

Materiály na bázi polypropylenu v automobilovém průmyslu

Věra Navrátilová

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Věra NAVRÁTILOVÁ**
Osobní číslo: **T08393**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Materiály na bázi polypropylenu v automobilovém průmyslu**

Zásady pro vypracování:

1. Vyhledejte informace o vlastnostech a využití polypropylenových kompozitů a směsí ve všech dostupných zdrojích
2. Získané údaje odborně zpracujte v literární rešerži.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Utracki, L.A.: Polymer blends handbook, elektronický zdroj, knihovna UTB

Ehrenstein, G.W.: Polymeric materials, Hanser, Munich, 2001

Ehrenstein, G.W.: Polymerní kompozitní materiály [překlad], Praha Scientia, 2009

Lapčík, L., Raab, M.: Nauka o materiálu II, skriptum FT UTB, Zlín, 2004

Švoboda, P.: Polymerní směsi – změna fází [rukopis], 2007, knihovna UTB

Skoumalová, D.: Vysoce plněné kompozity pro vstřikování, [rukopis], 1992, knihovna UTB

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Marta Sližová, CSc.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **11. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. května 2011**

Ve Zlíně dne 11. února 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Roman Čermák, 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 užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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 nevydělečně 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 vzdělávacímu 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 výdělku 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 výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou vlastností a aplikací polypropylenu, jeho kompozitů a směsí s ohledem na využití v automobilovém průmyslu. Zmíněna je oblast kopolymerů, sklem a minerály plněných kompozitů, nanokompozitních materiálů a kompozitů s přírodními vlákny. Pro svou aktuálnost je část práce věnována také výrobě, vlastnostem a aplikacím expandovaného polypropylenu.

Klíčová slova: polypropylen, kompozity, automobilový průmysl, aplikace

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on polypropylene properties and applications in automotive area. Furthermore, PPs modified as copolymers, blends, composites with glass fibres, mineral fillers or bio fibres are discussed. Because of its innovative character, properties and applications of expanded polypropylene are discussed in part of the thesis.

Keywords: polypropylene, composites, automotive industry, application

Děkuji tímto doktorce Martě Sližové za trpělivost, ochotu a volný čas, který mi věnovala při vypracování této bakalářské práce. Její odborné rady i věcné připomínky mi byly velkou pomocí.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině, za trpělivost, kterou její členové projevili během mého studia. Zvláštní poděkování bych chtěla věnovat své dceři Markétě za neocenitelnou pomoc s překlady odborných textů z anglického jazyka.

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

OBSAH

ÚVOD	9
1 POLYPROPYLEN	10
1.1 VÝROBA POLYPROPYLENU	10
1.1.1 Historie výroby PP	10
1.1.2 Současná výroba PP	11
1.2 VLASTNOSTI POLYPROPYLENU	12
1.2.1 Molekulární struktura.....	12
1.2.2 Zpracovatelské vlastnosti PP.....	13
1.3 ZPRACOVÁNÍ POLYPROPYLENU	16
1.3.1 Technologie vstřikování.....	16
1.3.2 Vliv zpracovatelských podmínek na krystalinitu výsledného výlisku	18
2 KOMPOZITY A SMĚSI POLYPROPYLENU	20
2.1 KOPOLYMERY PP	21
2.1.1 Kopolymery s alifatickými uhlovodíky (C3-C18).....	21
2.1.2 Termoplastické polyolefiny – TPO	22
2.2 KOMPOZITY PP	24
2.2.1 Kompatibilizátory	25
2.2.2 Polypropylen plněný skleněným vláknem	27
2.2.3 PP plněný skleněnými kuličkami	31
2.2.4 PP plněný talkem (mastkem)	31
2.2.5 PP plněný uhličitanem vápenatým	33
2.2.6 Polypropylen plněný slídou.....	34
2.2.7 PP plněný wollastonitem.....	35
2.2.8 PP plněný nanoplňivý	35
2.2.9 Kompozity PP na bázi přírodních vláken.....	39
3 EXPANDOVANÝ POLYPROPYLEN	42
3.1 PRINCIP VÝROBY DÍLŮ Z EPP	42
3.1.1 Výroba suroviny.....	42
3.1.2 Zpracování EPP.....	43
3.2 VLASTNOSTI A VÝHODY EPP JAKO KONSTRUKČNÍHO MATERIÁLU	43
3.3 APLIKACE EPP	45
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
SEZNAM OBRÁZKŮ	55
SEZNAM TABULEK	56
SEZNAM PŘÍLOH	58
PŘÍLOHA 1: PRŮMĚRNÉ EMISE CO₂ NOVÉHO VOZOVÉHO PARKU V LETECH 1995-2004	59
PŘÍLOHA 2: CELOSVĚTOVÁ SPOTŘEBA PP A PODÍL NA JEHO POPTÁVCE DLE PRŮMYSLOVÉHO ODVĚTVÍ	60

ÚVOD

Razantní nárůst automobilového průmyslu posledních desetiletí, jeho negativní vliv na životní prostředí, snižování zásob fosilních paliv a přijímání restriktivních ekologických opatření nutí vývojáře, konstruktéry a výrobce automobilů k zásadním konstrukčním změnám vedoucím k snižování spotřeby paliva.

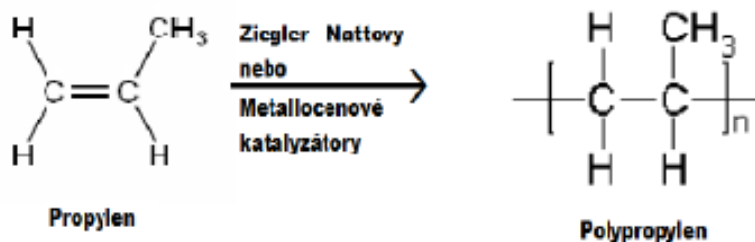
Jednou z možností, jak tohoto cíle dosáhnout, jsou koncepce vedoucí ke snížení hmotnosti automobilů (odhaduje se, že pokud dojde k snížení hmotnosti, u vozu střední třídy, o 100 kg, bude to znamenat úsporu 0,35 litru paliva na 100 km, což odpovídá snížení emisí CO₂ o cca 10 g na kilometr). Zásadní se v této problematice stává volba vhodných materiálů při výrobě vozu, vývoj materiálů s novými užitnými vlastnostmi, nízkou hmotností při zachování požadovaných vlastností, nízkou ekologickou zátěží při výrobě, zpracování a snadnou recyklovatelností. [1,3] Mezi materiály splňující tyto požadavky jednoznačně náleží také izotaktický polypropylen (PP), který nachází v automobilech uplatnění především jako materiál velkoplošných, rázově namáhaných dílů karosérie, jak vnějších (nárazníky, spoilery), tak i vnitřních (panel přístrojové desky, obložení kabiny). Stále širšímu uplatnění polypropylenových směsí přeje nejen široká variabilita jejich mechanických a estetických vlastností, ekonomická výhodnost jejich aplikací, ale také nízká hmotnost.

V současné době se spotřeba PP v automobilovém průmyslu pohybuje kolem 15 % celkové globální spotřeby (viz Graf 2), podíl polypropylenu na celkovém obsahu plastů v automobilu je 50 %. Dalšími perspektivami využití PP v automobilovém průmyslu jsou mimo možnosti náhrad kovů také náhrady klasických konstrukčních polymerů, v jeho modifikacích vyvinutých „na míru“ pro konkrétní aplikaci. [16]

Ve své práci jsem si vzala za cíl shrnout informace o zásadních modifikacích polypropylenu, jejichž využívání má v automobilovém průmyslu budoucnost, včetně uvedení příkladů konkrétních aplikací. Z technologického hlediska jsem svou pozornost zaměřila na aplikace materiálů zpracovávaných vstřikováním, jakožto nejrozšířenější technologii pro zpracování polypropylenu (viz Graf 4, Příloha 2). Vzhledem k významnému ekologickému přínosu, a tím velké budoucnosti, dále uvádím informace o výrobě a zpracování lehčeného PP ve formě polymerní pěny – EPP. Tento materiál, se svou výrazně nižší hustotou oproti jiným materiálům, může mít, díky svým aplikacím, zásadní vliv na snižování hmotnosti vozů a v konečném důsledku snížení negativního vlivu autodopravy na životní prostředí.

1 POLYPROPYLEN

1.1 Výroba polypropylenu



Obrázek 1: Polymerace polypropylenu [4]

1.1.1 Historie výroby PP

První polymeraci propylenu připravil vědec Marcellin Berthelot již v roce 1869 (reakce propylenu s kyselinou sírovou), jejímž produktem však byla nepoužitelná lepkavá sraženina.

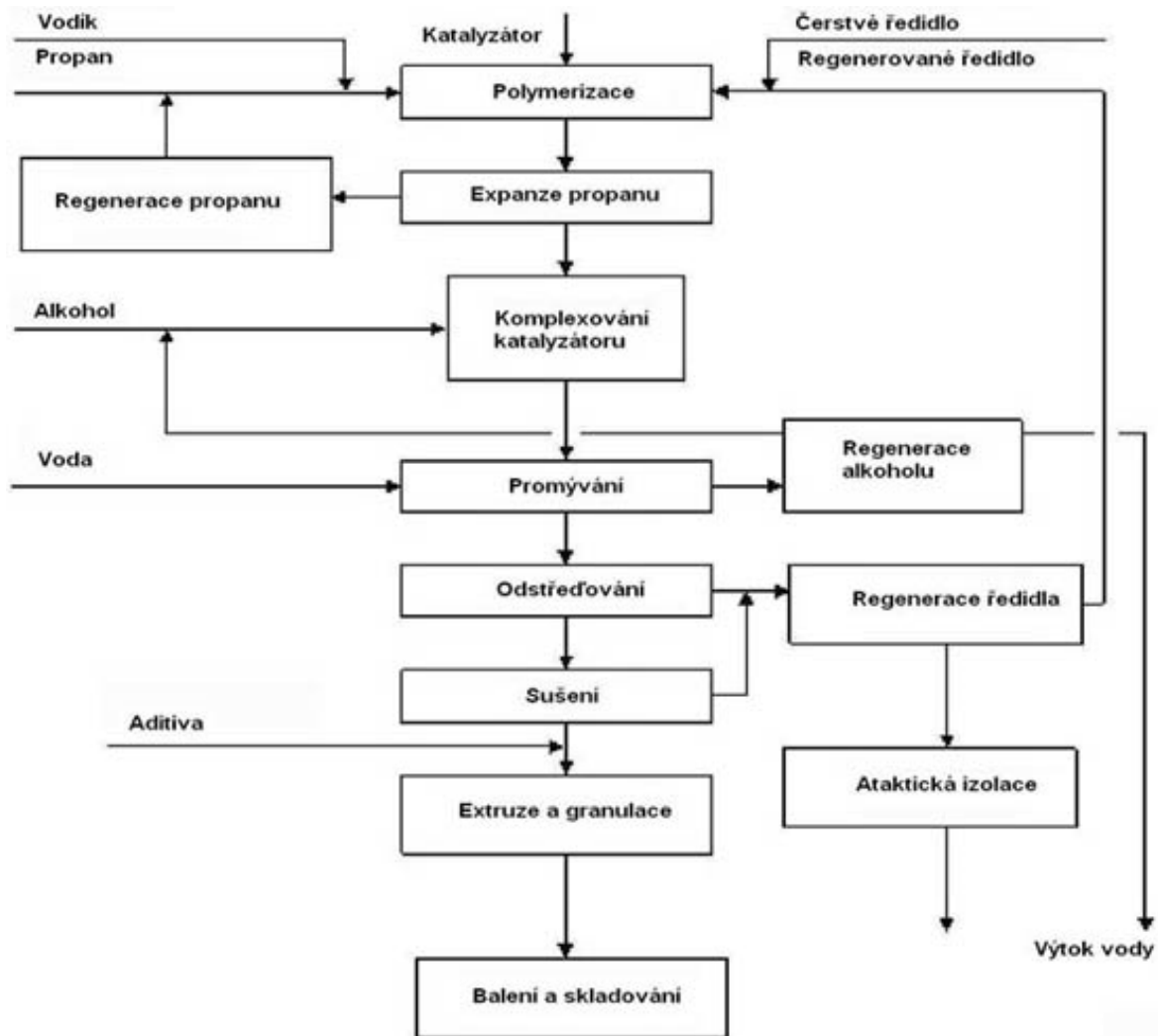
Zásadním mezníkem pro průmyslovou výrobu polypropylenu byl rok 1954, kdy dospěl Giulio Natta ke zjištění, že organokovové katalyzátory na bázi titanu a hliníku (Zieglerova typu) mohou polymerovat polypropylen na vysokomolekulární sloučeninu.

Další vývoj katalyzátorů probíhal mj. s cílem snížení ataktického podílu. Obsah ataktického podílu ovlivňuje negativně mechanické vlastnosti výsledného produktu a výrazně zhoršuje odolnost vůči fotooxidační degradaci PP. Pro úspěšné průmyslové aplikace polypropylenu je nutný minimální obsah izotaktického podílu 95%. [5]

Od 60. let 20. století prošel vývoj od katalyzátorů 1. generace, které dosahovaly nízké výťažky a produkovaly 5-10% ataktického podílu, až do současnosti, kdy jsou využívány nejmodernějšími katalyzátory na bázi metallocenů (např. methylaluminiumoxid). Oproti klasickým Ziegler-Nattovým katalyzátorům mají 10-100x větší katalytickou aktivitu, polymery připravené jejich pomocí mají užší distribuci molekulových hmotností, lepší mechanické vlastnosti. Obsah izotaktické složky je díky těmto katalyzátorům zvýšen až na více než 99 % [6,7]

1.1.2 Současná výroba PP

Příkladem průmyslové výroby PP je technologie aplikovaná firmou Unipetrol RPA (dříve Chemopetrol) v Litvínově (licence Amocco). Jedná se o suspenzní způsob výroby - polymerace probíhá v reaktoru při teplotách 50-80 °C a tlacích max. 2 MPa. Rozpouštědlem jsou nasycené uhlovodíky C6-C7 nebo zkapalněný monomer. Polypropylen tvoří malé částice suspendované v rozpouštědle. Vedlejším produktem je malé množství ataktického polypropylenu rozpuštěného v rozpouštědle. Suspenze se odvádí z posledního reaktoru po odstranění nezreagovaného propylenu (tento je následně recyklován). V moderních výrobcích PP v suspenzi probíhá polymerace homopolymerů a vzácněji kopolymerů v kapalném propylenu. [7]



Obrázek 2: Schéma suspenzní výroby polypropylenu [7]

1.2 Vlastnosti polypropylenu

Polypropylen je částečně krystalický, nepolární materiál, náležící do skupiny polyolefinů. Stupeň krystalinity výrazně ovlivňuje vlastnosti polypropylenu, se zvyšující se krystalinitou roste modul pružnosti, mez kluzu a pevnost v ohybu, chemická odolnost, klesá rázová houževnatost.

Teplota skelného přechodu je 0°C (platí pro čistý PP), teplota tání 170+-5°C. Tyto parametry omezují použitelnost PP v rozmezí nad bodem mrazu do 130°C

Polypropylen je vysoce chemicky odolný (kyseliny, zásady), má nižší odolnost vůči alifatickým a aromatickým rozpouštědlům. Vyznačuje se nižší korozi za napětí a má díky své nepolární struktuře dobré elektroizolační vlastnostmi. [4,8]

Tabulka 1: Vlastnosti jednotlivých stereoizomerů polypropylenu [5]

Vlastnost	Izotaktický	Syndiotaktický	Ataktický
Hustota (kg/m ³)	920 - 940	890 - 910	850 - 900
Teplota tání (°C)	165	135	-
Mez kluzu	vysoká	střední	Velmi nízká

1.2.1 Molekulární struktura

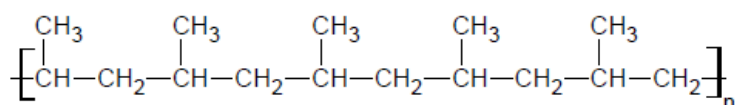
Molekulární struktura závisí na prostorovém uspořádání monomerních jednotek. Vzhledem k tomu, že jsou tyto jednotky nesymetrické, mohou být v makromolekule uspořádány různým způsobem. Z tohoto hlediska dělíme polypropylen:

Izotaktický PP (iPP) - methylové skupiny jsou pravidelně umístěny pouze na jedné straně hlavního uhlíkového řetězce. Makromolekula izotaktického polypropylenu má tvar šroubovice, jeden její závit je tvořený třemi monomerními jednotkami. Šroubovice mohou tvořit čtyři geometrická uspořádání (pravotočivé, levotočivé, u obou může být methylová skupina směřována šikmo vzhůru, nebo dolů). Toto uspořádání pak následně umožňuje ukládání šroubovic do krystalických oblastí.

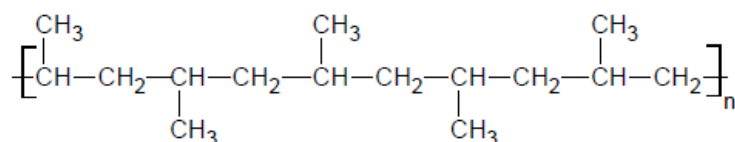
Syndiotaktický PP (sPP) - methylové skupiny se pravidelně střídají po obou stranách řetězce. Díky této pravidelnosti je také schopen krystalizace. sPP má oproti iPP vyšší ohebnost řetězce, což umožňuje vznik molekulárních zapletenin v tavenině a následně zlepšení

některých vlastností (odolnost UV záření, elasticita, odolnost proti přetržení). Dosud však nedošel takového uplatnění jako iPP.

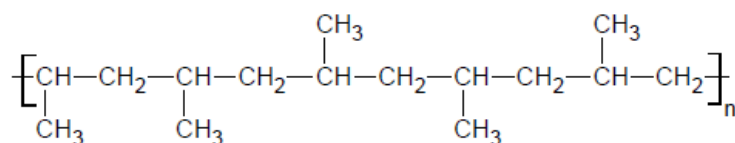
Ataktický PP - methylové skupiny se podél hlavního řetězce střídají nahodile. Ataktický PP je zcela amorfní povahy, rozpustný v široké škále rozpouštědel, je lepivý a má nízkou molekulovou hmotnost. Z těchto důvodů o něm nelze hovořit jako o konstrukčním materiálu. Jelikož snižuje krystalinitu vyráběného iPP, je v průmyslové výrobě polypropylenu cílem snížit jeho obsah na minimum. [4,5]



Izotaktický Polypropylen



Syndiotaktický Polypropylen



Ataktický Polypropylen

Obrázek 3: Konfigurace polypropylenu [4]

1.2.2 Zpracovatelské vlastnosti PP

Z pohledu zpracovatele a následného uživatele výsledných produktů je nutno zmínit také další vlastnosti polypropylenu, které pozitivně ovlivňují ekonomiku a proveditelnost výroby a rozšiřují jeho aplikační možnosti.

