

Nastavení optimálního procesu vstřikování pro plněné termoplasty

Bc. Michal Koubek

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Koubek**

Osobní číslo: **T13621**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Nastavení optimálního procesu vstřikování pro plněné termoplasty**

Zásady pro vypracování:

1. Na dané téma vypracujte rešerši z potřebných zdrojů, na jejím základě navrhnete postup a materiály pro vstřikování, připravte vzorky za různých podmínek a nastavení vstřikovacího cyklu. Připravené vzorky zhodnoťte z hlediska potřebných vypovídajících vlastností a na základě výsledků hodnocení popište optimální podmínky vstřikování pro zkoumané materiály.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Mleziva, Snuparek., Polymery, výroba, výroba, struktura a použití, Sobotáles, Praha 2000
2. Stepek, Zelinger, Kuta, Technologie zpracování a vlastnosti plastů, SNTL/Alfa Praha 1989
3. další internertové zdroje a impaktované časopisy

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Alice Tesaříková Svobodova

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 9. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Koubek Michal

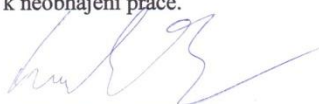
Obor: Výrobní inženýrství

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 30. 4. 2015



.....

²¹ 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 nevydělčně 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.

²² 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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem různých typů plniv, s různým tvarem částic a různou koncentrací na chování polymerní taveniny při vstřikování. Na základě pozorování vzniku typických vad vstřikovaných výrobků bude pro každou připravenou směs nastaven optimální proces vstřikování. Jsou také hodnoceny základní strukturní a mechanické vlastnosti.

Klíčová slova: Plasty, vlastnosti polymerů, plněné termoplasty, proces vstřikování.

ABSTRACT

The diploma work deals with the influence of different filler type, with various particle shapes and various concentrations on the polymer melt behavior at the mold injection process. Optimal processing condition will be defined. Basic structural and mechanical properties are evaluated.

Keywords: Plastics, properties of polymers, filled thermoplastic, mold injection process

Rád bych touto cestou upřímně poděkoval vedoucí práce doc. Ing. Dagmar Měřínské, Ph. D. za cenné rady a připomínky během zpracování diplomové práce. Dále děkuji paní Ing. Alici Tesaříkové Svobodové za spolupráci v laboratoři.

V neposlední řadě děkuji také firmě AUTOMOTIVE LIGHTING, s. r. o. za věnování termoplastických materiálů a cenné rady z praktického prostředí, jmenovitě panu Davidu Fortíkovi a panu Janu Koubovi.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 PLASTY	12
1.1 POLYMER A CHEMICKÁ REAKCE	13
1.2 REAKTOPLASTY.....	14
1.3 KAUKUKY, PRYŽE A ELASTOMERY	14
1.4 TERMOPLASTY	16
1.5 VLASTNOSTI PRO VOLBU TERMOPLASTICKÉHO MATERIÁLU	16
1.5.1 Krystalizace polymeru	16
1.5.2 Závislost polymerů na teplotě a jejich chování.....	17
1.5.3 Smrštění termoplastů.....	18
1.5.4 Dlouhodobé mechanické vlastnosti.....	19
1.5.5 Přísady pro zpracování	20
1.5.5.1 Plniva	20
1.5.5.2 Prášková plniva.....	21
1.5.5.3 Vlákenná plniva.....	22
1.6 DRUHY TERMOPLASTŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	23
1.6.1 Polyethylen (PE)	23
1.6.1.1 Polyethylen s nízkou hustotou (LDPE)	24
1.6.1.2 Polyethylen s vysokou hustotou (HDPE)	25
1.6.2 Polypropylen (PP)	26
1.6.3 Polykarbonát (PC).....	27
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	29
2.1 OBECNÝ PROCES VSTŘIKOVÁNÍ	29
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	29
2.2.1 Průběh tlaků a teploty během vstřikování.....	30
2.2.2 Diagram pVt vstřikovacího cyklu.....	31
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE A JEHO ČÁSTI	33
2.3.1 Vstřikovací a plastikační jednotka	33
2.3.1.1 Vstřikovací a plastikační jednotka pístového stroje	34
2.3.1.2 Vstřikovací a plastikační jednotka šnekového stroje.....	34
2.3.2 Uzavírací jednotka	35
2.3.2.1 Hydraulická uzavírací jednotka	36
2.3.2.2 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka.....	36
2.3.2.3 Elektromechanické uzavírací ústrojí.....	37
2.4 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	37
2.4.1 Konstrukce formy.....	38
2.4.2 Vtokový systém.....	39
2.4.3 Vyhazování výrobků z formy.....	41
2.4.4 Temperační systém a odvzdušnění formy.....	42
2.5 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VÝSLEDNÉ VLASTNOSTI VÝSTŘIKU.....	43
2.5.1 Vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost.....	43
2.5.2 Vliv teploty taveniny	44
2.5.3 Vliv dotlaku.....	44

2.5.4	Vliv teploty formy	44
2.6	OPTIMALIZACE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	45
3	HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ TERMOPLASTŮ	46
3.1	STATICÁ TAHOVÁ ZKOUŠKA	46
3.2	DYNAMICKÁ RÁZOVÁ ZKOUŠKA	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
4	PŘÍPRAVA PLNĚNÝCH MATERIÁLŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	49
4.1	VYTlačOVÁNÍ SMĚSÍ	50
4.2	GRANULACE TERMOPLASTICKÝCH MATERIÁLŮ S PLNIVY	53
4.3	SUŠENÍ PLNĚNÝCH MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	53
5	VSTŘIKOVÁNÍ PLNĚNÝCH MATERIÁLŮ	55
5.1	NASTAVENÍ VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	56
5.1.1	Vliv nastavených parametrů vstřikování na plněné směsi termoplastických materiálů a vzniklé vady	60
5.2	POUŽITÁ PLNIVA	63
6	ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ VYROBENÝCH TĚLÍSEK.....	64
6.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	64
6.1.1	Interpretace výsledků tahové zkoušky	66
6.1.1.1	Termoplastický materiál PP, vliv plniv a parametrů vstřikování	67
6.1.1.2	Termoplastický materiál PC_APEC20, vliv plniv a parametrů vstřikování	70
6.1.1.3	Termoplastický materiál PC_APEC16, vliv plniv a parametrů vstřikování	72
6.1.1.4	Termoplastický materiál PC_MAKROLON, vliv plniv a parametrů vstřikování	75
6.1.2	Hodnocení tahové zkoušky	77
6.2	DYNAMICKÁ ZKOUŠKA – RÁZOVÁ ZKOUŠKA (CHARPYHO KLADIVO)	78
6.2.1	Interpretace výsledků rázové zkoušky	79
6.2.1.1	Termoplastický materiál PP, vliv plniv a parametrů vstřikování	80
6.2.1.2	Termoplastický materiál PC_APEC20, vliv plniv a parametrů vstřikování	83
6.2.1.3	Termoplastický materiál PC_APEC16, vliv plniv a parametrů vstřikování	85
6.2.1.4	Termoplastický materiál PC_MAKROLON, vliv plniv a parametrů vstřikování	88
6.2.2	Hodnocení dynamické zkoušky	89
6.3	ZKOUŠKA NESPALITELNÝCH SLOŽEK.....	90
6.3.1	Interpretace výsledků zkoušky nespalitelných složek.....	93
	ZÁVĚR	94
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	96
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	100
	SEZNAM OBRÁZKŮ	102
	SEZNAM TABULEK.....	106
	SEZNAM PŘÍLOH.....	107

ÚVOD

Technologie vstřikování, která zažila největší rozvoj v druhé polovině 20. století, se stala jednou z nejrozšířenějších a nejvyužívanějších technologií pro zpracování termoplastických materiálů. Používá se v mnoha odvětvích po celém světě a to od potravinářského průmyslu, přes elektrotechniku, stavebnictví až po automobilový průmysl. V dnešní době se výrobky vyrábí na plně automatických vstřikovacích strojích, které jsou schopny zabezpečit sériovou i kusovou výrobu. Pro rozšíření portfolia a možností termoplastických materiálů, se zavedlo používání různých typů plniv. Tato plniva se volí dle požadavků zákazníka na finální výrobek.

V první části diplomové práce budou popsány a rozděleny plastové materiály, vlastnosti termoplastických materiálů a plniva pro tyto materiály. Pro diplomovou práci budou vybrány dva druhy termoplastických materiálů, které budou následně v první části představeny a popsány. Nedílnou součástí této práce bude i popis vstřikovacího procesu a jednotlivých částí vstřikovacího stroje.

Druhá část diplomové práce se bude zabývat praktickou výrobou plněných termoplastických materiálů. K základním termoplastickým materiálům budou přidány různé typy jílů o různých hmotnostech. Z takto připravených termoplastických směsí se budou procesem vstřikování vyrábět zkušební tělíška. Při procesu vstřikování se budou nastavovat různé podmínky vstřikování pro výrobu optimálních zkušebních tělíšek. Na zkušebních tělíškách se provedou základní mechanické zkoušky. Závěrem diplomové práce bude zhodnocení výsledků zkoušek čistých i plněných materiálů, které budou ovlivněny plnivou a parametry vstřikování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLASTY

V dnešní době jsou plasty velice významnými materiály, jejichž využití nalezneme téměř ve všech odvětvích: strojírenství, stavebnictví, obalová technika, elektrotechnika a elektronika, zdravotnictví, zemědělství, nábytkářství aj. V roce 1950 bylo ve světě vyrobeno 1,5 mil. tun plastů, roku 2011 byla celková světová produkce plastů na čísle 280 mil. tun. Celkový nárůst výroby plastů je přibližně 9 % každý rok. V Evropě jsou tato čísla nižší, v roce 2011 se vyrobilo 58 mil. tun. Výrobky z plastových materiálů jsou na obrázku (Obr. 1). [1, 2]

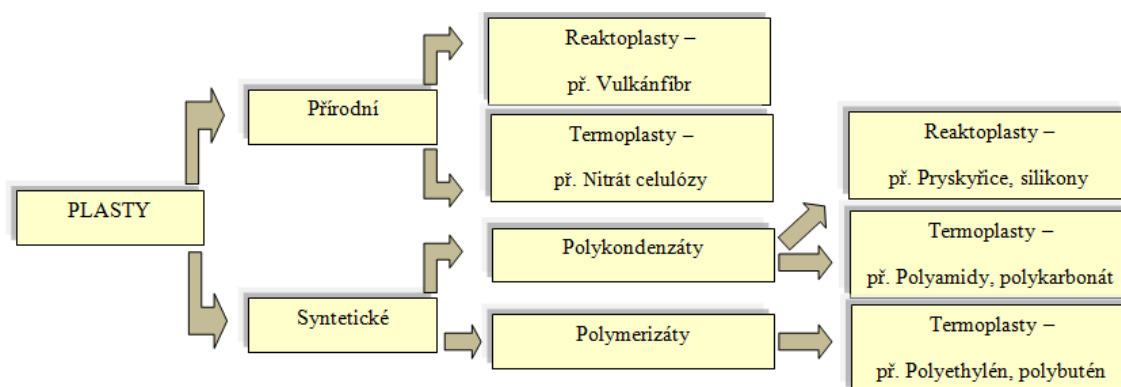
Plastové materiály mají vysoký stupeň využitelnosti materiálu (90-95 %) a nízkou spotřebu energie v porovnání s kovovými materiály. Mezi výhody plastových materiálů patří výhodné zpracovatelské vlastnosti, nízká měrná hmotnost, výborné izolační schopnosti a jsou odolné vůči korozi. Za hlavní nevýhody se řadí nízké mechanické a časově závislé vlastnosti, relativně vysoká ekologická zatížitelnost a opětovné zpracování použitých plastů. [1, 3]



Obr. 1. Běžné plastové výrobky [4]

