PP + Kaolin → Sa 1 – 4,1 μm; Sz 7,9 – 38,5 μm

PP + Oxid titaničitý → Sa 1,2 – 3 μm; Sz 18,6 – 34,4 μm

PP + Uhličitan vápenatý → Sa 1,8 – 4,7 μm; Sz 21,8 – 41,6 μm

PS + Cloisite 30B → Sa 0,7 – 1,6 μm; Sz 5,8– 44,6 μm

PS + Kaolin → Sa 0,6 – 1,6 μm; Sz 32,7 – 61,6 μm

PS + Oxid titaničitý → Sa 1,6 – 4,7 μm; Sz 27,3 – 85,6 μm

PS + Uhličitan vápenatý → Sa 0,5 – 1,9 μm; Sz 7,4 – 58,8 μm

Detailní rozebrání všech získaných výsledků, viz příloha 7.

8.2 Tahová zkouška

Zkouška proběhla na víceúčelovém trhacím stroji ZWICK 1456. Po spuštění počítače a softwaru TestXpert Master bylo nutné vytvořit složku, do které se získaná data ukládala. Dalším krokem bylo nastavení rychlosti posuvu u průběhu tahové zkoušky. V našem případě na 50 mm/min. Dále proběhlo nastavení vzdáleností čelistí a extenzometru dle norem. Součástí nastavení je také šířka tělesa (b_0) a tloušťka tělesa (a_0). Při upínání tělesa bylo nezbytné kontrolovat správnost upnutí tak, aby nedocházelo k nepřesnostem měření. Po dosažení meze pružnosti extenzometr odjíždí a zatěžování probíhá až do maximálního zatížení, kdy se vzorek zpravidla přetrhne (v případě PP může docházet k jevu tzv. dloužení).

8.2.1 Výsledky měření

U každé série došlo k měření za laboratorní teploty (21 °C) u 10 kusů zkušebních těles, kdy ze získaných výsledků byly vybrány k prezentování následující data:

R_m [MPa] – Mez pevnosti v tahu

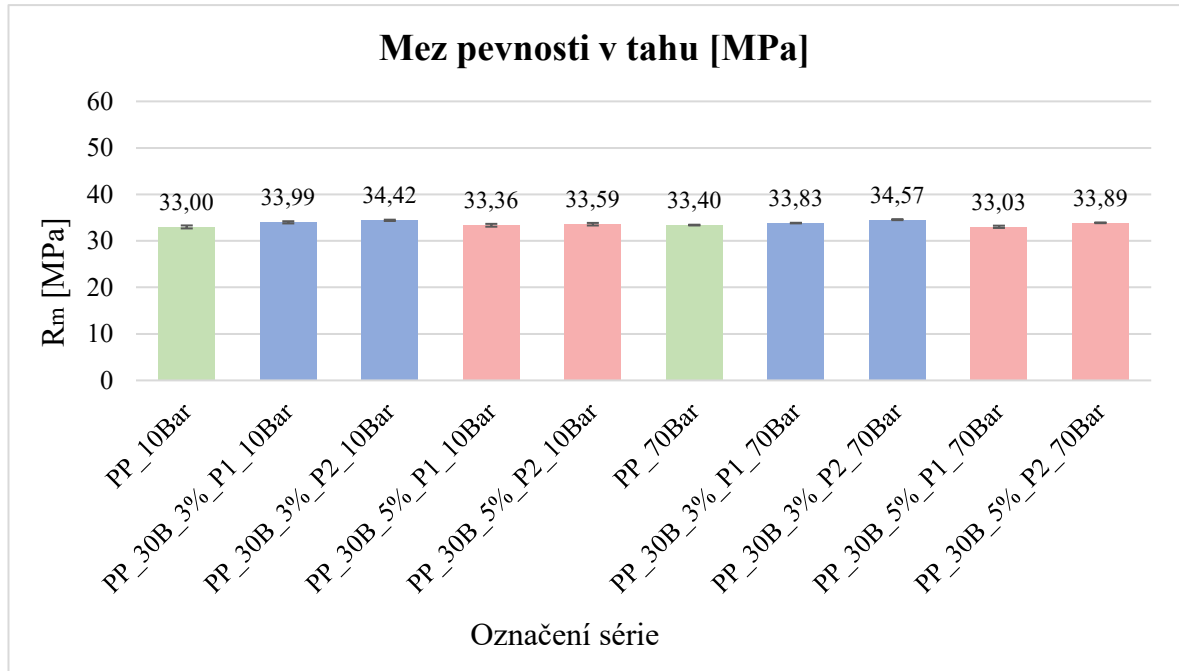
E [MPa] – Youngův modul (tuhost)

Prodloužení [%]

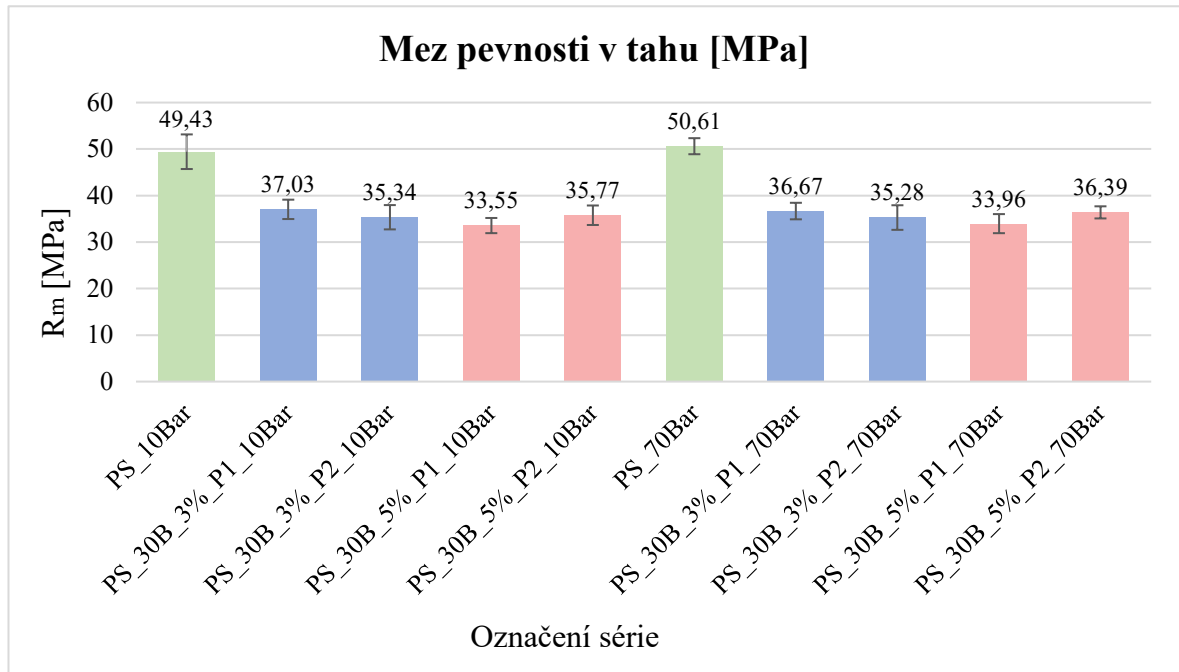
Výsledná data Youngova modulu - E [MPa] a velikosti prodloužení [%], jsou součástí příloh.

8.2.2 Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s Cloisite 30B

Graf 17 Porovnání R_m pro směsi PP s Cloisite 30B



Z výsledků je patrné, že přidáním plniva, způsobem jeho zpracování, ani změnou velikosti zpětného tlaku nedošlo k zásadnímu ovlivnění meze pevnosti v tahu. V případě modulu pružnosti E došlo k poklesu u všech sérií v řádu jednotek %. Velikost prodloužení byla nejvyšší v případě obsahu plniva 3 % a způsobem zpracování pomocí kompondace, takovéto systémy dosahovaly prodloužení kolem 25 - 27 %

Graf 18 Porovnání R_m pro směsi PS s Cloisite 30B

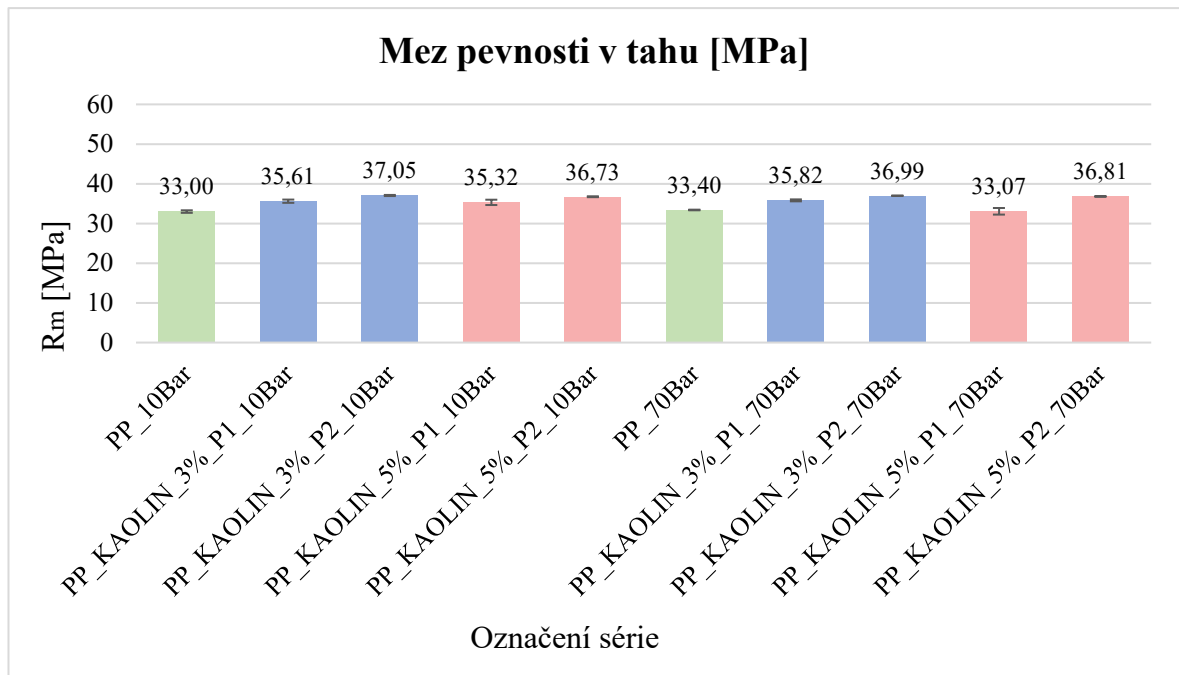
Při využití polystyrenové matrice došlo po přidání plniva k poklesu meze pevnosti v tahu a to přibližně o 28 %, na tento fakt ani míru změny neměla žádná další změna vliv. V případě modulu pružnosti došlo k obdobnému jevu, kdy byl jeho pokles kolem 15 %. Prodloužení se z nějakých 4,3 % snížilo na 2,5 – 2,8 %.

Poznátky:

- V případě dodání plniva (Cloisite 30B) do polypropylenové matrice došlo k mírnému zvýšení R_m naopak v případě polystyrenu k jeho značnému snížení.
- V obou případech došlo k poklesu E , avšak v případě polypropylenu pouze v jednotkách %, tak u polystyrenu, až o 15 %.
- K značnému zvýšení prodloužení došlo zejména u polypropylenu. V případě polystyrenu došlo naopak ke snížení velikosti prodloužení o 1/3.
- Krom přidání plniva neměla žádná další procesní změna na výsledky účinek.

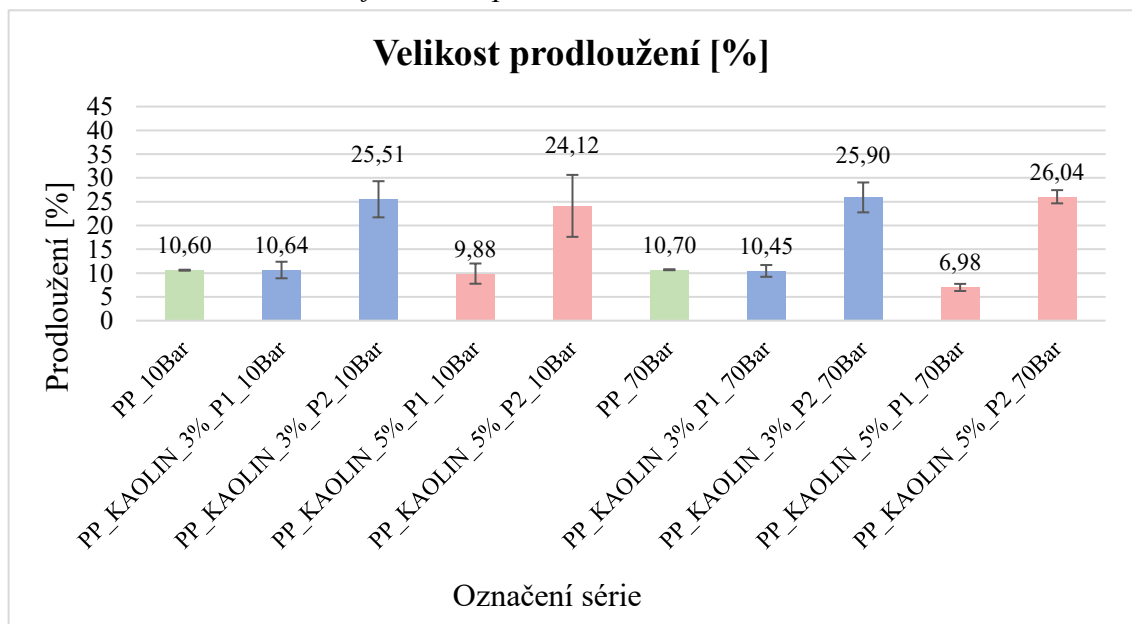
8.2.3 Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s kaolinem

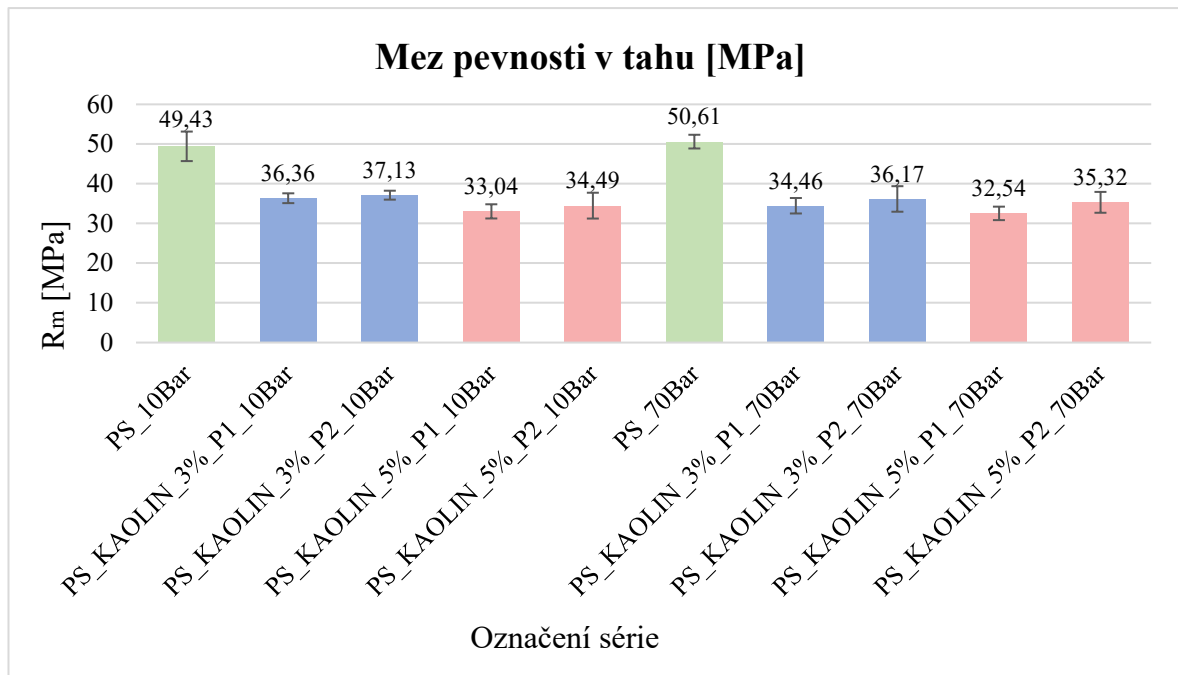
Graf 19 Porovnání R_m pro směsi PP s kaolinem



Z grafu meze pevnosti v tahu je viditelné, že přidáním plniva došlo k zvýšení R_m od 2 do 4 MPa. Modul pružnosti E narostl o 7, až 15 %. Značné změny bylo dosaženo při pohledu na míru prodloužení, kdy z cca 10 %, došlo u sérií, kde byla použita kompondace k nárůstu míry prodloužení, až na 25 %. Z pozměněných postupů, či objemů plniva hraje objektivně roli pouze proces kompondace.