Velmi nízká navlhavost: PP má nasákavost pod 0,1%, granulát tedy nemusí být ve výrobním závodě balen do speciálních bariérových obalů, zpravidla odpadá nutnost předsušení materiálu před zpracováním (pouze v případě uskladnění ve špatných klimatických podmínkách je nutno odstranit povrchovou vlhkost), je minimalizováno nebezpečí vzhledových vad a zhoršení mechanických vlastností dílu zapříčiněných vlhkostí materiálů (vyplyvající především z technologické nekázně). Výjimku tvoří materiály plněné talkem (neboli mastkem - anorganické plnivo na bázi křemičitanů), kde je předsušení nutné, není však nezbytné použití vysoce výkonných sušáren na suchý vzduch, nebo vakuových sušáren.

Relativně malá energetická náročnost při zpracování ve srovnání s ostatními plasty: polypropylen vyžaduje nízké zpracovatelské teploty (od 200°C) a nízké teploty zpracovatelských nástrojů (20-60°C)

Teplotní stabilita při zpracování: relativně dlouhá výdrž při zpracovatelské teplotě; odolnost smykovému namáhání (možnost použít vysoké otáčky šneku) [10]

Nabídka typů PP s vysokým indexem toku: např. Mosten MA 760 (60g/10 min dle ISO 1133) umožňuje vyrábět dílce s dlouhou dráhou toku taveniny a tenkostěnné dílce [10]

Snadná barvitelnost: PP se snadno probarvuje; vzhledem k nízkým teplotám při zpracování nedochází k degradacím pigmentů; barevné koncentráty určené pro barvení PP jsou levné a v široké škále odstínů, nevyžadují vysoké dávkování

Recyklace: PP snáší několik recyklačních cyklů bez výrazného snížení mechanických vlastností, snadné zpracování vlastního výrobního odpadu - recyklátu, který může být, dle konkrétní aplikace, přidáván až ve 100 % podílu. Bezproblémová je výroba a zpracování regranulátu. [9]

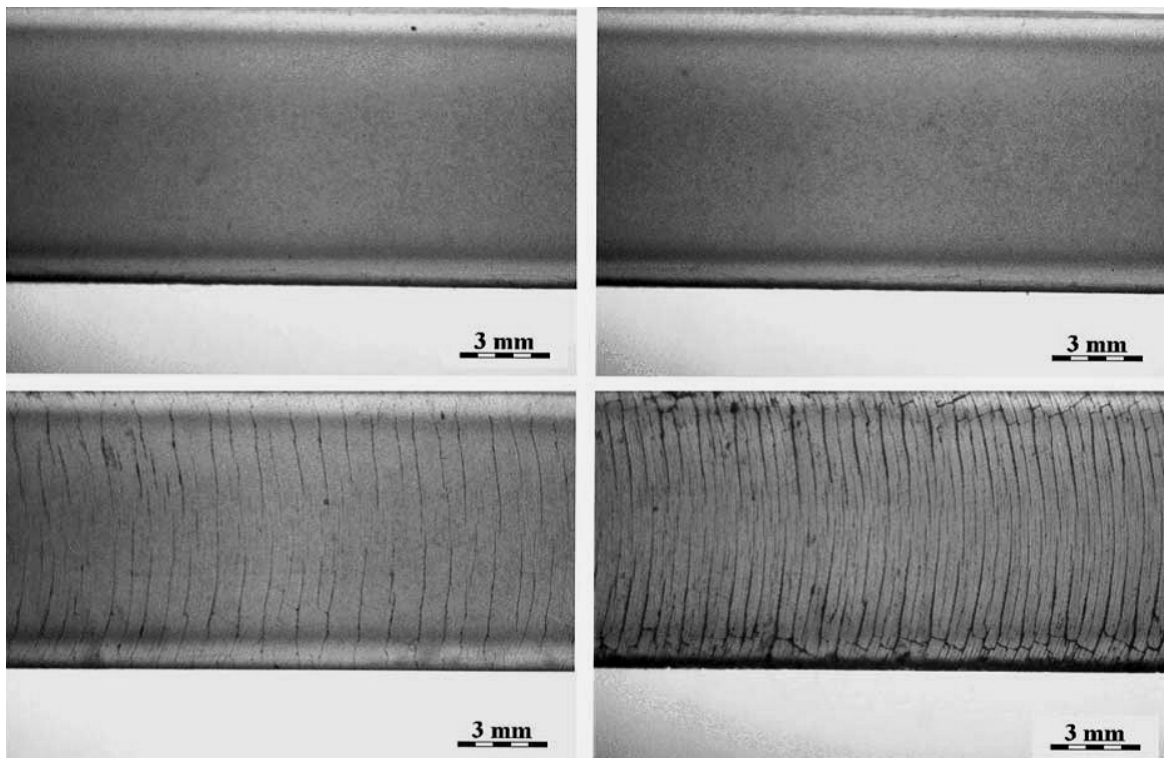
Tabulka 2: Srovnání některých vlastností materiálů používaných v automobilovém průmyslu [11]

TYPICAL VALUES	Density	E-Modulus	CLTE
Materials	kg/m ³	GPa	mm/m/°C x10 ⁻⁶
Steel	7800	210	12
Aluminum	2800	72	24
Wood (Pine)	550	10/0.5	4/30
Polyamide (PA6)	1130	2	95
Polycarbonate	1200	2.5	60
ABS	1070	3	85
Polypropylene	905	2	180
PP EPDM Talc(20)	1040	1.5	50

Polypropylen má vedle svých předností také vlastnosti omezující jeho aplikace. Můžeme mezi ně zařadit: nízkou tuhost, nízkou houževnatost za teplot pod bodem mrazu, anizotropní, relativně velké smrštění výrobku a z toho vyplývající tendence k tvorbě propadlin a lunkrů (dutin v tvořících, které se tvoří v místech s větším množstvím materiálu, např. silná stěna vylisku), tendence k tvorbě studených spojů, malá odolnost vůči poškrábání,

nutná úprava povrchu před potiskem, lakováním apod., vysoký součinitel tepelné roztažnosti (CLTE) ve srovnání s jinými materiály. [11]

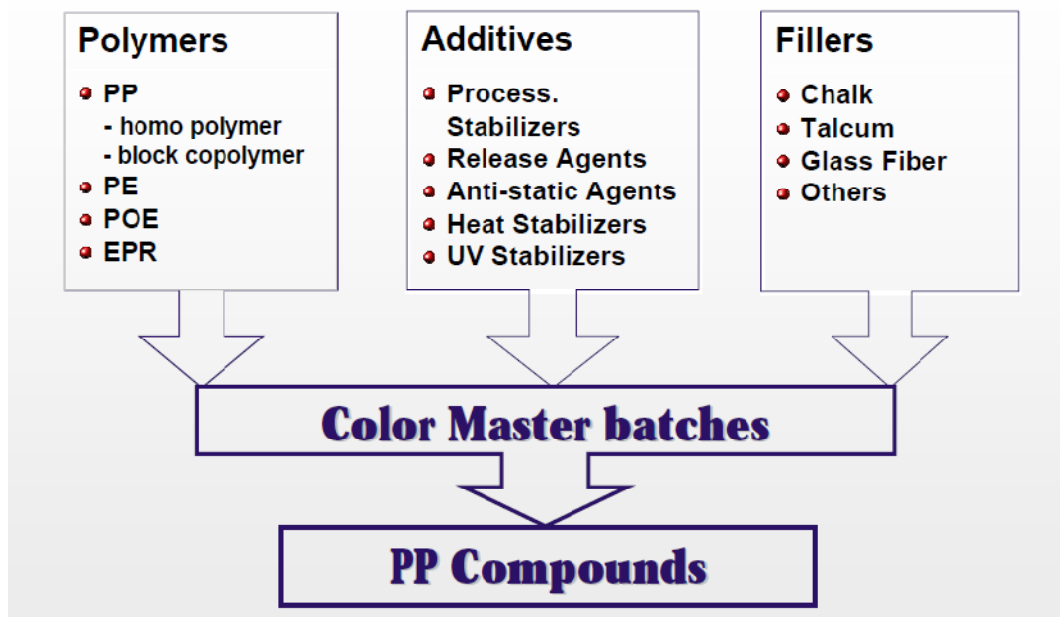
Degradace polypropylenu je z aplikačního hlediska významným negativním jevem. Probíhá vlivem tepla (např. při zpracování) a UV záření přítomného ve slunečním světle. Obvykle na terciálním uhlíku vzniká vlivem prostředí radikál, který dále reaguje s kyslíkem za vzniku aldehydových a karboxylových skupin. V případě extrémních aplikací se tato oxidace projevuje prakticky jako síť jemných trhlin, prohlubujících se s časem expozice. Příklad degradace vlivem UV záření můžeme vidět na mikroskopických snímcích na Obrázku 4. [12]



Obrázek 4: Vývoj povrchových trhlin na vzorcích PP, které byly vystaveny UV záření 24h (vlevo nahoře), 96h (vpravo nahoře), 264h (vlevo dole), 720h (vpravo dole). [13]

Na Obrázku 5 můžeme vidět způsoby modifikací PP, díky kterým se polypropylen stává materiálem konstrukčním, zvládajícím nejnáročnější aplikace v automobilovém průmyslu. Můžeme zde zařadit kopolymerace a blendy, aditivace a aplikace plniv.

Modification of Polypropylene Ingredients



Obrázek 5: Příklady možných modifikací PP [11]

1.3 Zpracování polypropylenu

Polypropylen lze zpracovávat téměř všemi technologiemi určenými pro zpracování plastů. Pro aplikace v automobilovém průmyslu je jednoznačně nejpoužívanější technologií vstříkování. Výhodou této technologie jsou nízké výrobní náklady při výrobě velkých sérií, opakovatelnost, dostupnost technologických zařízení, automatizace a robotizace, velká variabilita výsledných produktů, možnost zaplastování kovových zálisků, fólií, možnost použití neomezené palety barev, vzhledových dezénů atd.

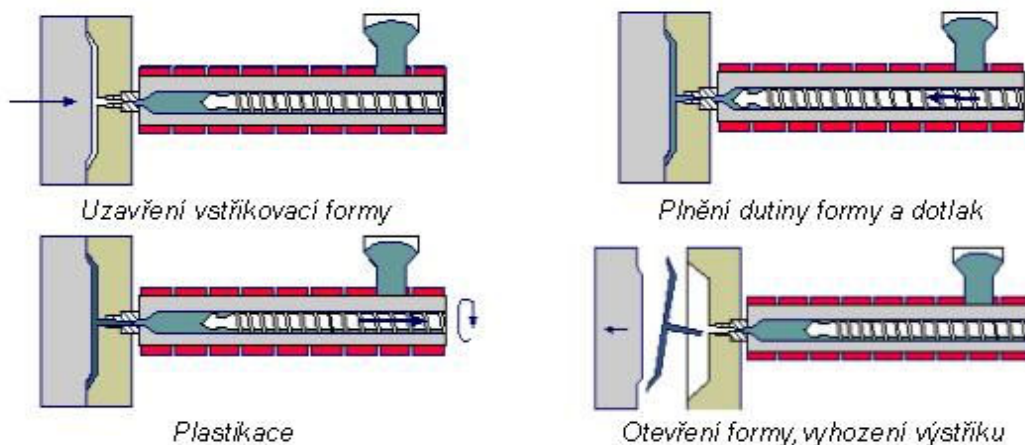
1.3.1 Technologie vstříkování

Technologie vstříkování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka materiálu z komory lisu vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek.

Výrobní proces probíhá v následujících krocích:

1. Dávkování požadovaného objemu plastu do plastifikační komory.
2. Zahřívání a plastifikace. Parametry ovlivňující tuto fázi: teplota taveniny, otáčky šneku, zpětný tlak

3. Plnění uzavřené formy taveninou. Parametry ovlivňující tuto fázi: vstřikovací rychlost a tlak, teplota taveniny a formy, viskozita taveniny, přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak, tlakový průběh, rychlost a doba dotlaku
4. Ochlazení taveniny ve formě. Parametry ovlivňující tuto fázi: doba chlazení, teplota formy, teplota výstřiku při vyhození z formy
5. Otevření formy, vyjmutí vylisku a uzavření formy [9]



Obrázek 6: Fáze vstřikovacího cyklu [14]

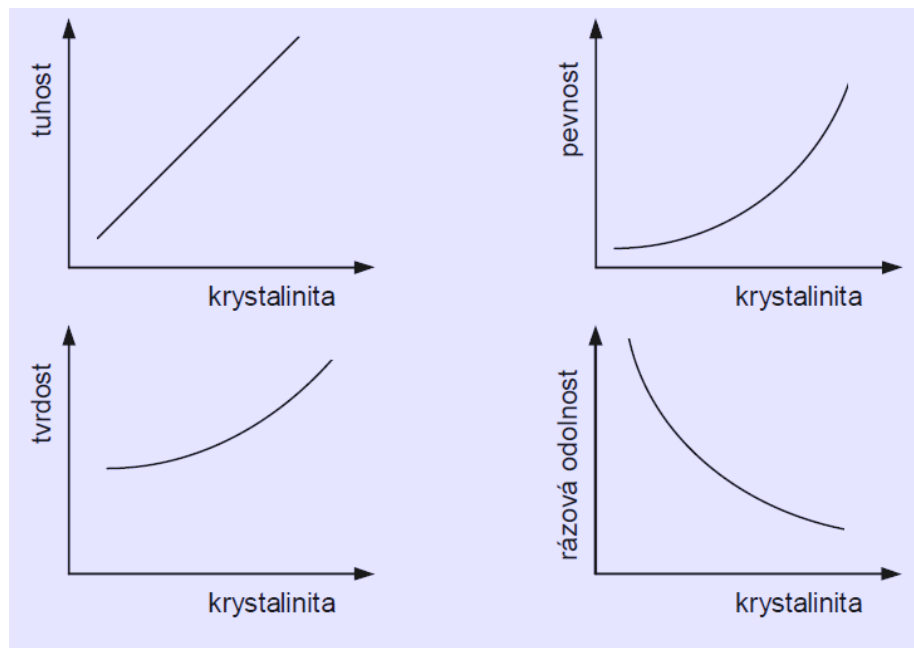
Samotné zpracování PP je obvykle bezproblémové, je však nutno dodržet konkrétní podmínky dané typem PP a doporučením výrobcem granulátu, např. v případě zpracování typů PP aditivovaných retardéry hoření musí být použity nižší otáčky šneku z důvodu nebezpečí rozkladu retardérů, u typů plněných vlákny je nutno co nejvíce zamezit lámání vláken během plastifikace (nižší zpětný tlak a otáčky šneku).

Obecnou podmínkou je dodržení zpracovatelských teplot do 280°C z důvodu nebezpečí termooxidačního odbourávání. [8,9]

Dále je nutno, při zpracování plněných polypropylenů, zohlednit skutečnost, že tavenina, má vlivem obsahu plniva horší tekutost, což způsobuje nutnost práce s vysokými vstřikovacími tlaky a vyššími teplotami taveniny. Tvrdá plniva, především skleněná vlákna, způsobují oděr šneku, pracovní komory, trysky, vtokových kanálů a vlastní tvarové dutiny formy. Proto je nutno počítat s jejich vyšším opotřebením.

1.3.2 Vliv zpracovatelských podmínek na krystalinitu výsledného výlisku

Podíl krystalické fáze výlisku z PP ovlivňuje strukturu a tím i výsledné mechanické vlastnosti výstřiku (viz Graf 1). Je proto snahou docílit, během zpracování, vysokého stupně krystalinity. Tato hodnota může být jak pozitivně, tak i negativně ovlivněna reálnými podmínkami nastavenými během zpracovatelského procesu.



Graf 1: Vliv podílu krystalinity na vlastnosti dílu z PP [15]

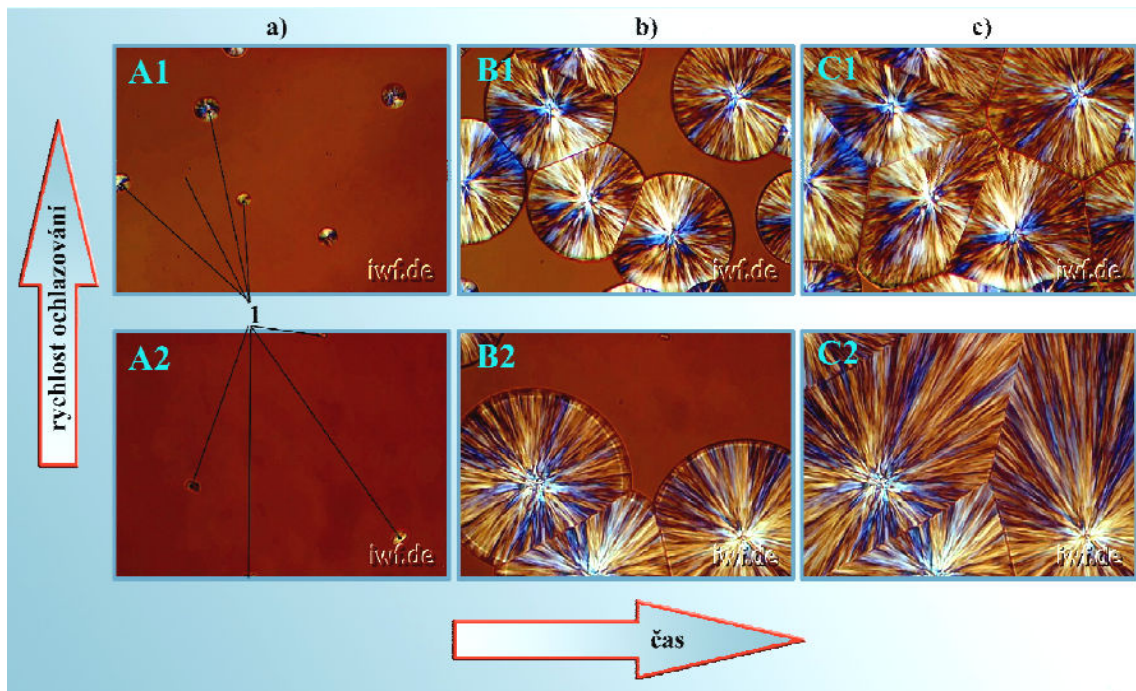
Zásadními podmínkami krystalizace jsou čas, teplota a místo na dílu, kde probíhá krystalizace. Gradient rychlosti ochlazování má zásadní vliv na nukleaci a vznik krystalů, na jejich růst.