1.1 Polymer a chemická reakce

Polymer je látka tvořená makromolekulami, kde nejvyšší zastoupení má prvek uhlík, dále kyslík, dusík, vodík a další chemické prvky. Monomer je základní stavební jednotkou polymeru („poly“ znamená v řečtině mnoho). Z polymeru se plast vytvoří smícháním s nezbytnými přísadami a poté se převede do formy k dalšímu zpracování. Tento jev je označován slovem kompaundace (smíchání). Příkladami se změny vlastností polymeru dle požadavků na výrobek. Mezi přísady patří stabilizátory, maziva, pigmenty, plniva, barviva a změkčovadla. Teplem a tlakem lze polymer tvarovat a měnit jeho výsledný tvar. Polymery dělíme na přírodní a syntetické. Rozdělení je na obrázku (Obr. 2). [1, 3, 5]



Obr. 2. Rozdělení přírodních a syntetických plastů [5]

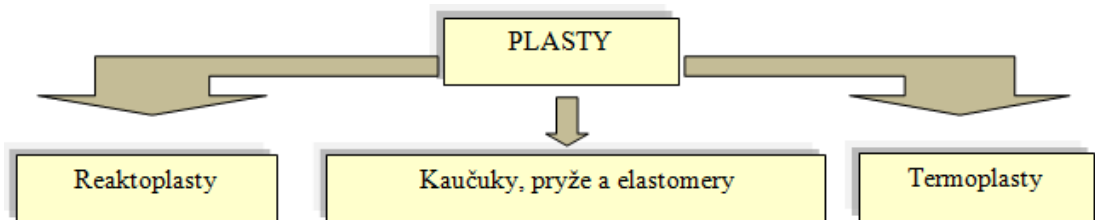
Syntetické polymery se vytváří třemi základními chemickými reakcemi. První způsob je řetězová polymerace. Jedná se o chemickou reakci, při které se slučují molekuly monomeru a vznikají makromolekuly polymeru. Pro zahájení polymerace je nutno přivést dané množství energie. Molekuly monomeru se mohou aktivovat světlem, zářením a teplem. Název polymeru se odvozuje od monomeru, ze kterého vznikl. [3, 5, 6]

Druhý způsob se nazývá polykondenzace. Zde se spojují molekuly s funkčními skupinami do dlouhých řetězců. Při každém spojení dochází k uvolnění jednoduché molekuly např. vody nebo alkoholu. Při polykondenzaci nemá polymer stejné složení jako monomer. Charakteristickými zástupci této skupiny jsou polyestery, polyamidy, epoxidy. Při polykondenzaci ethylenglykolu s kyselinou tereftalovou vznikne již zmiňovaný polyester. [3, 5, 6]

Třetí způsob je polyadice. Při této chemické reakci monomery, jejichž molekuly obsahují násobné vazby, mohou být mimo řetězení schopny adičních reakcí. Konečný polymer má vlastnosti původního monomeru. [6]

Pokud hovoříme o polymeru, jedná se o chemickou látku a v případě plastu se jedná o technický materiál. Podle chování plastu za působení teploty se dělí dle obrázku (Obr. 3).

[1, 3, 5]



Obr. 3. Dělení plastů dle teploty [3]

1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty, dříve nazývané termosety jsou polymery, které v první fázi ohřívání přechází do tvářecího stavu (jsou měkké) pouze na omezenou dobu. V druhé fázi dochází k dalšímu ohřátí a jevu, který je nazýván zesíťování. V dnešní době se spíše používá výraz vytvrzování. Vytvrzování je chemická reakce, která je podporována vytvrzovacími činidly. Proces ochlazování reaktoplastů se děje mimo nástroj, a to z důvodu velkých teplotních rozdílů. Charakteristické pro reaktoplasty je, že proces vytvrzení, který byl proveden, je nevratný. Reaktoplasty po vytvrzení nelze znovu rozpouštět ani tavit.

Tato skupina plastů se využívá v oblastech, kde jsou vyšší požadavky na tvarovou stálost a odolnost vůči rozpouštědlům. Mezi představitele reaktoplastů patří: Epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty. [1, 3, 5, 6]

1.3 Kaučuky, pryže a elastomery

Obecně lze elastomer považovat za vysoce kondenzovaný plyn, protože velká část jeho monomerů se vyskytuje v plynném skupenství. Molekuly se vyskytují ve struktuře: [3, 7]

- Amorfní
- Semikrystalické

Vlastnosti elastomerních materiálu pro konstrukční použití lze rozdělit na mechanickou a chemickou odolnost. Dle dalšího zpracování a podmínek jsou tyto vlastnosti proměnné.

Mezi základní vlastnosti elastomerů patří vysoká pružná deformace (elasticita), v tlaku a smyku vykazující poměrně vysokou pevnost. Distribuční křivka molekulových hmotností stanovuje, jak bude elastomer závislý na teplotě. Každý elastomer charakterizuje uspořádání řetězců makromolekul a jejich reakce při deformaci. Vlastnosti lze měnit vznikem primárních příčných vazeb, tento proces se nazývá vulkanizace. Mezi příčnými vazbami působí vazebné síly. [3, 7, 8]

Proces vulkanizace je fyzikálně – chemický proces. Podmínky pro vulkanizaci jsou působení teploty a tlaku po daný časový interval. V tomto intervalu se mění kaučuková směs na vulkanizát, kde dochází k chemickým změnám a látka se mění na převážně elastickou. Kaučuková směs = gumárenská směs, která se skládá z několika základních složek. Mezi tyto složky patří kaučuk (5-95 %), plniva (až 80 %), vulkanizační činidla, aktivátory, urychlovače, retardéry, antidegradanty, antioxidanty, změkčovadla, zpracovatelské přísady a ostatní přísady. [7]

Typický amorfní polymer s náhodným uspořádáním molekul je kaučuk (anglicky rubber NR). Přírodní kaučuk se získává z tropického stromu kaučukovníku brazilského, kterému se nařízne kůra a vytéká surový kaučuk neboli latex (lepivá tekutina) obrázek (Obr. 4). Kaučuk je základní složkou každé kaučukové směsi a určuje její charakteristické vlastnosti. Dále existuje také velké množství syntetických kaučuků např. butadien kaučuk (PB), izoprenový kaučuk (IR), vinylpyridinový latex (VP). Využití těchto kaučuků je následující: pláště pneumatik, pružná uložení, těsnící kroužky, běhouny pneumatik, kabely, nátěrové hmoty atd. [3, 7, 8, 9]



Obr. 4. Rozříznutý strom kaučukovníku [9]

1.4 Termoplasty

Termoplasty jsou makromolekulární látky, které se stávají změnou teploty plastické až kapalné, dají se tedy tvářet. Jejich řetězce jsou lineární nebo rozvětvené. Působením tepla se chemicky nemění. Ochlazením se stávají pevnými materiály. Rozsah teplot tání je mezi 90 – 335 °C. Jsou používány pro výrobu termoplastických součástí, pomocí metod vstřikováním, vyfukování nebo odlévání. Jejich vlastnosti lze využít i pro lepidla. Vlastnosti termoplastů ovlivňujeme plnivými, výztužnými materiály, stabilizátory, pigmenty a dalšími přísadami. Nejběžnější termoplasty jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), polykarbonát (PC), polyester (PS). [10, 11, 12]

1.5 Vlastnosti pro volbu termoplastického materiálu

Termoplasty zastupují přes $\frac{3}{4}$ světové výroby ze všech plastových materiálů. Jsou velice důležité pro řadu výrobků. Obecně řadíme polymerní makromolekuly:

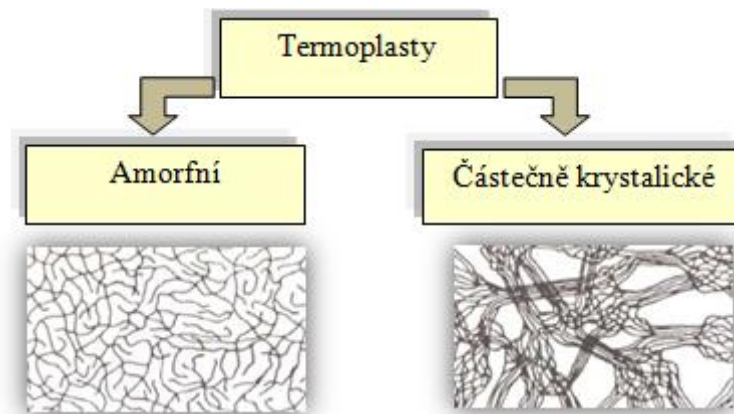
- Lineární
- Rozvětvené
- Zesíťované

V prvním případě jde o sestavení molekul v přímé řadě. Jejich výhodou je ve vyplnění prostoru, a proto dochází k vyšší hustotě. Tvoří pravidelné skupiny krystalických struktur. Typickými představiteli jsou PA, PP. Rozvětvené polymery se liší bočními větvemi, které se nacházejí na základním řetězci makromolekuly. Boční větve způsobují nižší hustotu a krystalizaci proti přímým makromolekulám. Typickým zástupcem je rPE. [1, 5, 10]

1.5.1 Krystalizace polymeru

Přímé a cíleně rozvětvené materiály mají potenciál k částečné krystalizaci. Krystalizace probíhá při přechodu ze stavu kapalného do stavu tuhého, znázorněno v obrázku (Obr. 5). Tento pojem znamená, že vznikají dvě struktury, a to krystalická uspořádaná a neuspořádaná amorfní. Pokud makromolekuly nedisponují možností samovolného uspořádání při krystalizaci a řetězce zůstanou neuspořádané, jedná se o amorfní polymery. Jejich stavba je totožná se stavbou tavenin, často se nazývají organickými skly (jsou čiré). Jedním z důsledků krystalizace je skládání makromolekul do pravidelné prostorové struktury.

Skládáním struktur se vytváří lamely. Lamely jsou velice tenké destičky o tloušťce zhruba 10 nm. V praxi se nevyskytují, jsou vynalezeny pouze pro laboratorní prostředí. Při tuhnutí reálného výrobku z taveniny vznikají útvary, jež nazýváme sférolity. Jejich rozměry jsou až milimetry, běžně je lze vidět pod mikroskopem. Dalším důsledkem krystalizace je změna tzv. průhlednosti polymerů. Pro zajištění průhledného výrobku se musí zajistit nekystalizující polymer nebo polymer s velice malými krystaly, neboť krystalizace znamená ztrátu průhlednosti. Výborně krystalizují termoplasty PE, PTFE, POM. [3, 5, 10]



Obr. 5. Rozdělení termoplastů [11]

Mechanické vlastnosti vyplývají z působení mezimolekulárních sil. Mezimolekulární vzdálenosti jsou přímo závislé na vzdálenosti molekul. Vzdálenost molekul je nejmenší u uspořádaných řetězců v krystalickém stavu. Výhody krystalické fáze jsou vyšší mechanické vlastnosti a hustota, oproti amorfním. Z důvodu zmenšení objemu při tuhnutí dochází k většímu smrštění. Množství krystalického podílu je dle typu polymeru, avšak maximálně 99 % celého objemu. Metodou metalocenového katalytického systému lze dosáhnout hodnot okolo 95 % objemu. Touto metodou se vyrábí izotaktický polypropylen. [5, 10]

1.5.2 Závislost polymerů na teplotě a jejich chování

Částice materiálů konají náhodné pohyby v závislosti na teplotě, u polymerních materiálů tyto částice nazýváme segmenty. Tento jev byl pojmenován Brownův pohyb. Změna teploty má za následek změnu vlastností. Za vyšších teplot dochází ke změně stavu chování ze sklovitého na viskoelastické. Tato změna se nazývá teplota skelného přechodu „ T_g “. Nad touto teplotou lze zpracovávat materiál tvarováním, dochází ke snížení viskozního