Graf 20 Míra prodloužení u směsi PP s kaolinem



Graf 21 Porovnání R_m pro směsi PS s kaolinem

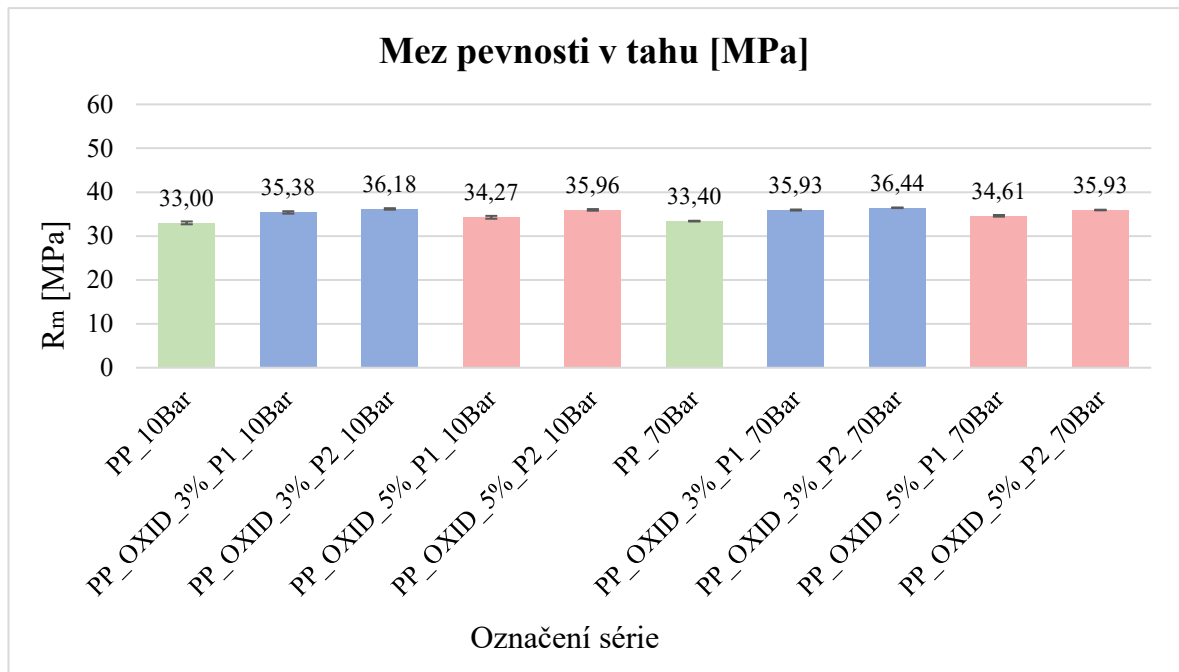
Série směsí PS s kaolinem se vyznačují snížením velikosti R_m o 32 - 34 %. Roli nehraje míra obsaženého plniva, ani žádné jiné proměnné. Modul pružnosti byl přidáním plniva snížen o cca 13 %, avšak ve všech případech, kdy byla použita kompondace, je to ještě o něco více cca 1 – 7 %. Míra dovoleného prodloužení klesla o přibližně 1/3.

Poznatky:

- Kaolinové plnivo způsobilo mírný nárůst R_m ve spojení s PP. V případě použití PS následoval znatelný propad, který se však nezvyšoval při zvýšení míry obsaženého plniva.
- Modul pružnosti v případě PP narostl o 7 až 15 %, u PS byl výsledek takřka opačný.
- Zajímavostí bylo zjištění, že PP s kaolinovým plnivem, které bylo zapracováno pomocí kompondace značně ovlivnilo míru dovoleného prodloužení, a to až na 25 %.
- Sama míra plniva, ani velikost zpětného tlaku na měření neměla viditelný účinek.

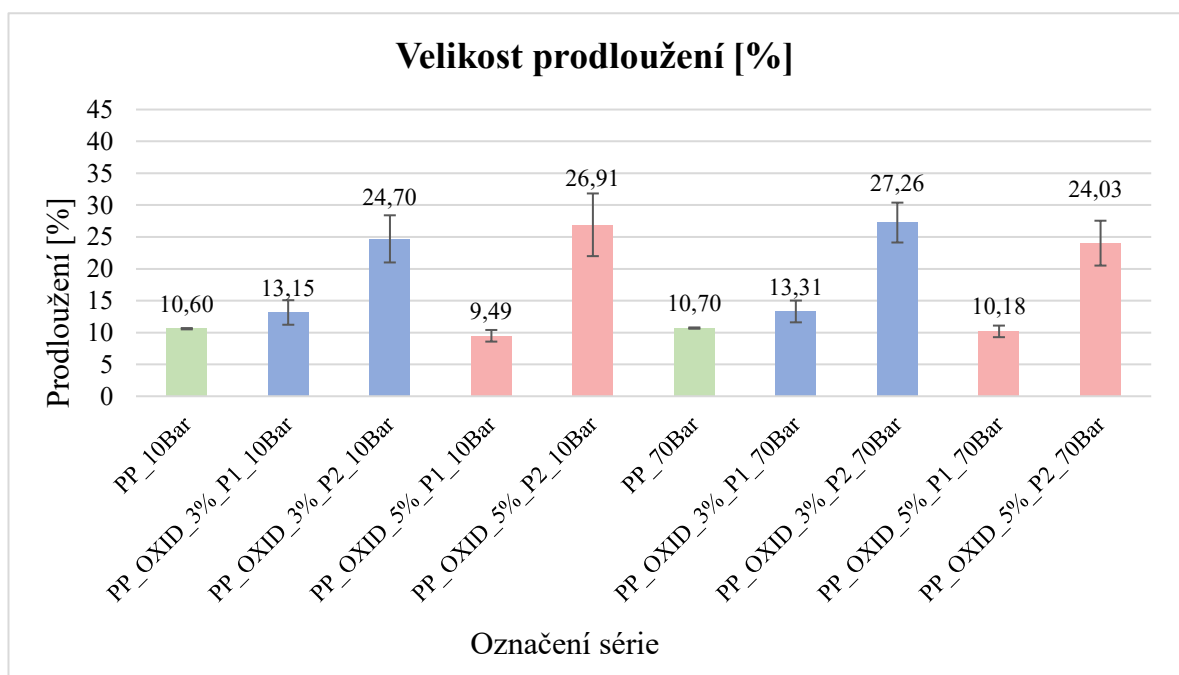
8.2.4 Výsledky tahové zkoušky směsí polymerů s oxidem titaničitým

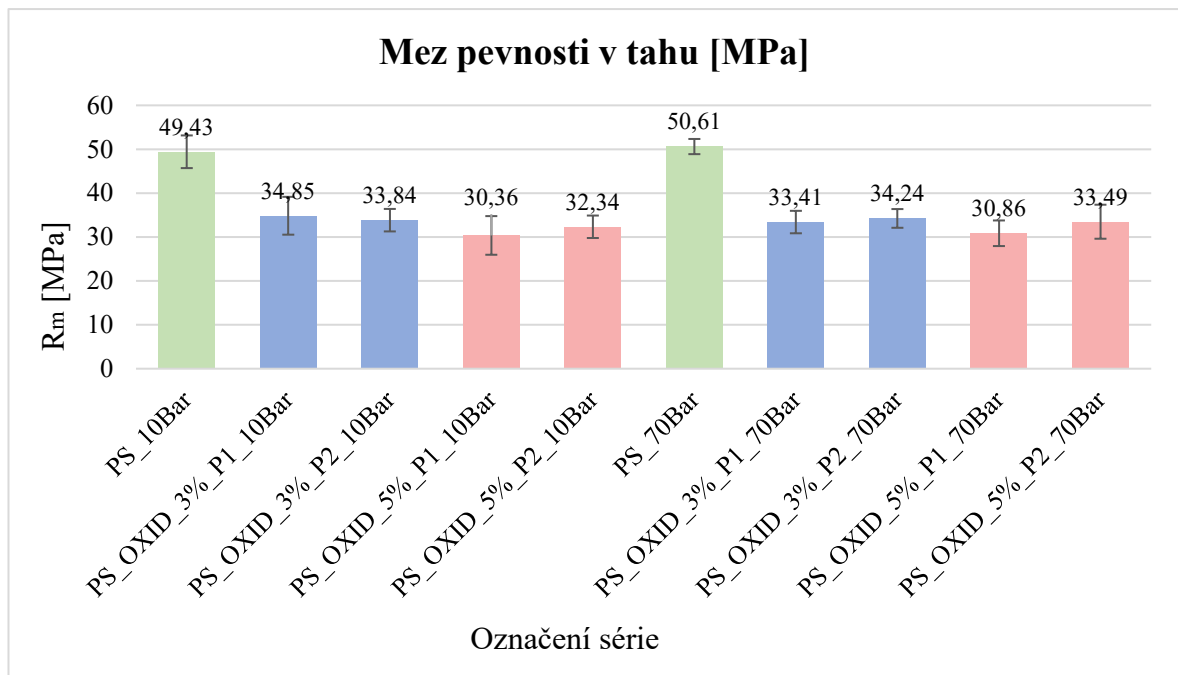
Graf 22 Porovnání R_m pro směsi PS s oxidem titaničitým



Při pohledu na graf 22 je po přidání plniva oxidu titaničitého patrný malý nárůst meze pevnosti v tahu. Tento nárůst není dále nijak ovlivněn jak nárůstem plniva, tak způsobem zpracování. Obdobné tvrzení se dá použít i u Modulu pružnosti, která se u všech sérií pohyboval od 1800 po 1930 MPa. Míra prodloužení v případě ručního míchání zůstala nezměněna, avšak v případě využití kompondace došlo k nárůstu o 14 až 17 %.

Graf 23 Míra prodloužení u směsi PP s oxidem titaničitým



Graf 24 Porovnání R_m pro směsi PS s oxidem titaničitým

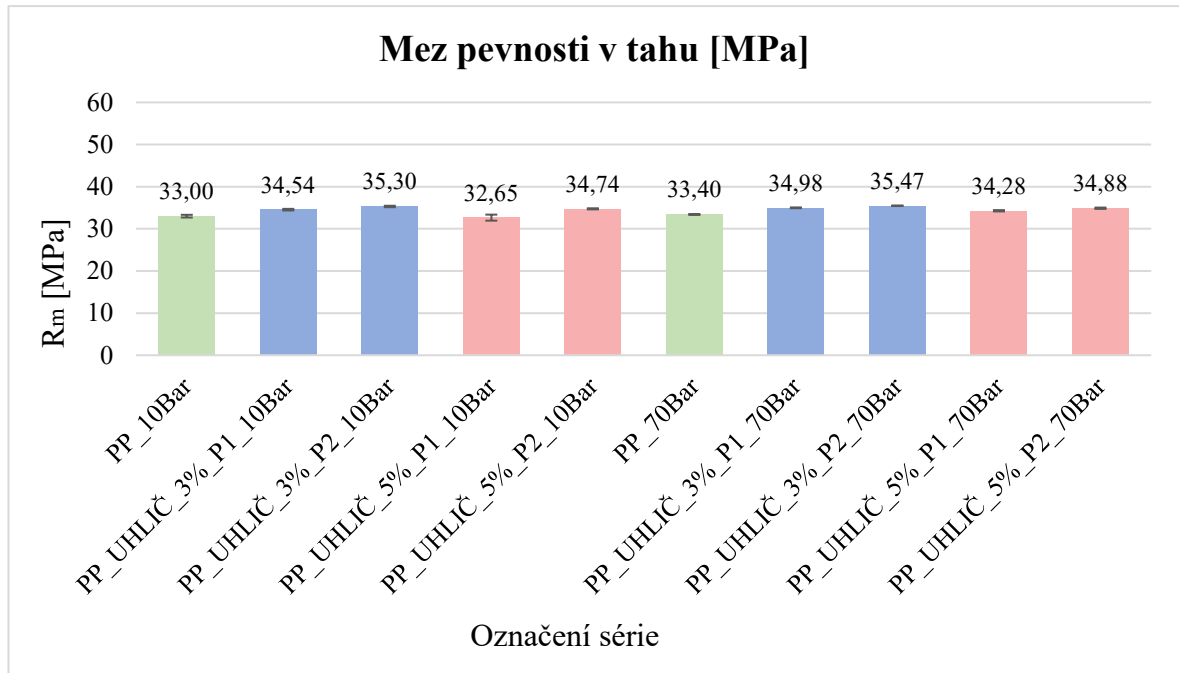
Pevnost v tahu v případě PS s oxidem titaničitým poklesla obdobně jako v případě plniva kaolinu, tedy cca o 15 %. K poklesu došlo současně u modulu pružnosti, a to o 15 – 17 %. Míra prodloužení klesla přidáním plniva přibližně o 30 až 50 %.

Poznatky:

- Oxid titaničitý působil u PP směsí, kladně jak na R_m , tak na modul pružnosti E. Zároveň bylo možné pozorovat, až 15 % nárůst velikosti protažení u kompoundovaných vzorků.
- V případě směsí PS došlo přidáním plniva k značnému poklesu, všech sledovaných veličin.
- Míra plniva, ani velikost zpětného tlaku v ohledu tahové zkoušky nehrály žádnou roli.

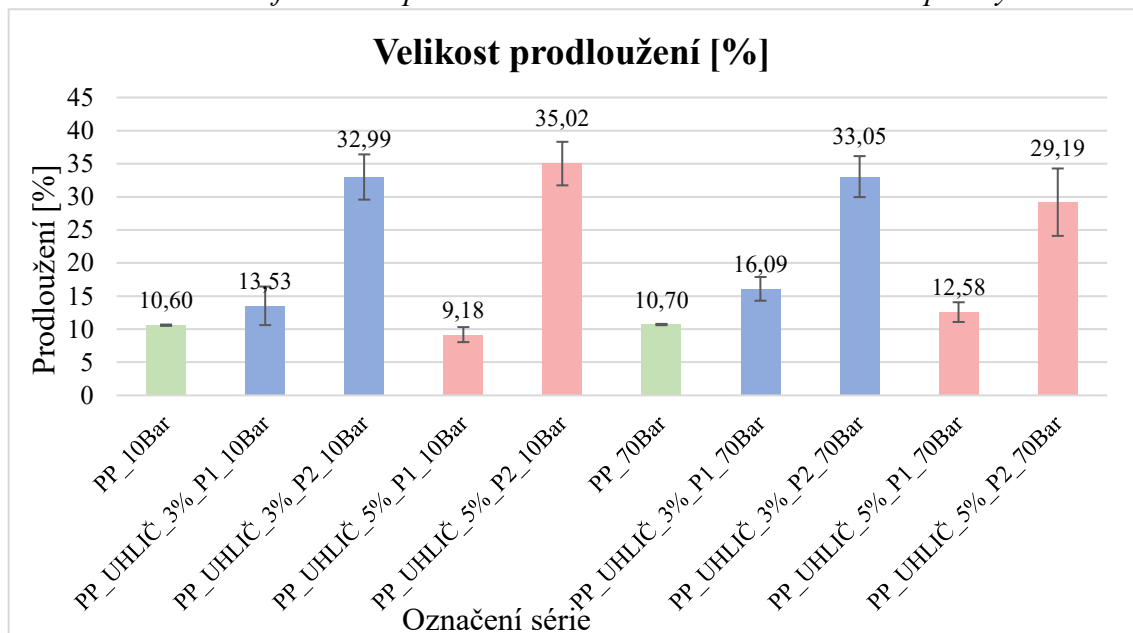
8.2.5 Výsledky tahové zkoušky směsi polymerů s uhličitánem vápenatým

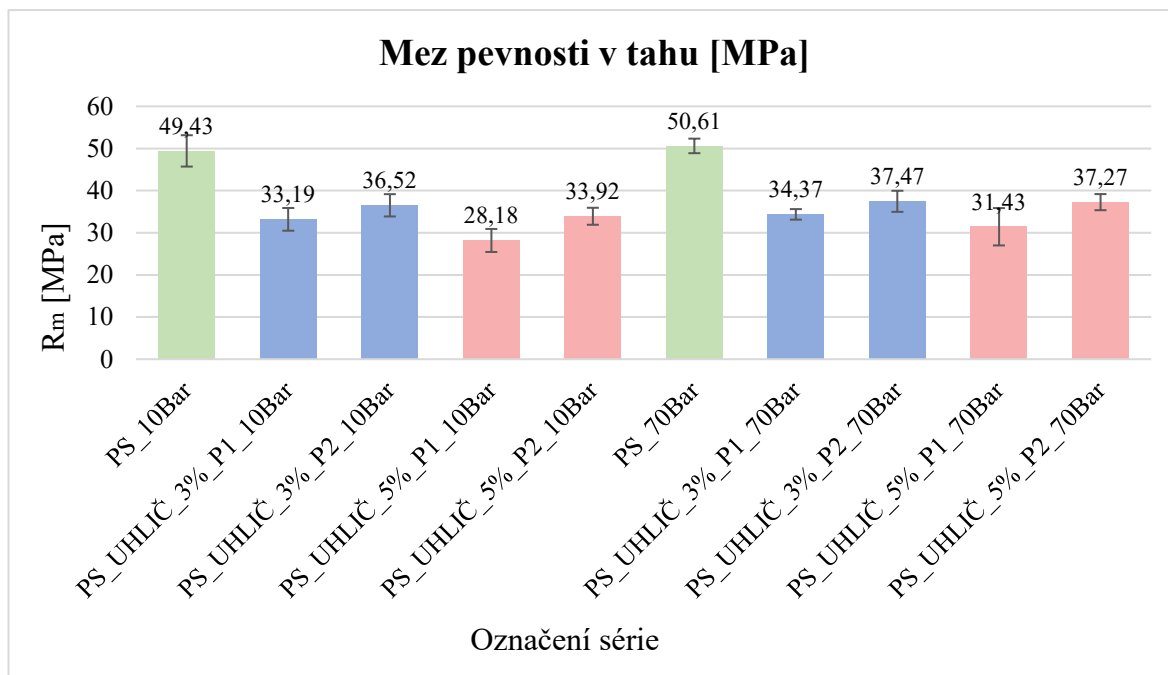
Graf 25 Porovnání R_m pro směsi PP s uhličitánem vápenatým



Uhličitán vápenatý způsobil v PP směsi mírný nárůst meze pevnosti v tahu. Další proměnné mají zanedbatelný efekt. Při pohledu na graf modulu pružnosti E je vidět určitý propad, a to zejména u sérií s nižším zpětným tlakem v případě velikosti zpětného tlaku 70 bar se modul ustálil na hodnotě kolem 1760 MPa. Zajímavým ukazatelem je opět míra prodloužení u compoundovaných sérií, kde došlo k nárůstu od 17 do 26 %.