Pomalé chlazení: nízký gradient chlazení a vysoká teplota stěn tvarové části formy vyvolávají vysoký stupeň krystalizace. Tomu odpovídají lepší mechanické vlastnosti, ale i vysoké smrštění výlisku. V tomto případě však již nedochází k výraznému dodatečnému smrštění.

Rychlé chlazení: rychlý pokles teploty taveniny způsobuje zpomalení nukleacích procesů, dochází k nižšímu stupni krystalizace, menšímu smrštění. Výlisky však mají horší mechanické vlastnosti a hrozí nebezpečí dokrystalizace, a tedy dodatečnému smrštění.

Dalším problémem může být nerovnoměrná temperance formy, díky níž dochází k lokálním rozdílům v krystalizaci. Následkem je pak výlisek, který nemá ve všech mís-

tech stejné mechanické vlastnosti. Kromě podmínek krystalizace ovlivňuje její stupeň také přítomnost aditiv – nukleacích činidel (heterogenní nukleace), která jsou součástí komerčně dodávaných granulátů. [9]



Obrázek 7: Průběh krystalizace PP v závislosti na teplotě [15]

Na Obrázku 7 můžeme sledovat průběh krystalizace PP – jemnozrnější struktury bylo dosaženo vlivem rychlejšího chlazení (snímky A1 až C1). Naopak vznik menšího množství větších krystalů je podmíněn pomalejším a delším chlazením (A2-C2). [15]

Na mechanické vlastnosti výlisků vyráběných vstříkováním má výrazný vliv podíl 3 složek vznikajících na průřezu tloušťky stěny výlisku, tzv. skin-core effect:

1. Povrchová vrstva, která vzniká na styku taveniny s povrchem tvarové části formy vlivem rychlého ochlazení taveniny. Vzniká zde větší množství krystalizačních zárodků, ale neprobíhá již růst sférolitů.
2. Přechodová vrstva, kde působí současně vliv rychlejšího odvodu tepla z povrchové vrstvy a pomalejšího odvodu tepla ze středu odvodu tloušťky stěny.
3. Jádro, kde dochází k nejpomalejšímu odvodu tepla, díky němuž dochází k nárůstu objemnějších sférolitů. [15]

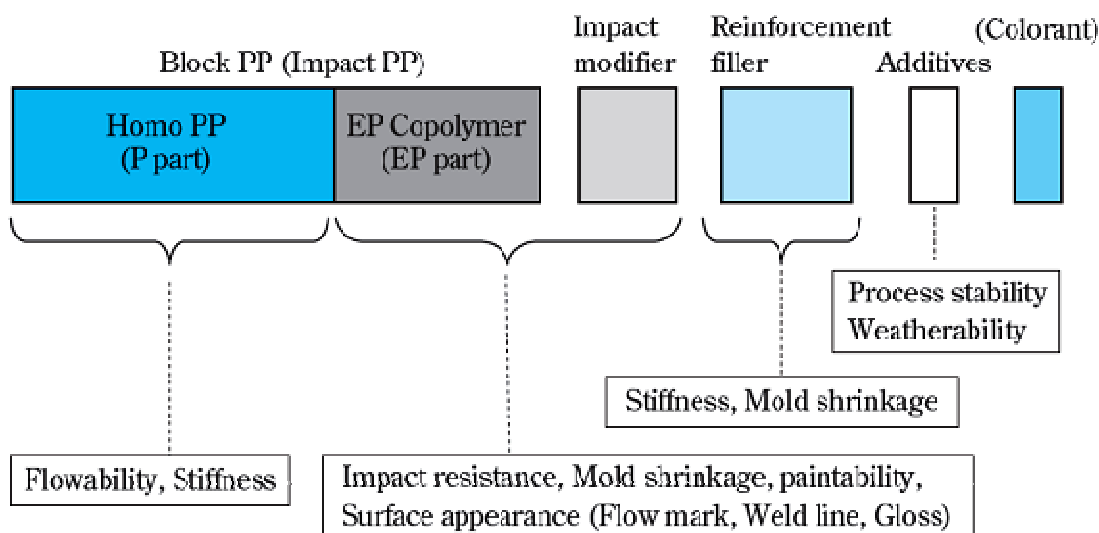
2 KOMPOZITY A SMĚSI POLYPROPYLENU

V současné době již byl prakticky dokončen vývoj nových polymerů. Výzkum se proto zaměřuje na hledání nových modifikací stávajících materiálů, což se týká také polypropylenu. Výsledkem tohoto vývoje je objevování stále větších možností pro jeho uplatnění v automobilovém průmyslu.

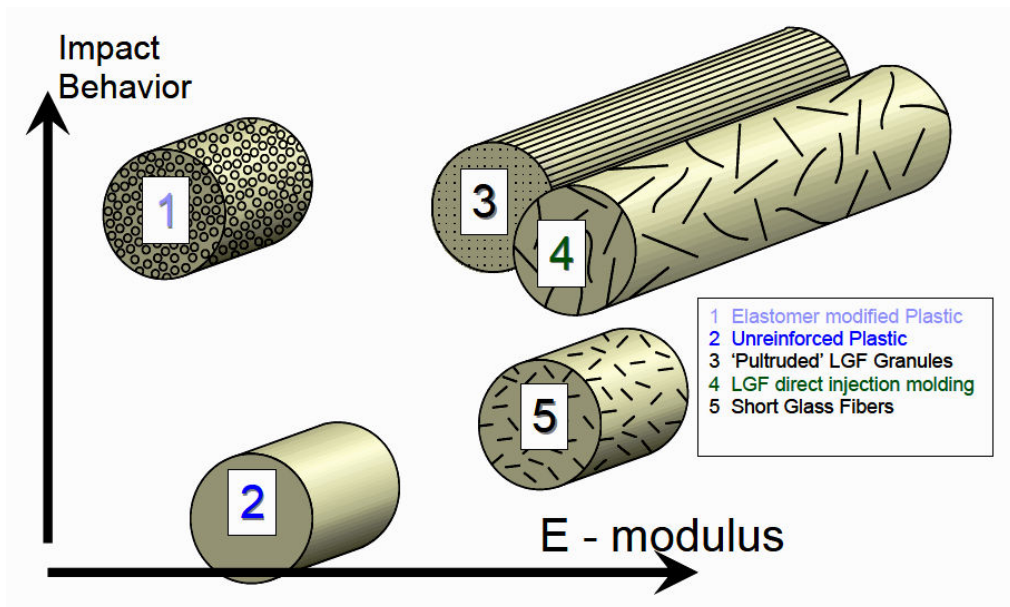
Konkrétní modifikace a úpravy vlastností rozdělují aplikační možnosti polypropylenu, z hlediska umístění v automobilu. Jednotlivé skupiny aplikací mají své specifické požadavky na vlastnosti materiálů. Na Obrázku 8 můžeme vidět schéma složení kompaundů polypropylenu a vlastnosti, které můžeme jejich složením ovlivnit.

Pro exteriérové aplikace je to dobrá zpracovatelnost, tekutost (vysoký ITT je nutný pro výrobu velkoplošných dílců), minimální tvorba povrchových vad, schopnost lakování, tepelná stabilita, rázová houževnatost při nízkých teplotách, UV stabilita.

Pro interiérové aplikace je to odolnost povrchu dílů proti poškrábání, nízký zápach a emise, střední až vysoká rázová houževnatost, vyvážený poměr pevnosti a tuhosti, rozměrová stálost, nízký lesk, tlumení zvuku a vibrací. V poslední době nabývají na významu také PP aplikace „pod kapotou“, pro něž je nutná vysoká tepelná odolnost, odolnost agresivním kapalinám, pevnost a rozměrová stabilita, odolnost proti hoření [11]



Obrázek 8: Základní složení kompaundů pro automobilový průmysl [16]



Obrázek 9: Vliv druhu modifikace na mechanické vlastnosti modifikovaného PP [17]

2.1 Kopolymery PP

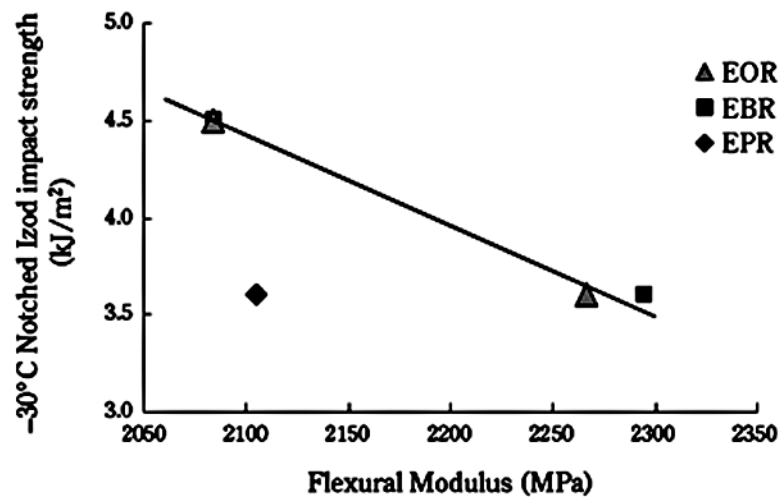
2.1.1 Kopolymery s alifatickými uhlovodíky (C3-C18)

Mezi nejpoužívanější patří kopolymery s etylenem, které se připravují jako statistické (obsah etylenu do 5 %), nebo blokové (3-30%). Hlavním přínosem kopolymerace je snížení teploty skelného přechodu (T_g) polypropylenu, čímž se rozšiřují aplikační možnosti v podmínkách pod bodem mrazu. Dochází k zvýšení rázové houževnatosti, za současného snížení modulu pružnosti, úměrné obsahu etylenu. [8].

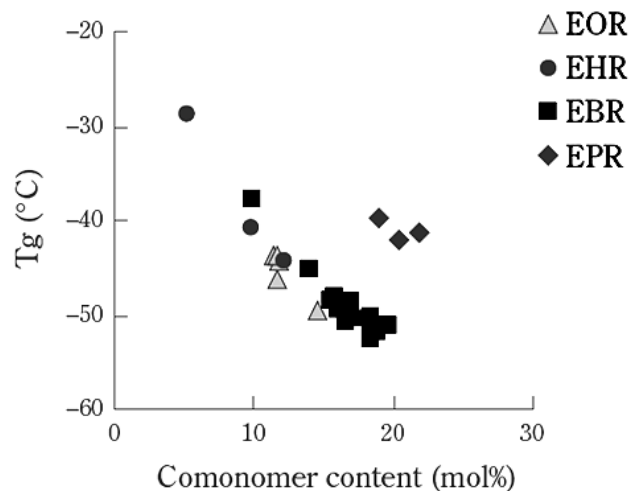
Vliv některých komonomerů můžeme vidět v Grafech 2 a 3.

Aplikace kopolymerů

V praxi je zavedena široká škála aplikací, u kterých je podmínkou možnost používání pod bodem mrazu, chemickou odolností a rázovou houževnatostí. Neplněné kopolymery se používají např. na výrobu těles autobaterií, kopolymery modifikované kaučukem, plněné skleněným vláknem, minerálními plnivými, jako například exteriérové ochranné prvky na vozidle – boční lišty na dveřích vozů, nárazníky.



Graf 2: Vliv druhu komonomeru na E-modul a vrubovou houževnatost [16]



EOR: Ethylene-octene copolymer
 EHR: Ethylene-hexene copolymer
 EBR: Ethylene-butene copolymer
 EPR: Ethylene-propylene copolymer

Graf 3: Vliv obsahu komonomerů na Tg kopolymeru PP [16]

2.1.2 Termoplastické polyolefiny – TPO

Termoplastické polyolefiny náleží do skupiny termoplastických elastomerů – jedná se o polymerní látky, které za běžných podmínek vykazují vlastnosti elastomeru, ale jsou zpracovatelné jako termoplasty. Elastické vlastnosti TPE umožňuje jejich struktura, kterou tvoří tvrdé a měkké domény. Základem TPO je polypropylen spolu s nejčastěji používanými etylen/propylenovými kaučuky (EPM) nebo etylen/propylen/dienové kaučuky (EPDM).

Vlastnosti TPO

jsou kombinací vlastností PP (poskytuje tuhost, pevnost a teplotní odolnost) s vlastnostmi kaučuků (poskytují pružnost a houževnatost). Vlastnosti konkrétního typu jsou dány poměrem jednotlivých složek. TPO jsou vyráběny v různých stupních tvrdosti (ShA-ShD). Tepelná použitelnost je limitována bodem tání PP, proto je většina TPO je použitelná do 140°C. Pro dlouhodobé expozice při vyšších teplotách a proti stárnutí je nutná stabilizace. Pro zvýšení tuhosti jsou k TPO přidávány také minerální plniva. [18,19]

Aplikace TPO

Typickými aplikacemi v automobilovém průmyslu jsou nárazníky a palubní desky. V případě přidání změkčovadel je možno TPO aplikovat ve formě fólií, příkladem jsou napodobeniny kůže v interiérovém prostoru. Umělé kůže z TPO jsou vhodnou náhradou za dříve používané PVC kůže. Hlavní výhodou TPO kůží je vyšší odolnost proti stárnutí, kůže časem nekřehne a je měkká i za nízkých teplot. Dalším přínosem je snadná recyklovatelnost. Vyrábí se pozitivním, nebo negativním tvářením TPO fólií, další, relativně mladou technologií pro její výrobu je odlévání z TPO prášků. [18]

Nárazník vozu VW Touareg pro tuto aplikaci byl použit TPO s 10% minerálního plniva. Zadání zákazníka bylo získat materiál s velmi nízkou tepelnou roztažností a vyřešit požadavek na díly s nulovou rozměrovou tolerancí. Obdobně byl aplikován minerálem plněný TPO na nárazník vozu **VW Caddy**. U této aplikace byl požadován vysoký ITT a snížení doby cyklu. Vzhledem k tomu, že nárazník je aplikován nelakovaný, byl kladen důraz na vyloučení výskytu vzhledových vad („tygří pruhy“) z důvodu nestabilního toku taveniny. [20]



Obrázek 10: Příklad aplikace TPO – nárazník vozu VW Touareg [20]



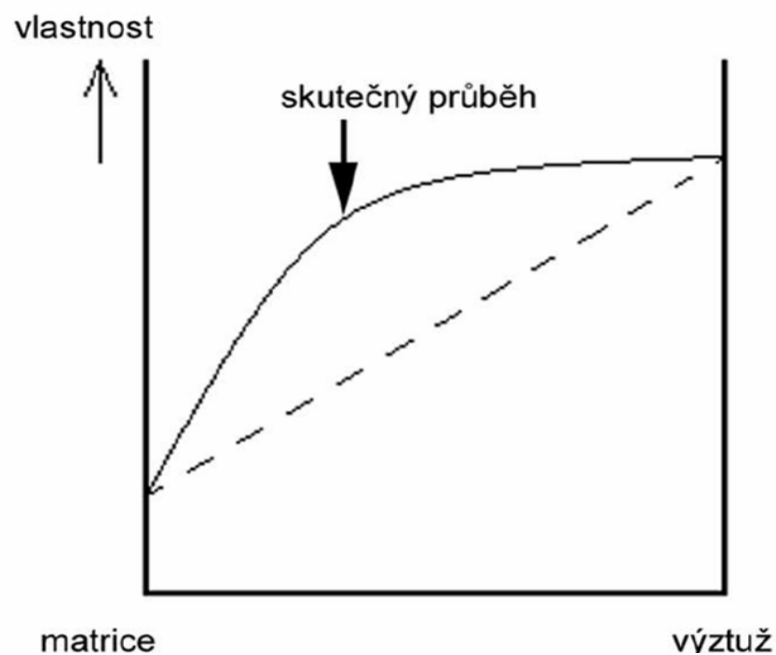
Obrázek 11: Příklady aplikací TPO v interiéru [18]

2.2 Kompozity PP

Původní cíl výroby kompozitů, zlevnění materiálu, je již dnes překonán a zásadním požadavkem na plniva se tak stalo zlepšení vlastností PP, jako jsou tuhost, pevnost, rozměrová stabilita, tepelná stabilita, nehořlavost atd.

Kompozity jsou vícesložkové materiály složené ze dvou či více fází, které se liší fyzikálními, mechanickými a chemickými vlastnostmi. Matrice je spojitou fází kompozitu (v tomto případě PP), nespojitou fází tvoří plnivo. Plnivo je nositelem výrazně lepších vlastností (např. pevnost, modul pružnosti, tvrdost apod.) a jejím přidáním do matrice dojde k pozitivní změně vlastností získaného kompozitu. Specifickou vlastností kompozitu je tzv. synergismus (viz Graf 4) - vlastnosti kompozitu jsou lepší, než součet vlastností jednotlivých složek. [21,25]

Mezi nejpoužívanější plniva v automobilovém průmyslu můžeme zařadit: uhličitán vápenatý, talek, skleněná vlákna a kuličky, uhlíková vlákna, wollastonit, slídu, nanoplňniva a v poslední době stále více používaná přírodní plniva.