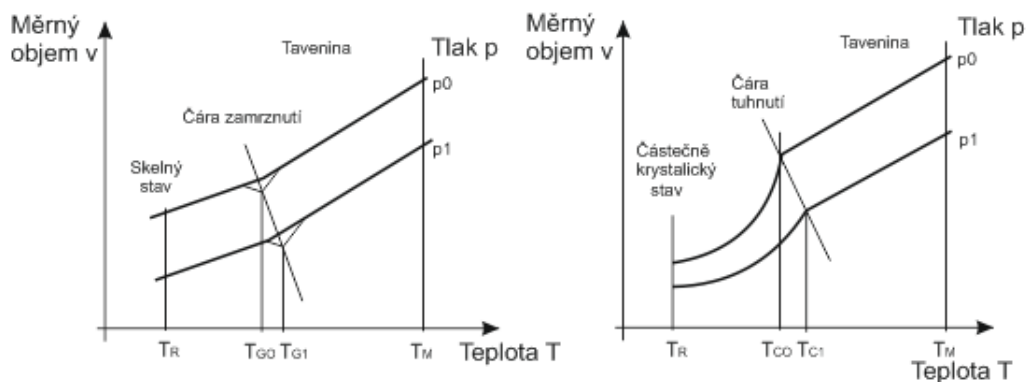
stavu a mění se vlastnosti polymerů. Při překonání této teploty jsou polymery ve viskózním stavu. U částečně krystalických polymerů působí řádově větší mezimolekulární síly. Z tohoto důvodu je potřeba vyšší teplota pro tečení. Tato teplota je označována teplotu tání krystalického podílu „ T_m “. Jedná se o teplotu, při které dochází k rozpadu krystalické struktury na taveninu. V případě amorfních polymerů se jedná o teplotu tečení „ T_f “. Semikrystalické polymery obsahují i nějakou část amorfní struktury. Při vysoké teplotě začne docházet k rozpadu této struktury na fragmenty, jedná se o teplotu rozkladu polymeru „ T_c “. [1, 3, 5, 10, 14]

1.5.3 Smrštění termoplastů

Při chladnutí polymerů z taveniny u termoplastů dochází ke smrštění, a to u všech typů těchto materiálů. Tento jev je velice významný, jelikož při ochlazování dochází ke zmenšení původních rozměrů. Krystalinita je hlavní faktor, který určuje hodnoty smrštění. Smrštění u částečně krystalických polymerů je 1 – 4 %, u amorfních to jsou hodnoty do 1 %. Přesné hodnoty jsou závislé na konkrétních vlastnostech polymeru. Požadavek zákazníka při vstřikování termoplastů je dodržení co nejpřesnějšího rozměru výrobku a dané tolerance. Tudíž technolog musí zajistit dutinu formy o trochu větší, aby dané požadavky byly dodrženy. Návrh dutiny formy je velice sofistikovaná záležitost, která je ovlivněna mnoho dalšími faktory. Mezi tyto faktory patří tlaky vstřiku, teploty taveniny, čas vstřikování taveniny, vtoková soustava, chlazení výstřiku, tvar výstřiku, plniva. S rostoucími nároky na přesnost roste i cena výrobku. V případě složitých výlisků může docházet k nerovnoměrnému smršťování, toto je příčina tvarových chyb výstřiku. Tolerance rozměrů je udávána normou ČSN EN 20 286. Amorfní termoplasty dosahují přesnosti IT 10 – IT 12, semikrystalické se vykazují přesností IT 11 – IT 13. Tolerance okolo hodnot IT 5 a IT 6 jsou v praxi skoro nedosažitelné, lze však dosáhnout tolerance $\pm 0,05$ mm. [3, 10, 15]

Smrštění termoplastů lze dobře znázornit pomocí jejich pV_T grafu chování. Graf popisuje vzájemnou závislost objemu, teploty a tlaku. U obrázku (Obr. 6) vlevo se jedná o amorfní termoplast, kde je T_M - teplota taveniny a T_R - teplota skelného stavu. Přechod z taveniny do skelného stavu je kontinuální. Kontinuální přechod zajišťuje nízkou hodnotu smrštění. Viskozita taveniny je velmi závislá na teplotě. Čas, kdy dojde k zamrznutí (přechod z taveniny do skelného stavu) je T_G – teplota zesklenní.

Na obrázku (Obr. 6) vpravo je znázorněno ochlazování semikrystalického termoplastu, kde je T_M - teplota taveniny a T_R – teplota krystalického stavu. T_C je oblast objemové změny, kde při ochlazení dochází ke krystalizaci, která zdatelně ovlivňuje smrštění výstřiku. Tato změna je větší než u amorfních termoplastů. Rychlost ochlazování určuje výslednou strukturu a kvalitu výstřiku. Hodnota smrštění při pomalém ochlazování je vysoká z důvodu vysokého stupně krystalizace. Naopak při rychlém ochlazování je hodnota smrštění nízká, proto vzniká riziko dokrystalizace. Pokud nastane jev dokrystalizace, způsobí dodatečné smrštění. [10, 15, 16]

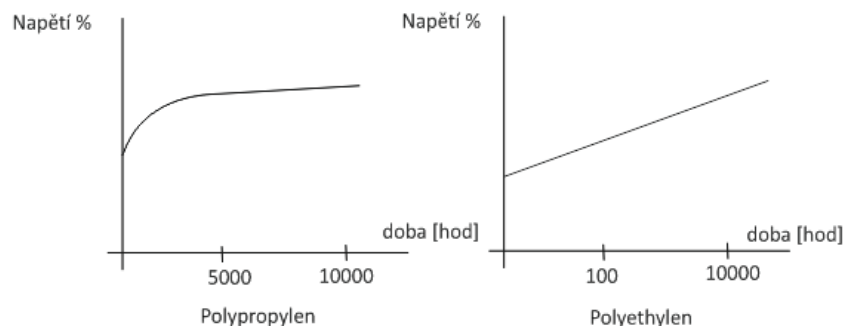


Obr. 6. Ochlazování amorfního a částečně krystalického termoplastu [10]

1.5.4 Dlouhodobé mechanické vlastnosti

Chování termoplastů je viskoelastické i za běžných teplot. Jejich vlastnosti jsou závislé na době zatížení po celou dobu využití. Materiál vykáže různou deformaci ihned po zatížení. Velikost této deformace je udávána Hookeovým zákonem. [5, 17]

Zkouška creep popisuje tečení materiálu, viz obrázek (Obr. 7). S rostoucí dobou zatěžování vzrůstá hodnota poměrné deformace. Tato zkouška slouží pro okrajové zjištění viskoelastického chování. V praxi se následky viskoelastického chování termoplastů odhadují pomocí modulu tečení. [5, 17]



Obr. 7. Křivka tečení materiálu [5]

1.5.5 Přísady pro zpracování

Pro vstřikování termoplastů se používají různé druhy přísad, které zlepšují vlastnosti termoplastického materiálu. Díky nim jsou termoplasty lépe využitelné pro vstřikování a mají široké pole využití. Vhodným použitím přísad lze dosáhnout požadovaných technických a ekonomických parametrů pro výsledný výrobek. Přísady dělíme podle funkce změny na:

- Úpravy fyzikálních vlastností
- Úpravy ochranných vlastností

V případě fyzikálních vlastností se jedná o plniva, maziva, změkčovadla, pigmenty, separační činidla, nadouvadla. Ochranná funkce připadá stabilizátorům termooxidačního stárnutí, tepelné a světelné stabilizátory, retardéry hoření. [5, 10, 17, 19, 20]

1.5.5.1 Plniva

V souvislosti se zvyšujícími požadavky na plastové výrobky a s omezenými množstvím výroby nových polymerních materiálů se začala využívat plniva. Funkce plniv jsou:

- Snížení ceny výrobku
- Úprava vlastností výrobku (dle požadavku)

Množství plniva v termoplastu ovlivní skoro všechny vlastnosti od tvrdosti až po oděruvzdornost. Plniva jsou organická (stejnorodá směs), do kterých patří dřevěná moučka, sojová moučka, bělená α celuloza nebo anorganická (různorodá směs), sem se řadí slída, skelná vlákna a další. Při volbě plniva má obrovský vliv na výsledné vlastnosti velikost a dále i tvar částic. V případě jemného plniva jsou výsledné vlastnosti ovlivněny jen minimálně. V opačném případě je změna mechanických vlastností zásadní. Obecně nelze určit nejpříznivější množství plniva v plastu, vždy však záleží na konkrétní aplikaci. Při volbě plniva se bere ohled na opotřebení formy nebo jiných funkčních částí. Polymery jsou míchány s plnivou např. pomocí hnětacích strojů. [5, 10, 15, 19]

Dělení plniv je dle vzájemného působení s polymerem. Plniva dělíme na:

- Aktivní
- Neaktivní

Princip působení aktivního plniva spočívá ve vzájemné adhezi s polymerem. Přidáním plniv může dojít k omezení hybnosti makromolekul a následnému zvětšení modulu pružnosti E . V opačném případě, kdy plnivo neovlivní pohyb makromolekul, nastane minimální zvětšení modulu pružnosti E . Adheze není vždy dostatečná. Pro zajištění adheze se používají adhezivní prostředky, tzv. apretační vazebné prostředky. Funkce apretačních vazebných prostředků spočívá ve zvýšení adheze mezi polymerem a plnivem. Těchto prostředků se přidává do 3 % v poměru s plnivem. [5, 10, 15, 19]

Jednou skupinou takových činidel jsou silany. Silany se řadí do skupiny apretačních vazebných prostředků, které mají schopnost vytvořit trvalou vazbu mezi povrchem plniva a polymerem. Princip vzniku vazby spočívá v chemické reakční schopnosti založené na kombinaci hydrolyzovatelných skupin s organickými skupinami v jedné molekule. Díky této reakci vznikají vazby. Silan vytvoří vrstvu na plnivu do tloušťky 20 nm. [5, 10, 15, 19]

1.5.5.2 Prášková plniva

Obecně lze říci, že prášková plniva zlepšují mechanické vlastnosti, ale i odolnost proti působení atmosféry. Jsou velice významnými plnivy pro PP, PE, PC, PVC, PA. Zástupci skupiny kovových prášků jsou bronzy, zinek a hliník. Jejich funkce je zajištění vodivosti tepla. Další prášková plniva jsou na bázi práškových polymerů, ať už přírodních nebo synteticky vyrobených. Typickými zástupci pro tuto skupinu jsou TiO_2 a Al_2O_3 . Jeho působením se zvyšuje tuhost a tvrdost. Do této skupiny dále patří uhličitan vápenatý (CaCO_3), který se používá kvůli zlepšení fyzikálních vlastností a patří do skupiny vyztužujících plniv. Jako plnivo se využívá v různých modifikacích jako například při výrobě PVC trubek, na ochranu podvozku automobilu a na okenní profily. Dále mezi prášková plniva patří skleněné kuličky – balotina, saze, kaolín, křemičitany, bentonit. [5, 10, 15, 19]

1.5.5.3 Vlákenná plniva

Pokud jsou vlákna v poměru minimálně 10:1 (délka:průměru), lze konstatovat efekt ztužení. Takto ztužená plniva jsou obecně charakterizována vnesením vyšší pevnosti a stálosti. Při příčném řezu ztuženého vlákna je vidět struktura ze spletených vláken. Nejčastější koncentrace vláken pro ztužující plniva je v rozmezích od 5 – 50 % hmotnosti. Vlákna dělíme na:

- Krátká
- Dlouhá

Krátká jsou do délky 1 mm a dlouhá do délky 10 mm. Rizikem u dlouhých vláken je jejich lámání, naopak výhodou je vyšší pevnost. Při zpracování metodou vstřikování jsou délky vláken od 1 – 4 mm. Existuje mnoho druhů vláken například azbestová, skleněná, uhlíková, kovová, titanová. [5, 10, 15, 19]

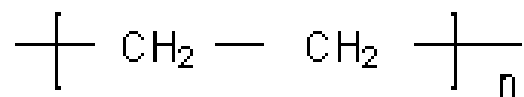
1.6 Druhy termoplastů pro vstřikování

Výroba plastů zažila ve 20. století velký růst. V dnešní době se na trhu vyskytuje obrovské množství plastových materiálů. Plastové materiály jsou využívány v téměř všech odvětvích výroby, jedná se o strojírenství, stavebnictví, automobilní průmysl, textilní, potravinářský průmysl aj. Využití je od nejjednodušších součástí, až po součásti složitých tvarů. Termoplastický materiál volíme dle ceny, mechanických vlastností, metody zpracování nebo barvy. Možnosti výroby nových polymerů se zmenšují, proto se stávající polymery modifikují. Modifikací jsou upraveny vlastnosti polymeru dle požadavků zákazníka. Modifikace může být provedena plnivými nebo kopolymery. Mezi nejznámější termoplasty patří PE, PP, PVC, PC, PS.