Graf 26 Míra prodloužení u směsi PP s uhličitánem vápenatým



Graf 27 Porovnání R_m pro směsi PS s uhličitánem vápenatým

V případě R_m u směsi PS s uhličitánem vápenatým došlo oproti čistým vzorkům, ke snížení tohoto parametru, až o 45 %. Zajímavým ukazatelem je jistý trend v případě modulu pružnosti, který je dán využitím procesu P2 (kompoundace), kdy dochází k nárůstu oproti ručnímu míchání a to cca o 3 – 6 MPa. K velkému propadu dochází také u modulu pružnosti. Tak jako v ostatních případech PS došlo i po přidání plniva k značnému poklesu míry prodloužení, výjimkou byla pouze série PS_UHLIČ_5%_P2_10bar. Jelikož se však jedná o ojedinělý výsledek, není možné jej logicky vysvětlit.

Poznatky:

- Plnivo v PP systémech, způsobilo mírný nárůst R_m . V případě modulu pružnosti došlo k mírnému poklesu. Nejzajímavějším údajem je opět vliv kompoundace na míru prodloužení.
- U PS směsí po přidání plniva, došlo ke značnému snížení R_m . Změnou oproti ostatním sériím je určitá závislost modulu pružnosti E na způsobu zapracování plniva. Snížení míry prodloužení je obdobné jako u předchozích měření směsí PS.

Diskuze

Ze získaných dat je patrné, že přidáním plniva (bez ohledu na jeho typ i koncentraci) došlo v případě PP matrice téměř u všech případů k mírnému nárůstu meze pevnosti v tahu (R_m). Toto navýšení se pohybovalo v jednotkách procent (max. + 12%). V případě nanočásticových plniv (oxid titaničitý, jílové plnivo Cloisite 30B) se u těchto vzorků předpokládal výrazný nárůst meze pevnosti v tahu, to se však z naměřených dat nepotvrdilo. K takovému nárůstu by ale pravděpodobně bylo nutné provést vícenásobnou kompondaci tak, aby došlo k dokonalé dispergaci aglomerátů nanoplniva do celého objemu kompozitní směsi.

V případě PS matrice došlo po přidání plniva k velkému snížení R_m , tento pokles se pohyboval kolem 30 %. V obou případech je možné pozorovat určitý trend, který je patrný u většiny měření kompondačních procesů, kdy je R_m mírně vyšší, než v případě ručního míchání, avšak tento rozdíl je takřka zanedbatelný.

Vliv přidání plniva u PP matrice na modul pružnosti E buďto nebyl, nebo byl velmi malý, a to jak do kladných, tak záporných hodnot. V případě PS byl vliv vždy negativní. Výsledkem byl pokles modulu pružnosti E zpravidla kolem 15 %.

Prodloužení u (nano)kompozitních vzorků se pohybovalo v případě PP matrice před přidáním plniva kolem 10 – 11 %. Tento stav byl přidáním plniva a jeho ručním mísením takřka nezměněn, výsledek mohl být ovlivněn jeho špatným rozložením ve vstříkovaných vzorcích. V případě kompondace však u všech plniv i sérií došlo k značnému nárůstu velikosti prodloužení a to v rozmezí 11 – 25 %, čehož by se dalo využít zejména u nejrůznějších polypropylenových provázků, nebo vláken. V případě PS matrice se původní prodloužení pohybovalo kolem 4 – 4,5 %, po přidání plniv došlo k poklesu tohoto procentuálního prodloužení zpravidla v rozmezí $\frac{1}{3}$ až $\frac{1}{2}$ bez ohledu na typ zpracovatelského procesu. Tento výsledek se však dal očekávat s ohledem na lomy, které vznikají v polystyrenové matici přidáním plniva a jsou značně náchylné na tahové namáhání.

Vliv rozdílných plniv na polymerní matrice je podle výsledků takřka zanedbatelný, stejně tak se dá hovořit o tom, že změna velikosti zpětného tlaku z 10 na 70 bar je shledána jako malá (nedostatečná). Prokazatelným vlivem na výsledky byla změna způsobu míchání, kdy v případě využití procesu P2 (kompondace) došlo u všech PP sérií k nárůstu míry prodloužení v řádu desítek procent.

Přidání plniv u PP

- + Mírný nárůst meze pevnosti v tahu R_m [MPa]
- + Mírný nárůst modulu pružnosti E [MPa]
- + Značný nárůst protažení tělísek 11 – 25 % u kompoundovaných vzorků

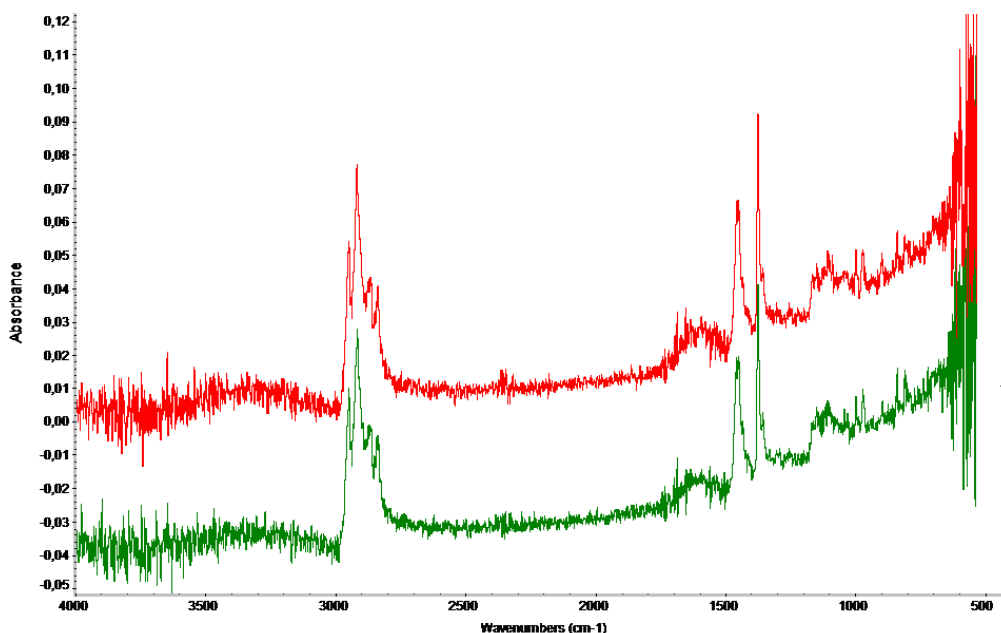
Přidání plniv u PS

- Značný pokles meze pevnosti v tahu R_m [MPa]
- Pokles modulu pružnosti E, zpravidla o 15 % [MPa]
- Pokles protažení o 30 – 50 %, bez ohledu na proces zpracování.

8.3 Teplotní zatížení

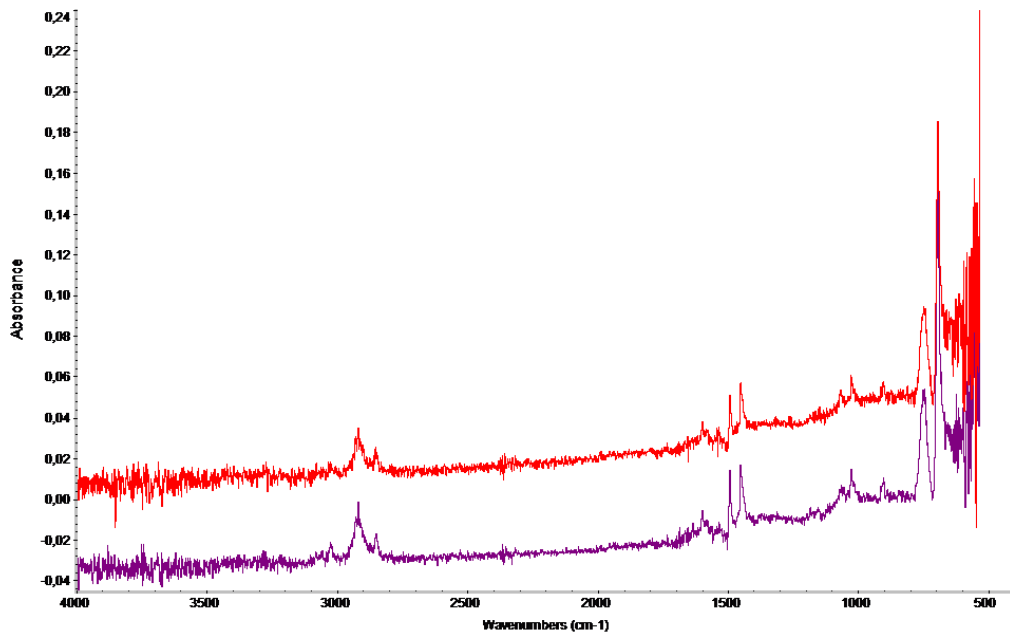
(Nano)kompozitní série vzorků, byly podrobeny kontrolnímu testu pomocí infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR), kdy test proběhl, jak u nezatížených vzorků, tak u vzorků, které byly vystaveny 150 hodinám, teplotní zátěže. Tato teplotní zátěž byla 60 °C za využití laboratorní sušárny.

Po provedení testu byla kompozitní tělíska zkontrolována, jak vizuálně, tak opět pomocí FTIR. Ani v jednom případě nebyly zjištěny, žádné pozorovatelné změny.



Obr. 43 FTIR PP_30B_3%_PI_10bar

(červený graf před, zelený po teplotním zatížení)



Obr. 44 FTIR PS_30B_3%_P1_10bar

(červený graf před, fialový po teplotním zatížení)

Diskuze

Tepelné zatížení 60 °C, které působilo na vzorky 150 hodin, nezpůsobilo, žádné chemické změny, což je doloženo výsledky kontrolního testu FTIR. Z tohoto důvodu nebylo dále prováděno, opětovné snímání povrchu vzorků, respektive tahová zkouška.

ZÁVĚR

Záměrem této diplomové práce bylo popsání vlivu typu plniva a procesních podmínek na jakost povrchu vstřikovaného výrobku. K tomuto účelu byly jako polymerní matrice vybrány amorfní polymer polystyren a semikrystalický polymer polypropylen.

Teoretická část práce byla věnována seznámení s (nano)kompozitními materiály, popsání využitých polymerních materiálů a plniv. Součástí bylo také přiblížit technologie kompondace a vstřikování. Poslední část byla věnována popisu základních pravidel a charakteristik při měření jakosti povrchu, měření mechanických vlastností, teplotnímu zatížení a jeho případnému dopadu v podobě teplotní degradace.

Praktická část byla primárně zaměřena na vliv rozličných typů plniv (mikroplniva, nanoplniva), jejich hmotnostní koncentrace v polymerní matrici, způsobu zapracování tohoto plniva do polymerní matrice (ruční míchání, kompondace) a velikost zpětného tlaku při vstřikování na výslednou jakost takto zpracovaných (nano)kompozitních vzorků. Sekundárními cíli bylo provedení tahové zkoušky a teplotní zatížení vytvořených vzorků.

Součástí praktické části je popis přípravy (nano)kompozitních směsí a technického vybavení, jež bylo při výrobě využito. Další část obsahuje detailní popis využitého strojního (technického) vybavení a jeho nastavení při zpracování (nano)kompozitních směsí.

Pro vyhodnocování jakosti povrchu byly vybrány parametry S_a a S_z , které se v současnosti nejvíce využívají v technické praxi (respektive parametry R_a a R_z). Výsledky byly zpracovány do histogramových grafů dle využitého polymeru a plniva. A popsány jednotlivé změny v závislosti na dané proměnné. Z výsledků je patrné, že proces kompondace měl oproti očekávání negativní dopad na parametr S_z . Předpoklad byl takový, že procesem kompondace dojde k dispergaci aglomerátů a jejich rovnoměrnému rozdělení do polymerní matrice, což by mělo způsobit na snížení rozdílu mezi nejhlubší prohlubní a nejvyšším bodem. Tato domněnka se však kromě směsí s oxidem titaničitým nepotvrdila. Právě u oxidu titaničitého bylo dosaženo nejzajímavějších výsledků, kdy toto plnivo jako v jediném případě kladně ovlivnilo parametr S_a u PS matrice, tak parametr S_z u PP matrice. Tento výsledek je dán pravděpodobně nanorozměry částic oxidu titaničitého. Zároveň se dá předpokládat, že proces kompondace docílil rozdělení aglomerátů do takové míry, která byla dostatečná pro zvýšení jakosti povrchu.

Míra navýšení použitého plniva ovlivňovala výsledky buďto minimálně nebo došlo k lineárnímu navýšení parametrů.

Dalším z proměnných parametrů byla změna zpětného tlaku při vstřikování a to z 10 na 70 bar. Tato změna se prokázala jako nedostatečná, nebo dokonce negativní. V případě dalšího výzkumu by bylo nutné provést výraznější změnu velikosti.

Nejlepších výsledků jakosti povrchu bylo dosaženo jak v případě PP, tak PS za použití jílového nanoplniva Cloisite 30B. Současně se jednalo o jediné plnivo, které nezpůsobovalo u PP vzorků citelná propad parametru Sa.

V případě mechanického (tahového) testování byly k prezentování vybrány hodnoty meze pevnosti v tahu R_m , modulu pružnosti E a velikosti prodloužení. V případě meze pevnosti v tahu došlo u PP po přidání plniva k jejímu mírnému nárůstu, kdy se jevíly o něco málo lépe vzorky zpracované pomocí kompondace. Navýšení míry plniva ani změna procesních podmínek roli nehrála. V případě PS došlo k poklesu R_m cca o 30 % a opět se o něco lépe jevíly série vytvořené pomocí kompondace. Modul pružnosti E se choval obdobně jako mez pevnosti v tahu - v případě PP byla změna minimální a u PS došlo k poklesu cca o 15 %. V případě parametru prodloužení došlo u PS sérií k poklesu o 1/3 až 1/2, což je však dáno tím, že PS je náchylný na lomy vzniklé v kompozitní struktuře vlivem plniva. V případě PP matrice došlo u směsí vytvořených procesem kompondace k nárůstu míry prodloužení o 11 – 25 %, čehož by se dalo využít u spojovacích produktů (vázací pásy, lana) zatížených jednoosým tahem.

Všechny série byly také zkontrolovány pomocí testu FTIR, následně teplotně zatíženy po dobu 150 hodin teplotou 60 °C a opětovně zkontrolovány. Tato teplotní zátěž neměla, dle testu FTIR na vzorky, žádný dopad.