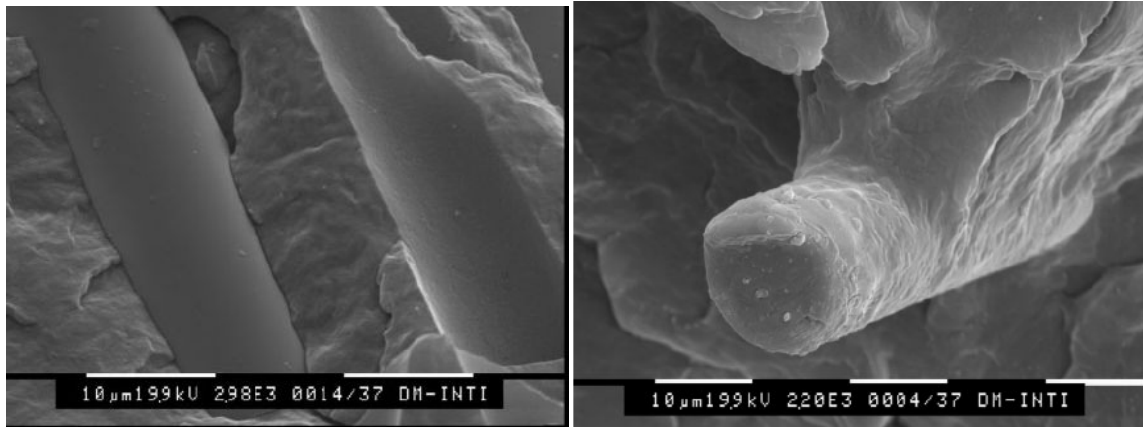


Graf 4: Synergické chování složek kompozitu [21]

2.2.1 Kompatibilizátory

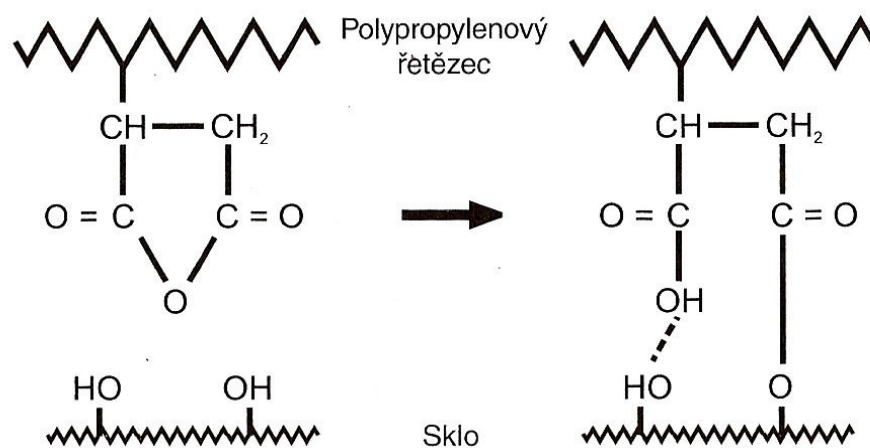
Vlastnosti kompozitů jsou zdatně ovlivněny vzájemnou adhezí mezi plnivem a polymerní matricí. Při nedostatečné adhezí komponent dochází k poklesu mechanických vlastností v řádu desítek procent, neboť nedochází k účinnému přenosu napětí mezi polymerem a matricí. Navíc materiál plniva není dostatečně chráněn před poškozením a dochází také ke zvýšení navlhavosti materiálu. U polypropylenu je adheze na plniva problematickou oblastí vzhledem k nepolárnosti makromolekul PP. Řešením je tzv. kompatibilizace, která je uskutečněna roubováním polárních skupin do polymerního řetězce, využitím kopolymerů, úpravou povrchu plniva atd. Příkladem úpravy polypropylenu, zvyšující adhezí k plnivům, je **roubování řetězce anhydridem kyseliny maleinové (MA)**. Takto vzniklý kopolymer je schopný interagovat s polárními plnivy pomocí svých bočních skupin. [22]

Kompatibilizátory pro částicová plniva mají primárně za úkol zabránit jejich aglomeraci (ovlivňuje na reologii a mechanické vlastnosti). Vhodnými kompatibilizátory jsou titanáty, které také zlepšují adhezí mezi matricí a plnivem, mění hydrofobitu a snižují viskozitu systému s plnivem. [25]



Obrázek 12: Snímky ze SEM – kompozit plněný 30 % GF (zleva: bez přidavku kopolymeru; s přidavkem 10 hm. % PP-g-MA) [23]

Kopolymer PP-g-MA má uplatnění pro široké spektrum plniv. Používá se v kompozitech se skelnými vlákny, přírodními vlákny, talkem, jílem atd. V případě použití nepolárních plniv je potřebná také jejich povrchová úprava. Ta je zajištěna například oxidací, reakcí s hydroxidem a následným vznikem – OH bočních skupin, nebo navázáním jiných polárních funkčních skupin. Takto ošetřené povrchy plniv mají znatelně vyšší adhezi ke kopolymeru PP-g-MA. Na mikroskopickém snímku (Obrázek 12) můžeme vidět výrazný rozdíl v adhezi mezi matricí a plnivem. Současně bylo, v případě modifikace MA, ohybovými a tahovými zkouškami zjištěno zlepšení mechanických vlastností o 30-39 %, v případě houževnatosti o 86 %. [22,23]

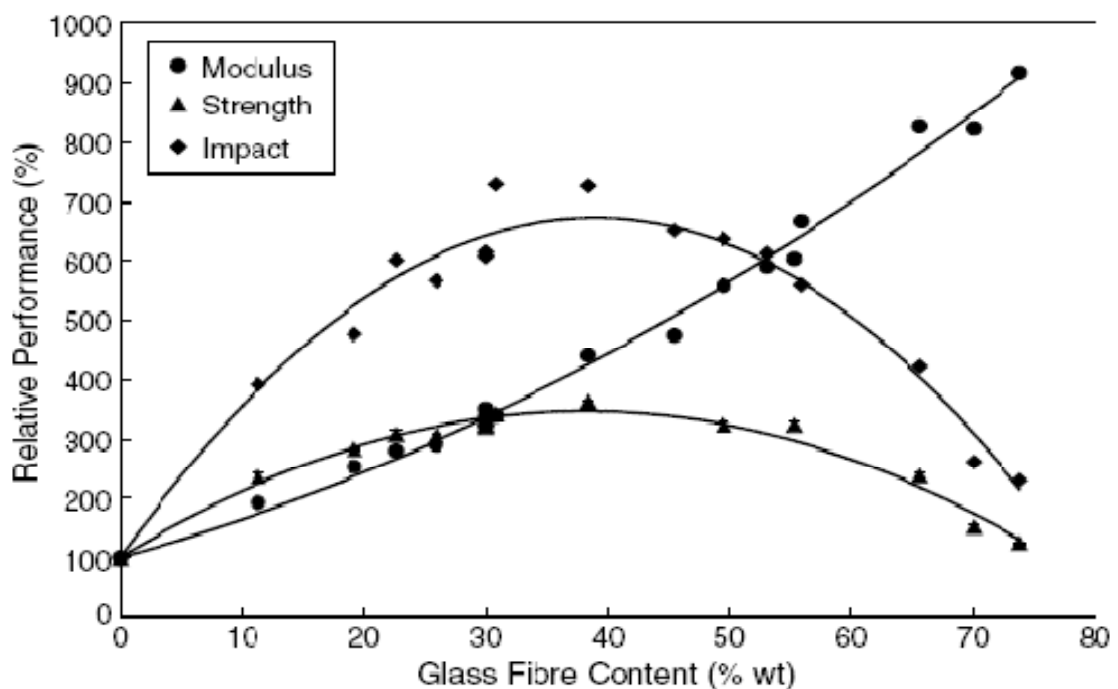


Obrázek 13: Princip vazby mezi povrchovou vrstvou skla a PP řetězcem s naroubovaným PP-g-MA [24]

2.2.2 Polypropylen plněný skleněným vláknem

Skleněná vlákna patří mezi nejrozšířenější plniva polypropylenu. Průměr vláken je 3,5-24 μm . Pro plnění plastů se používají vlákna vyráběná z E-skloviny (bezalkalická, nejčastěji používaná) a S-skloviny (o 70 % vyšší pevnost). Před kompaundací s polymerem se vlákna opatřují apretací, která chrání povrch vláken před poškozením. [24]

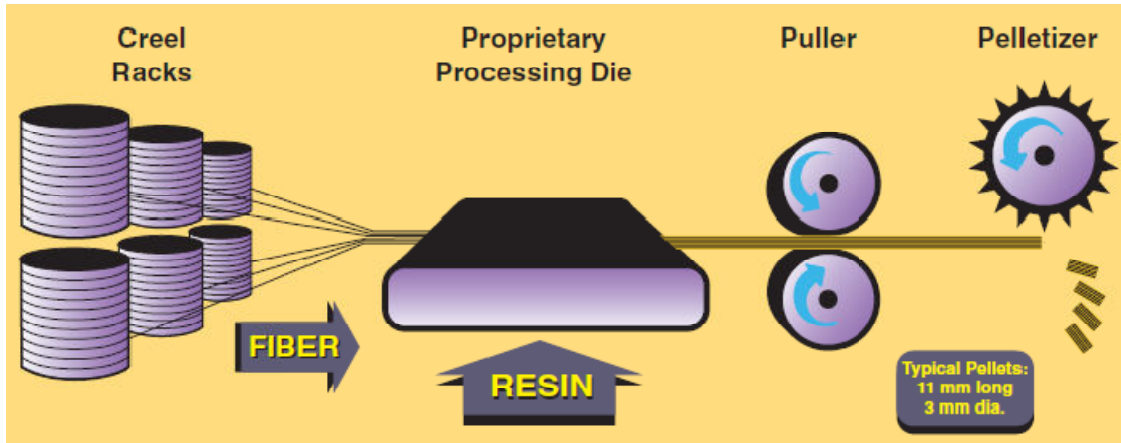
Obsah vláken: v praktických aplikacích je běžně používáno 20-60 % plnění. Jak vidíme v Grafu 5, s rostoucím obsahem skleněného vlákna vzrůstá modul pružnosti. V případě pevnosti a rázové houževnatosti však toto platí zhruba do 40 % obsahu plniva. [24,25]



Graf 5: Změna vlastností kompozitu s obsahem skleněných vláken [25]

Krátká skleněná vlákna jsou označována jako GF, nebo SGF, délka vláken v granulátu je cca. 3 mm. Hlavním přínosem plnění krátkým vláknem je zvýšení modulu pružnosti a zvýšení teplotní odolnosti, která se může blížit až k teplotě tání.

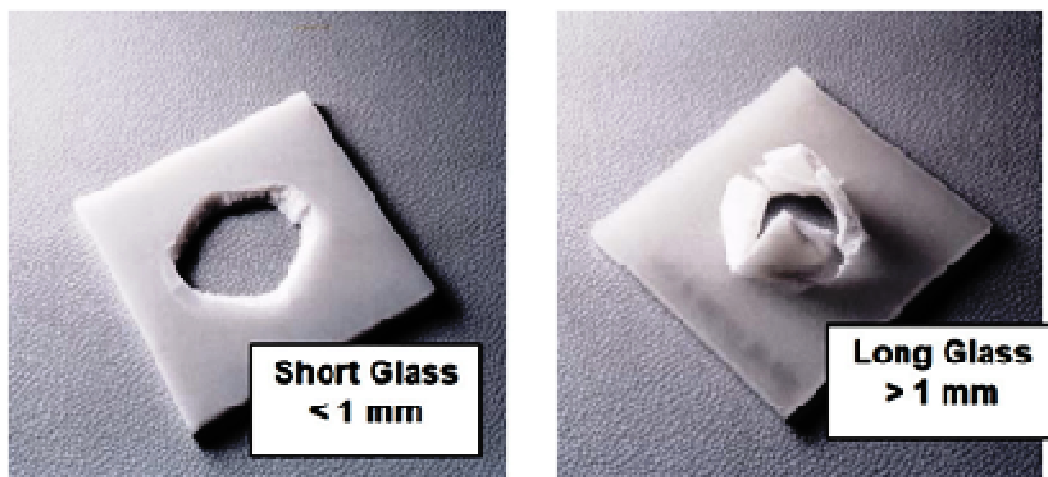
Dlouhá skleněná vlákna, označována jako LGF, jsou dodána do granulátu výrobním postupem, nazývaným pultruze, což je kontinuální způsob výroby, při němž je nekonečné vlákno vtlačováno do matrice, po ochlazení je nasycené vlákno sekáno na granule o délce cca 10 mm, což odpovídá také délce vlákna. Princip výroby můžeme vidět na Obr. 14.



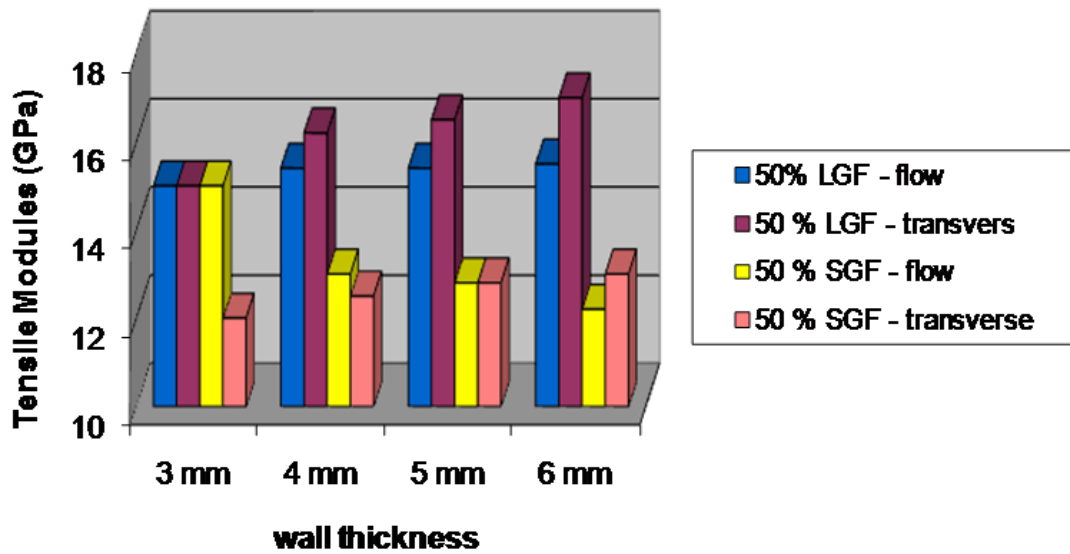
Obrázek 14: Princip výroby granulátu PP+LGF [26]

Na rozdíl od krátkých skleněných vláken, nedochází při vstřikování u materiálů plněných LGF k ukládání vláken ve směru toku taveniny, ale k vzniku trojrozměrné struktury (kostry dílu). Tato skutečnost má zásadní vliv na vlastnosti dílů vyráběných s plnivem LGF, především anizotropie smrštění a rozměrové stability, rázovou houževnatost, tepelnou odolnost, odolnost proti šíření trhliny, výborné creepové vlastnosti (tečení za studena), což je významné při dlouhodobém použití za vysokých teplot. Pozitivní vliv na modul pružnosti, v případě plnění LGF, roste s tloušťkou stěny vylisku (Graf 6) [23].

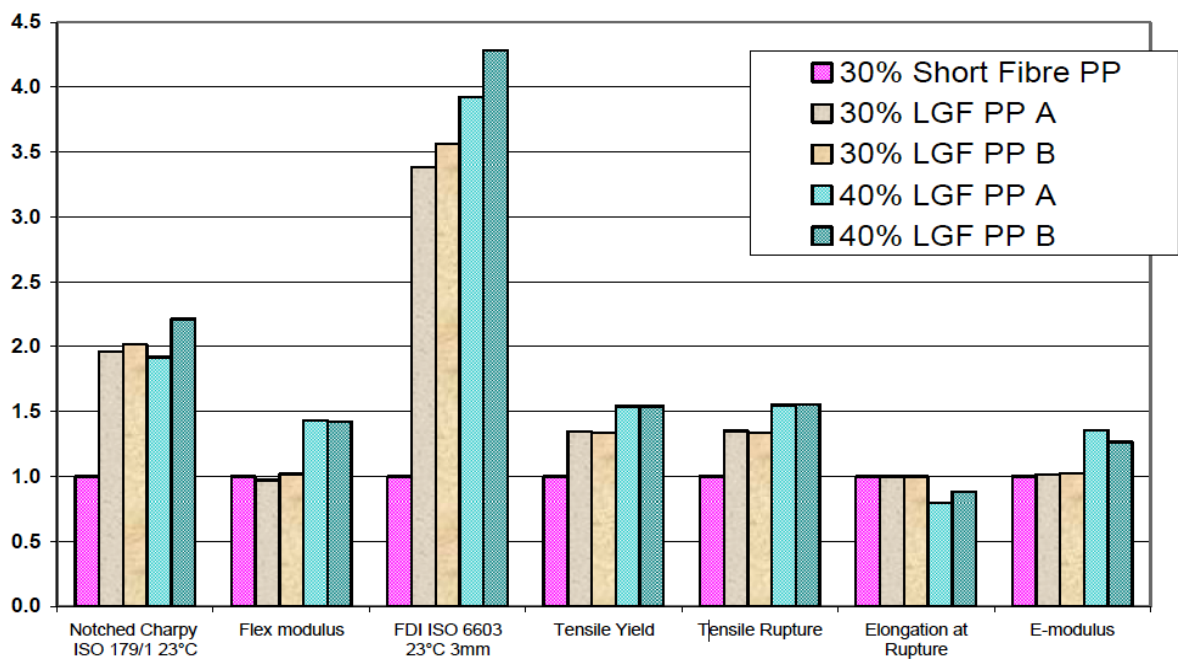
V Grafu 7 můžeme vidět srovnání vlastností PP plněného SGF a LGF a ve dvou druzích PP matic. [16,17]



Obrázek 15: Ukázka vlivu délky vlákna na chování materiálu při nárazu [17]



Graf 6: Porovnání vlivu krátkého a dlouhého skleněného vlákna na E-modul [27]



Graf 7: Porovnání vlastností PP dle obsahu a délky vlákna [17]

Aplikace PP plněného krátkým skleněným vláknem

Krátké skleněné vlákno je jako plnivo používáno u aplikací, kde jsou zvýšené požadavky na vyšší tuhost dílu oproti typům plněným minerálními plnivem, například tělesa světlometů. Vytvořeny jsou také high-tech aplikace PP, jako náhrady jiných konstrukčních materiálů,

např. řešení náhrady PA6, příp. PA66 plněného sklem u dílu **VW sacího potrubí**, kde byl více než 20 let používaný původní materiál byl nahrazen PP plněným sklem s patentovaným složením. Požadavek na materiál je rozměrová stabilita, rozsah použití od -40 do +120°C, krátkodobě do 140°C, chemická odolnost, vysoká odolnost vibracím kombinována s nízkou únavou materiálu. Přínosem aplikace je celkové snížení nákladů a snížení hmotnosti až o 15%. [20]



Obrázek 16: Příklad aplikace PP+GF – sací potrubí VW [20]

Aplikace PP plněného dlouhým skleněným vláknem

Dlouhé skleněné vlákno je díky výše popsaným vlastnostem úspěšně aplikováno v PP kompozitech, které slouží jako náhrada kovových materiálů, náhrada jiných dražších polymerů, v případech, kdy již nevyhoví plnění krátkým vláknem. Přínosem je snížení nákladů, hmotnosti a zvýšení užitných vlastností. Typickými aplikacemi jsou funkční a vzhledové části (přístrojové desky, dveřní moduly, nosiče baterií, spojkové pedály, řadicí páky, konzole, žaluzie HVAC, potrubí pro přívod vzduchu) [26]

Palubní deska osobních vozů – touto aplikací byl nahrazen běžně používaný blend PC/ABS. Bylo docíleno úspory hmotnosti realizované pomocí nižší měrné hmotnosti a snížení tloušťky stěn, a tím celkové úspory nákladů. [26]



Obrázek 17: Příklad aplikace PP+LGF – palubní deska [26]