V této části jsou popsány termoplasty, které budou použity v praktické části diplomové práce. Tyto druhy termoplastů budou míchány s různými typy plniv a bude také nastaven vhodný proces vstřikování pro optimální parametry. [3, 15, 30]

1.6.1 Polyethylen (PE)

PE je základním představitelem skupiny s názvem polyolefiny. Ryzí vlastností PE je jeho uhlovodíkový řetězec, viz obrázek (Obr. 8). Do skupiny polyolefinů patří, jelikož se vyrábí z monomeru ethenu. [1, 5, 10, 12, 21]



Obr. 8. Uhlovodíkový řetězec PE [6]

Jeho vlastnosti jsou významně závislé na struktuře (hustota, krystalinita, uspořádání makromolekul, molekulová hmotnost). PE se dělí dle tabulky (Tab. 1). Jedná se o amorfní či krystalický materiál, který je známý svojí chemickou odolností vůči většině kyselin a má voskovitý charakter. Vyznačuje se vysokou tažností a houževnatostí. Do 50 °C se nerozpouští v činidlech. Kladnou vlastností je odolnost proti propouštění páry a je mrazuvzdorný. Stabilizátory pro zlepšení jeho vlastností jsou saze. Přidáním 1,5 – 2,5 % ZnO zvýšíme odolnost proti působení větru. [1, 5, 10, 12, 21]

Tab. 1. Typy PE jejich základní vlastnosti [1, 6]

Zkratka polyetylenů	LDPE	HDPE	MDPE	LLDPE	VLDPE
Název polyetylenů	Nízkohustotní (rozvětvený, vysokotlaký)	Vysokohustotní (lineární, nízkotlaký)	Středohustotní	Nízkohustotní lineární	Velmi nízkohustotní
Hustota [g/cm ³]	0,92 - 0,935	0,94 - 0,967	0,925 - 0,94	0,915 - 0,925	0,88 - 0,915

Proces sušení zde není nutný, a to z důvodu nízkého obsahu vody, cca do 0,45 %. Toto sušení je nutné pouze v případě skladování v prostorech o vysoké vlhkosti. Proces sušení trvá dle obsažené vlhkosti, obecně se jedná o cca 3 hodiny při teplotě okolo 85 °C. V oblasti zpracovatelských teplot je PE teplotně stabilní, velice dobře zpracovatelný a v porovnání s ostatními plasty má nízkou hustotu a cenu. Při recyklaci je schopen vykazat poměrně stálé mechanické vlastnosti. Při hoření odkapává, plamen je žlutozelený a vzniká zápach po vosku. [1, 10, 22]

1.6.1.1 Polyethylen s nízkou hustotou (LDPE)

Hodnoty hustoty LDPE jsou v tabulce (Tab. 1). Makromolekuly, ze kterých se skládá, jsou ve velké míře rozvětveny. Tepelná stálost je v rozmezí teplot od -50 – 80 °C. Při procesu vstřikování jsou zpracovatelské teploty okolo 210 °C. Díky dobrému indexu toku taveniny jsou tyto materiály hojně využívány. Vhodným ITT se zaručí požadovaná tekutost a dobrý lesklý povrch drobných výrobků. LDPE se vyrábí při vysokých teplotách a velmi vysokých hodnotách tlaků v přítomnosti iniciátorů (0,05 - 0,95 %) metodou zvanou radikálová polymerace. Jako iniciátor se používá kyslík, akryl. V dnešní době se využívají pro výrobu trubkové reaktory a autoklávy. Další vlastnosti LDPE jsou v tabulce (Tab. 2). [1, 5, 10, 12, 21]

„Charakteristickým znakem vysokotlaké radikálové polymerizace etylenu je přenos radikálu na polymer, který vede k dvojímu typu větvení polymerních řetězců“. [1]

Tab. 2. Základní vlastnosti LDPE [1, 5, 10, 12]

Struktura	Stupeň krystalinity [%]	Teplota tání Tm [°C]
Semikrystalická	45 - 55	105 - 113
Pevnost v tahu [MPa]	Tvrdość (Shore)	Index toku taveniny [g/10min]
8 - 16	45 - 60	0,1 - 70

1.6.1.2 Polyethylen s vysokou hustotou (HDPE)

Hustota se pohybuje v rozmezí hodnot 0,94 - 0,967 g/cm³. Makromolekuly, ze kterých je složen řetězec, jsou spíše lineární. Hlavní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3). Značně vyšší úroveň krystalinity způsobuje vyšší tvrdost a houževnatost. Tepelná stálost po krátkou dobu je až 110 °C. Proces vstřikování je jedním z hlavních způsobů zpracování tohoto materiálu. Vyrábí se třemi základními způsoby, a to roztokovým, suspenzním a v plynné fázi. Dle použitého katalyzátoru se rozdělují polymerační procesy. V praxi se využívá katalyzátorů Zieglerových. Využitelnost HDPE má zvyšující tendenci. [1, 5, 10, 12, 21]

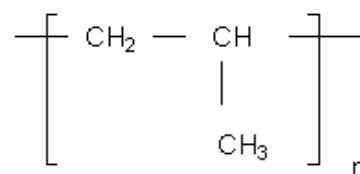
Metoda suspenzní je jedna z nejstarších, ale stále hojně využívaná pro výrobu HDPE. „Princip metody je ve srážecí polymeraci ethenu v prostředí uhlíkového rozpouštědla při teplotách, kdy je polymer v rozpouštědle nerozpustný“. [1]

Tab. 3. Základní vlastnosti HDPE [1, 5, 10, 12]

Struktura	Stupeň krystalinity [%]	Teplota tání Tm [°C]
Semikrystalická	70 - 80	130 – 135
Pevnost v tahu [MPa]	Tvrdość (Shore)	Index toku taveniny [g/10min]
19 - 33	60 - 70	0,4 – 8

1.6.2 Polypropylen (PP)

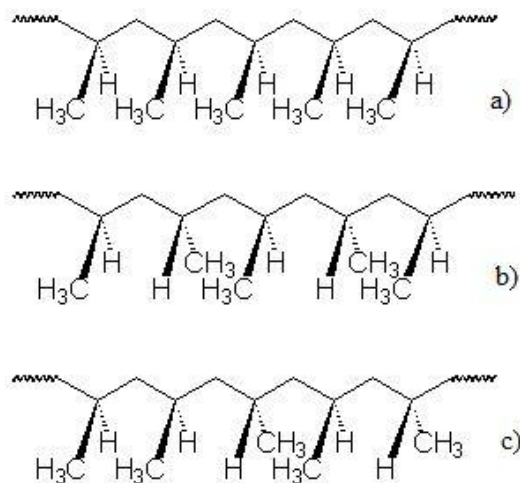
Další zástupce ze skupiny polyolefinů je polypropylen. Řetězec obsahuje pouze uhlík a vodík, viz obrázek (Obr. 9). Jeho struktura je prakticky nepolární. Jedná se o velice významný materiál, který se využívá v mnoha odvětvích např. automobilový průmysl, obalový průmysl a textilní průmysl. Pomocí Ziegler Nattova katalyzátoru byl v roce 1954 vyroben polypropylen s pravidelně uspořádanou chemickou strukturou. Vyrobený PP má vždy dva typy molekul. První typ molekul je uspořádaný, obsah těchto molekul je minimálně 95 %. Druhý typ jsou molekuly neuspořádané, tzv. ataktické. Díky moderním katalyzátorům lze vyrobit strukturu s méně než 1 % ataktické složky. Ataktická složka zhoršuje mechanické vlastnosti, je tedy nežádoucí. [1, 5, 6, 10, 12]



Obr. 9. Uhlovodíkový řetězec
PP [6]

Dle molekulární struktury rozlišujeme tři typy PP, které najdeme na obrázku (Obr. 10). Struktura PP zásadně ovlivňuje vlastnosti. [1, 23]

- Isotaktický - methylové skupiny jsou umístěny pouze na jedné straně
- Syndiotaktický - v této skupině se skupiny střídají
- Ataktický – náhodná struktura



Obr. 10. Rozdělení struktury PP [23]

Základní vlastnosti PP jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4). PP se vyznačuje výbornými elektroizolačními vlastnostmi, které zajišťuje nepolární struktura. Vhodné použití do míst s teplotou vyšší jak 0 °C. Odolnost proti větru je v porovnání s PE nižší. Jeho tvrdost je relativně vysoká ve srovnání s ostatními představiteli ze skupiny polyolefinů. UV záření snižuje životnost PP. Pro zvýšení životnosti se používají stabilizátory. Nejefektivnějším stabilizátorem jsou saze. Pro změnu vlastností se používají různé druhy vláken. Vláknem především zvýší pevnost a tuhost výsledného výrobku z PP. [1, 5, 6, 10, 21, 24]

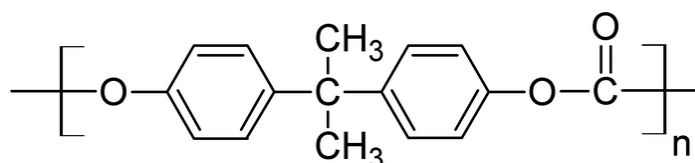
Tab. 4. Základní vlastnosti PP [1, 5,6, 21]

Struktura	Stupeň krystalinity [%]	Teplota tání Tm [°C]
Semikrystalická	70 - 80	160 - 165
Teplota skelného přechodu [°C]	Hustota [g/cm ³]	Teplota použití [°C] krátkodobě / dlouhodobě
5	0,900 - 0,910	135/100

PP se zpracovává celou řadou metod. Vstřikováním se vyrábějí velké i malé součásti. Díly vyrobené vstřikováním PP jsou např. různé části domácích spotřebičů, plastové díly do automobilů, různé druhy hraček a dílce, které jsou odolné vůči sterilizačním teplotám. [1, 5]

1.6.3 Polykarbonát (PC)

PC se zařazuje do skupiny polykondenzátů. Jedná se o amorfnní termoplast, který obsahuje dvě fenolická jádra spojená můstkem, viz obrázek (Obr. 11). Vzniká z polyesterů kyseliny uhličitě a dihydroxysloučenin. Makromolekuly jsou lineární a pravidelné, ale nedochází ke krystalizaci. Metody výroby PC se nazývají reesterifikace a fosgenace. PC má velice významné vlastnosti, které jsou výjimečné a nedosahují jich jiné termoplastické materiály (houževnatost). [1, 5, 6, 10, 22]



Obr. 11. Jednotka PC [5, 6]

Významné vlastnosti jsou především vysoká míra houževnatosti, čirost, tuhost a pevnost, elektroizolační možnosti, odolnost vůči povětrnosti a UV záření, vysoká rozměrová stabilita do teplot okolo 140 °C, teplotní odolnost. Jsou chemicky odolné proti studené vodě, tukům olejům a alkoholům. Není odolný proti methanolu a benzenu. PC je zdravotně nezávadný. Další vlastnosti jsou uvedeny v tabulce (Tab. 7). Teplota pro vznícení je okolo 500 °C. [1, 5, 6, 10, 22]

Tab. 5. Vlastnosti PC [5, 6, 22]

Hustota [g/cm^3]	Propustnost světla [%]	Teplota skelného přechodu [°C]
1,21	až 90	150
Smrštění [%]	Křehkost [°C]	Nasákavost [%]
0,65 – 0,80	> -100	okolo 0,2