Přínos této práce shledávám v tom, že proces kompondace měl negativní dopad na parametr Sa a Sz u vstřikovaných výrobků, současně také v tom, že v případě PS sérií je jakost povrchu výrazně lepší, což může být ovlivněno amorfními vlastnostmi polymeru. PS neměl tendenci vytlačet plnivo a jeho aglomeráty do blízkosti povrchu, nebo na povrch výrobku samotný. U tahové zkoušky je zajímavostí to, že v případě procesu kompondace nedošlo oproti očekávání k výraznému nárůstu modulu pružnosti E, ani meze pevnosti v tahu R_m . Tento jev může být dán tím, že jeden proces kompondace nebyl dostatečný a nedošlo tak k dostatečnému rozmělnění aglomerátů plniva do celé plochy výrobku. Podstatným zjištěním je to, že krátkodobé teplotní zatížení nemá na tyto (nano)kompozitní hmoty vliv,

tedy přídavek žádného typu použitého plniva nezpůsobuje degradaci sledované polymerní matrice.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BEDNÁŘ, Bohumír, Vratislav FLEMR a Bohumil KRATOCHVÍL. *Nové materiály: stručná informace o vlastnostech a použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická [Praha], 1991. ISBN 80-7080-098-4, str. 208
- [2] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. SNTL - Praha 1: Nakladatelství technické literatury, 1988. ISBN 04-734-88. str. 45
- [3] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Kompozity* [online]. Webnote [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/>
- [4] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [5] HARRIS, Bryan (1999). *Engineering Composite Materials (2nd Edition)*. Maney Publishing for IOM3, the Institute of Materials, Minerals and Mining. [online]: UTB ve Zlíně, Fakulta technologická 112 [cit. 2019-03-11] http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpECME0001/viewerType:toc//root_slug:engineeringcomposite/url_slug:engineering-composite
- [6] VILČÁKOVÁ, J. *Materiály z přednášek předmětu Polymerní kompozity přírodní a syntetické Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická 2007*.
- [7] CAMARGO, Pedro Henrique Cury; SATYANARAYANA, Kestur Gundappa a WYPYCH, Fernando. Nanocomposites. *Materials Research* [online]. Univ Fed Sao Carlos, Dept Engenharia Materials, 2009, **12**(1), 1-39 [cit. 2019-02-25]. DOI: 10.1590/S1516-14392009000100002. ISSN 15161439.
- [8] KANDOLA, B. K.; *Nanocomposites; In: Horrocks and Price; Fire retardant materials*; 2001; 204 s.; ISBN: 1-85573-419-2.
- [9] Informační a vzdělávací centrum kompozitních technologií [online]. Kompozity.info [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <http://www.kompozity.info/index.php?pr=15&uid=&id>
- [10] WEISS, Zdeněk a Miloš KUŽVART, 2005. *Jílové minerály: jejich nanostruktura a využití*. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0868-5.
- [11] KLOUDA, Karel., KUBÁTOVÁ, Hana.: *Vyráběné nanomateriály: Analýza rizik jejich přípravy, dopadu na zdraví a životní prostředí*, článek JOSRA 3 – 2009 [online]

Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. [cit. 2019-03-11] <https://www.bozpinfo.cz/jo-sra/vyrabene-nanomaterialy-analyza-rizik-jejich-pripravy-dopadu-na-zdravi-zivotni-prostredi> . ISSN 1801-0334

[12] BHATTACHARYA, S. N., Gupta, R., K., Kamal, M., R., *Polymeric nanocomposites: theory and practice*, Hanser Gardner publications, Munich, 2008, ISBN 978-1-56990-374-2, 383 s.

[13] HAVEL - Composites. *Technologie výroby kompozitů* [online]. THE CREATIVE-ZONE All rights reserved [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

[14] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.

[15] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Materiály z přednášek předmětu Kompozitní materiály*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická 2014.

[16] VRBKA, Jan. *MECHANIKA KOMPOZITŮ* [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-03-11] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340

[17] TZBINFO, REJL, Oldřich. *Kompozitní materiály ve stavebnictví* [online]. 2013 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/stresni-okna/9909-kompozitni-materialy-ve-stavebnictvi>

[18] ECKOLD Geoff.; *Design and Manufacture of Composite Structures*; Woodhead; Cambridge; 1994; 397 s. ISBN 1 85573 051 0.

[19] STOKLASA K., *Materiály z přednášek předmětu Makromolekulární chemie II*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická.

[20] CHODÁK, I., OMASTOVA, M., PIONTEK, J. *Relation between electrical and mechanical properties of conducting polymer composites*. Journal of Applied Polymer Science, 2001, Vol. 82, p. 1903-1906. [online] John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved [cit. 2019-03-11] Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.2035>

[21] DEBNATH, S., at al.: *Interface effects on mechanical properties of particlereinforced composites*: Dental Materiále, 2004, 20, 677-686 [online]. Science Direct [cit. 2019-03-11] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564104000247>

[22] MARCU, M., STIUBIANU, G., LAZARESCU, S., E., STREBA, E., STANCIU, A., *Cauciuc iliconic*. Materiále Plastice El. – F.S., 27, 1990, č. 2, s. 104 – 107.

- [23] MÍŠEK, B.: *Kompozity*. 1.vyd., 2003, vydav.: TDS Brno – Sekce materiálů a svařování, Tisk: Přesely s.r.o. Brno, ISBN 80-903386-0-7
- [24] ANANYA, Mandal. *Synthesis of Nanoparticles*. In: News-Medical.net [online]. AZoM.com, 2016 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://www.news-medical.net/life-sciences/Synthesisof-Nanoparticles.aspx>
- [25] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
- [26] PUFFR, R., BOŽEK, J.: *Nanokompozity polyamidů s vrstevnatými silikáty*, [online] Chemické Listy 104, 138-146 (2010) [cit. 2019-03-11] Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_03_138-146.pdf.
- [27] Česká společnost pro využití jílu. *Mechanická příprava anorganických oxidů a jílových minerálů pro kompozitní materiály*, Informátor č. 43, květen 2010 [online]. [cit. 2019-03-11] Dostupný z: <http://www.czechclaygroup.cz/informatory/informator43.pdf>
- [28] OSSWALD, T. A.; Baur, E.; *International Plastics Handbook - The Resource for Plastics Engineers* (4th Edition); Hanser Publishers; 2006; 972 s.; el. ISBN: 978-1-61583-753-3
- [29] JAMES, D. H., Castor W. M.; *Styrene* In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*; Wiley-VCH; Weinheim; 2005; el ISBN: 9783527306732.
- [30] ŠVEC, P., Rosík L., Horák Z., Večerka F.; *Polystyren a jeho modifikace*; Makromolekulární látky – svazek 33; SNTL-Státní nakladatelství technické literatury Praha; 1985; 366 s.; ISBN: 04-633-85.
- [31] GIBELLO, H. *Styren a jeho polymery: Le styrene et ses polymeres*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960. Makromolekulární látky, sv. 7. s 216
- [32] STOKLASA K. *Materiály z přednášek předmětu Makromolekulární chemie I; Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická* 2009.
- [33] GÖRTZ, H. H.; *Polystyrene: Syndiotactic*; In: Buschow et al.; *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*; Elsevier; 2001; p. 7742–7744; el. ISBN: 978-0-08-052358-3.
- [34] GAUSEPOHL, H., NIESSER N.; *Polystyrene and Styrene Copolymers*; In: Buschow et al.; *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*; Elsevier; 2001; p. 7735–7742; el. ISBN: 978-0-08-052358-3.

- [35] BAKER, A. M. M., Mead J.; *Thermoplastics*; In: HARPER C. A.; Modern Plastics Handbook; McGraw-Hill; 2000; 1298 s.; el. ISBN: 978-1-59124-703-6.
- [36] BRYDSON, J.; *Plastics Materials*; Elsevier; 1999; 920 s.; el. ISBN: 978-0-0805-1408-6.
- [37] ČSN 73 0810, *Požární bezpečnost staveb*, [online]. Tzbinfo [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>
- [38] DUCHÁČEK, Vratislav, 2006. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-708-0617-6.
- [39] Plast a termoplast. *Plastic Systems* [online]. Sušice: Plastic systems s.r.o., 2011 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/PS/>.
- [40] MLEZIVA, Josef, 1993. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-901-5704-1.
- [41] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Svazek 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001, Nestr. ISBN 8086229157.
- [42] BĚHÁNEK, L., *Termoplasty – základní druhy*, [online]. Technologická univerzita Liberec [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
- [43] LAPČÍK, Lubomír a Miroslav RAAB, 2001. *Nauka o materiálech II*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-238-6527-7.
- [44] GREGERSEN, E., *Imperial Chemical Industries PLC*, [online]. Encyclopaedia Britannica [cit. 2019-03-11] Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/Imperial-Chemical-Industries-PLC>
- [45] RYBNIKÁŘ, František, 2000. *Makromolekulární chemie*. Brno: Vysoké učení technické. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1556-8. 91 s.
- [46] KOVAČIČ, Ľudomír a Jaroslav BÍNA. *Plasty: vlastnosti, spracovanie, využitie*. Bratislava: Alfa, 1974, 339 s. Edícia chemickej literatúry.
- [47] MAIER, Clive a Teresa CALAFUT, c1998. *Polypropylene: the definitive user's guide and databook*. Norwich, NY: Plastics Design Library. ISBN 18-842-0758-8.
- [48] BLAŽEJ, Anton a Eva POKLUDOVÁ. *Polyméry v kožiarskom, obuvníckom a galanternom priemysle*. Bratislava: Alfa, 1980, 361 s. Edícia literatúry pre spotrebný priemysel.

[49] VARGA, J. (2002). " *β -MODIFICATION OF ISOTACTIC POLYPROPYLENE: PREPARATION, STRUCTURE, PROCESSING, PROPERTIES, AND APPLICATION.*" Journal of Macromolecular Science, Part B 41(4-6): 1121-1171.

[50] VYCHOPNOVA, J., ČERMAK, R., OBADAL, M.: *Morphology Variations of Polypropylene*. In: MENDEZ-VILAS, A., DIAZ, J.: *Modern Research and Aduational Topics in Microscopy*, Formatex, Badajoz, 2007, ISBN 13: 978-84-611-9418-6

[51] ČAUČÍK, P., KRIVOŠÍK, I., a kol., *Prísady do plastov*, Alfa – vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1985, 488 s.

[52] WILKES, C. E., Summers, J. W. et al., *PVC Handbook*, Hanser Gardner Publications, Cincinnati, 2005, ISBN 1569903794, 723 s.

[53] PUFFR, R., BOŽEK, J.: *Nanokompozity polyamidů s vrstevnatými silikáty*, [online] Chemické Listy 104, 138-146 (2010) [cit. 2019-03-11] Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_03_138-146.pdf

[54] MYTÁŠEK, J., M. SUK, *VIII. třída: Silikáty*, [online]. Přehled minerálů a hornin [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pedf/js10/minerals/web/mineraly/silikaty.html>

[55] VELEBIL, D, *Přehled minerálů* [online]. Velebil.net [cit. 2019-03-11] Dostupné z: <http://www.velebil.net/mineraly/jilove-mineraly>

[56] CHVÁTAL, Marek, 2005. *Úvod do systematické mineralogie: nach der Handschrift des Mus. Brit. Harl. 978 mit Einleitung und Glossar*. Praha: Silikátový svaz. Sammlung romanischer Übungstexte, 2. ISBN 80-868-2111-5.

[57] WEISS, Zdeněk a Miloš KUŽVART, 2005. *Jilové minerály: jejich nanostruktura a využití*. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0868-5.

[58] MĚŘÍNSKÁ, D. *Polymerní nanokompozity na bázi organofilizovaných jílu*. Teze ke státní doktorské zkoušce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická 2002. 27s.

[59] VETEŠKA, M., *Využití molekulárních simulací při komplexní strukturní analýze vrstevnatých materiálů* [online] Webové aplikace Univerzity Karlovy [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/44321/?lang=cs>

[60] VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Mineralogie* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita, Brno. [cit. 2019-03-11] Dostupný z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/kap_7_13_fylosil.htm

[61] PAZDZIORA, E., et al: *Antibakteriální a antiprotozoární účinek nanočástic interkalovaných ve fylosilikátech*, [online]. Centrum nanotechnologií VŠB-TU Ostrava [cit. 2019-03-11]. Dostupný z: http://www.szu.cz/uploads/101021_Pazdiora.pdf

[62] TEMUJIN, J., OKADA, K., MACKENZIE, J.D. Zeolite formation by hydrothermal treatment of waste solution from selectively leached kaolinite. *Materials Letters* [online]. 2002, vol. 52, 1-2, s. 91-95 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X0100372X>

[63] YOUSSEF, H., et al. *Microwave-assisted versus conventional synthesis of zeolite A from metakaolinite*. *Microporous and Mesoporous Materials* [online]. 2008, vol. 115, issue 3, s. 527-534 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1387181108001212>

[64] PINKAS, Jiri. CHEMISTRY OF SILICATES AND ALUMINOSILICATES. *Ceramics - Silikáty*, Prague: Institute of Chemical Technol. and ASCR, 2005, roč. 49, č. 4, s. 287-298. ISSN 0862-5468.

[65] MAIA, A., et al. Use of ²⁹Si and ²⁷Al MAS NMR to study thermal activation of kaolinites from Brazilian Amazon kaolin wastes. *Applied Clay Science* [online]. 2014, vol. 87, s. 189-196 [cit. 2019-03-11]. DOI: 10.1016/j.clay.2013.10.028. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131713003591>

[66] TEGETHOFF, F. Wolfgang, Johannes ROHLER a Evelyn KROKER, c2001. *Calcium carbonate: from the Cretaceous period into the 21st century*. English ed. Boston: Birkhauser Verlag. ISBN 37-643-6425-4.

[67] WYPYCH, George, 1999. *Handbook of fillers*. 2nd ed. Norwich, NY: Plastics Design Library. ISBN 18-951-9819-4.

[68] VÁVRA, V., LOSOS, Z. *Krystalové tvary* [online]. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita, Brno [cit. 2019-03-11]. Dostupné z [www: http://www.sci.muni.cz/mineralgie/kap_2_3_kryst_tvary/kap_2_3_kryst_tvary.htm](http://www.sci.muni.cz/mineralgie/kap_2_3_kryst_tvary/kap_2_3_kryst_tvary.htm)

[69] CHEN, J., L. XIANG, *Controllable synthesis of calcium carbonate polymorphs at different temperatures*, *Powder Technology*, 2009, č. 189, s. 64 – 69

[70] ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 637 s.

- [71] MURPHY, John, c2001. *Additives for plastics handbooks*. 2nd ed. New York, NY, USA: Elsevier Science. ISBN 978-185-6173-704.
- [72] Konference Pigmenty a pojiva, *Czech Republic*, 2008. Pardubice: Chemagazín. ISBN 978-80-906269-0-4.
- [73] GOEBEL, A., et al. *Titanová běloba pro tiskové barvy*. In 36th International Conference on Coatings Technology, Seč u Chrudimi, Univerzita Pardubice, 2005. s. 133-138. ISBN 80-71-94-762-8.
- [74] TROJAN, Miroslav, 1991. *Technologie anorganických pigmentů*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-851-1339-2.
- [75] KRÁLOVÁ, Adéla a Leo KLIMÁNEK. *Zpracování polymerů pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol chemických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 271 s.
- [76] DOLEŽAL, Vladimír. *Plastické hmoty*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL, 1977, 385 s.
- [77] LENFELD, P. a TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Zpracování plastů* [online]. Katedra strojírenské technologie [2019-03-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/výuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm.
- [78] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 8085920727.
- [79] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikářská technologie: zpracovatelské procesy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 289 s.
- [80] BEALL, G. W.; J. S. TSIPURSKY, and K. R. Turk, *Interclates and exfoliates formed with organic pesticides compounds and compositions containing the same*. Chem, Technol. Polym. Addit, 266-280, 1999
- [81] García-López D., Picazo O., Merino J. C., Pastor J. M.: *Polypropylene–clay nanocomposites: Effect of compatibilizing agents on clay dispersion*. European Polymer Journal, 39, 945–950 (2003).
- [82] HASEGAWA, N., J. Appl. Polym. Sci., 67, 82-92, 1992

- [83] MĚŘÍNSKÁ, D. *Polymerní nanokompozity na bázi organofilizovaných jílu*. Teze ke státní doktorské zkoušce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2002. 27 s.
- [84] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH, 2005. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-708-0568-4.
- [85] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [86] STANĚK, Michal. *Materiály z přednášek předmětu Konstrukce forem (T5KF)*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická 2016
- [87] JOHANNABER, Friedrich, c2008. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th ed. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications. ISBN 978-156-9904-183.
- [88] MALLOY, Robert A., 2011. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. 2nd ed. Cincinnati, Ohio: Distributed in the USA and in Canada by Hanser Publications. ISBN 15-699-0436-7.
- [89] KUTA, Antonín, 1999. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Praha: VŠCHT. ISBN 80-708-0367-3.
- [90] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC, *Technologie II*, [online]. Řez plastifikační (tavíci) komorou [cit. 2019-03-11]. Dostupný z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [91] BOZZELI, J., *Injection Molding: No, Backpressure Does NOT Raise Melt Temperature*, [online]. *Plastics Technology* [cit 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/columns/injection-molding-no-backpressure-does-not-raise-melt-temperature>
- [92] PYE, Andy., *Injection Moulding: The Role of Backpressure*, [online]. *Prospector* [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://knowledge.ulprospector.com/7804/pe-injection-moulding-backpressure/>
- [93] ČSN EN ISO 4287: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS)*. Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
- [94] ČSN EN ISO 4288: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS)*. Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.

[95] ČSN EN ISO 25178-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

[96] OLYMPUS CORPORATION, *Roughness (3D) parameter*, [online][cit. 2019-03-11]. Dostupné z: https://www.olympus-ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/3d_parameter/

[97] KUBIŠOVÁ, Milena. *Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním způsobem*. Zlín, 2018. Dizertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.

[98] HAGEN, Vladislav. *Únava a stárnutí materiálu*. 2. vyd. Brno: VUT, 1981, 76 s. Učební texty vysokých škol.

[99] JARUŠEK, Jaroslav, 1989. *Metody zkoumání polymerů*. 2., nezm. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-851-1301-5.

[100] RYBNÍKÁŘ, František, Zdeněk DITRYCH, Zdeněk KLÁCEL a Oldřich ORDELT. *Analýza a zkoušení plastických hmot*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 418 s. Řada chemické literatury.

[101] ČSN EN ISO 527. *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 1: Obecné principy*. Termíny, definice a průběh tahové zkoušky u polymerních materiálů. Český normalizační institut, 2012.