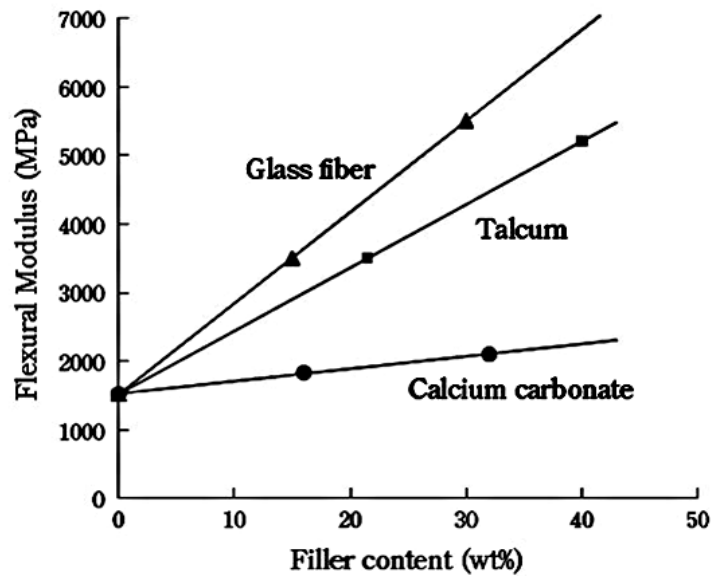
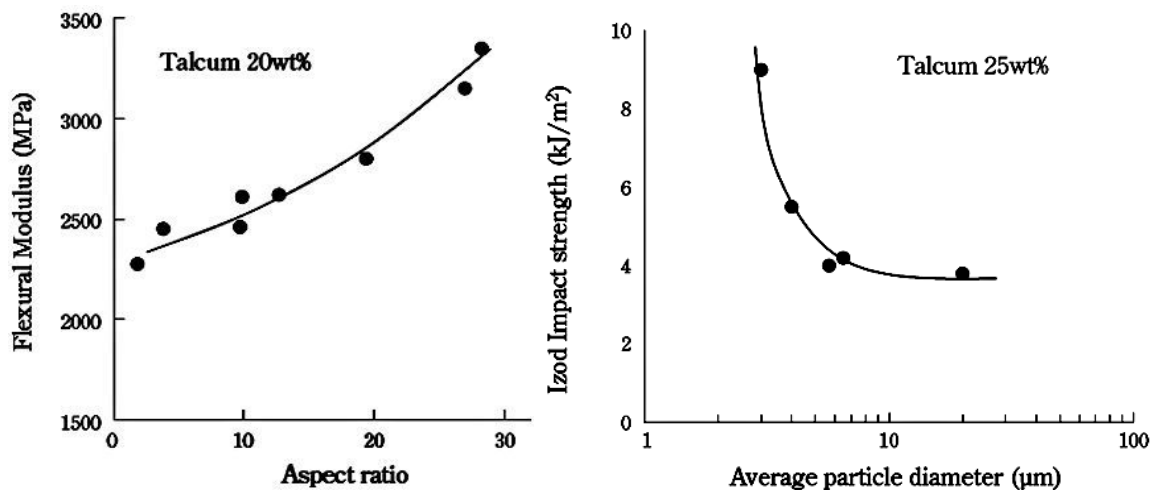
2.2.3 PP plněný skleněnými kuličkami

Skleněné kuličky se vyrábějí z borokřemičitanového skla, jejich průměr je 7-8 μm . Obsah plnění se pohybuje mezi 10-50 %. Jejich použití má vliv na zvýšení rázové houževnatosti, pevnosti v ohybu a tvrdosti, snížení smrštění. [28]. Na rozdíl od použití krátkého skleněného vlákna je rozdíl mezi smrštěním ve směru toku taveniny a kolmo na směr toku výrazně menší, což má vliv na menší deformace dílů. Díky této vlastnosti se skleněné kuličky používají jako náhrada skleněného vlákna, případně jako kombinace se skleněným vláknem. Pozitivní vliv na anizotropii smrštění je však za cenu nižších mechanických vlastností výsledného dílu.

2.2.4 PP plněný talkem (mastkem)

Jedná se o vodný křemičitan hořečnatý, nejměkčí minerál, s lamelární strukturou (tenké destičky hydroxidu hořečnatého mezi vrstvami siliky). Patří k nejpoužívanějším minerálním plnivům PP. Vliv talku: snižuje cenu, má dobrý poměr tuhosti a rázové houževnatosti, zlepšuje pevnost v tahu, rozměrovou stabilitu, chemickou a tepelnou odolnost.

Jak můžeme vidět na v Grafu 8 a 9, mechanické vlastnosti výsledného kompozitu ovlivňuje nejen jeho podíl, ale také velikost a poměr rozměrů jeho částic. [16,25]

Graf 8: Porovnání vlivu obsahu GF, talku a CaCO₃ na modul pružnosti [16]

Graf 9: Vliv poměru stran a velikosti částic talku na mechanické vlastnosti [16]

Aplikace PP plněného talkem

Polypropylen plněný talkem je používán např. pro výrobu nárazníků a bočních lišt, palubních desek, součásti světlometů.

Nárazníky a boční lišty Renault Scenic: jsou vyrobeny z kompaundu modifikovaného na zvýšenou rázovou houževnatost. Materiál splňuje požadavky na dobrou zpracovatelnost, odolnost UV záření, tvarovou stálost, vysokou rázovou houževnatost při nízkých teplotách.



Obrázek 18: Příklad aplikace PP plněného talkem - nárazníky a boční lišty Renault Scenic [11]

2.2.5 PP plněný uhličitanem vápenatým

Tento minerál tvoří asi 65 % celkové spotřeby plniv do plastů (ročně asi 6 mil. tun), podíl spotřeby pro polyolefiny činí 10 %. Velikost částic plniva je od 5 do 100 μm . Dělí se na přírodní, jehož vlastnosti, především bělost, velikost a tvar částic závisí na lokalitě těžby, a syntetické (srážené) typy které se vyznačují užší distribucí částic a vyšší čistotou.

Ošetření povrchu: dle použité aplikace se provádí ošetření povrchu za pomoci kyseliny stearové ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$) – za zvýšené teploty, dojde k přeměně na $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2]_2\text{Ca}$ (kalcium-stearát = lubrikant). Ošetření povrchu zlepšuje procesní podmínky, mechanické vlastnosti a elektrické vlastnosti, lepší odolnost vlhkosti. [25]

Výhody uhličitanu vápenatého jako plniva jsou nízká cena, zdravotní nezávadnost, vysoký stupeň bělosti, dostupnost v širokém intervalu velikosti částic, možnost jejich povrchové úpravy, dobrá dispergovatelnost, nízký obsah vlhkosti (bez obsahu krystalické vody). Nevýhodou je nižší ztužující efekt, ve srovnání porovnání s jinými plnivy. [29]

Aplikace PP plněného CaCO_3

Uhličitanu vápenatého se jako plniva využívá především pro zvýšení tuhosti a snížení ceny materiálu. V případě náročnějších aplikací je nahrazen jinými minerálními plnivy, např. talkem. V současné době nabývají na významu nanoplňiva na bázi vápence.

2.2.6 Polypropylen plněný slídou

Slída je označení pro velmi širokou skupinu minerálů patřících mezi hlinitokřemičitany. Nejznámějším zástupcem je stříbřitě bílý až nažloutlý muskovit. Charakteristickou vlastností slídy je vrstevnatá struktura, díky níž se štěpí na tenké destičky, lamely. Pro účely plnění se slída mele na částice o velikosti 10 až 100 μm , kdy vykazuje největší plochu destičky. Slída je nevodivá, a nehořlavá.[30]

Díky její vrstevnaté struktuře se kompozity obsahující slídu vyznačují dobrou pevností v ohybu a tahu, vysokou tvrdostí, odolností proti poškrábání a odolností proti deformacím. Pro zvýšení rázové houževnatosti se kombinuje se skleněným vláknem. Slída v této kombinaci omezuje lámání skleněných vláken a pozitivně ovlivňuje zpracovatelské vlastnosti a vyjímání z forem. Zlepšení mechanických vlastností je také docíleno použitím kompatibilizérů PP-g-MA, nebo aminosilanů.

V Tabulce 3 můžeme vidět porovnání neplněného PP a 30% plněného PP s plnivý slída, talem, minerální vlákno (PMF), skleněné vlákno sekané (CGF) a mleté (MGF) a směs CGF a slídy. PP plněný slídou vykazuje nejvyšší modul a tvrdost. [31]

Tabulka 3: Porovnání vlastností slídou plněného PP s dalšími kompozity [31]

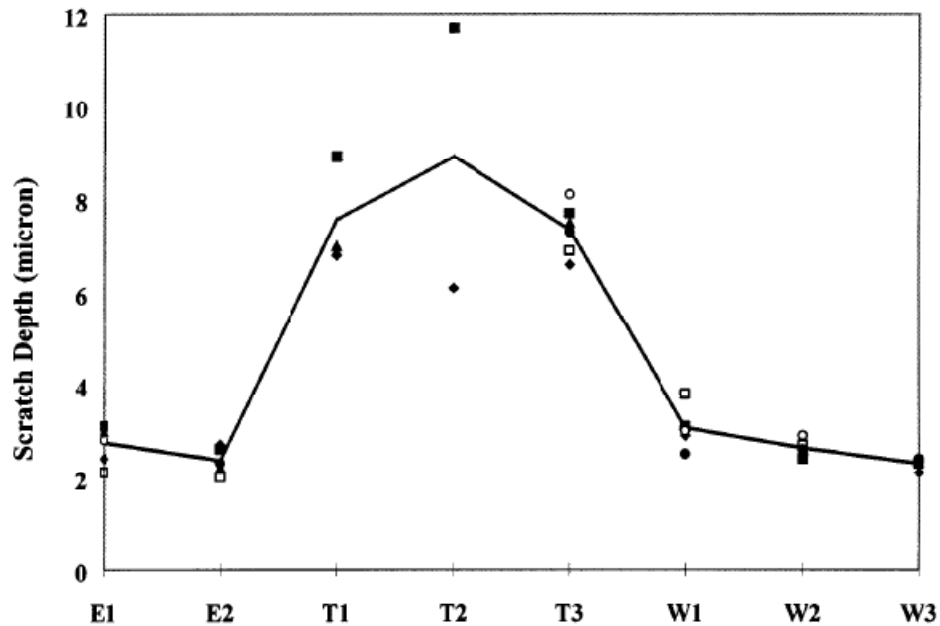
	Unfilled	Mica	Mica	Talc	PMF	CGF	CGF	MGF	CGF/Mica
% Mica									15
Particle size, micron		50	50	1.5	200	4000	3175	1587	4000
Sp. Gravity	0.912	1.129	1.139	1.145	1.146	1.11	1.16	1.12	1.12
MFR, 230 C	4.5	6.8	14.92	14.92	20	12.92	17.96	19.88	12
Flexural Strength, Mpa	41	68	62	63	53	86	42	37	76
Flexural modulus, Gpa	0.98	3.55	3.20	2.72	2.00	2.72	2.44	1.99	2.90
Tensile Strength, Mpa	31	48	45	40	44	68	55	52	60
Surface Hardness	52	72	70	52	53	67	57	57	67
Notched Izod strength J/m	46	43	29	45	31	107	128	100	160
PP MFR g/10'	4	4	12	12	12	12	12	12	12

Aplikace PP plněného slídou

Kompozity PP se slídou jsou nejrozšířenějším způsobem využíváním slídy, jako plniva. Obvyklé plnění je 20-40%, výjimečně až 60%. Tyto kompozity jsou aplikovány pro výrobu přístrojových desek, ventilátorů, výplní dveří a sedadel. Vyrábí se také zpěňovaný PP plněný slídou, který se používá jako nehořlavé výplně.

2.2.7 PP plněný wollastonitem

Wollastonit je minerální křemičitan vápenatý, vyznačuje se vysokou bělostí, nízkou nahlavitostí. Kompozity plněné wollastonitem, v porovnání s kompozity plněnými ostatními minerálními plnivými vynikají vyšší odolností proti oděru. V Grafu 10 můžeme vidět srovnání s PP plněného talkem a neplněným PP. [32]



Graf 10: Hloubka vrypu při zatížení 7N: E1-E2: neplněný PP; T1-T3: PP plněný 20% talku; W1-W3: PP plněný 20% wollastonitu [32]

Vzorek W3 (PP+20% wollastonitu s přidavkem maziv) vykazuje nejmenší viditelnost poškrábání srovnatelnou s neplněným PP.

Aplikace wollastonitem plněných PP

Tyto kompozity se jeví jako vhodná alternativa ABS, nebo blendů PC/ABS pro interiérové aplikace v automobilovém průmyslu v případech, kdy ostatní kompozity PP-minerální plnivo nejsou, z důvodu menší odolnosti proti poškrábání použitelné. [32]

2.2.8 PP plněný nanoplnivými

Nanokompozity jsou kompozity obsahující plnivo, jehož rozměr je alespoň v jednom směru v řádech nanometrů. Malé rozměry plniva vedou ke zvětšení mezifázového povrchu mezi maticí a plnivem. Díky tomuto fázovému rozhraní dochází k interakci řetězce poly-

meru a plnivem, které zabraňuje pohybu segmentů, což ovlivňuje vlastnosti kompozitu. Vzhledem k velké ploše plniva není nutné dosahovat vysokého stupně plnění, ke zlepšení vlastností dochází již při nízkém obsahu plniva (3-5 %). Přínosem nanoplňiv je tedy získání lepších materiálových vlastností, než u klasických minerálních plniv, jako např. zvýšení rozměrové stability, modulu pružnosti, bariérových vlastností, tepelné odolnosti, zvýšení odolnosti proti poškrábání a to při současném nízké hmotnosti výrobku. [25,33,34]

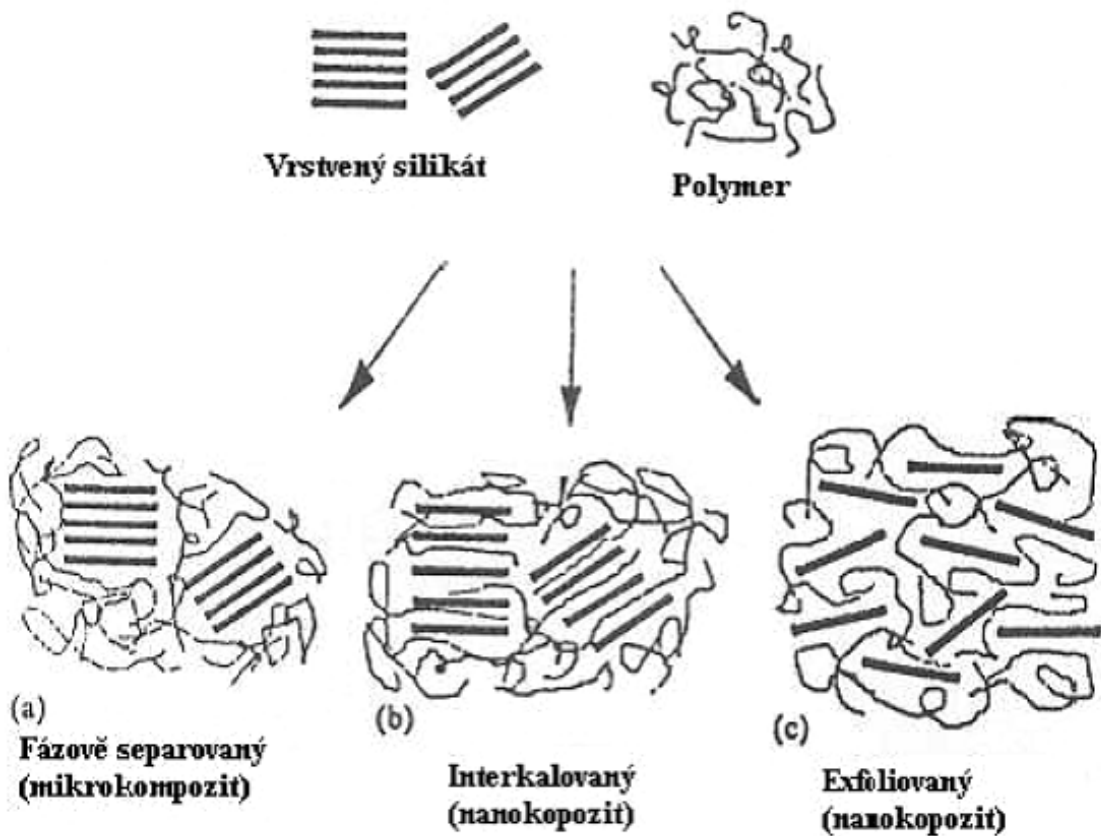
Mezi nanoplňiva řadíme minerální nanoplňiva, např. jíly, uhlíková nanovlákná, uhlíkové, nanotrubičky, fullereny (jedná se strukturní formu uhlíku tvořenou pěti, nebo šestiúhelníky). [25]

Vrstevnatá nanoplňiva – minerální jíly patří mezi nejvýznamnější plňiva pro výrobu nanokompozitů PP. Vyznačují se vrstevnatou, destičkovou strukturou o tloušťce řádově v nm, a relativně velkou plochou. Nejvýznamnějším zástupcem jílu je aluminosilikátový minerál **montmorillonit (MMT)**, patřící do skupiny smektitů. MMT se kromě velké plochy vyznačuje, strukturou „balíčku karet“, obsahuje aktivní místa na povrchu (na Si a Al navázány OH skupiny).