Zpracování PC vstřikováním je jedna z nejrozšířenějších metod. Vstřikuje se při relativně vysokých teplotách cca 300 °C. Podmínkou při vstřikování je předhřev formy na teplotu 100 ± 20 °C. Vyznačuje se nízkým modulem tečení => obtížné zpracování. Pro výrobu dílu v automobilovém průmyslu je nutno dodržovat vysoké mechanické vlastnosti, a proto se suší na maximální hodnotu vlhkosti 0,02 %. Hodnoty smrštění lze snížit aditivou, jako jsou vyztužující vlákna. Využití PC je v automobilovém průmyslu (světlořady), strojírenství (součásti, které vyžadují vysoké mechanické vlastnosti), stavebnictví (folie, plachty). [1, 5, 6, 10, 22]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je široce používaný proces zpracování termoplastických materiálů. Vzniku technologie vstřikování se připisuje přelomu 19. století a 20. století. Vynálezci byli američtí bratři Hyattové. Na území Československa se proces vstřikování začal rozvíjet až kolem roku 1945. Po roce 1990 došlo k velkému rozvoji technologie vstřikování. Vznikalo velké množství firem, které začaly využívat velké množství dříve nedostupných materiálů. [6, 11, 25, 26, 27]

2.1 Obecný proces vstřikování

Jedná se o způsob tváření, který probíhá cyklicky. Obecný princip vstřikování spočívá v roztavení materiálu a vstříknutí tohoto materiálu do formy. Následuje stabilizace tvaru a vyjmutí výrobku. Proces vstřikování lze použít pro všechny materiály termoplastické, částečně i pro reaktoplasty a kaučuky. Mezi běžně používané materiály pro vstřikování patří polyethylen, polypropylen, polykarbonát, polyamidy a další. [5, 10, 11, 26, 27]

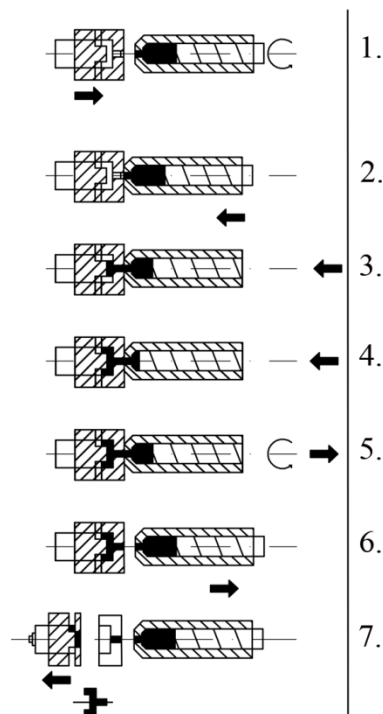
2.2 Vstřikovací cyklus

Na obrázku (Obr. 12) je vykreslen vstřikovací cyklus v sedmi bodech:

1. Znázorňuje plastikaci materiálu v tavicí komoře pomocí šneku. Šnek dopravuje materiál k trysce. Zároveň s plastikací materiálu se forma uzavře.
2. V této části se posune vstřikovací jednotka k uzavřené formě. Udržuje teplotu taveniny v prostoru tavicí komory.
3. Dosednutí trysky tavicí komory k formě a plnění formy taveninou. Doba plnění by měla být co nejkratší.
4. Dotlak taveniny do formy. Zde šnek plní funkci pístu. Dotlak je důležitý kvůli smršťování taveniny během snižování teploty. Dotlak zajistí kvalitu výrobku. Čas dotlaku je řádově sekundy až desítky sekund.
5. Chladnutí hmoty, která je vstříknutá do formy. V tavicí komoře pomocí šneku se začíná plastikovat nový materiál, který se připravuje na nový vstřik.
6. Odsunutí vstřikovací jednotky.

7. Otevření formy a vyhazovače vyhodí hotový výrobek. Dochlazení výrobku mimo formu.

Tento cyklický způsob se neustále opakuje. [5, 10, 11, 26, 29]

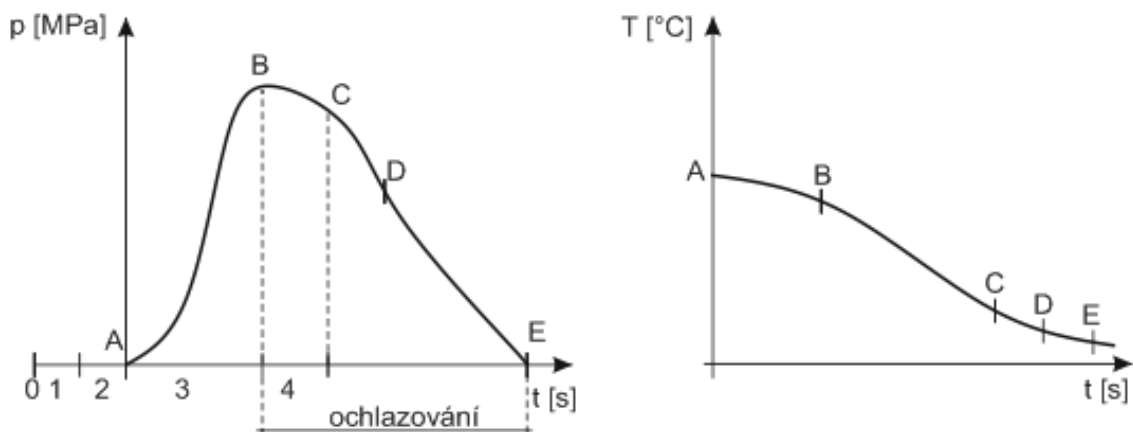


Obr. 12. Rozkreslení vstřikovacího cyklu [29]

2.2.1 Průběh tlaků a teploty během vstřikování

V průběhu vstřikovacího cyklu se mění tlaky a teploty. Na obrázku (Obr. 13) jsou změny zakresleny. Levá část obrázku (Obr. 13) značí změnu průběhu tlaku během procesu vstřikování. Na začátku je připravena prázdná otevřená forma. V čase 0 – 2 dojde k uzavření formy a přisunutí tavicí komory k formě. Uzavírací síla formy je na hodnotě, která zajistí udržení zavřené formy při vstřikování taveniny. V bodě A dochází k samotnému vstřikování taveniny do formy. Šnek má funkci pístu, který tlačí taveninu. Oblast mezi písmeny AB se nazývá plnění formy taveninou. Tavenina předává formě své teplo, tímto procesem dochází k prvotnímu chlazení taveniny. Úsek BC je tzv. dotlak. Dotlak je nedílnou součástí cyklu. Malý dotlak může způsobit nedotečení taveniny, naopak velký dotlak způsobuje deformaci výrobku. Optimálně nastavený dotlak zajišťuje kvalitní výrobek.

V bodě C končí dotlak a začíná chlazení výrobku ve formě. Současně zde dochází k plastikaci nové dávky granulátu pro další výrobek. Bod D je zatuhnutí taveniny ve vtokovém kanálku. V bodě E dochází ke konci plastikace směsi nového výrobku a odsunutí tavicí komory od formy. Bod B-E je proces ochlazování výstřiku. Doba ochlazení se odvíjí od druhu materiálu, teplot formy a taveniny, velikosti a tloušťce výrobku. Řádově to jsou sekundy až minuty. Tímto krokem končí vstřikovací cyklus, následně se tento cyklus opakuje. Z principu funkce vyplývá, že se jedná o cyklický proces. V pravé části obrázku (Obr. 13) je průběh teploty při procesu vstřikování. [5, 11, 26, 29, 31]



Obr. 13. Průběh tlaku a teploty při vstřikovacím procesu [5, 10]

2.2.2 Diagram $p-v-T$ vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus neboli průběh plastikace, vstřikování, dotlaku a chladnutí výrobku je znázorněn pomocí p – tlaku, v – měrného objemu a T - teploty ($p-v-T$) diagramu. Tlaky v $p-v-T$ diagramu se liší v celém průběhu. V diagramu není zahrnuta tloušťka výrobku. [5, 10, 28, 31]

$P-v-T$ diagram popisuje:

- změnu objemu v závislosti na tlaku
- změnu objemu v závislosti na změně teploty

Na obrázku (Obr. 14) je průběh vstřikovacího cyklu znázorněn pomocí pvT diagramu. [5, 10, 28, 31]

Bod A: Násypka uvolní granulát, start plastikace, šnek stlačí taveninu a začne ji dopravovat k trysce.

Bod A – B: Plnění formy taveninou, v bodě B je dutina formy vyplněna.

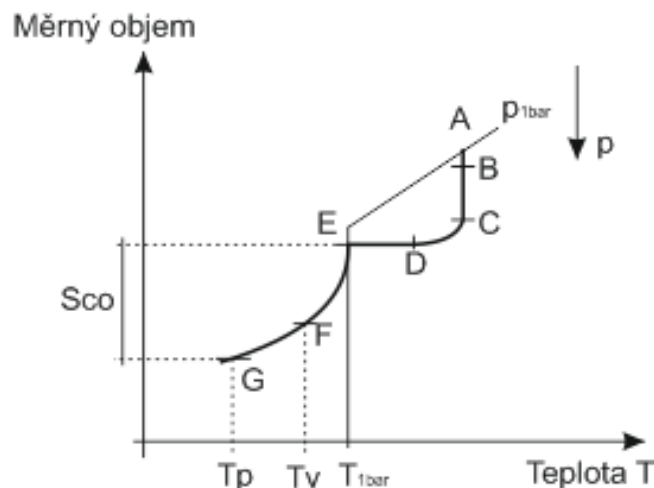
Bod B – C: Stlačení taveniny. V bodě C dochází k vypnutí vstřikování a zapíná se dotlak.

Bod C – D: Průběh dotlaku, který doplňuje taveninu do dutiny formy. Snížení objemu taveniny ve formě vzniklo ochlazením taveniny formou. Velice důležitá je doba dotlaku. Tato doba má zásadní vliv na kvalitu výrobku. Bod D značí zatuhnutí taveniny ve vtokovém kanálku.

Bod D – E: V tomto bodě dochází k odlepení výstřiku od dutiny formy.

Bod E – F: Proces chlazení výstřiku. Bod F je vyhození výstřiku z formy. Celý proces chlazení probíhá při konstantním tlaku $p = 1$ bar.

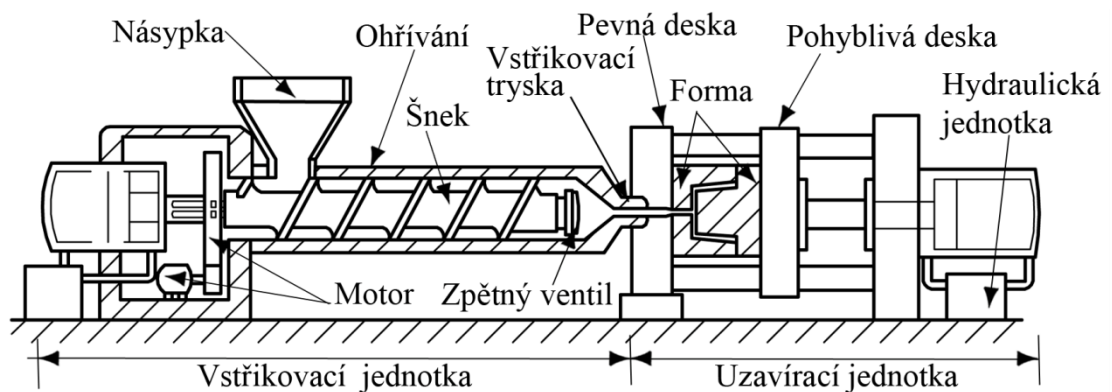
Bod F – G: Poslední část pvT diagramu je chlazení výrobku mimo formu. Doba chlazení se pohybuje dle daného materiálu. Řádově se jedná o dobu 20 hodin. [5, 10, 28, 31]



Obr. 14. Průběh vstřikovacího cyklu znázorněného pvT diagramem [5, 10]