[102] BRADLEY, M., *Introduction to FTIR spectroscopy*, [online]. Thermo Fisher SCIENTIFIC [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/cz/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-basics.html>

[103] BRADLEY, M., *FTIR Applications*, [online]. Thermo Fisher SCIENTIFIC [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/cz/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-applications.html>

[104] HORAK, Z., *Materiály z přednášek předmětu Aplikována makromolekulární chemie*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická

[105] Zygo, *3D optické profily*, <https://www.zygo.com/> [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.zygo.com/?/met/profilers/newview9000/>

[106] OptiXs / Lasery a přístrojová technika, [Http://www.optixs.cz/](http://www.optixs.cz/) [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.optixs.cz/mereni-povrchu-38k/opticke-profilometry-87k/opticky-profilomer-newview-9000-153p>

[107] HAUPTVOGELOVÁ, Jitka. *Statistické zkoumání rozdílů jakosti povrchů při různých technikách gravírovaného skla*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2018, 81 s. (11 217 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/42320>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Kubišová, Milena.

[108] Precheza: *Titanová běloba RG18P*, [Https://www.precheza.cz/](https://www.precheza.cz/) [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.precheza.cz/root/ke-stazeni/TDL/tdl-pretiox-rg18p.pdf>

[109] SkySpring Nanomaterials, Inc: *Uhličitan vápenatý*, [Https://ssnano.com/home---](https://ssnano.com/home---) [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://ssnano.com/inc/sdetail/calcium_carbonate_nanoparticles/247

[110] Jílové nanoplňivo: *Cloisite 30B*, [Http://www.matweb.com/](http://www.matweb.com/) [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1213e923b3544011850ad51fa523571c

[111] Synthos Polystyrene: *PS GP 137*, [Https://www.synthosps.com/en/](https://www.synthosps.com/en/) [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.synthosps.com/en/products/technical-information/>

[112] Borealis Polypropylene: *PP HD 204 CF*, [Https://www.borealisgroup.com/](https://www.borealisgroup.com/) [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.borealisgroup.com/product/hd204cf/data-sheets?context=https://www.borealisgroup.com&search-global-search&index-search=products&id-search=340292>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| Ra | Střední aritmetická drsnost |
| nm | nanometr |
| % | Procento |
| Obr | Obrázek |
| μm | Mikrometr |
| Mm | Milimetr |
| °C | Stupeň celsia |
| MPa | Megapascal |
| GPa | Gigapascal |
| T _q | Teplota skleného přechodu |
| T _m | Teplota tání krystalů |
| $g \cdot cm^{-3}$ | Gram na centimetr krychlový |
| a.s. | Akciová společnost |
| PS | Polystyren |
| PP | Polypropylen |
| PE | Polyetylen |
| iPP | Izotaktický polypropylen |
| MMT | Montmorillonit |
| XRD | Rentgenová strukturní analýza |
| SEM | Rastrovací elektronový mikroskop |
| AFM | Mikroskopie atomárních sil |
| N | Newton |
| Kg | Kilogram |
| cm^3 | Centimetr krychlový |

| | |
|------|---|
| FTIR | Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací |
| ČSN | Česká technická norma |
| EN | Evropská norma |
| ISO | International Organization for Standardization |
| Ra | Střední aritmetická drsnost |
| Rmr | Materiálový poměr profilu |
| Rp | Největší výška výstupku profilu |
| Rq | Střední kvadratická úchylka profilu drsnosti |
| Rt | Celková výška profilu |
| Rv | Největší hloubka prohlubně profilu |
| Rz | Největší výška profilu |
| Sa | Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu |
| Sq | Základ průměrné výšky povrchu |
| Ssk | Šikmost omezené stupnice povrchu |
| Sku | Špičatost omezené stupnice povrchu |
| 2D | Dvojměrný prostor |
| 3D | Trojměrný prostor |
| Pa | Pascal |
| Cca | Přibližně (z latinského circa) |
| Atp. | A tak podobně |
| Aj. | A jiné |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1 Synergický efekt [4]</i> | 12 |
| <i>Obr. 2 Vztahy ve vývoji kompozitních materiálů [5]</i> | 12 |
| <i>Obr. 3 Dělení nanomateriálů v závislosti na velikosti a tvaru částic</i> | 13 |
| <i>Obr. 4 Dělení kompozitních materiálů [15]</i> | 15 |
| <i>Obr. 5 Stereoizomery polypropylenu – nahoře izotaktický, uprostřed syndiotaktický, dole ataktický PP [47]</i> | 23 |
| <i>Obr. 6 Sférolitická struktura : α-iPP, bez nukleačního činidla (nahore), β-iPP, s nukleačním činidlem (dole) [50]</i> | 26 |
| <i>Obr. 7 Proces interkalace [61]</i> | 30 |
| <i>Obr. 8 Krystal ilmenitu [12]</i> | 34 |
| <i>Obr. 9 Postup kroků vstřikování u plastikační jednotky (vnitřní prstenec) a formy (vnější prstenec) [86]</i> | 38 |
| <i>Obr. 10 Vstřikovací cyklus [77]</i> | 39 |
| <i>Obr. 11 Vstřikovací stroj 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikovacího stroje, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky stroje, 5 – pevná upínací deska stroje, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka na polymerní polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku [88]</i> | 40 |
| <i>Obr. 12 Řez plastifikační jednotkou [90]</i> | 41 |
| <i>Obr. 13 Profil povrchu [93]</i> | 45 |
| <i>Obr. 14 Celková výška profilu u vyhodnocované délky [93]</i> | 46 |
| <i>Obr. 15 Parametr Ra [93]</i> | 47 |
| <i>Obr. 16 Vzdálenost prvků profilu – Rsm [93]</i> | 47 |
| <i>Obr. 17 Sa – aritmetický průměr výšky [96]</i> | 49 |
| <i>Obr. 18 Sq – základ průměrné výšky [96]</i> | 49 |
| <i>Obr. 19 Sp – maximální výška píku [96]</i> | 50 |
| <i>Obr. 20 Sv – maximální hloubka prohlubně [96]</i> | 50 |
| <i>Obr. 21 Sz – maximální výška profilu [96]</i> | 51 |
| <i>Obr. 22 Schéma FTIR (Michelsonův interferometr) [102]</i> | 55 |
| <i>Obr. 23 Dvoušnekový vytlačovací stroj</i> | 60 |
| <i>Obr. 24 Vstřikovací stroj DEMAG</i> | 61 |
| <i>Obr. 25 Zkušební tělesa</i> | 63 |

| | |
|---|-----|
| <i>Obr. 26</i> Sériové značení..... | 63 |
| <i>Obr. 27</i> Profilometr Zygo NewView™ 9000™ | 65 |
| <i>Obr. 28</i> Umístění vzorku | 66 |
| <i>Obr. 29</i> Nastavené barevnosti paprsku [107] | 67 |
| <i>Obr. 30</i> Volba objektivu [107]..... | 67 |
| <i>Obr. 31</i> Optimalizace snímání (v kroužku interferenční obrazec) [107] | 68 |
| <i>Obr. 32</i> Vizualizace snímání jakosti povrchu | 68 |
| <i>Obr. 33</i> ZWICK 1456..... | 70 |
| <i>Obr. 34</i> Mechanické čelisti pro zkoušku tahem | 71 |
| <i>Obr. 35</i> Upnutí testovacího tělesa pro tahovou zkoušku | 71 |
| <i>Obr. 36</i> Laboratorní sušárna BINDER FD53 | 72 |
| <i>Obr. 37</i> AVATAR 360 FTIR Spektrometer | 73 |
| <i>Obr. 38</i> Zkušební těleso s vyznačeným bodem snímání | 74 |
| <i>Obr. 39</i> Výstupní data o jakosti povrchu vzorku série PP_30B_3%_P1_10bar | 75 |
| <i>Obr. 40</i> Výstupní data o jakosti povrchu vzorku série PP_30B_3%_P2_10bar | 75 |
| <i>Obr. 41</i> Směs polystyrenu a oxidu titaničitého (metoda ručního míchání) | 86 |
| <i>Obr. 42</i> Směs polystyrenu a oxidu titaničitého (metoda compoundace) | 87 |
| <i>Obr. 43</i> FTIR PP_30B_3%_P1_10bar (červený graf před, zelený po teplotním zatížení) | 104 |
| <i>Obr. 44</i> FTIR PS_30B_3%_P1_10bar (červený graf před, fialový po teplotním zatížení) | 105 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|-----------|
| <i>Tab. 1 Nastavení teplotních pásem</i> | <i>61</i> |
| <i>Tab. 2 Teplotní pásma u procesu vstřikování</i> | <i>62</i> |
| <i>Tab. 3 Parametry Zygo NewView 9000 [106]</i> | <i>65</i> |
| <i>Tab. 4 Podmínky kontroly jakosti - Zygo NewView 9000™</i> | <i>69</i> |
| <i>Tab. 5 Parametry ZWICK 1456</i> | <i>69</i> |
| <i>Tab. 6 Podmínky tahové zkoušky – ZWICK 1456</i> | <i>72</i> |
| <i>Tab. 7 Podmínky tepelného zatížení – BINDER FD53</i> | <i>72</i> |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|-----|
| <i>Graf 1 Srovnání parametru Sa PP s plnivem Cloisite 30B</i> | 76 |
| <i>Graf 2 Srovnání parametru Sz PP s plnivem Cloisite 30B</i> | 77 |
| <i>Graf 3 Srovnání parametru Sa PS s plnivem Cloisite 30B</i> | 78 |
| <i>Graf 4 Srovnání parametru Sz PS s plnivem Cloisite 30 B</i> | 79 |
| <i>Graf 5 Srovnání parametru Sa PP s plnivem kaolin</i> | 80 |
| <i>Graf 6 Srovnání parametru Sz PP s plnivem kaolin</i> | 81 |
| <i>Graf 7 Srovnání parametru Sa PS s plnivem kaolin</i> | 82 |
| <i>Graf 8 Srovnání parametru Sz PS s plnivem kaolin</i> | 83 |
| <i>Graf 9 Srovnání parametru Sa PP s plnivem oxidu titaničitého</i> | 84 |
| <i>Graf 10 Srovnání parametru Sz PP s plnivem oxidu titaničitého</i> | 85 |
| <i>Graf 11 Srovnání parametru Sa PS s plnivem oxidu titaničitého</i> | 86 |
| <i>Graf 12 Srovnání parametru Sz PS s plnivem oxidu titaničitého</i> | 87 |
| <i>Graf 13 Srovnání parametru Sa PP s plnivem uhličitan vápenatý</i> | 89 |
| <i>Graf 14 Srovnání parametru Sz PP s plnivem uhličitan vápenatý</i> | 90 |
| <i>Graf 15 Srovnání parametru Sa PS s plnivem uhličitan vápenatý</i> | 91 |
| <i>Graf 16 Srovnání parametru Sz PS s plnivem uhličitan vápenatý</i> | 92 |
| <i>Graf 17 Porovnání Rm pro směsi PP s Cloisite 30B</i> | 95 |
| <i>Graf 18 Porovnání Rm pro směsi PS s Cloisite 30B</i> | 96 |
| <i>Graf 19 Porovnání Rm pro směsi PP s kaolinem</i> | 97 |
| <i>Graf 20 Míra prodloužení u směsi PP s kaolinem</i> | 97 |
| <i>Graf 21 Porovnání Rm pro směsi PS s kaolinem</i> | 98 |
| <i>Graf 22 Porovnání Rm pro směsi PS s oxidem titaničitým</i> | 99 |
| <i>Graf 23 Míra prodloužení u směsi PP s oxidem titaničitým</i> | 99 |
| <i>Graf 24 Porovnání Rm pro směsi PS s oxidem titaničitým</i> | 100 |
| <i>Graf 25 Porovnání Rm pro směsi PP s uhličitanem vápenatým</i> | 101 |
| <i>Graf 26 Míra prodloužení u směsi PP s uhličitanem vápenatým</i> | 101 |
| <i>Graf 27 Porovnání Rm pro směsi PS s uhličitanem vápenatým</i> | 102 |
| <i>Graf 28 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s Cloisite 30B</i> | 135 |
| <i>Graf 29 Míra prodloužení u směsi PP s Cloisite 30B</i> | 135 |
| <i>Graf 30 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s Cloisite 30B</i> | 136 |
| <i>Graf 31 Míra prodloužení u směsi PS s Cloisite 30B</i> | 136 |
| <i>Graf 32 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s kaolinem</i> | 137 |

| | |
|---|------------|
| <i>Graf 33 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s kaolinem</i> | <i>137</i> |
| <i>Graf 34 Míra prodloužení u směsi PS s Kaolinem</i> | <i>138</i> |
| <i>Graf 35 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s oxidem titaničitým</i> | <i>138</i> |
| <i>Graf 36 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s oxidem titaničitým</i> | <i>139</i> |
| <i>Graf 37 Míra prodloužení u směsi PS s oxidem titaničitým</i> | <i>139</i> |
| <i>Graf 38 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s uhličitanem vápenatým</i> | <i>140</i> |
| <i>Graf 39 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s uhličitanem vápenatým.</i> | <i>140</i> |
| <i>Graf 40 Míra prodloužení u směsi PS s uhličitanem vápenatým</i> | <i>141</i> |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|---|-----|
| <i>Příloha 1 Materiálový list oxid titaničitý [108]</i> | 127 |
| <i>Příloha 2 Materiálový list uhličitan vápenatý[109]</i> | 128 |
| <i>Příloha 3 Materiálový list Cloisite 30B [110]</i> | 129 |
| <i>Příloha 4 Materiálový list Synthos PS GP 137 [111]</i> | 130 |
| <i>Příloha 5 Materiálový list Borealis PP HHD 204CF [112]</i> | 131 |
| <i>Příloha 6 Seznam vytvořených sérií vzorků</i> | 132 |
| <i>Příloha 7 Získané poznatky z měření jakosti povrchů</i> | 133 |

PŘÍLOHA 1

Příloha 1 Materiálový list oxid titaničitý [108]



Titanová běloba

PRETIOX RG18P

Vydání
1.0 / 2015

Popis Mikronizovaný, speciální rutilový typ se střední anorganickou i organickou povrchovou úpravou (Al a Si) s modifikací krystalové mřížky, dobrými optickými vlastnostmi, opacitou, dispergovatelností a vynikající povětrnostní odolností.

Použití Je vhodný pro náročné plastikářské aplikace a výrobky určené do interiéru i exteriéru např. vstřikování, válcování, odlévání, výroba okenních profilů, desek, dutých těles, výrobků z polyolefinů, PVC, inženýrské plasty atd.

| | | |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|
| Základní charakteristiky | Typ | rutilový pigment |
| | Povrchová úprava | Al, Si, organická |
| | Obsah TiO ₂ | 94 % |
| | Spotřeba DINP | 25 g/100 g |
| | Klasifikace EN ISO 591 | R 2 |
| | Klasifikace ASTM D476 | II, IV |
| | Měrná hmotnost | 4,0 g/cm ³ |
| | Sypná hmotnost | 660 kg/m ³ |
| | Setřesná hmotnost | 1100 kg/m ³ |
| | CAS číslo | 13463-67-7 |
| | EINECS číslo | 236-675-5 |
| | Colour index | 77891 Pigment white 6 |
| | Referenční číslo REACH | 01-2119489379-17-0013 |

Bezpečnost Titanová běloba PRETIOX není klasifikována jako nebezpečná látka podle příslušné evropské legislativy a není ani klasifikována nebezpečnou pro přepravu dle předpisů ADR/RID. PRETIOX RG18P splňuje hygienická kritéria pro použití do materiálů přicházejícími do styku s potravinami, vyhovuje též požadavkům evropské legislativy pro bezpečnost hraček.

Tento technický list podává základní informace o vlastnostech a možných potenciálních aplikacích titanové běloby PRETIOX. Uvedené informace jsou poskytnuty v dobré víře a nezakládají žádné záruky. Pro výběr vhodného typu pigmentu PRETIOX kontaktujte oddělení Technického servisu.

PRECHEZA a.s.
nábf. Dr. Edvarda Beneše 1170/24
750 02 Přešov
Czech Republic

www.precheza.cz

PŘÍLOHA 2

Příloha 2 Materiálový list uhličitan vápenatý[109]

| Typical Properties | |
|---|------------------|
| Appearance | White nanopowder |
| Average Particle Size (nm) | 15-40 |
| Specific Surface Area (m ² /g) | >40 |
| Morphology: | Cubic |
| Whiteness (%) | >92 |
| Bulk Density (g/ml) | 0.68 |
| pH | 8.0-9.0 |
| Moisture Content (w%) | <0.5 |
| CaCO ₃ Content (modified) (%) | >94.5 |
| MgO (%) | <0.5 |
| Surface modification | Yes |

PŘILOHA 3

Příloha 3 Materiálový list Cloisite 30B [110]

| Physical Properties | Metric | English | Comments |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| pecific Gravity | 1.98 g/cc | 1.98 g/cc | |
| Bulk Density | 0.2283 g/cc | 0.008246 lb/in ³ | Loose |
| | 0.3638 g/cc | 0.01314 lb/in ³ | Packed |
| Loss On Ignition | 30% | 30% | |
| Particle Size | <= 2.0 µm | <= 2.0 µm | 10% |
| | <= 6.0 µm | <= 6.0 µm | 50% |
| | <= 13 µm | <= 13 µm | 90% |
| Mechanical Properties | Metric | English | Comments |
| Hardness, Shore D | 83 | 83 | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Tensile Strength, Ultimate | 101 MPa | 14600 psi | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Elongation at Break | 8.0 % | 8.0 % | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Modulus of Elasticity | 4.657 GPa | 675.5 ksi | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Flexural Modulus | 3.78 GPa | 548 ksi | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Izod Impact, Notched | 0.270 J/cm | 0.506 ft-lb/in | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Thermal Properties | Metric | English | Comments |
| Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi) | 96.0 °C | 205 °F | 5% Cloisite® reinforced Nylon 6 |
| Component Elements Properties | Metric | English | Comments |
| H2O, Water | <= 2.0 % | <= 2.0 % | |
| Descriptive Properties | | | |
| Modifier Concentration, meq/ 100g clay | 90 | | |
| Organic Modifier | methyl, tallow, bis-2-hydroxyethyl, | | |
| X-Ray Diffraction d-Spacing (001) | 18.5 Angstroms | | |

PŘÍLOHA 4

Příloha 4 Materiálový list Synthos PS GP 137 [111]

Strona 1 z 2

SYNTHOS PS GP 137

Standardní polystyren - GPPS

Technický list

Datum vydání: 2017-06-01

Vydání: 3

Schválil: Produktový manažer – Michal Chelmecki

Předchozí verze tohoto dokumentu je neplatná.