Oproti klasickým, minerály plněným polymerům, se nanokompozity liší v dispergaci plniva. Z pohledu dispergace vrstev plniva můžeme tyto kompozity rozdělit do tří skupin:

1. jestliže zůstane zachována vrstevnatá struktura o tloušťce v řádech mikrometrů, jedná se o *mikrokompozit* (fázově separovaný nanokompozit)
2. pokud jsou molekuly polymeru zabudovány do vrstevnaté struktury, hovoříme o tzv. *interkalovaném nanokompozitu*. Za pomoci interkalačních činidel (např. alkylationiové soli) dochází interkalací ke zvětšování vzdálenosti mezi destičkami. Interkalace probíhá na principu výměny mezivrstevných kationtů s ionty činidla, nebo za pomoci interkalace dipólů činidla a mezivrstevného kationtu
3. po dosažení vysokého stupně interkalace dochází ke vzniku *exfoliovaného nanokompozitu*, kdy již nejsou vrstvy nanoplňiva pohromadě, ale jsou rovnoměrně rozptýleny v polymeru, dochází ke změně jejich tvaru z krychlového tvaru do tvaru destiček o velkému povrchu - cca $700\text{m}^2/\text{g}$ plniva. (Obrázek 19)

Vzhledem k tomu, že vrstevnaté silikáty jsou hydrofilní, je nutno, při plnění do PP matrice, upravit jejich povrch na organofilní pomocí vhodných interkalačních činidel. [25,33,34]



Obrázek 19: Dispergace vrstevnatého nanoplňiva v polymerní matici [33]

Aplikace PP nanokompozitů

Blend PP+PS:

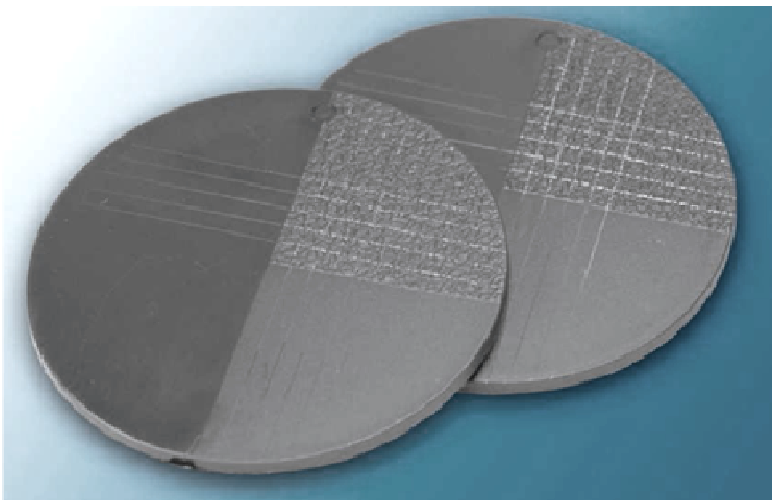
Díky použití nanoaditiv je možno získat stabilní blendy polypropylenu s jinými plasty, které jsou jinak s PP obtížně kompatibilní. Jako výchozí surovinu pro výrobu nanoaditiva může být využito materiálu bentonit (měkká velmi jemnozrnná nehomogenní různě zbarvená hornina složená z podstatné části z jílového minerálu montmorillonitu, křemičitého minerálu s vrstevnatou strukturou). [35]

Přidáním hydrofobizující látky dojde k oddálení jeho vrstev na cca 1,5-4 nm. Takto upravené nanoaditivum má strukturu destiček s tloušťkou 1 nm a průměr do 500 nm (na rozdíl od běžných plniv, jako např. talek s tloušťkou kolem 500 nm a průměrem 5 μ m). Díky malým rozměrům je umožněno vpravit toto aditivum do polypropylenu bez dalších kompatibilizérů. Koncentrace nanoplňiva se pohybuje okolo 5 %. K výsledné kompaundaci se používají extrudéry s vyvozuující střední až vysoké smykové namáhání, díky němuž dojde k dokonalé dispergaci všech komponent a rozvrstvení nanoaditiva v tavenině. Každá jeho

vrstva je obklopena matricí z plastu, současně dojde k jemnozrnnému a rovnoměrnému rozdělení PS v PP matrici.

Výhody blendu PP+PS oproti PP plněným minerály: zpracování vstřikováním bez výraznějšího rozdílu oproti jiným, minerály plněným PP, shodná hodnota smrštění, takže lze použít stávající lisovací nástroje, nižší opotřebení nástrojů a zpracovatelských strojů, vyšší odolnost proti poškrábání, matný povrch a příjemný na omak, nižší hustota.

Díky výše uvedeným vlastnostem se tento materiál využívá na díly pro interiéry automobilů, podlahy, prostory kufru, náhrady lakovaných ABS aplikací. [36]



Obrázek 20: Srovnání odolnosti proti poškrábání: vlevo blend PP+PS, vpravo PP-T20 [36]



Obrázek 21: PP+PS zn. Elan XP 515 – větrací systém vozů VW, Audi [36]

2.2.9 Kompozity PP na bázi přírodních vláken

Kompozity na bázi přírodních plniv jsou obecně označovány jako WPC (wood-plastic composites). Pro účely výroby WPC jsou používány rostliny jako např. bavlna, len, juta, konopí, sisal, stromy jehličnaté i listnaté, palmy, ramie (rostlina podobná kopřivě). Jejich aplikace jsou vedeny snahou o zvýšení podílu biologicky rozložitelných materiálů v automobilovém průmyslu. V současné době WPC patří k materiálům s nejvyšší rostoucí spotřebou. Nejčastěji používanou technologií na zpracování WPC pro automobilové aplikace je vstříkávání.

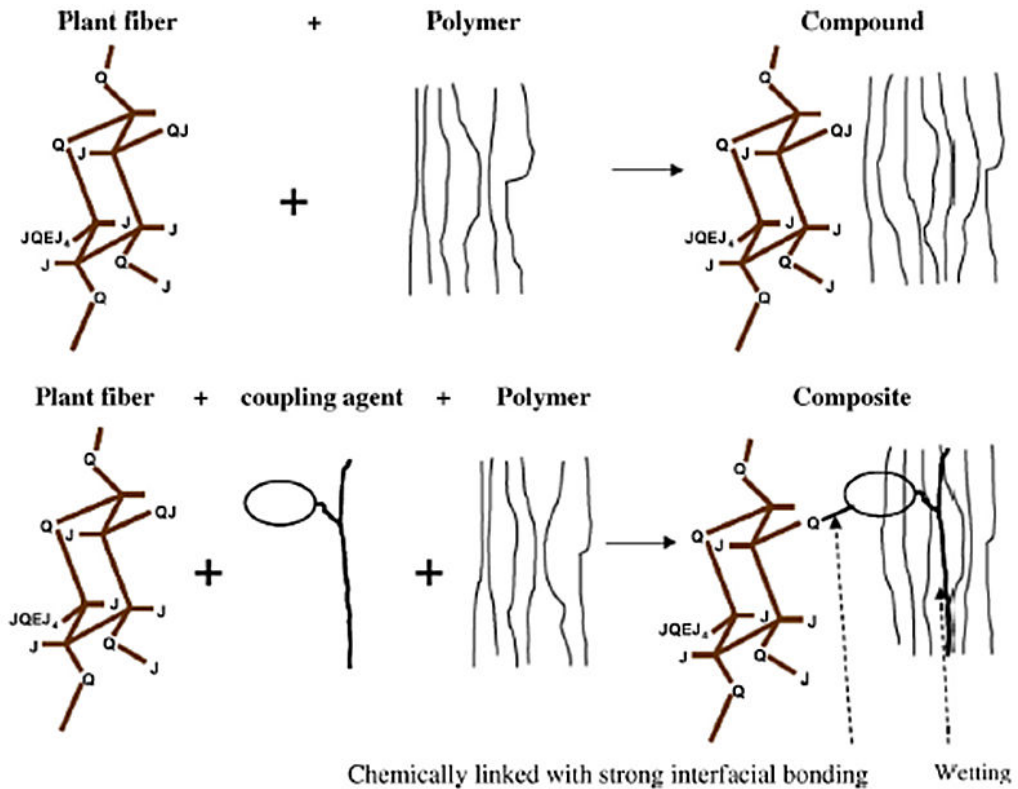
Rozsáhlé použití rostlinných vláken a jejich produktů je díky vlastnostem, jako je nízká hustota, relativní vysoká pevnost a tuhost (v poměru k jejich hmotnosti), pozitivní akustické vlastnosti, neabrazivní povaha, možnost dosáhnout vysokého stupně plnění (60 až 80 %), zdravotní nezávadnost, snížení nákladů, hmotnosti vozidel a tím jejich spotřeby, zvýšení bezpečnosti cestujících.

Nevýhody WPC jsou závislost fyzikálních vlastností na typu plniva ovlivněných zdrojem a sezónou sklizně, sklon k tvorbě agregátů, nízká tepelná stabilita a nízká odolnost proti vlhkosti. Vysoký sklon k vlhnutí vede ke vzniku dutin (porézní výrobky), což má za následek špatné mechanické vlastnosti a vede ke snížení rozměrové stability. Eliminace této vlastnosti je možná za pomoci hydrofilních přísad, např. PPgMA. Jednou z hlavních nevýhod WPC z rostlinných vláken je špatná kompatibilita mezi vlákny a PP maticí, a to díky vysoké polaritě plniva. Za účelem zlepšení adheze mezi vlákny a termoplastickou maticí se používá při úpravě vlastností rostlinných vláken kompatibilizátorů. Princip spojení mezi maticí a přírodním vláknem je znázorněn na Obrázku 22. [37,38]

Dalším problémem je teplota při zpracování, která omezuje výběr matrice materiálu. Rostlinná vlákna jsou složena z různých organických materiálů (především celulóza, lignin), a proto jejich tepelná zátěž vede k fyzikálním a chemickým změnám. Tepelná degradace těchto vláken vede ke špatným organoleptickým vlastnostem, jako je vůně a barvy. Tepelná degradace může vést k tvorbě plynných produktů při zpracování (nad 200°C), což může mít za následek vysokou pórovitost, nízkou hustotu a snížení mechanických vlastností.

Pevnostní vlastnosti WPC: jedním ze zásadních parametrů ovlivňujících mechanické vlastnosti WPC je velikost vláken. Krátká a drobná vlákna (průměrné velikosti částic 0,24 do 0,35 mm) vykazují lepší vlastnosti, poskytují vyšší specifický povrch, mají lepší slučitelnost s maticí. Jak je zřejmé z Tabulky 4, přírodní vlákna mají horší mechanické vlastnosti

v porovnání s průmyslově vyráběnými vlákny, přesto však tato plniva nacházejí uplatnění díky poměru výkon/náklady a jsou alternativou ke skleněným vláknům (cena lněných a konopných vláken je cca o 40% nižší) v aplikacích, kde nejsou tyto vlastnosti prioritní.[37]



Obrázek 22: Princip spojení mezi hydrofilním vláknem a hydrofobní matricí [37]

Tabulka 4: Porovnání vlastností klasických vláken s přírodními vlákny [37]

Fiber	Density (g/cm ³)	Elongation (%)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)
<i>Fibers (reinforcements)</i>				
Cotton	1.5–1.6	7.0–8.0	287–800	5.5–12.6
Jute	1.3	1.5–1.8	393–773	26.5
Flax	1.5	2.7–3.2	3451035	27.6
Hemp	1.5	1.6	690	70
Ramie	1.5	1.2–3.8	400–938	61.4–128
Sisal	1.5	2.0–2.5	511–635	9.4–22.0
Coir	1.2	30.0	175	4.0 6.0
Viscose (cord)	–	11.4	593	11
Soft wood (kraft)	1.5	–	1000	40
E-glass	2.5	2.5	2000–3500	70.0
S-glass	2.5	2.8	4570	86.0
Aramide (normal)	1.4	3.3–3.7	3000–3150	63.0–67.0
Carbon (standard)	1.4	1.4–1.8	4000	230.0–240.0

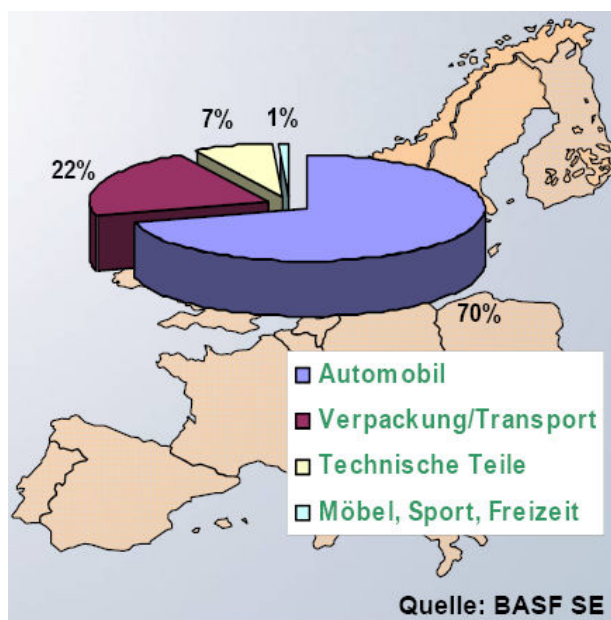
Aplikace PP plněných WPC

WPC na bázi PP jsou dosud využívány především pro interiérové aplikace jako např. obložení palubních desek, dveří, sedáky, opěradla, dále pak termo-akustické izolace, výplně dveří, u prakticky na všech hlavních výrobců automobilů. Aplikace WPC v exteriéru dosud nejsou výrazně rozšířeny. [37]

3 EXPANDOVANÝ POLYPROPYLEN

Lehčený polypropylen je v automobilovém průmyslu úspěšně aplikován v několika modifikacích lišících se technologií výroby a vlastnostmi a jejich použitím. Patří mezi ně extrudovaný lehčený PP (používán v malém měřítku), ale především ve formě strukturních pěn a expandovaného PP (dále v textu EPP).

Průmyslová výroba EPP byla zahájena v roce 1982 japonskou firmou JSP. Poptávka po EPP má, díky požadavku výrobců automobilů aplikovat nové materiály vedoucí ke snížení hmotnosti vozů, spotřeby energie a zvyšování bezpečnosti uživatelů, stále rostoucí tendenci. Spotřeba EPP v automobilovém průmyslu v Evropě dosáhla již 70% celkové produkce, a dá se předpokládat, že tento trend bude pokračovat. [39]



Obrázek 23: Podíl aplikací EPP dle odvětví [41]

3.1 Princip výroby dílů z EPP

3.1.1 Výroba suroviny

V autoklávu, zvýšených teplot a tlaků (řádově desítky MPa) dochází k sycení vysokotlakého plynu (nadouvadla) do polymerní matrice. Pro přípravu EPP se používá nejvíce tzv. disperzní metoda. Částice polymeru jsou dispergovány v disperzním mediu, nejčastěji vodě, v autoklávu společně s fyzikálním nadouvadlem. Po zahřátí nad teplotu měknutí polymeru částice nadouvadla difundují do částic polymeru. Doba, po jakou difuze probíhá,

ovlivňuje sypanou hmotnost produktu (obvykle cca 1 hod). Jako nadouvadla jsou při této disperzní metodě používány alifatické uhlovodíky (propan, butan), nebo anorganická nadouvadla (argon, oxid uhličitý, dusík). Z hlediska nákladů a ekologie jsou výhodnější nadouvadla fyzikální. V dalším kroku přechází disperze dolní části autoklávu s nižším přetlakem, ale současně vyšším, než je tlak nadouvadla. Výsledkem jsou částice matrice s uzavřeným nadouvadlem, díky povrchovému napětí disperzního prostředí vyhlazeného a zaobleného tvaru. Již mimo autokláv následuje tzv. „second pass“, neboli předpěnění: vzhledem k tomu, že výlisek má vždy vyšší hustotu, než dodaná surovina, je nutno ji před dodáním zákazníkovi upravit předpěněním na nižší sypanou hmotnost. Tento krok se provádí v předpěňovacím zařízení za účinku tlakové páry. Z důvodu úspory přepravních nákladů bývá někdy tento krok prováděn až u zákazníka před finálním zpracováním suroviny. [39]

3.1.2 Zpracování EPP

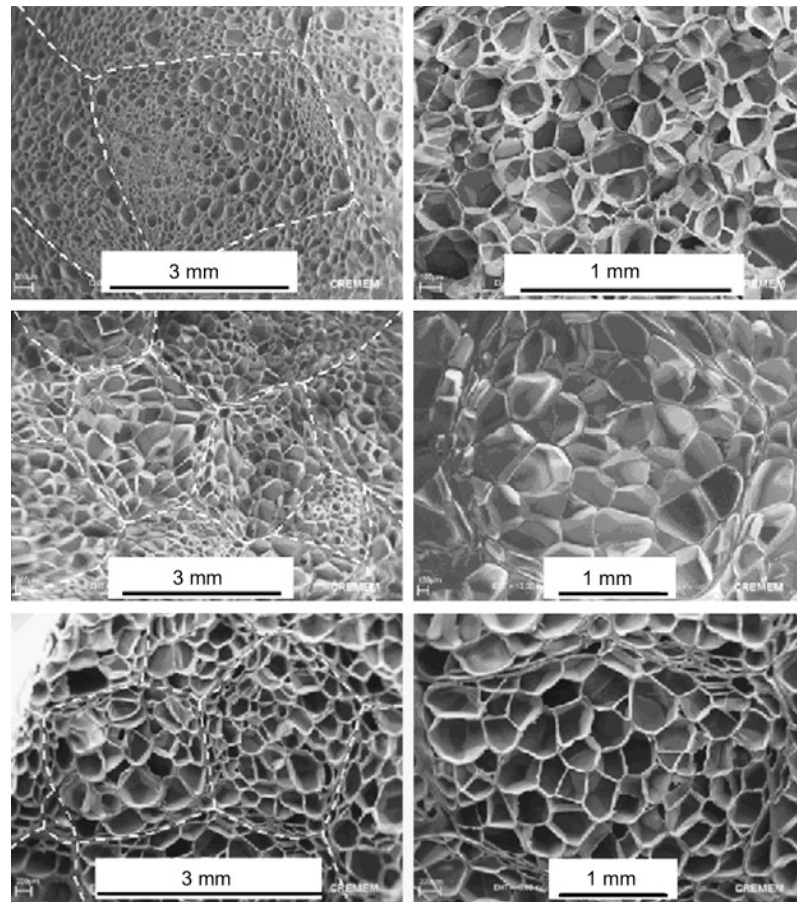
Zpracování se provádí v hliníkových formách, surovina je ve formě stlačena a působením tepla (vodní páry) dojde ke slnutí kuliček, vyexponování nadouvadla a vyplnění formy. Výsledný produkt může mít upravený povrch díky použití drénovaných forem, v případě následného lakování jsou používány speciální pružné laky. [41]

Dle požadavku zákazníka jsou vyráběny speciální typy suroviny, např. antistatické, nízkoemisní, low squeaking, porézní (pro akustické aplikace, surovina má tvar „sekaného makaronu“) [40]

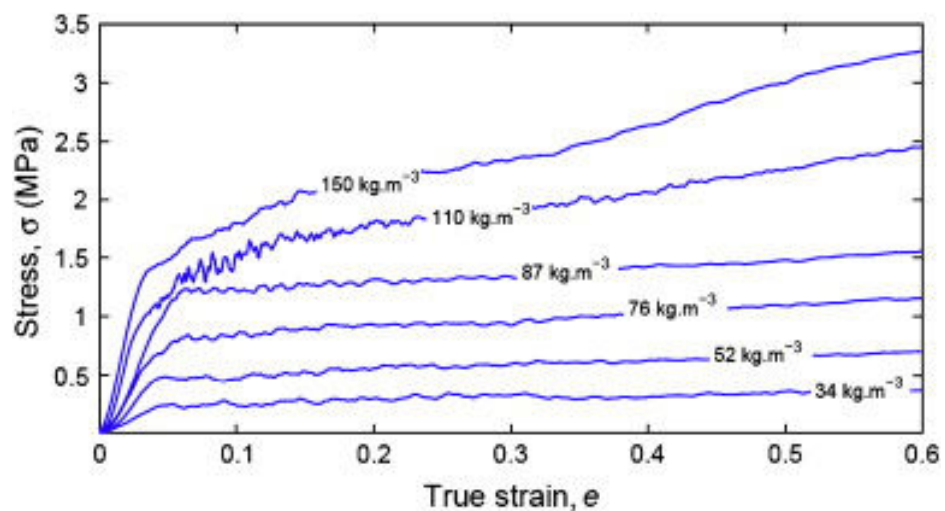
3.2 Vlastnosti a výhody EPP jako konstrukčního materiálu

Expandovaný polypropylen, pro konstrukční použití, se vyrábí v hustotách 17 g/l – 120 g/l, existují ale i speciální vysokohustotní typy s hustotou až 250 g/l. [Epp2]. Je odolný vodě, chemikáliím a většině olejů, je použitelný v rozsahu teplot -35°C do 130°C. [39]

I přes nízkou měrnou hmotnost materiálu zůstávají mechanické charakteristiky na vysokých hodnotách, například pevnost v tahu se nachází mezi 270 – 1930 kPa. Jak můžeme vidět v Grafu 11, mechanické vlastnosti silně závisí na hustotě pěny, dále pak na tloušťce stěny jednotlivých buněk a na jejich průměru. Se vzrůstající hustotou pěny roste pevnost materiálu. EPP je také vyhledáván pro vysokou pružnost a odolnost vůči rázům.