2.3 Vstřikovací stroje a jeho části

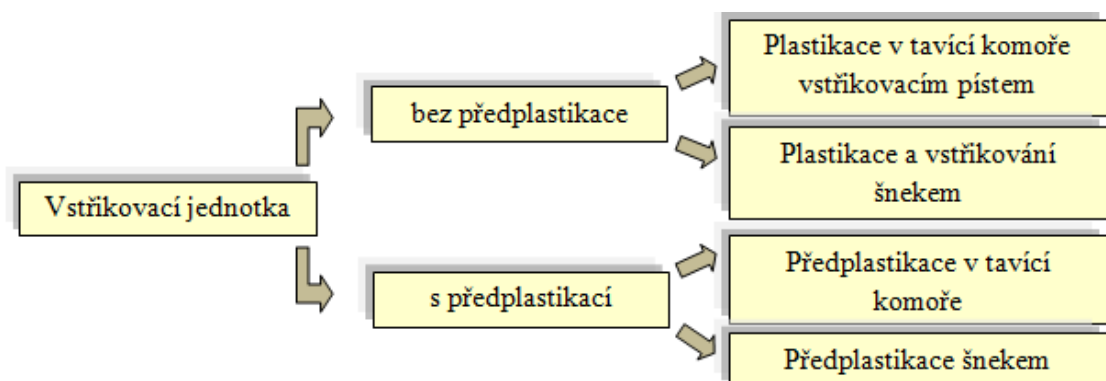
Základní předpoklad pro kvalitní výrobek je vhodně zvolený vstřikovací stroj, u kterého je správně zvoleno konstrukční provedení. Při volbě vstřikovacího stroje musí být vhodně zvolena uzavírací síla a velikost plastikační jednotky. Základní části vstřikovacího stroje jsou vstřikovací a plastikační jednotka, uzavírací jednotka. Další části jsou popsány na obrázku (Obr. 15). Využití vstřikovacích strojů je pro kusové výrobky o velké složitosti tvarů a malých tolerancích, ale i pro sériovou výrobu dílců. [10, 15, 25, 26]



Obr. 15. Šnekový vstřikovací stroj [32]

2.3.1 Vstřikovací a plastikační jednotka

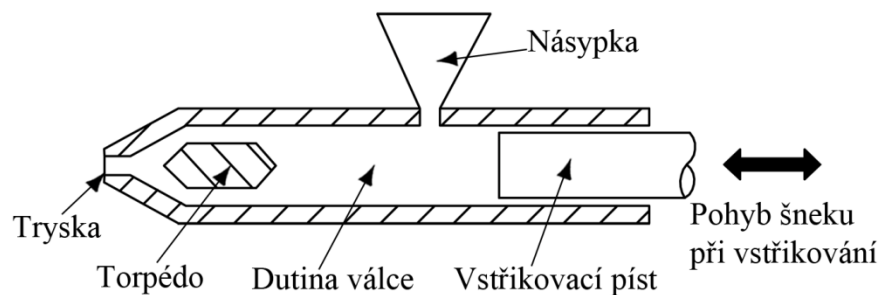
Vstřikovací a plastikační jednotka zajišťuje přeměnu granulátu na taveninu a dopravu taveniny (vstřikování) do dutiny formy. Dutina formy musí být zavřena. Vstřikovací jednotky se dělí dle obrázku (Obr. 16). [10, 15, 25, 26]



Obr. 16. Dělení vstřikovacích jednotek [29]

2.3.1.1 Vstřikovací a plastikační jednotka pístového stroje

Funkce této jednotky spočívá v protlačování granulátu pomocí vstřikovacího pístu přes tavící komoru. Při protlačování dochází ke změně granulátu v taveninu. Změnu zajistí odporové topení, které je umístěno na vnější straně válce. Nevýhodou pístových strojů je využití pro malé výrobky, z důvodu nedostatečné plastikace. Pístová plastikace je na obrázku (Obr. 17). Části pístového stroje jsou: vstřikovací tryska, torpédo, dutina válce, vstřikovací píst, násypka. [6, 15, 25, 26]



Obr. 17. Pístová plastikace [6]

2.3.1.2 Vstřikovací a plastikační jednotka šnekového stroje

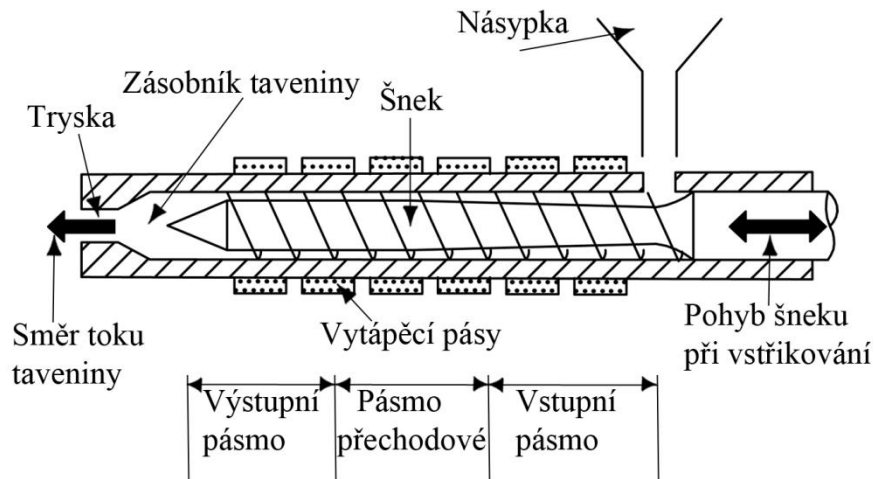
Hlavní část vstřikovací jednotky je šnek. Funkcí šneku je doprava granulátu od násypky do komory, která je vytápěná. Tímto postupem dochází k plastikaci. Při plastikaci se šnek pohybuje otáčením kolem své osy a zároveň se posouvá směrem od trysky. Při vstřikování se šnek pohybuje pouze směrem dopředu k trysce. U moderních strojů se velikosti těchto pohybů dají regulovat. Závity šneku musí být velice hladké proto, aby nedocházelo ke tření. Naopak vnitřní profil stěny komory je hrubý. Hrubá komora způsobuje tření materiálu a jeho posun.

Výhodou šnekového stroje je účinnější plastikační činnost, lepší homogenita materiálu, menší sklon ke smršťování. Při vstřikování plněných termoplastů je plastifikační jednotka namáhána na oděr. Pro tento případ vstřikování se používají válce ze speciálních slitin.

Šneková plastikace je na obrázku (Obr. 18). Části šnekového stroje jsou: vstřikovací tryska, zásobník taveniny, šnek, násypka, vytápěcí pásy.

Diferenciální šneky se používají běžně pro vstřikování termoplastů, jsou charakterizovány kompresním poměrem. Kompresní poměr nabývá hodnot 1,5 až 4. Kompresní poměr lze

dosáhnout změnou průměru jádra šneku. Délka šneku pro vstřikování termoplastů je 15 – 20 D. D je průměr šneku. [5, 15, 25]

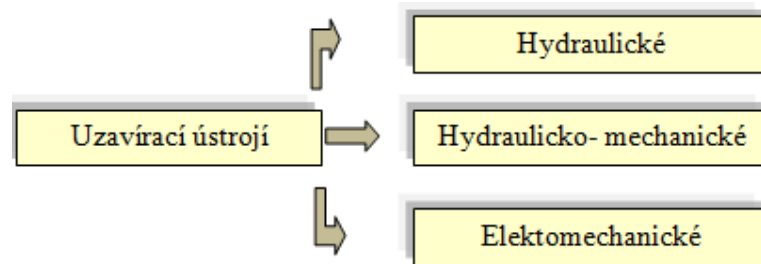


Obr. 18. Šneková plastikace [34]

Při vstřikování dávky axiálním pohybem šnek funguje jako píst. Tavenina v prostoru mezi šnekem a tryskou se stlačuje. Tavenina se pohybuje směrem do trysky a k násypce. K zabránění pohybu taveniny k násypce je použit zpětný uzávěr. Ten se při axiálním pohybu uzavře a zabrání tavenině v pohybu k násypce. Při následné plastikaci nového materiálu se uzávěr otevře a plastifikovaný materiál postupuje do prostoru mezi šnekem a tryskou. Použitím zpětného uzávěru je dosahováno vysokých vstřikovacích tlaků. [5, 10, 15, 25]

2.3.2 Uzavírací jednotka

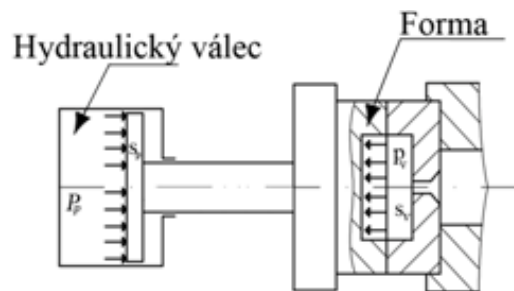
Uzavírací jednotka slouží k bezpečnému otevření a uzavření formy. Zabezpečuje uzavření formy tlakem, který nepřekoná tlak vyvolaný vstřikováním taveniny. Uzavírací tlak je největší v celém vstřikovacím procesu. Základní dělení uzavíracích jednotek dle pohonu je na obrázku (Obr. 19). V případě vzniku přetoků v oblasti dělicí roviny je zvolen malý uzavírací tlak. [5, 10, 15, 25]



Obr. 19. Druhy uzavíracích jednotek [25]

2.3.2.1 Hydraulická uzavírací jednotka

Hydraulická uzavírací jednotka je znázorněna na obrázku (Obr. 20). Pro velké uzavírací síly se používají velké rozměry hydraulických válců a dostatečného množství hydraulické kapaliny. [11, 15, 25]

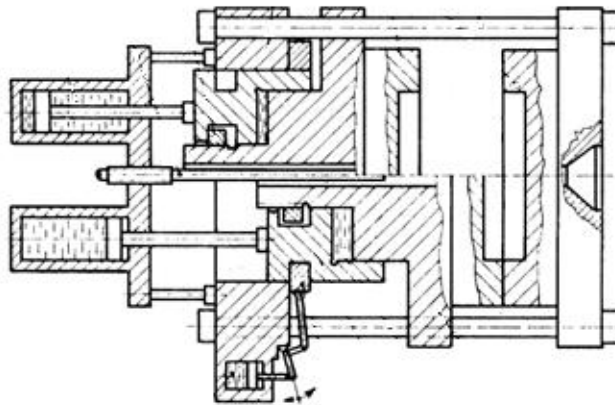


Obr. 20. Hydraulická uzavírací jednotka [11]

Mezi výhody uzavírací jednotky hydraulické patří jednoduchost stroje, jednoduchá kontrola a údržba, programování přidržovací síly. Mezi nevýhody patří velikost zařízení pro velké přidržovací síly. [11, 15, 25]

2.3.2.2 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

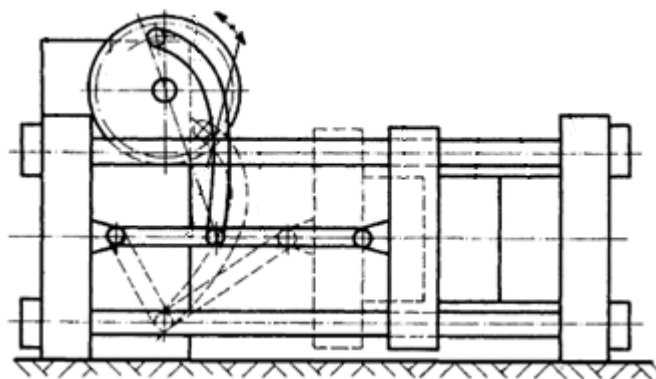
Další typ uzavírací jednotky je hydraulické uzavírání s mechanickým závorováním, viz obrázek (Obr. 21). V praxi to znamená tuhé spojení mezi ramenem a pohyblivou částí. U tohoto typu uzavírací jednotky lze nastavit dosedací rychlost pohyblivé části formy na nepohyblivou. Výhody této jednotky vyniknout u velkých vstříkovacích strojů. [11, 15, 25]



Obr. 21. Hydraulicko-mechanická jednotka [25]

2.3.2.3 Elektromechanické uzavírací ústrojí

Na obrázku (Obr. 22) se nachází elektromechanická uzavírací jednotka. Pohon hydraulických válců u uzavíracích jednotek je energeticky náročný. Z tohoto důvodu se vyrábí jednotky s elektrickým pohonem. Jedná se o nahrazení přímočarého hydraulického motoru elektromotorem s klikovým mechanismem. Hlavní výhodou je snížení energetické náročnosti. [11, 15, 25]