CHARAKTERISTIKA PRODUKTU

SYNTHOS PS GP 137 je standardní polystyren (GPPS) s výbornými optickými vlastnostmi, leskem a velmi dobrou tekutostí taveniny - zpracovatelností. Je to termoplastický materiál, který se zpracovává vstříkovaním a vytlačováním.

Materiál má formu válcového granulátu o průměru 2,5 až 6 mm. Výrobek může obsahovat malé množství granulátu nepravidelných tvarů, než jak je uvedeno výše. Přítomnost mechanických nečistot v granulátu není povolena.

SYNTHOS PS GP 137 je bezbarvý plast.

TECHNICKÉ PARAMETRY A PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ

| Parametry | Jednotka | Typická hodnota | Specifikační rozmezí | Norma/Metoda | Poznámka |
|----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------------|
| Index toku taveniny | g/10 min | 17 – 19 | 15 - 20 | ISO 1133 | 200 °C; 5 kg |
| Rázová houževnatost Charpy | kJ/m ² | 10 | min. 6 | ISO 179/1eU | 23 °C |
| Teplota meknutí dle Vicata | °C | 85 | min. 80 | ISO 306/B50 | 50 °C/h; 50 N |
| Obsah zbytkového styrenu | % hm. | 0,025 | max. 0,035 | interní | - |

| Parametry | Jednotka | Typická hodnota | Norma/Metoda | Poznámka |
|-----------------------------------|----------|-----------------|--------------|-----------------------------|
| Hořlavost ¹⁾ | třída | HB | UL 94 | 1,6 mm |
| Výrobní smrštění | % | 0,2 – 0,5 | interní | - |
| Podmínky zpracování | | | | |
| Teplota/Doba sušení ²⁾ | °C/h | 70 / 2 - 4 | - | horkovzdušná sušárna |
| | °C/h | 70 / 1 | - | sušárna s molekulovým sítem |
| Vstříkování: teplota taveniny | °C | 180 - 260 | - | - |
| Vstříkování: teplota formy | °C | 10 – 60 | - | - |
| Vytlačování: teplota taveniny | °C | 200 - 230 | - | - |

1) Testoval Elektrotechnický zkušební ústav, Praha, Česká republika.

2) Pro výrobky s vysokou kvalitou povrchu.

Ke každé zásilce je vydán certifikát jakosti s údaji o vlastnostech výrobku stanovených při výstupní kontrole. Rozsah testovaných parametrů výrobku, který se vztahuje k certifikátu jakosti je vždy dohodnut v kupní smlouvě.

Synthos Kralupy a.s., O. Wichterleho 810, 278 01 Kralupy n. Vltavou,
tel. +420 315 711 111, fax +420 315 723 566
www.synthosgroup.com

synthos
PS

PŘÍLOHA 5

Příloha 5 Materiálový list Borealis PP HHD 204CF [112]

Polypropylene HD204CF

Description

HD204CF is a homopolymer film resin, suitable for the manufacturing of unoriented film on chill roll process.

Applications

HD204CF is recommended for

Food packaging
Lamination films
Stationary films

Flower packaging
Textile packaging film

Special features

HD204CF is optimised to deliver:

Easy processability
Good mechanical properties
Heat sterilisable

High stiffness
Good optical properties

Physical Properties

| Property | Typical Value | Test Method |
|---|---------------|-------------|
| <small>Data should not be used for specification work</small> | | |
| Melt Flow Rate (230 °C/2,16 kg) | 8 g/10min | ISO 1133 |
| Flexural Modulus ¹ | 1.350 MPa | ISO 178 |
| Melting temperature (DSC) | 162 °C | ISO 11357-3 |
| Molecular weight distribution | Narrow | |

¹ Measured on injection moulded specimens, conditioned at 23 °C and 50 % relative humidity.

Film Properties

Specific film values evaluated on chill roll films, produced with Borealis internal standard conditions with a thickness of 50 µm. When compared to films which were produced under other conditions. It should be taken into account that the film properties are strongly dependent on the processing conditions.

| Property | Typical Value | Test Method | |
|---|--------------------------|-------------|-------------|
| <small>Data should not be used for specification work</small> | | | |
| Instrumented puncture test | Total Penetration Energy | 10 J/mm | ISO 7765-2 |
| Haze | < 2,0 % | | ASTM D 1003 |
| Gloss at 20 degree (of arc) | > 120 | | ASTM D 2457 |
| Tensile Strain at Break | MD 600 % | | ISO 527-3 |
| Tensile Strain at Break | TD 700 % | | ISO 527-3 |
| Tensile Strength | MD 45 MPa | | ISO 527-3 |
| Tensile Strength | TD 35 MPa | | ISO 527-3 |
| Tensile Modulus | MD 700 MPa | | ISO 527-3 |
| Tensile Modulus | TD 700 MPa | | ISO 527-3 |
| Coefficient of friction (Film/Film) | > 0,7 | | ISO 8295 |

Borealis AG | Wagamerstrasse 17-19 | 1220 Vienna | Austria
Telephone +43 1 224 00 0 | Fax +43 1 22 400 333
FN 269858a | CCC Commercial Court of Vienna | Website www.borealisgroup.com



PŘÍLOHA 6

Příloha 6 Seznam vytvořených sérií vzorků

ČISTÝ POLYMER

1. PP_10Bar
2. PP_70Bar
3. PS_10Bar
4. PS_70Bar

PP - MÍCHANÝ

5. PP_Kaolin_3%_P1_10Bar
6. PP_Kaolin_3%_P1_70Bar
7. PP_Kaolin_5%_P1_10Bar
8. PP_Kaolin_5%_P1_70Bar
9. PP_Oxid_3%_P1_10Bar
10. PP_Oxid_3%_P1_70Bar
11. PP_Oxid_5%_P1_10Bar
12. PP_Oxid_5%_P1_70Bar
13. PP_Uhlici_3%_P1_10Bar
14. PP_Uhlici_3%_P1_70Bar
15. PP_Uhlici_5%_P1_10Bar
16. PP_Uhlici_5%_P1_70Bar
17. PP_30B_3%_P1_10Bar
18. PP_30B_3%_P1_70Bar
19. PP_30B_5%_P1_10Bar
20. PP_30B_5%_P1_70Bar

PP – GRANULOVANÝ

37. PP_Kaolin_3%_P2_10Bar
38. PP_Kaolin_3%_P2_70Bar
39. PP_Kaolin_5%_P2_10Bar
40. PP_Kaolin_5%_P2_70Bar
41. PP_Oxid_3%_P2_10Bar
42. PP_Oxid_3%_P2_70Bar
43. PP_Oxid_5%_P2_10Bar
44. PP_Oxid_5%_P2_70Bar
45. PP_Uhlici_3%_P2_10Bar
46. PP_Uhlici_3%_P2_70Bar
47. PP_Uhlici_5%_P2_10Bar
48. PP_Uhlici_5%_P2_70Bar
49. PP_30B_3%_P2_10Bar
50. PP_30B_3%_P2_70Bar
51. PP_30B_5%_P2_10Bar
52. PP_30B_5%_P2_70Bar

PS – MÍCHANÝ

21. PS_Kaolin_3%_P1_10Bar
22. PS_Kaolin_3%_P1_70Bar
23. PS_Kaolin_5%_P1_10Bar
24. PS_Kaolin_5%_P1_70Bar
25. PS_Oxid_3%_P1_10Bar
26. PS_Oxid_3%_P1_70Bar
27. PS_Oxid_5%_P1_10Bar
28. PS_Oxid_5%_P1_70Bar
29. PS_Uhlici_3%_P1_10Bar
30. PS_Uhlici_3%_P1_70Bar
31. PS_Uhlici_5%_P1_10Bar
32. PS_Uhlici_5%_P1_70Bar
33. PS_30B_3%_P1_10Bar
34. PS_30B_3%_P1_70Bar
35. PS_30B_5%_P1_10Bar
36. PS_30B_5%_P1_70Bar

PS – GRANULOVANÝ

53. PS_Kaolin_3%_P2_10Bar
54. PS_Kaolin_3%_P2_70Bar
55. PS_Kaolin_5%_P2_10Bar
56. PS_Kaolin_5%_P2_70Bar
57. PS_Oxid_3%_P2_10Bar
58. PS_Oxid_3%_P2_70Bar
59. PS_Oxid_5%_P2_10Bar
60. PS_Oxid_5%_P2_70Bar
61. PS_Uhlici_3%_P2_10Bar
62. PS_Uhlici_3%_P2_70Bar
63. PS_Uhlici_5%_P2_10Bar
64. PS_Uhlici_5%_P2_70Bar
65. PS_30B_3%_P2_10Bar
66. PS_30B_3%_P2_70Bar
67. PS_30B_5%_P2_10Bar
68. PS_30B_5%_P2_70Bar

PŘÍLOHA 7

Příloha 7 Získané poznatky z měření jakosti povrchů

| | Směs | Sa [μm] | Ovlivnění parametru Sa [μm] | | | Sz [μm] | Ovlivnění parametru Sa [μm] | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | | Proces kompoundace | Hmot. objem plniva | Velikost zpětného tlaku | | Proces kompoundace | Hmot. objem plniva | Velikost zpětného tlaku |
| Cloisite 30B | PP_30B_3%_P1_10Bar | 0,877 | x | x | x | 6,651 | x | x | x |
| | PP_30B_3%_P2_10Bar | 1,484 | - | x | x | 19,536 | - | x | x |
| | PP_30B_5%_P1_10Bar | 1,388 | x | - | x | 11,970 | x | - | x |
| | PP_30B_5%_P2_10Bar | 1,588 | - | - | x | 25,407 | - | - | x |
| | PP_30B_3%_P1_70Bar | 1,419 | x | x | | 10,684 | x | x | |
| | PP_30B_3%_P2_70Bar | 1,830 | - | x | | 18,782 | - | x | |
| | PP_30B_5%_P1_70Bar | 1,242 | x | | | 9,427 | x | | |
| | PP_30B_5%_P2_70Bar | 1,390 | - | - | | 21,239 | - | - | |
| | PS_30B_3%_P1_10Bar | 0,719 | x | x | x | 20,110 | x | x | x |
| | PS_30B_3%_P2_10Bar | 1,048 | - | x | x | 7,737 | + | x | x |
| | PS_30B_5%_P1_10Bar | 0,845 | x | - | x | 30,360 | x | - | x |
| | PS_30B_5%_P2_10Bar | 1,582 | - | - | x | 11,545 | + | - | x |
| | PS_30B_3%_P1_70Bar | 0,650 | x | x | | 26,060 | x | x | |
| | PS_30B_3%_P2_70Bar | 1,555 | - | x | | 10,847 | + | x | |
| PS_30B_5%_P1_70Bar | 0,834 | x | - | | 44,616 | x | - | | |
| PS_30B_5%_P2_70Bar | 0,952 | - | + | | 5,793 | + | + | | |
| Kaolin | PP_Kaolin_3%_P1_10Bar | 1,014 | x | x | x | 7,924 | x | x | x |
| | PP_Kaolin_3%_P2_10Bar | 1,993 | - | x | x | 25,671 | - | x | x |
| | PP_Kaolin_5%_P1_10Bar | 2,657 | x | - | x | 21,321 | x | - | x |
| | PP_Kaolin_5%_P2_10Bar | 2,898 | - | - | x | 31,959 | - | - | x |
| | PP_Kaolin_3%_P1_70Bar | 2,168 | x | x | - | 17,149 | x | x | - |
| | PP_Kaolin_3%_P2_70Bar | 2,865 | - | x | - | 26,747 | - | x | - |
| | PP_Kaolin_5%_P1_70Bar | 3,663 | x | - | - | 24,379 | x | - | - |
| | PP_Kaolin_5%_P2_70Bar | 4,106 | - | - | - | 38,455 | - | - | - |
| | PS_Kaolin_3%_P1_10Bar | 0,761 | x | x | x | 50,342 | x | x | x |
| | PS_Kaolin_3%_P2_10Bar | 1,154 | - | x | x | 35,225 | + | x | x |
| | PS_Kaolin_5%_P1_10Bar | 0,732 | x | | x | 61,576 | x | - | x |
| | PS_Kaolin_5%_P2_10Bar | 1,539 | - | | x | 36,072 | + | - | x |
| | PS_Kaolin_3%_P1_70Bar | 0,592 | x | x | | 55,959 | x | x | |
| | PS_Kaolin_3%_P2_70Bar | 1,339 | - | x | | 32,713 | + | x | |
| PS_Kaolin_5%_P1_70Bar | 0,748 | x | | | 44,616 | x | - | | |
| PS_Kaolin_5%_P2_70Bar | 1,558 | - | | | 35,998 | + | - | | |

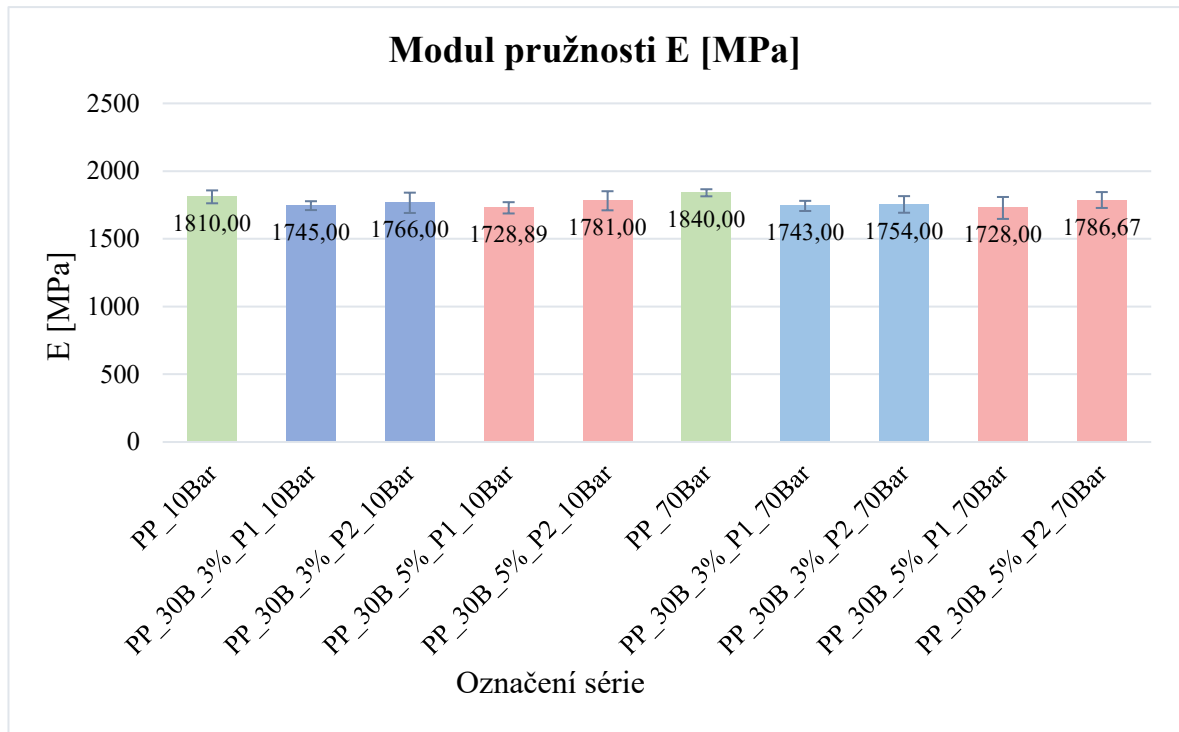
| LEGENDA | | | |
|---------|-------------|-----------|---|
| Změna | Neměla vliv | | |
| | Měla vliv | Negativní | - |
| | | Positivní | + |