Obrázek 24: Mikrostruktura EPP pro hustoty 34,76 a 114 kg/m³ [42]



Graf 11 Vliv hustoty EPP na mechanické vlastnosti při dynamickém zatížení [43]

Hlavní výhodou EPP oproti nenapěněným materiálům je jeho schopnost absorbovat energii. Může se jednat o absorpci vibrací, nebo může sloužit jako zvukový izolant. Obě tyto vlastnosti jsou využívány v automobilových aplikacích a zvyšují tak komfort cestujících.

V Tabulce 5 můžeme vidět srovnání akustické impedance různých konstrukčních materiálů. Hodnoty akustické impedance pro EPP jsou o dva až tři řády nižší, což ukazuje, že EPP je opravdu výborným zvukovým izolantem.[43]

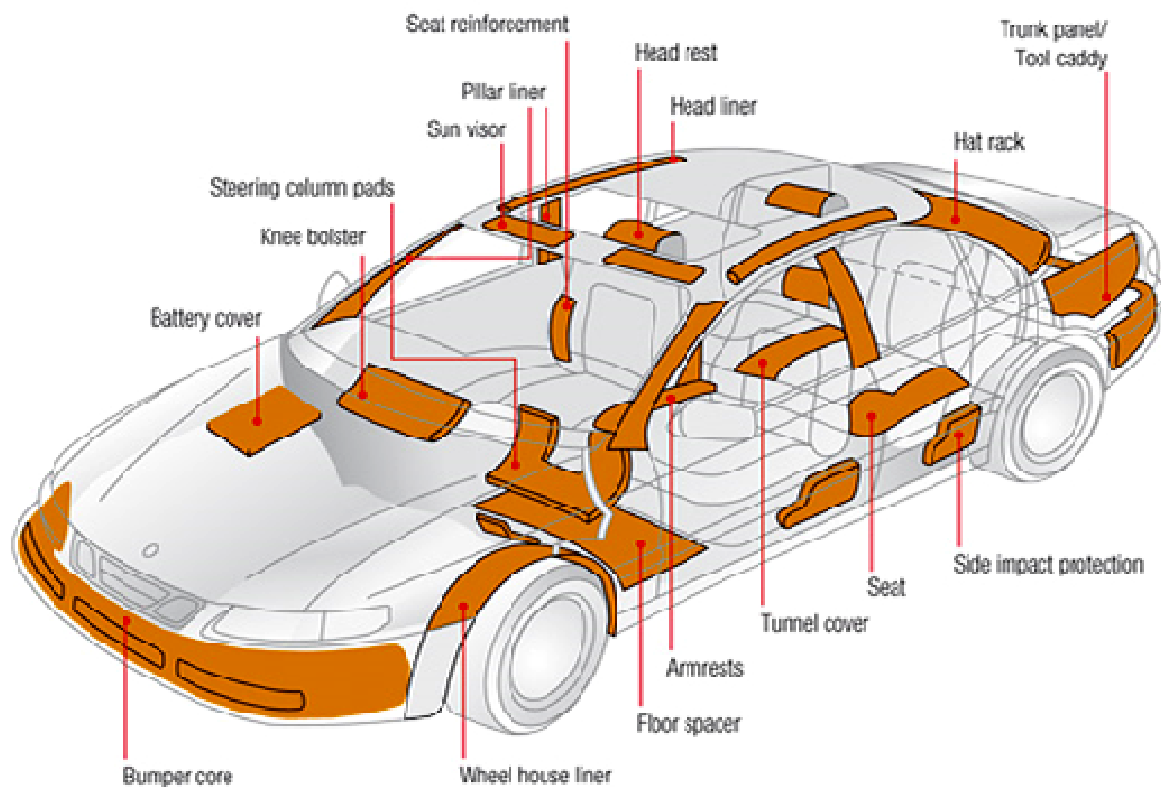
Tabulka 5: Porovnání mechanických a akustických charakteristik pro EPP a jiné konstrukční materiály [43]

	E (MPa)	ρ (kg m ⁻³)	$Z = \rho c$ (kg s ⁻¹ m ⁻²)
Steel 18–10	203,000	7900	4×10^7
Aluminium AU4 G	75,000	2800	1.4×10^7
Magnesium	46,000	1740	8.9×10^6
Plexiglas PMMA	2900	1800	2.2×10^6
Nylon PA6	3300	1140	1.9×10^6
EPP «foam»	27	150	6.3×10^4

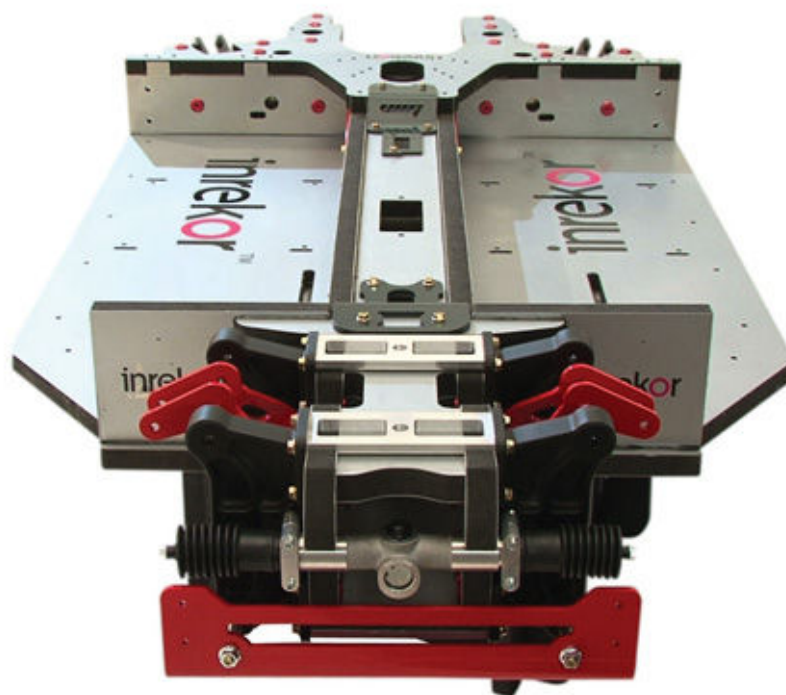
3.3 Aplikace EPP

Vzhledem k velmi příznivému poměru hustoty a mechanických vlastností je hlavním přínosem aplikací EPP snížení hmotnosti jednotlivých komponent a tím celého vozu. EPP je aplikován buď jako součást kompozitních systémů, např. nárazníků, nebo jako samostatný díl, jako jsou např. sluneční clony. Dalším důvodem stále širších aplikací jsou bezpečnostní požadavky, odhlučnění a podíl recyklovatelných materiálů v automobilech. Jak můžeme vidět na Obrázku 5, současné aplikační možnosti jsou velmi široké. Další vývoj aplikací jde směrem k zakomponování EPP do velkoplošných kompozitů spolu s lehkými kovy, které budou nacházet uplatnění jako součást podvozků, a celých karoserií vozidel. [44]

V roce 2010 firma Inrekor představila materiál, který tvoří ultralehká sendvičová struktura obsahující EPP, který je vsunut mezi dva tenké hliníkové pláty. Mezi nejzákladnější výhody jeho využití patří velice nízká hmotnost (u vývojového modelu čtyřsedadlového automobilu bylo dosaženo snížení hmotnosti podvozku z původních 300 kg na 160 kg), nízké investice do výrobních technologií, všestranný a flexibilní design spolu s vynikajícími absorpčními a bezpečnostními vlastnostmi. [46]



Obrázek 25: Aplikace EPP v automobilu [44]



Obrázek 26: Automobilové chassi vyrobené firmou Inrekor [46]

ZÁVĚR

Vycházíme-li z klasického dělení polymerních materiálů na levné komoditní plasty, technické plasty a špičkové hi-tech plasty, je polypropylen řazen do první skupiny polymerů, které nejsou vhodné pro náročné technické aplikace. Díky vývojovým trendům posledních let, se však polypropylen stále častěji prosazuje jako materiál rovnocenný konstrukčním plastům jako jsou například polyamidy, lineární polyestery, polykarbonáty, polyacetal. Mezi tyto trendy můžeme zařadit vývoj a výrobu nových polypropylenových kompozitů a směsí vyššími užitnými vlastnostmi, jako jsou modul pružnosti, rázová a vrubová houževnatost, odolnost proti únavě a šíření trhlin, odolnost proti zborcení v teplotních špičkách, minimální teplotní roztažnost, odolnost povrchu proti poškrábání, UV stabilita, nehořlavost, schopnost tlumit zvuk a vibrace

Dá se předpokládat, že tento trend bude pokračovat i do budoucna v daleko širším měřítku. Snaha o stále větší podíl PP a jeho kompozitů v materiálovém složení vozu je vedena z několika důvodů:

- Z ekonomického hlediska je cílem snižování nákladů jak materiálových, tak výrobních. Polypropylen je podstatně levnější ostatní konstrukční plasty, jejich náhrada polypropylenem se projeví výrazně v ceně dílu. Oproti kovovým materiálům je zde také výhoda nižších nákladů při zpracování - nižší energetická náročnost, levnější a dostupnější výrobní zařízení, vyloučení nutnosti povrchových úprav výsledného dílu, díky malé hmotnosti nízké dopravní náklady
- Z ekologického hlediska je hlavním trendem v automobilovém průmyslu snižování exhalací CO₂. Snahou výrobců automobilů je proto snížení spotřeby paliva, která je přímo úměrná hmotnosti vozu. Polypropylenové kompozity jsou zde díky vynikajícímu poměru hustota/vlastnosti ideálním materiálem. Dalším důvodem jsou požadavky Evropské komise na recyklovatelnost vozů, dle kterých má být do roku 2015 zvýšen podíl recyklovatelných materiálů v automobilu na 95 %.
- Bezpečnost posádky a chodců je dalším zásadním hlediskem pro výběr materiálů v konstrukci vozidel. Nové možnosti aplikací jsou zde především pro expandovaný polypropylen a TPO.

Mezi nejnovější trendy v oblasti kompozitů PP můžeme zařadit:

- Rozšíření aplikací polypropylenu plněného LGF jako náhrada dosud aplikovaných konstrukčních plastů, jako jsou například polyamidy plněné skleněným vláknem, díky kterým získáme výrobky se stejnou užitnou hodnotou, ale s nižší cenou a hmotností.
- Vývoj a aplikace kompozitů s přírodními vlákny, jako náhrada klasických plniv. Cílem je výroba levných kompozitů šetrných k životnímu prostředí. Bude však nutno vyřešit nevýhody, jako jsou nízký modul pružnosti, malá rozměrová stabilita, navlhavost, degradace
- Vývoj a aplikace nanočástic jako plniva, díky kterým získává PP zlepšení vlastností jako, jsou pevnost a modul pružnosti, teplotní odolnost, rozměrová stabilita, odolnost proti hoření. Toto zlepšení se u nanokompozitů projevuje již při velmi nízkém plnění do 5%, díky kterému dochází k minimálnímu zvyšování hustoty kompozitu. Do budoucna však bude nutno vyřešit problém s vysokou cenou těchto kompozitů.
- Nové aplikace EPP jako součást velkoplošných dílců automobilů vedoucí ke snižování hmotnosti vozidel, při zachování užitečných vlastností vozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Automotorevue.cz* [online]. 24.7.2004 [cit. 2011-03-19]. Snižování spotřeby paliva-pryč s nadváhou. Dostupné z WWW: <automotorevue.cz/auto/technika/snizovani-spotreby-paliva-pryc-s-nadvahou.html>. [webová stránka]
- [2] European Union. Results of the review of the Community Strategy to reduce CO2 emissions from passenger cars and light-commercial vehicles. In COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMEN. 2007, COM(2007) 19, s. 1-5.
- [3] *Plastemart.com : Technical articles & Reports on Plastic Industry* [online]. 31.1.2011 [cit. 2011-04-12]. Developments of plastic products in automotive applications provide metal replacement to save weight and cost. Dostupné z WWW: <plastemart.com/Plastic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1559>.
- [4] MLEJNEK, Petr. *Fotodegradace komerčních α -nukleovaných polypropylenů*. Zlín, 2009. 10-20 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] LAPČÍK, Lubomír; RAAB, Miroslav. *Nauka o materiálech II*. Zlín : UTB ve Zlíně, 2004. Struktura a vlastnosti polypropylenu, s. 59-67. [část knihy]
- [6] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, 2004. Zieglerovy-Nattovy katalyzátory, s. 142-143. ISBN 978-80-7080-662-3.
- [7] *Petroleum.cz* [online]. 2007-2011 [cit. 2011-03-19]. Výroba polypropylenu. Dostupné z WWW: <petroleum.cz/vyrobky/polypropylen-vyroba.aspx>. [webová stránka]
- [8] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie II : Polymerní materiály*. Zlín : UTB ve Zlíně, . Polyolefiny. [studijní texty]
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. Praha : BEN - technická literatura, 2009. Polypropylen - PP, s. 162-163. ISBN 978-80-7300-250-3. [část knihy]
- [10] *Unipetrol RPA* [online]. 2011 [cit. 2011-03-28]. Detail produktu Mosten MA745. Dostupné z WWW: <unipetrolrpa.cz/cs/nabidka-produktu/petrochemicke-produkty/polyolefiny/product-detail.jsp?product=MA760&category=PP{=cs>. [webová stránka]
- [11] SABIC. *Sabic Polypropylenes Solutions for Automotive Demands*. 2005. Informační materiály fy. Sabic

- [12] MOORE, Edward P. *Polypropylene Handbook : Polymerization, Characterization, Properties, Processing, Application*. New York : Hanser Publishers, 1996. 419 s. [kniha]
- [13] KOTEK, Jiří, et al. Structural transformations of isotactic polypropylene induced by heating and UV ligh. *European Polymer Journal*. 2004, 40, s. 2731–2738. Dostupný také z WWW: <www.elsevier.com/locate/europolj>. [článek]
- [14] LENFELD, Petr. *Technická univerzita Liberec, fakulta strojí [online]*. [cit. 2011-05-20]. Technologie II - vstřikování plastů. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>.
- [15] PROJEKT IN-TECH. *Hodnocení nemolekulární struktury plastů*. Vysokoškolský seminář
- [16] MORITOMI, Satoru; WATANABE, Tsuyoshi; KANZAKI, Susumu. Polypropylene Compounds for Automotive Applications. “*SUMITOMO KAGAKU*” : *R&D Report*. 2010, 1, s. 1-16. Dostupný také z WWW: <http://www.sumitomo-chem.co.jp/english/rd/report/theses/docs/20100100_a2g.pdf>.
- [17] VAN POUCKE, Jeroen; JAMES, Allan. *Society of plastics engineers : Automotive Division of the Society of Plastics [online]*. 2006 [cit. 2011-04-14]. LONG GLASS FIBER POLYPROPYLENE TECHNOLOGY FOR. AUTOMOTIVE APPLICATIONS. Dostupné z WWW: <speautomotive.com/SPEA_CD/SPEA2006/PDF/b/b1.pdf>. [webová stránka]
- [18] DOW CHEMICAL COMPANY. *Specialty Elastomers for Automotive TPO Compounds*. 2006. Informační materiály fy. DOW
- [19] NAVRÁTILOVÁ, Zuzana. *Problematika stárnutí střešních hydroizolačních folií na bázi TPO*. Zlín, 2009. 114 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. [akademická práce]
- [20] BOREALIS AG. *Borealis shows pioneering PP solutions at IZB 2010 auto supplier show*. 2010. Informační materiály fy Borealis AG
- [21] KRATOCHVÍL, B.; ŠVORČÍK, V.; VOJTĚCH, D. Úvod do studia materiálů [online]. Praha : VŠCHT v Praze, 2005 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-568-4/pagespdf/001.html>.