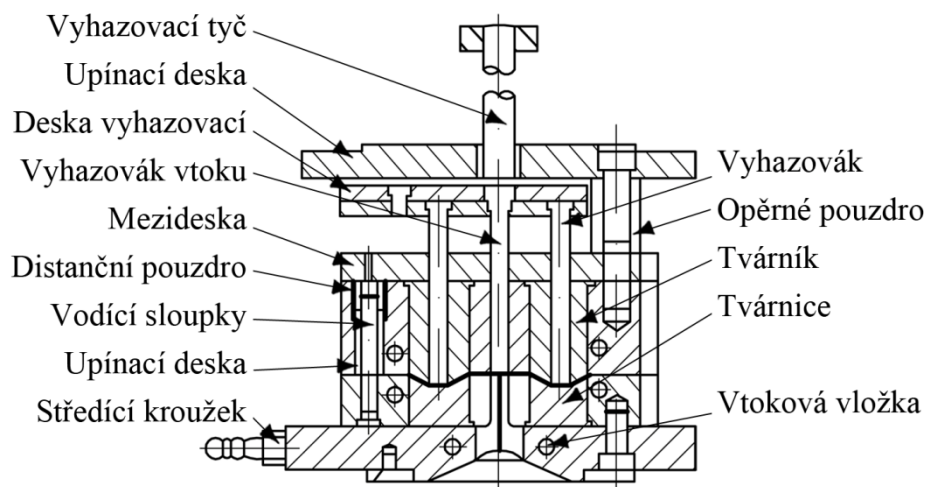
Obr. 22. Hydraulicko-mechanická jednotka [11]

2.4 Formy pro vstřikování termoplastů

Forma je nedílnou součástí vstřikovacího procesu. Do formy vstupuje tavenina a vystupuje z ní hotový výrobek, který je částečně zchlazen. Tento výrobek má požadované vlastnosti, funkčnost, přesnosti a tvar. Požadavky na formu jsou i ekonomické. Cena by měla být co nejnižší, obsluha co nejjednodušší. [5, 15, 25]

2.4.1 Konstrukce formy

Dle tvaru, počtu a materiálu výrobku se vyrábí forma. Nejčastěji se používají formy dvou-
dílné. Tento typ forem zajistí snadné vyndání výrobku z dutiny. Dle požadavků na výro-
bek se určí násobnost formy, dělicí rovina a vtokové kanálky. Forma je tvořena rámem,
který zabezpečuje její tuhost. V rámu jsou uloženy díly vymezující tvar, vtokový systém,
temperační systém, vyhazovací systém, vodící lišty. Základní části formy jsou popsány na
obrázku (Obr. 23). [5, 15,25, 31, 33]



Obr. 23. Forma pro vstřikování termoplastů [25]

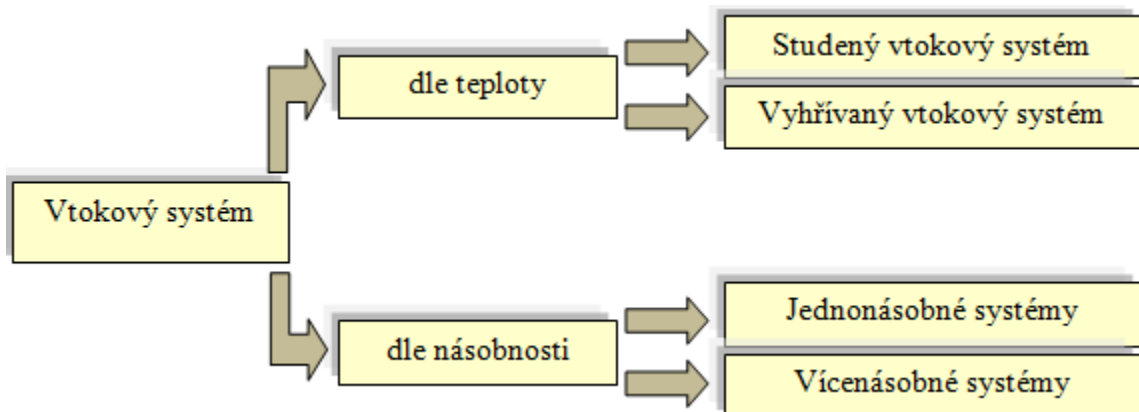
Formy dělíme dle násobnosti na:

- Jednónásobné
- Vícenásobné

Dle složitosti výrobku, přesnosti a kapacity stroje volíme násobnost formy. Výrobky o
velkých rozměrech nebo složitých tvarech se vyrábí pomocí jednónásobné formy. Formy
vícenásobné jsou méně přesné než jednónásobné. Při volbě násobnosti se zvažují kritéria:
celkový počet výrobků, náklady na jednónásobnou nebo vícenásobnou formu, doba vstří-
kování pro jednónásobnou nebo vícenásobnou formu. [15, 25, 33]

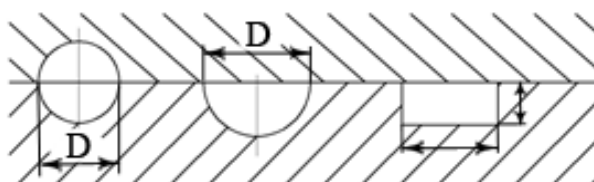
2.4.2 Vtokový systém

Vtokový systém je jedna z částí vstřikovacího stroje, která ovlivňuje kvalitu výrobku. Zabezpečuje průtok taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy. Obecně se skládá z vtokového kanálku, rozváděcích kanálků a ústí vtoku. Vtokový systém se dělí dle teploty a násobnosti formy, viz obrázek (Obr. 24). [5, 10, 25]

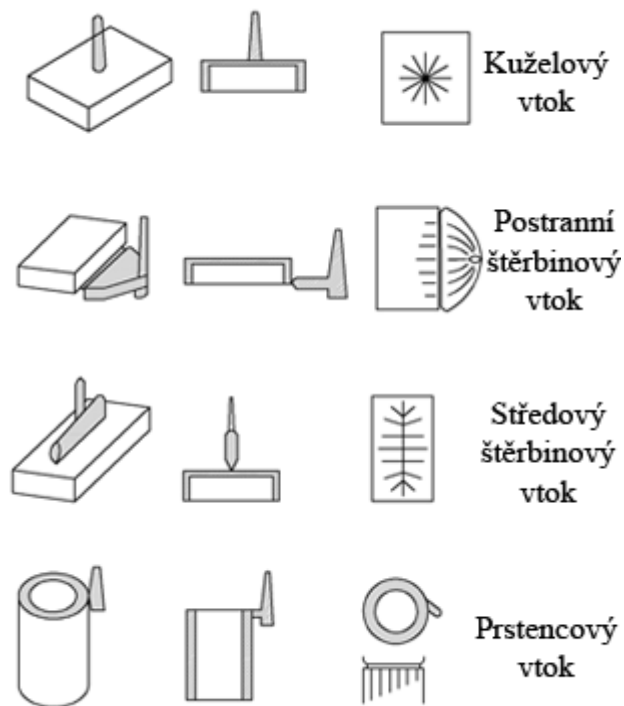


Obr. 24. Dělení vtokových systémů [25]

Délka a průměr vtokových kanálků mají zásadní vliv na tok taveniny. Hlavní vtokový kanál je větší o cca $\varnothing 1$ mm než průměr trysky stroje. Dlouhá dráha a malý průměr kanálku způsobují špatný tok taveniny. Změny průřezů vtokových kanálků vyvolají různé hodnoty smrštění. Nejpoužívanější a nejvhodnější průřez vtokového kanálku je kruhový, někdy se používá i obdélníkový. Typy průřezu jsou na obrázku (Obr. 25). Správná poloha vtokového ústí se nachází v nejtlustším místě stěny výstřiku, navíc optimálně umístěná ve středu dutiny formy. Vtokové ústí má menší průměr než kanál, který do něj vede. Vtokové ústí zajišťuje rychlost toku taveniny, rovnoměrné plnění vícenásobných forem a snižuje dobu dotlaku. Tvar vtokového ústí je kruhové nebo štěrbinové. Další vtoková ústí jsou na obrázku (Obr. 26).

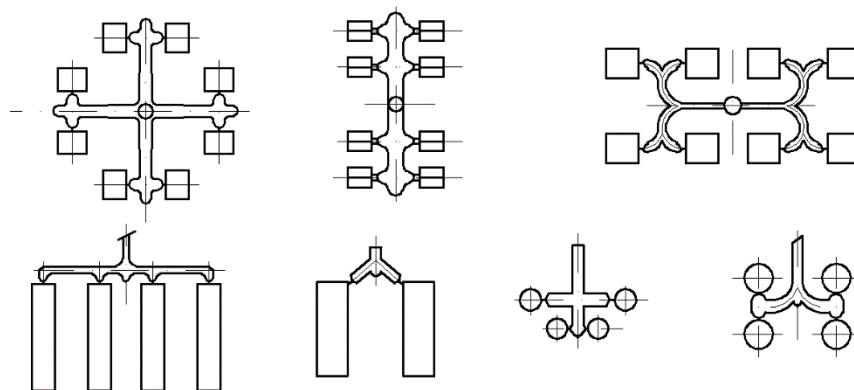


Obr. 25. Typy průřezu vtokového kanálku [25]



Obr. 26. Typy vtokových ústí [25]

Jednonásobné systémy jsou nejjednodušším případem pro plnění dutiny formy. Využívají se pro složitější výrobky. U vícenásobných forem jsou složitější vtokové systémy, dochází k rozvětvení hlavního vtokového kanálku. Délka rozváděcích kanálků je optimálně co nejkratší. Vícenásobné formy se používají pro sériovou výrobu. Na obrázku (Obr. 27) jsou příklady vtokové soustavy do vícenásobné formy. [5, 10, 25]

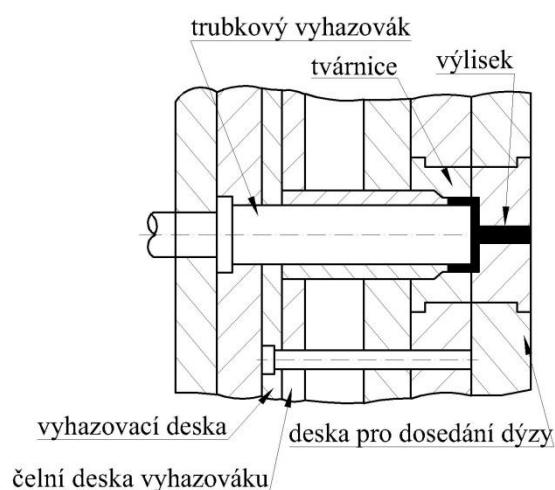


Obr. 27. Druhy vícenásobných vtokových soustav [29]

Při použití studeného vtokového kanálku, dojde při průtoku taveniny do formy k tuhnutí. Povrch taveniny tuhne rychleji, odevzdává své teplo formě. Kvůli působení tlaku dochází ke vzniku tepla a zpomalení tuhnutí taveniny ve vtokových ústích. Při optimálním nastavení jsou dráhy toku co nejkratší a stejné délky. Obvod kanálků co největší, kvůli zajištění dokonalého zatečení. V případě vyhřívané tokové soustavy dochází ke vstřikování bez vtokového zbytku. Princip této metody je v zachování kapalného stavu taveniny v celé oblasti vtoku až po ústí. [5, 10, 25]

2.4.3 Vyhazování výrobků z formy

Volba vyhazovacího systému je individuální dle technologických a ekonomických požadavků. Při chladnutí taveniny v dutině formy dochází ke smrštění a vzniklý výrobek se přilepí na dutinu formy. U termoplastických materiálů dochází k přilepení téměř vždy. Z tohoto důvodu se používají vyhazovací systémy. Mezi základní vyhazovací systémy patří vyhazovací kolíky, viz obrázek (Obr. 23), vyhazování pneumatické, vyhazování trubkové. Vyhazovací kolíky se používají pro vyhazování velkých výrobků z formy. Pro vyhazování tenkostěnných výrobků se používá trubkový vyhazovák, nelze použít vyhazovací kolík kvůli možnému poškození výrobku. Trubkový vyhazovák zajišťuje dostatečně velkou plochou pro oddělení výrobku od formy, viz obrázek (Obr. 28). [15, 25]