| | Směs | Sa [μm] | Ovlivnění parametru Sa [μm] | | | Sz [μm] | Ovlivnění parametru Sa [μm] | | |
|----------------------|----------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | | Proces kompondace | Hmot. objem plniva | Velikost zpětného tlaku | | Proces kompondace | Hmot. objem plniva | Velikost zpětného tlaku |
| Oxid titanicitý | PP_OXID_3%_P1_10Bar | 2,203 | x | x | x | 33,006 | x | x | x |
| | PP_OXID_3%_P2_10Bar | 3,008 | - | x | x | 27,855 | - | x | x |
| | PP_OXID_5%_P1_10Bar | 2,170 | x | | x | 33,386 | x | | x |
| | PP_OXID_5%_P2_10Bar | 2,669 | - | | x | 18,582 | - | | x |
| | PP_OXID_3%_P1_70Bar | 1,242 | x | x | + | 30,618 | x | x | |
| | PP_OXID_3%_P2_70Bar | 1,693 | - | x | + | 30,124 | + | x | |
| | PP_OXID_5%_P1_70Bar | 1,250 | x | | + | 34,386 | x | | |
| | PP_OXID_5%_P2_70Bar | 1,358 | - | | + | 21,030 | + | | |
| | P8_OXID_3%_P1_10Bar | 2,716 | x | x | x | 74,910 | x | x | x |
| | P8_OXID_3%_P2_10Bar | 1,592 | + | x | x | 27,260 | + | x | x |
| | P8_OXID_5%_P1_10Bar | 2,484 | x | | x | 85,625 | x | - | x |
| | P8_OXID_5%_P2_10Bar | 2,089 | + | - | x | 30,829 | + | - | x |
| | P8_OXID_3%_P1_70Bar | 3,730 | x | x | - | 77,519 | x | x | - |
| | P8_OXID_3%_P2_70Bar | 2,730 | + | x | - | 36,590 | + | x | - |
| P8_OXID_5%_P1_70Bar | 4,746 | x | - | - | 44,616 | x | + | + | |
| P8_OXID_5%_P2_70Bar | 2,427 | + | | - | 29,595 | + | - | - | |
| Uhlíčan vápenatý | PP_Uhliě_3%_P1_10Bar | 3,336 | x | x | x | 21,805 | x | x | x |
| | PP_Uhliě_3%_P2_10Bar | 3,386 | | x | x | 23,604 | | x | x |
| | PP_Uhliě_5%_P1_10Bar | 2,804 | x | | x | 35,274 | x | - | x |
| | PP_Uhliě_5%_P2_10Bar | 4,538 | - | - | x | 41,635 | - | - | x |
| | PP_Uhliě_3%_P1_70Bar | 1,839 | x | x | + | 24,033 | x | x | |
| | PP_Uhliě_3%_P2_70Bar | 4,702 | - | x | - | 27,542 | | x | |
| | PP_Uhliě_5%_P1_70Bar | 2,142 | x | | + | 25,463 | x | | |
| | PP_Uhliě_5%_P2_70Bar | 4,457 | - | | - | 39,934 | - | - | |
| | P8_Uhliě_3%_P1_10Bar | 0,535 | x | x | x | 18,217 | x | x | x |
| | P8_Uhliě_3%_P2_10Bar | 1,908 | - | x | x | 12,662 | + | x | x |
| | P8_Uhliě_5%_P1_10Bar | 0,676 | x | | x | 58,825 | x | - | x |
| | P8_Uhliě_5%_P2_10Bar | 1,588 | - | | x | 15,934 | + | - | x |
| | P8_Uhliě_3%_P1_70Bar | 0,570 | x | x | | 49,194 | x | x | - |
| | P8_Uhliě_3%_P2_70Bar | 0,714 | - | x | + | 24,014 | + | x | - |
| P8_Uhliě_5%_P1_70Bar | 1,532 | x | - | - | 44,616 | x | | + | |
| P8_Uhliě_5%_P2_70Bar | 1,728 | - | - | | 7,399 | + | + | + | |

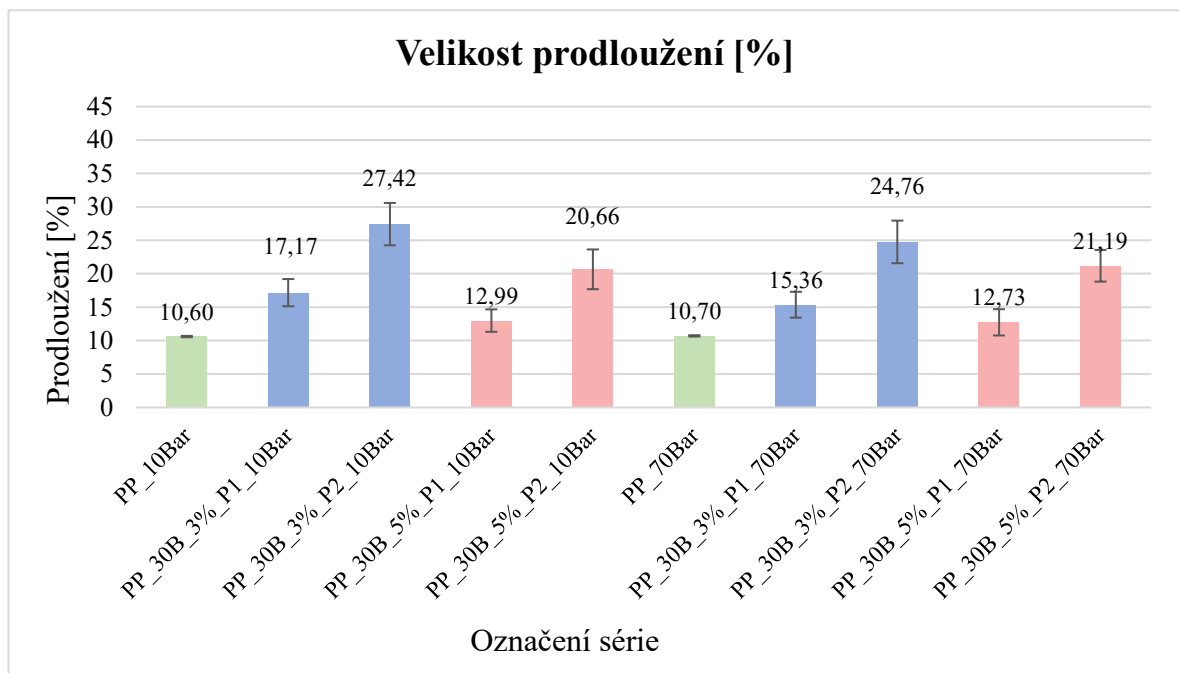
| LEGENDA | | | |
|---------|-------------|-----------|---|
| Změna | Neměla vliv | | |
| | Měla vliv | Negativní | - |
| | | Pozitivní | + |

PŘÍLOHA 8 – VYHODNOCENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY

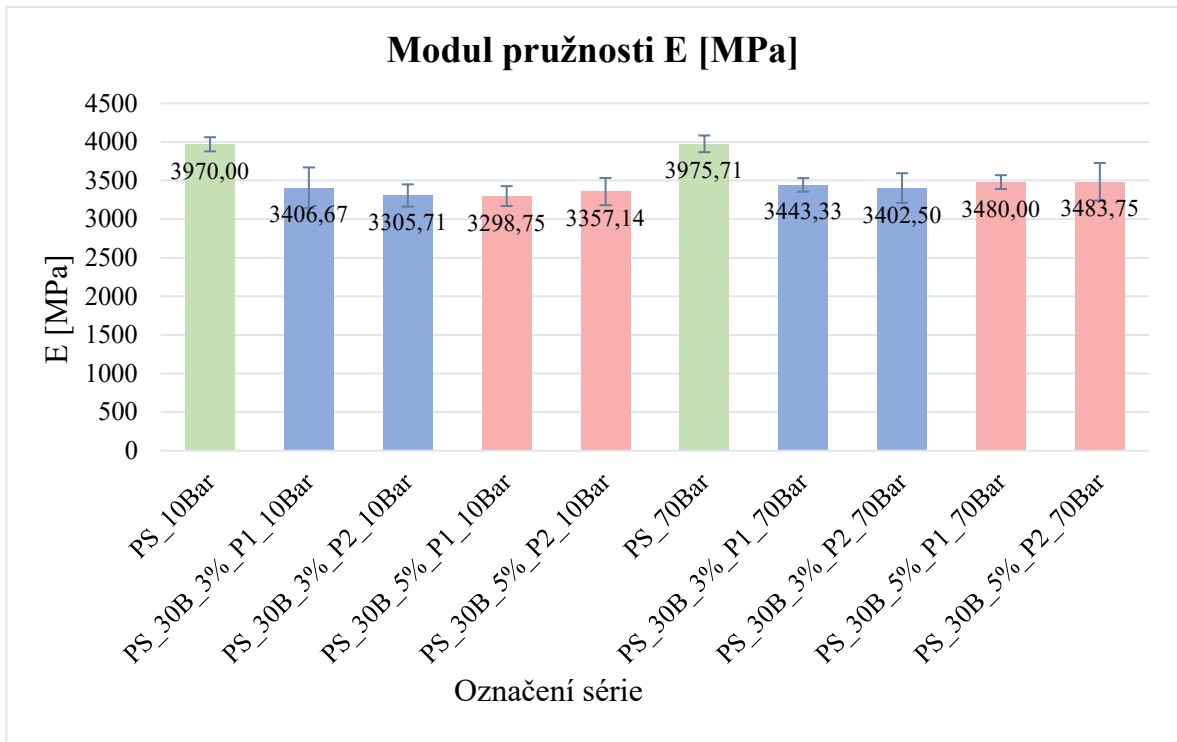
Graf 28 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s Cloisite 30B



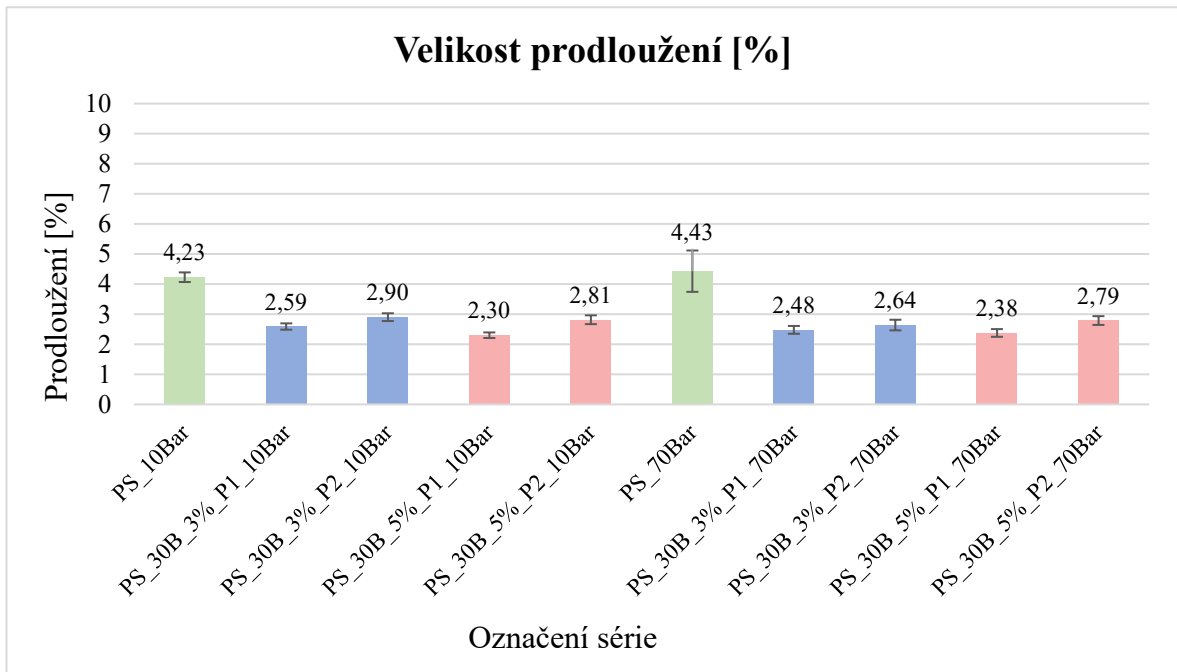
Graf 29 Míra prodloužení u směsi PP s Cloisite 30B



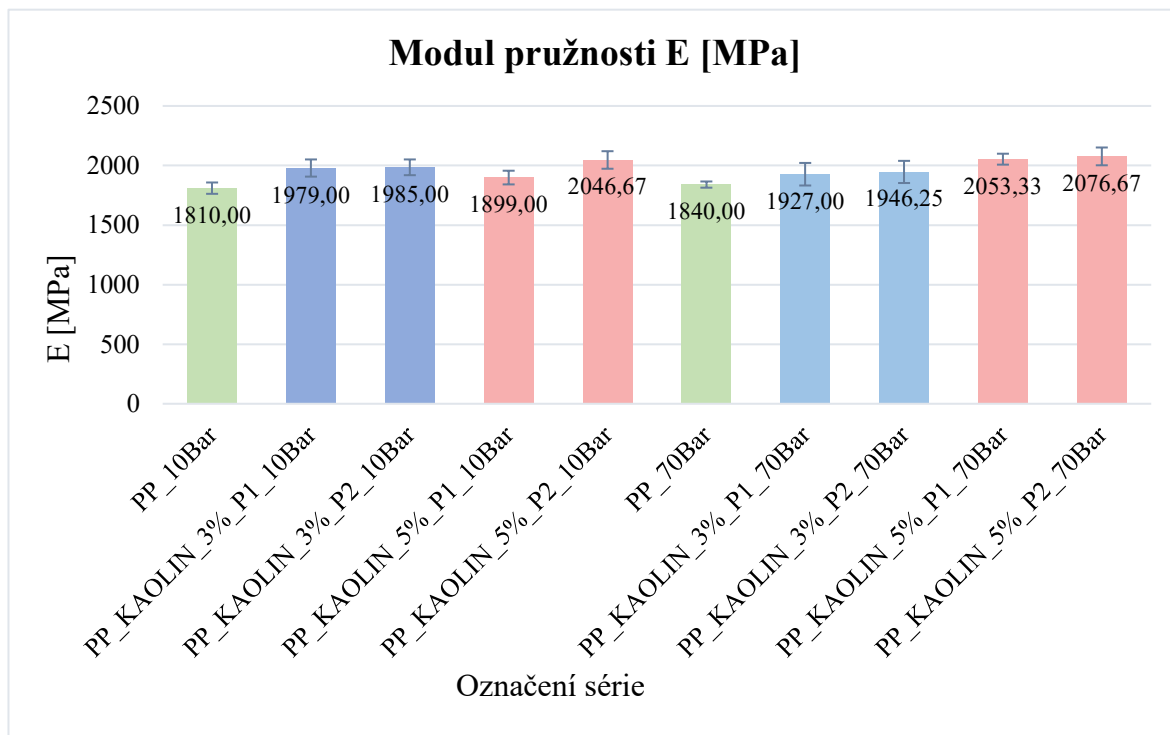
Graf 30 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s Cloisite 30B



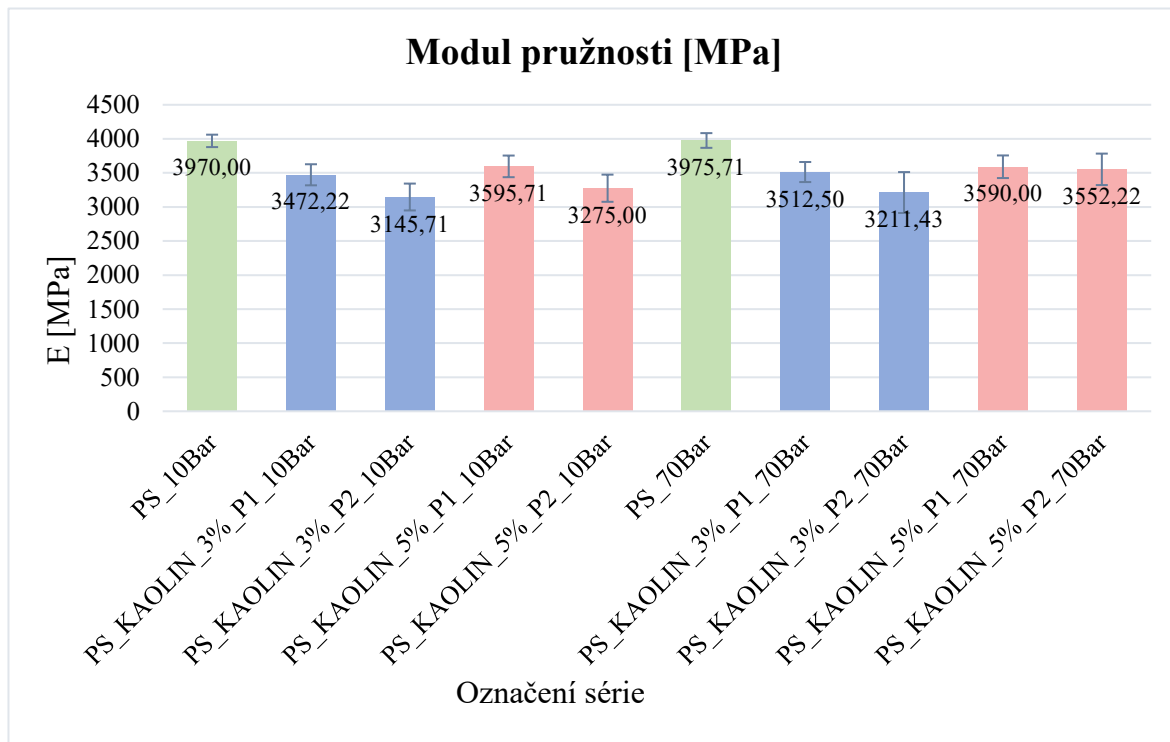
Graf 31 Míra prodloužení u směsi PS s Cloisite 30B