- [22] BĚŤÁK, Lukáš. *PRÍPRAVA ROUBOVANÝCH PP S RUZNOU KONCENTRACÍ MA A IA*. Brno, 2008. 30 s. Bakalářská práce. VUT v Brně, fakulta chemická. [akademická práce]
- [23] KRAUSE-SAMMARTINO, L. E., Lucas, J. C., Reboredo, M. M., Aranguren M. I.: Maleic anhydride grafting of polypropylene: peroxide and solvent effect. *Plastic, Rubber and Composites*, 2006, vol. 35, no.3, pp. 117-123
- [24] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály : Materiály, zpracování, vlastnosti*. Praha : Scientia, 2009. 343 s. ISBN 978-80-86960-29-6. [kniha]
- [25] NAVRÁTILOVÁ, Jana. *Přísady do plastů*. UTB ve Zlíně. [přednášky]
- [26] TICONA. *Celstran® LFRT*. Informační materiály fy.Ticona. 2009-2010
- [27] POLYONE. *PolyOne's Long fiber Compounds*. Informační materiály fy.PolyOne
- [28] ČERNÝ, Vít. *Použití polymerních kompozitů v automobilovém průmyslu*. Zlín, 2007. 57 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. [akademická práce]
- [29] ČAUČÍK, Pavol, *Prísady do plastov*. Vyd. 1. Bratislava : Alfa Bratislava, 1985. 488 s.
- [30] Slída. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 1.2.2011 [cit. 2011-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sl%C3%ADda>>. [e-příspěvek]
- [31] AMID, Dharia. Property comparison for talc, glass fiber, mineral fiber and mica filled polypropylene. ANTEC 2002 Plastics: Annual Technical Conference, Volume 2: Materials. (pp: 1)
- [32] CHU, J., et al. Scratch Resistance of Mineral-Filled Polypropylene Materials. *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE*. 2000, 4, s. 944-955. [článek]
- [33] HNILIČKA, Jakub. *Studium možnosti hodnocení interkalace / exfoliace systému polymer / jíh*. Zlín, 2006. 98 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. [akademická práce]
- [34] MIŠKOLCI, Michal. *Polymerní nanokompozity pro interierové části automobilů*. Brno, 2009. 32 s. Bakalářská práce. VUT v Brně, fakulta chemická.[akad. práce]

- [35] *Geofond.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-05-20]. Bentonit. Dostupné z WWW: <http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocanerudy99/html/bentonit.html>. [webová stránka]
- [36] Nano additives developed for scratch-resistant PP/PS blends . *Plastics : Additives and Compounding*. 2005, 7, s. 14. Dostupný také z WWW: <[sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. ISSN :1464-391X. [článek]
- [37] ASHORI, Alizera. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries!. *Bioresource Technology* [online]. 2008, 99, [cit. 2011-05-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>. ISSN 09608524. [e-článek]
- [38] ANDRZEJ, Bledzki; FARUK, Omar. Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Fibre Geometry and Coupling Agent on Physico-Mechanical Properties . *Applied Composite Materials*. 2003, 6, s. 365-379. ISSN 1573-4897.
- [39] FAROOQUI, Muhammad Kashif. Processing and Characterization of Autoclave-based EPP Beads [online]. Toronto : DEPARTMENT OF MECHANICAL AND INDUSTRIAL ENGINEERING UNIVERSITY OF TORONTO, 2010. 42 s. Oborová práce. Mechanical & Industrial Engineering Department, University Of Toronto. Dostupné z WWW: <[tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/25215](http://space.library.utoronto.ca/handle/1807/25215)>.
- [40] ARPRO. More than expanded polypropylene. Propagační materiály fy.ARPRO
- [41] ALTSTÄDT, Volker. EPP: Vom Polymerwerkstoff zum Design-Award. In „*Design meets EPP*“ [online]. Essen : EPP forum, 2009 [cit. 2011-04-12]. Dostupné z WWW: <v2.epp-forum.com/cms/upload/downloads/Fachtagung2009_Altstaedt.pdf>. [e-příspěvek]
- [42] VIOT, Philippe. Hydrostatic compression on polypropylene foam. *International Journal of Impact Engineering* [online]. 2009, 36, 7, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com>
- [43] BOUIX, Rémy; VIOT, Philippe; LATAILLADE, Jean-Luc. Polypropylene foam behaviour under dynamic loadings: Strain rate, density and microstructure effects . *International Journal of Impact Engineering* [online]. 2009, 36, 2, [cit. 2011-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.sciencedirect.com>
- [44] BASF Plastic potral [online] 2011.[cit.27.5.2011] Neopolen P. Informační materiály fy.BASF.

http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/content/products/foams/neopolen_p_automotive

- [45] Documents for Small Bussines & Professionals : komerční stránky [online]. 2011 [cit. 2011-03-28]. Polypropylene Market to 2020 - Propylene Supply Shortages to Restrict Industry Expansion . Dostupné z WWW: <docs-toc.com/docs/64933582/Polypropylene-Market-to-2020---Propylene-Supply-Shortages-to-Restrict-Industry-Expansion>. [webová stránka]
- [46] WILSON, D. *Inrekor unveils flat-pack production process*. Engineer. 2011, vol. JANUARY s.31-32. ISSN:0013-7758

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CO ₂	oxid uhličitý
PP	polypropylen
EPP	expandovaný polypropylen
E-modul	modul pružnosti
CLTE	součinitel lineární roztažnosti tepelné roztažnosti
PE	polyetylen
POE	polyoktenetylen
EPR	etylenpropylenový kaučuk
ITT	index toku taveniny
TPO	termoplastický polyolefin
EPDM	etylen propen dienový kaučuk
Sh	Shore (jednotka tvrdosti)
MA	anhydrid kyseliny maleinové
PP-g-MA	polypropylen roubovaný anhydridem kyseliny maleinové
GF	skleněné vlákno
SGF	krátké skleněné vlákno
LGF, LFT	dlouhé skleněné vlákno
HVAC	obor topení, ventilace, klimatizace
ABS	akrylonitril butadien styren
PC/ABS	směs polykarbonátu a akrylonitril butadien styrenu
CaCO ₃	uhličitan vápenatý
ACEA	Evropská asociace automobilového průmyslu
JAMA	Japonská asociace automobilového průmyslu
KAMA	Korejská asociace automobilového průmyslu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Polymerace polypropylenu [4].....	10
Obrázek 2: Schéma suspenzní výroby polypropylenu [7].....	11
Obrázek 3: Konfigurace polypropylenu [4].....	13
Obrázek 4: Vývoj povrchových trhlin na vzorcích PP, které byly vystaveny UV záření 24h (vlevo nahoře), 96h (vpravo nahoře), 264h (vlevo dole), 720h (vpravo dole). [13].....	15
Obrázek 5: Příklady možných modifikací PP [11].....	16
Obrázek 6: Fáze vstřikovacího cyklu [14].....	17
Obrázek 7: Průběh krystalizace PP v závislosti na teplotě [15].....	19
Obrázek 8: Základní složení kompaundů pro automobilový průmysl [16].....	20
Obrázek 9: Vliv druhu modifikace na mechanické vlastnosti modifikovaného PP [17].....	21
Obrázek 10: Příklad aplikace TPO – nárazník vozu VW Touareg [20].....	23
Obrázek 11: Příklady aplikací TPO v interieru [18].....	24
Obrázek 12: Snímky ze SEM – kompozit plněný 30 % GF (zleva: bez přídavku kopolymeru; s přídavkem 10 hm. % PP-g-MA) [23].....	26
Obrázek 13: Princip vazby mezi povrchovou vrstvou skla a PP řetězcem.....	26
Obrázek 14: Princip výroby granulátu PP+LGF [26].....	28
Obrázek 15: Ukázka vlivu délky vlákna na chování materiálu při nárazu [17].....	28
Obrázek 16: Příklad aplikace PP+GF – sací potrubí VW [20].....	30
Obrázek 17: Příklad aplikace PP+LGF – palubní deska [26].....	31
Obrázek 18: Příklad aplikace PP plněného talkem - nárazníky a boční lišty Renault Scenic [11].....	33
Obrázek 19: Dispergace vrstevnatého nanoplňiva v polymerní matici [33].....	37
Obrázek 20: Srovnání odolnosti proti poškrábání: vlevo blend PP+PS, vpravo PP-T20 [36].....	38
Obrázek 21: PP+PS zn. Elan XP 515 – větrací systém vozů VW, Audi [36].....	38
Obrázek 22: Princip spojení mezi hydrofilním vláknem a hydrofobní maticí [37].....	40
Obrázek 23: Podíl aplikací EPP dle odvětví [41].....	42
Obrázek 24: Mikrostruktura EPP pro hustoty 34,76 a 114 kg/m ³ [42].....	44
Obrázek 25: Aplikace EPP v automobilu [44].....	46
Obrázek 26: Automobilové chassi vyrobené firmou Inrekor [46].....	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti jednotlivých stereoizomerů polypropylenu [5]	12
Tabulka 2: Srovnání některých vlastností materiálů používaných v automobilovém průmyslu [11]	14
Tabulka 3: Porovnání vlastností slídou plněného PP s dalšími kompozity [31]	34
Tabulka 4: Porovnání vlastností klasických vláken s přírodními vlákny [37]	40
Tabulka 5: Porovnání mechanických a akustických charakteristik pro EPP a jiné konstrukční materiály [43]	45

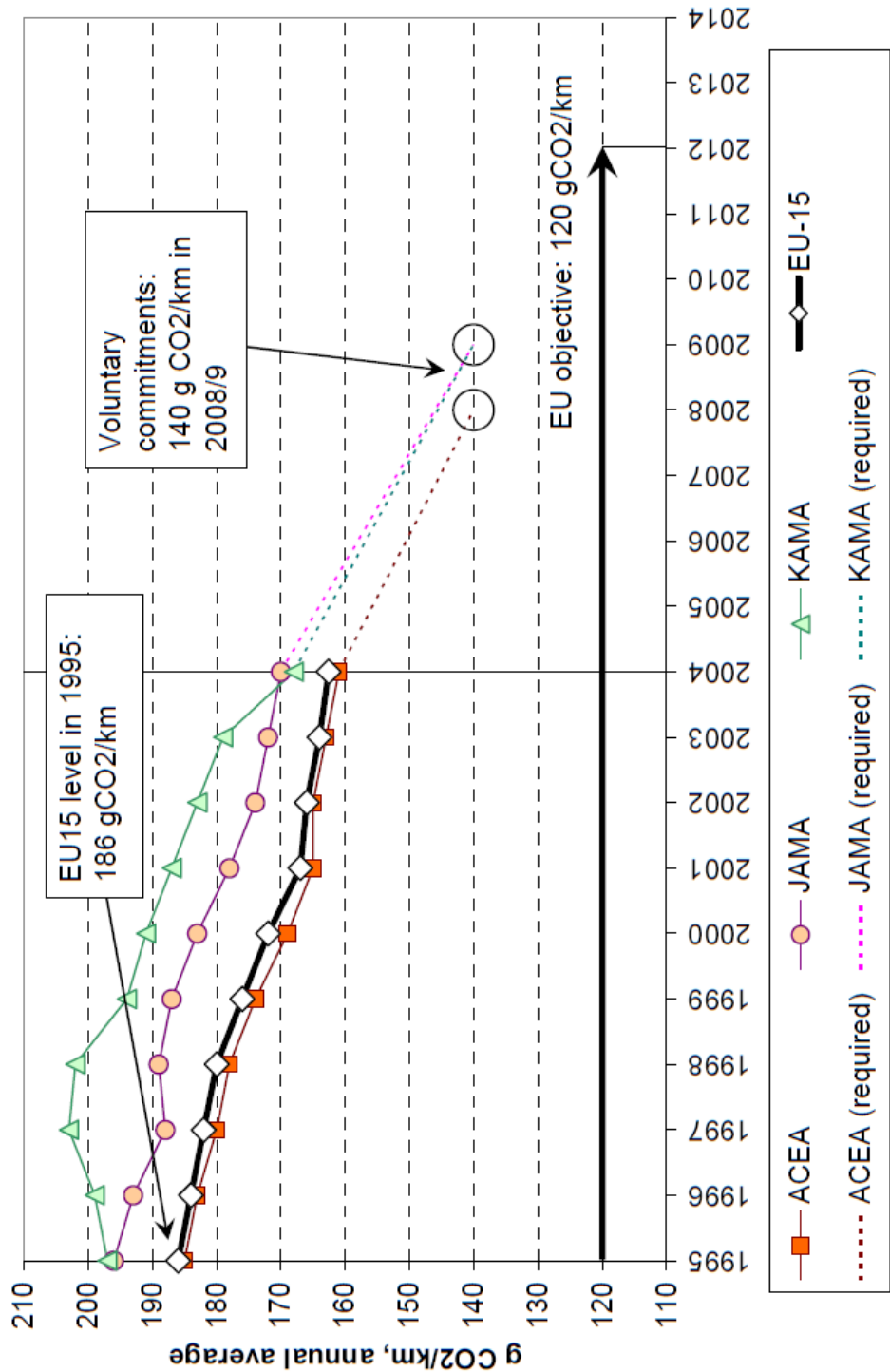
SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vliv podílu krystalinity na vlastnosti dílu z PP [15]	18
Graf 2: Vliv druhu komonomeru na E-modul a vrubovou houževnatost [16].....	22
Graf 3: Vliv obsahu komonomerů na Tg kopolymeru PP [16].....	22
Graf 4: Synergické chování složek kompozitu [21]	25
Graf 5: Změna vlastností kompozitu s obsahem skleněných vláken [25]	27
Graf 6: Porovnání vlivu krátkého a dlouhého skleněného vlákna na E-modul [27].....	29
Graf 7: Porovnání vlastností PP dle obsahu a délky vlákna [17].....	29
Graf 8: Porovnání vlivu obsahu GF, talku a CaCO ₃ na modul pružnosti [16]	32
Graf 9: Vliv poměru stran a velikosti částic talku na mech. vlastnosti [16].....	32
Graf 10: Hloubka vrypu při zatížení 7N: E1-E2: neplněný PP; T1-T3: PP plněný 20% talku; W1-W3: PP plněný 20% wollastonitu [32].....	35
Graf 11 Vliv hustoty EPP na mechanické vlastnosti při dynamickém zatížení [43].....	44
Graf 12: Průměrné emise CO ₂ nového vozového parku v letech 1995-2004 [2]	59
Graf 13: Spotřeba polypropylenu v letech 2000; 2009 a prognóza na rok 2020 [45]	60
Graf 14: Podíl na celkové poptávce polypropylenu dle průmyslového odvětví [45]	60

SEZNAM PŘÍLOH

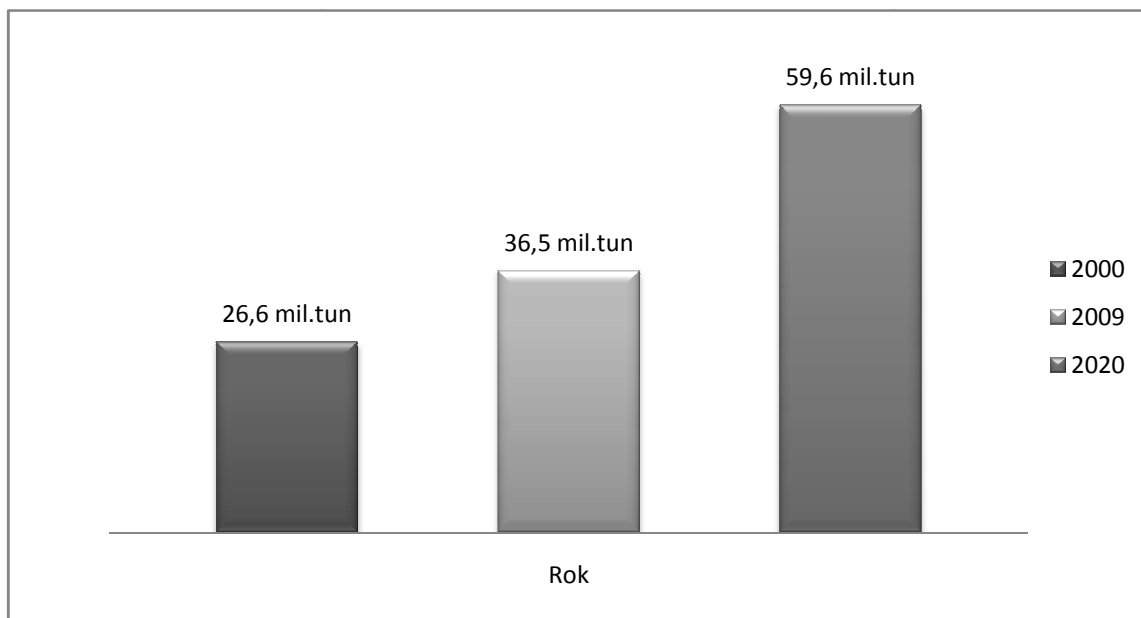
Příloha 1: Průměrné emise CO ₂ nového vozového parku v letech 1995-2004.....	59
Příloha 2: Celosvětová spotřeba PP a podíl na jeho poptávce dle průmyslového odvětví.....	60

PŘÍLOHA 1: PRŮMĚRNÉ EMISE CO₂ NOVÉHO VOZOVÉHO PARKU V LETECH 1995-2004

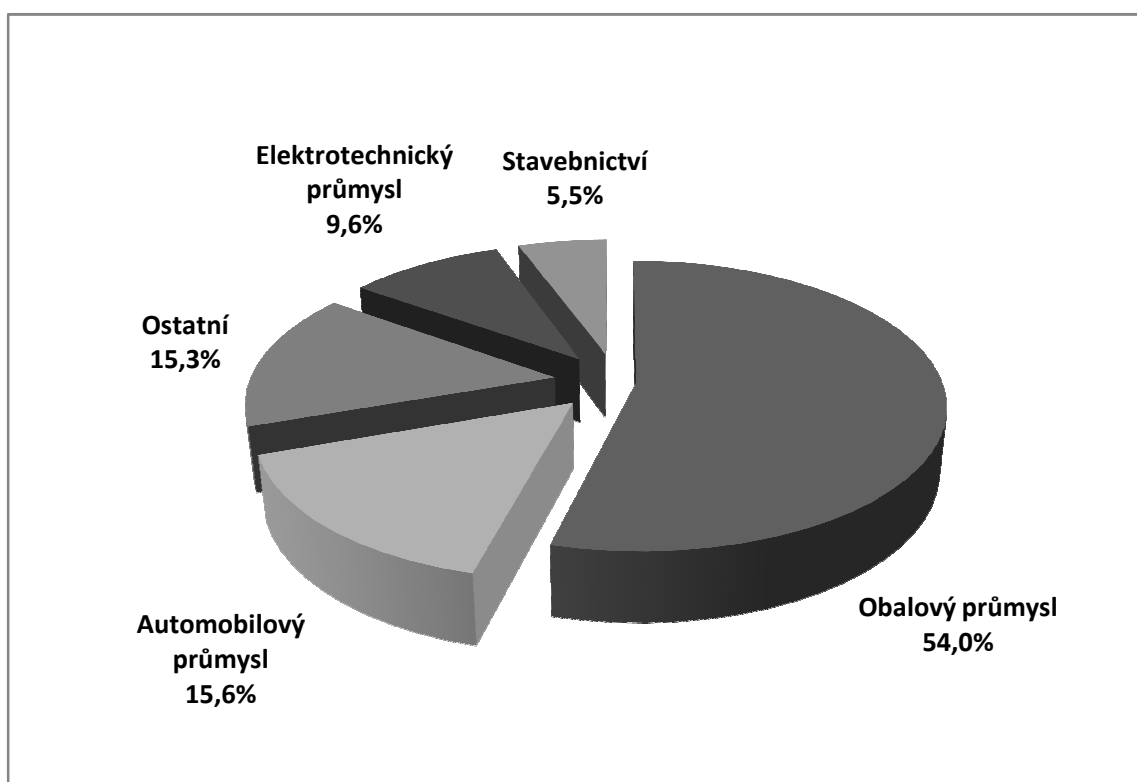


Graf 12: Průměrné emise CO₂ nového vozového parku v letech 1995-2004 [2]

PŘÍLOHA 2: CELOSVĚTOVÁ SPOTŘEBA PP A PODÍL NA JEHO POPTÁVCE DLE PRŮMYSLOVÉHO ODVĚTVÍ



Graf 13: Spotřeba polypropylenu v letech 2000; 2009 a prognóza na rok 2020 [45]



Graf 14: Podíl na celkové poptávce polypropylenu dle průmyslového odvětví [45]