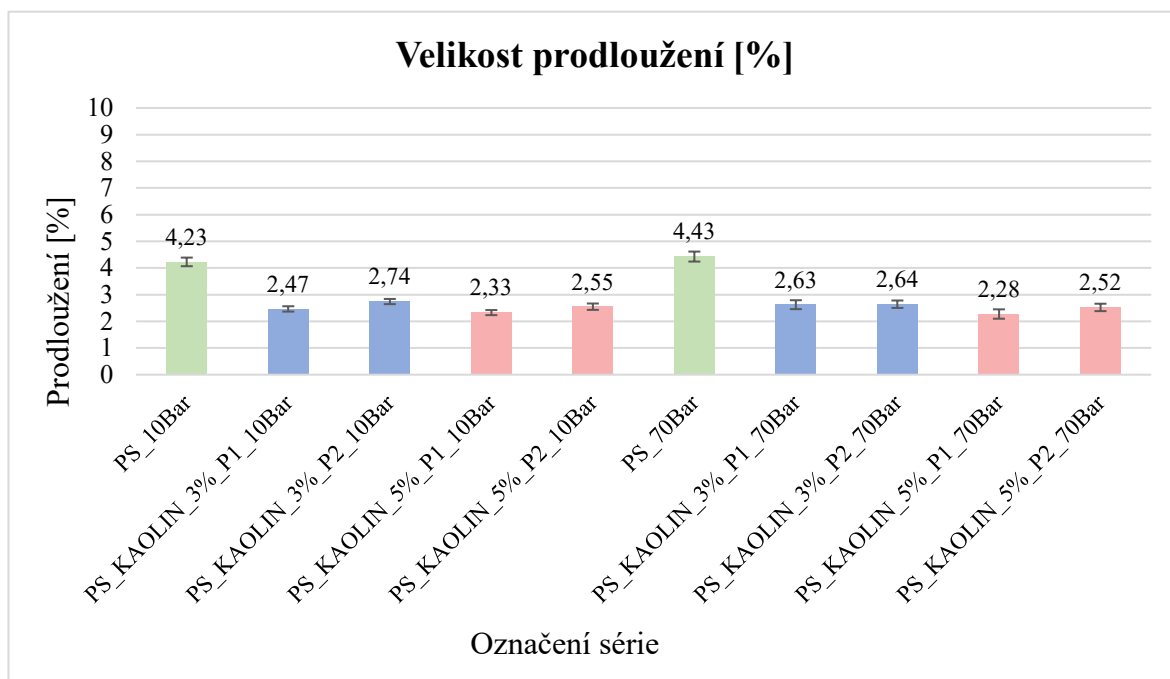
Graf 32 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s kaolinem



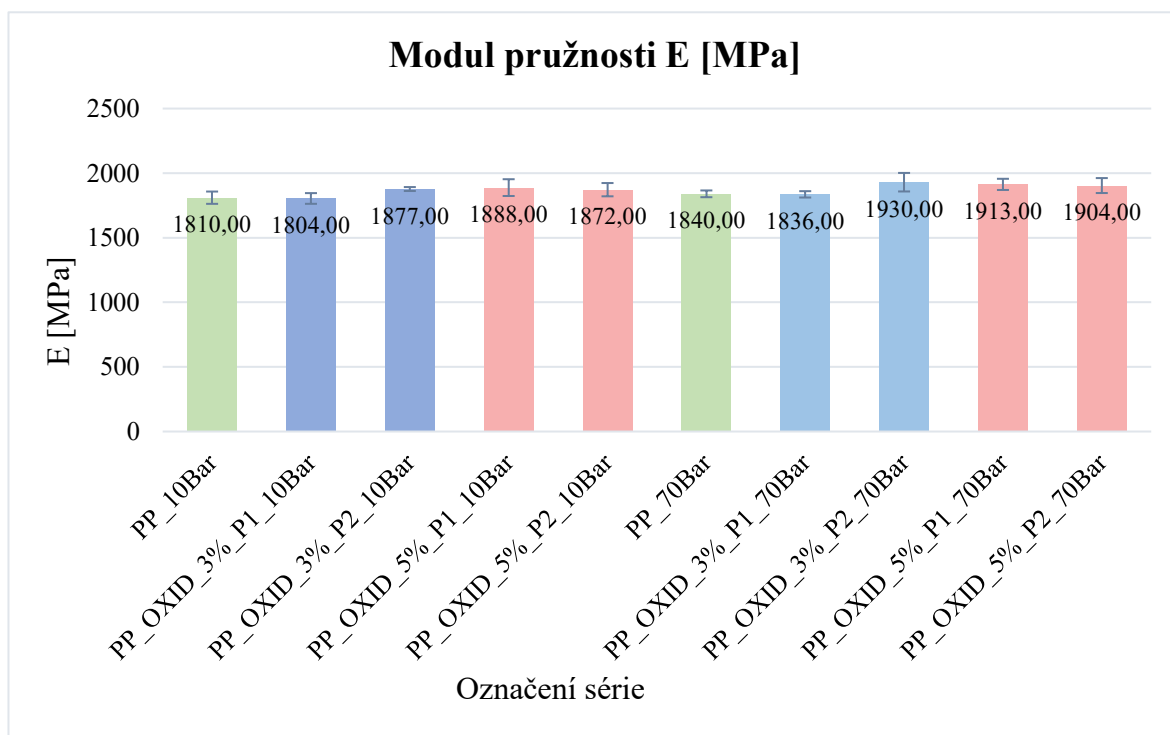
Graf 33 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s kaolinem



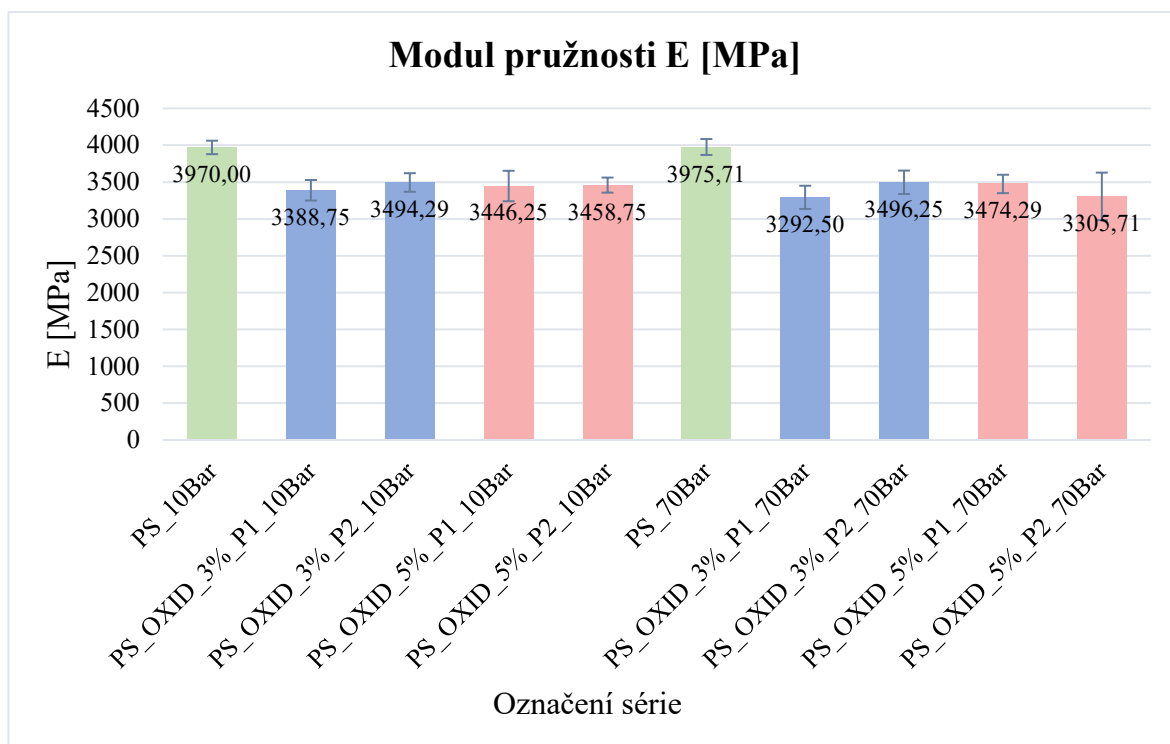
Graf 34 Míra prodloužení u směsi PS s Kaolinem



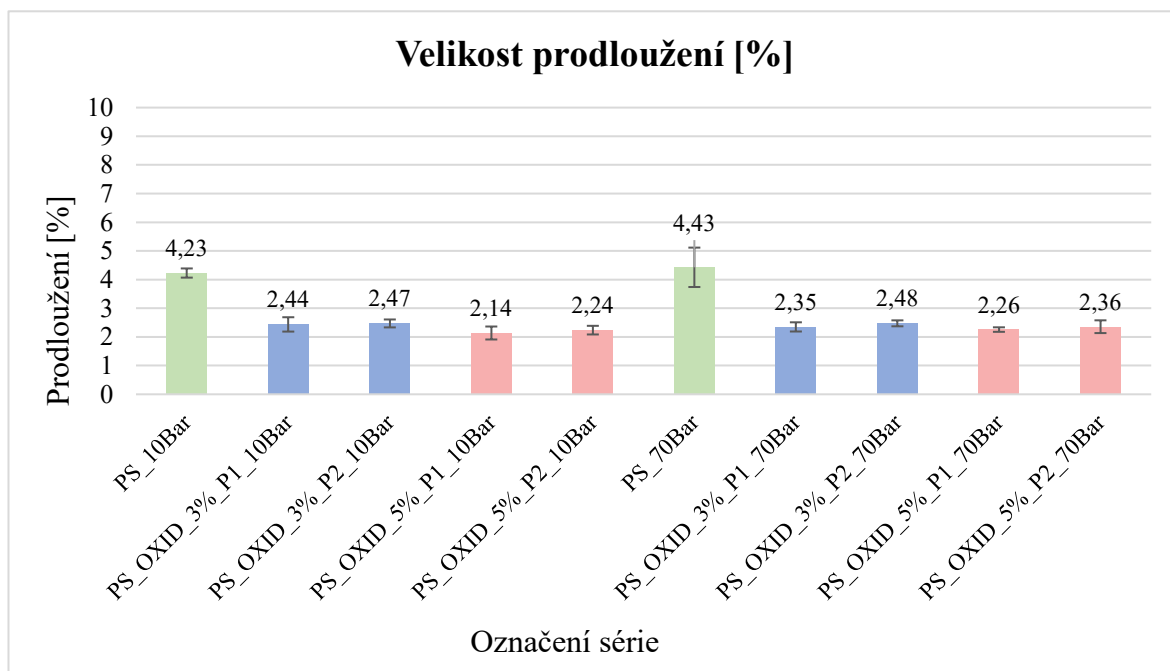
Graf 35 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s oxidem titaničitým



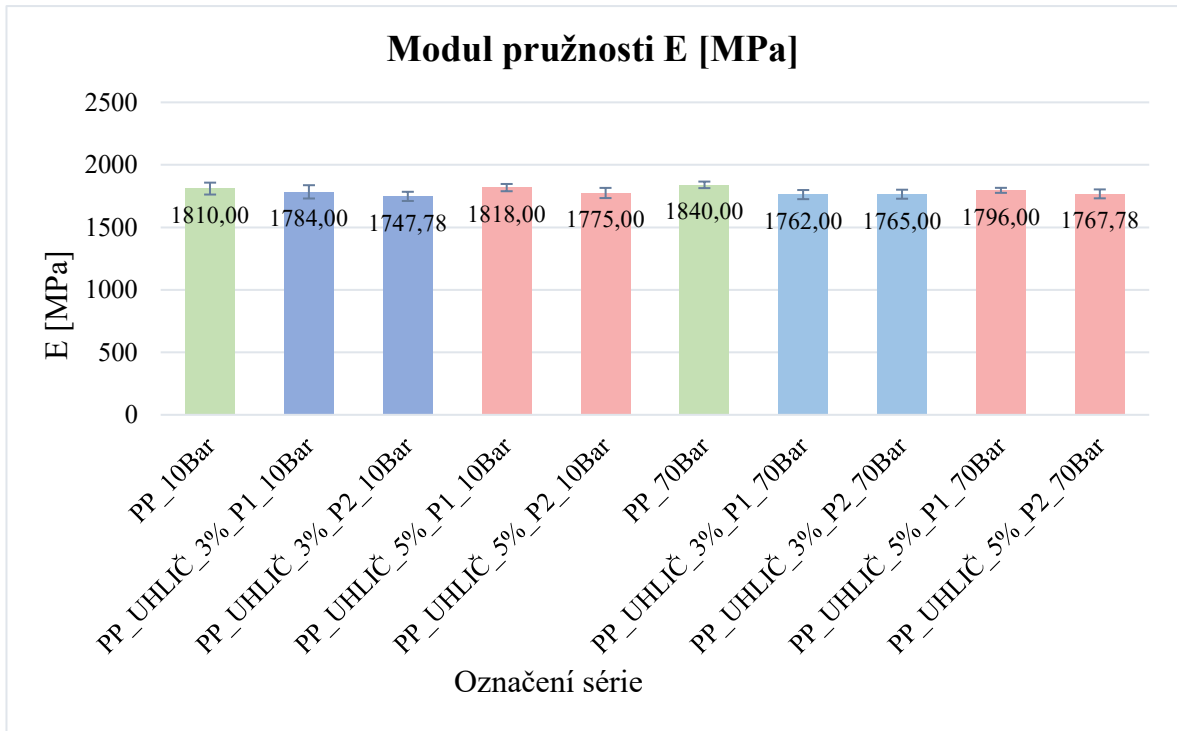
Graf 36 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s oxidem titaničitým



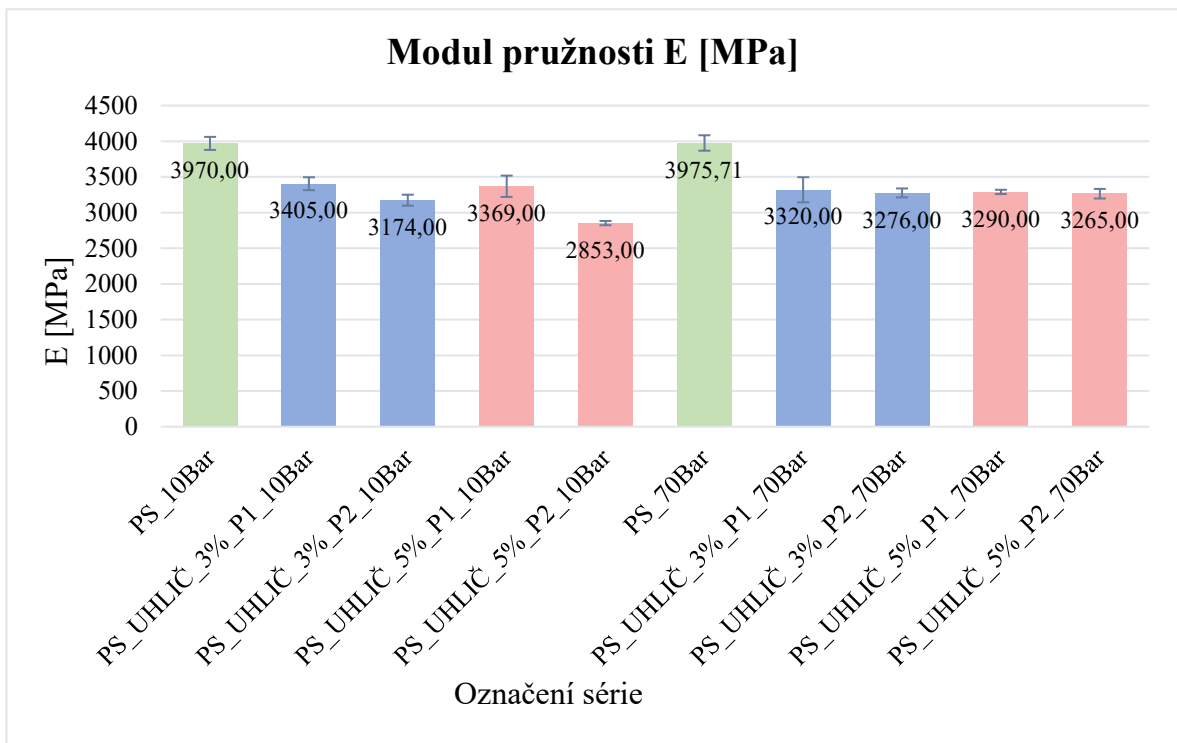
Graf 37 Míra prodloužení u směsi PS s oxidem titaničitým



Graf 38 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PP s uhličitánem vápenatým



Graf 39 Porovnání modulu pružnosti E pro směsi PS s uhličitánem vápenatým



Graf 40 Míra prodloužení u směsi PS s uhličitánem vápenatým