Obr. 28. Trubkový vyhazovač [25]

2.4.4 Temperační systém a odvzdušnění formy

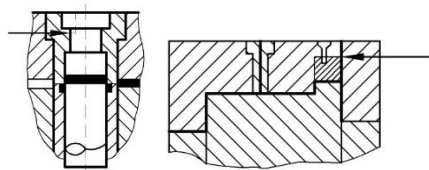
Temperační systém má za úkol formu chladit nebo ohřívat. Lze temperovat celou formu i její jednotlivé části, dle technologických požadavků. Temperování formy do 100 °C je za pomoci vody, při vyšších teplotách se používá olej. Při vstřikování různých druhů termoplastů se liší teplota temperace formy, viz tabulka (Tab. 6). Teplota ve formě při vstřikování se mění. Vhodným rozložením topných kanálků je nutné zajistit konstantní teplotu. Volba temperačního systému závisí na materiálu, velikosti výrobku, dráze toku. Poloha temperačních kanálků by měla být velice blízko u dutiny formy a místo s nejvyšší teplotou chladit jako první. Důležitá je dostatečná těsnost temperačního systému. Minimální průměr kanálků je 7 mm. [5, 15, 25]

Tab. 6. Teploty formy pro termoplastické materiály [21, 25]

Termoplast	PE	PP	PVC	PC
Teplota formy [°C]	40 - 90	50 - 60	30 - 75	70 - 130

Nároky kladené na temperační systém jsou zajištění optimální teploty formy. Temperace forem je velice důležitá při procesu vstřikování, jelikož ovlivňuje smrštění, vnitřní pnutí a celkovou kvalitu výrobku. [5, 15, 25]

Odvzdušnění formy patří k důležité operaci při vstřikování. Vzduch ve formě při vstřikování se ohřívá na vysoké teploty a způsobuje nekvalitní povrch výrobku, objevují se spálená místa a bubliny. Při plnění dutiny formy působí vzduch jako protitlak a může docházet k nedotečení taveniny. Místo pro odvzdušnění se najde buď při zkouškách vstřikování, nebo dále to může být nejvzdálenější místo od vtoku. Samotný odvod vzduchu probíhá netěsnostmi mezi funkčními částmi a dělicí rovinou. V případě nedostatečného odvzdušnění jsou použity odvzdušňovací kanálky. Odvzdušňovací kanálky odvedou přebytečný vzduch, ale nesmí dojít k zatečení taveniny. Příklady jsou na obrázku (Obr. 26). [5, 15, 25]



Obr. 29. Různé typy odvzdušnění [25]

2.5 Parametry ovlivňující výsledné vlastnosti výstřiku

Výslednou kvalitu výstřiku ovlivňuje velké množství faktorů. Jedná se o technologické parametry, stroj s formou a také vstupní materiál. Mezi technologické parametry ovlivňující vlastnosti výstřiku patří vstřikovací tlak, teplota taveniny, dotlak, teplota formy, dávkování, doba plnění formy, ochlazování výstřiku. Všechny faktory musí být optimálně nastaveny, aby výsledný výstřik byl kvalitní. V případě nevhodného nastavení jednoho z faktorů dochází k nekvalitnímu výstřiku. [5, 10, 15, 25]

Termoplastický materiál udává základní vlastnosti výrobku. Od termoplastických materiálů pro vstřikování se požaduje co nejkratší doba plastikace. Velice důležitá vlastnost materiálu, která se posuzuje při vstřikování je zabíhavost. Zabíhavost se měří laboratorní zkouškou s názvem index toku taveniny. Materiál pro vstřikování musí mít dostatečný rozsah zpracovatelských teplot. Při překročení zpracovatelské teploty dochází k degradaci, což způsobuje nekvalitní výrobek. Polární termoplastické materiály podléhají navlhání, které je nežádoucí, a proto se všechny polární materiály pro vstřikování vysouší. [5, 10, 15]

2.5.1 Vstřikovací tlak a vstřikovací rychlost

Hodnota optimálního vstřikovacího tlaku a rychlosti by měla být co nejmenší, avšak dostatečně velká na to, aby došlo k rychlému naplnění dutiny formy. Obecně se vstřikovací tlaky pohybují v rozmezí od 30 – 300 MPa, dle zvoleného termoplastického materiálu. Optimální vstřikovací tlak je závislý na dalších faktorech. Mezi tyto faktory patří teplota a viskozita taveniny, složitost výrobku a tloušťka stěn. Vstřikovací rychlost lze měnit v průběhu vstřikování v závislosti na průměru šneku. Vysoká vstřikovací rychlost vede k zvýšení tření, které zvyšuje teplotu taveniny a naopak pomalá táhlost vede k tvorbě studeného toku. Při použití plněných termoplastů minerálními plnivými (uhličitan vápenatý, talek) jsou z pohledu kvality výrobku vhodnější pomalé rychlosti plnění dutiny formy. [5, 10, 15, 25]

2.5.2 Vliv teploty taveniny

Při optimálním vstřikovacím cyklu by měla být teplota taveniny na konstantní stanovené hodnotě. Změna teploty taveniny zásadně ovlivňuje vstřikovací proces. Tato hodnota se reálně mění v rozsahu až desítek stupňů. Ke změně teploty dochází působením několika faktorů. Mezi tyto faktory patří topné pásy plastikační komory, odpor a tření na šneku, doba v plastikační komoře a vyhřívání formy. Zvýšením teploty taveniny dochází k lepšímu zatečení taveniny do dutiny formy, zvýšení doby ochlazování, snížení vlivů studených spojů. V případě termoplastických materiálů dochází se změnou teploty ke změně viskozity. Při změně o 1 °C se změní viskozita až o 25 % u amorfních termoplastů a u semikrystalických termoplastů dojde ke změně viskozity o 6 %. [5, 10, 15, 25]

2.5.3 Vliv dotlaku

Správné nastavení dotlaku se výrazně projeví na struktuře výrobku, a to zejména na vnitřním pnutí a orientaci makromolekul. Po plnicí fázi je zapnuta dotlaková fáze, která vyrovnává nerovnosti, bubliny a lunkry ve výrobku. Hodnota dotlaku se obecně stanoví na 50 - 70 % vstřikovacího tlaku. Umístění ústí vtoku by mělo být v místě největší šířky výrobku z důvodu nejpozdějšího zatuhnutí. Optimální doba dotlaku se zjistí měřením rozměrů výrobku, nebo vážením hmotnosti výrobku. Při metodě vážení se zjistí optimální doba dotlaku tak, že výrobek nepřibírá na své váze. Dlouhý čas dotlaku způsobí velké pnutí výlisku, naopak malý čas dotlaku způsobí nižší váhu výrobku. Vysoká hodnota dotlaku způsobuje přetoky výrobku. Malá hodnota dotlaku způsobuje dutiny, trhliny, větší objemové smrštění. [5, 10, 15, 25, 31]

2.5.4 Vliv teploty formy

Teplota formy se volí dle příslušného druhu termoplastického materiálu, viz tabulka (tab. 6). Teplota formy ovlivňuje rychlost plnění formy, rychlost ochlazování. V případě vysoké teploty formy dochází k dobrému zatečení taveniny, a to i do delších drah. Při vyšší teplotě formy výstřik chladne rovnoměrněji, snižují se vnitřní pnutí, zvyšují se mechanické vlastnosti a rozměry se stávají stabilními. Hlavní nevýhodou vysoké teploty formy je prodloužení doby vstřikovacího procesu a větší smrštění výstřiku. Při vstřikování semikrystalických materiálů je maximální teplota formy nižší než teplota T_m a u amorfních materiálů se jedná o teplotu nižší než T_g . [5, 10, 15]

2.6 Optimalizace vstřikovacího cyklu

Proces vstřikování termoplastů je velice sofistikovaný. Základním požadavkem je vysoce kvalitní výrobek o požadovaných vlastnostech zákazníka. Pro splnění těchto požadavků musí být v rovnováze nastaven vstřikovací stroj, forma, vhodný termoplastický materiál a technologické parametry. V průběhu procesu vstřikování se musí provádět zkoušky procesních parametrů. Při optimalizaci parametrů procesu vstřikování se vždy mění pouze jeden parametr. Po změně jednoho parametru se vyhodnotí výsledek. Tento výsledek se zaznamená a pokračuje se změnou dalšího parametru procesu.

Existují zásady pro optimalizaci procesu. Například při požadavku vysoké kvality povrchu je nezbytné optimalizovat parametry vstřikovací rychlosti a dotlaku. Při požadavku tvarové přesnosti rozměrů je nutné optimalizovat parametry úrovně a doby dotlaku. Při zjištění jiných závad je nutné provést zkušební nastavení vstřikovacího procesu a postupnou změnou parametrů vstřikování najít optimální parametry. [10, 15]

3 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ TERMOPLASTŮ

Vlastnosti termoplastických materiálů lze zjistit za pomoci základních zkoušek:

- Zkoušky mechanických vlastností
- Zkoušky tepelných vlastností
- Zkoušky chemického složení

Mechanické vlastnosti výrobku jsou závislé na napětí, teplotě a času. Pro jejich zjištění se používají speciální měřicí přístroje a zařízení. Zkoušky mechanických vlastností jsou v praxi jedny z nejdůležitějších. Princip mechanických zkoušek spočívá v deformaci zkušebního tělíska stanoveným napětím. Při zkouškách se měří síla, průřez zkušebního tělíska, rychlost a deformace. Z naměřených faktorů se vykreslí grafické záznamy, které znázorňují výsledek měření. [6, 25]

Dle působení síly se tyto zkoušky dělí:

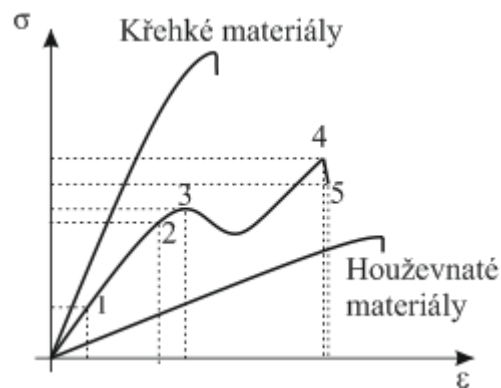
- Statické zkoušky
- Dynamické zkoušky

3.1 Statická tahová zkouška

Princip zkoušky spočívá v přetržení zkušebního tělíska (které má předepsaný rozměr a tvar) působením tahové síly. Zkušební tělísko se upíná do čelisti stroje. Upnuté tělísko je v ose působící síly. Působením síly dochází k prodloužení zkušebního tělíska až do jeho prasknutí. Délka zkušebního tělíska se působením tahové síly zvětšuje až do okamžiku prasknutí. Délková změna se určuje pomocí vzorce. [6, 25]

$$\varepsilon_1 = \frac{l-l_0}{l_0} * 100 = \frac{\Delta l}{l_0} * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Výsledkem tahové zkoušky je tahová křivka. Příklad tahových křivek jsou na obrázku (Obr. 30). [6, 25]



Obr. 30. Tahové křivky [25]

- Bod 0-1: V této oblasti se jedná o lineární napětí – deformace. Zde platí Hookův zákon.
- Bod 1: V tomto bodě přestává platit Hookův zákon. Místo se nazývá mezí úměrnosti.
- Bod 2: Do bodu dvě se jedná o část křivky, kde vzniklé elastické a plastické deformace jsou vratné. Oblast má název mez pružnosti.
- Bod 2-3: Oblast za mezí pružnosti se vyznačuje nevratnými plastickými deformacemi. Bod 3 se nazývá mez kluzu. Zkušební tělísko se prodlužuje, napětí se zvyšuje nevýrazně.
- Bod 3-4: Za mezí kluzu dochází k zvýšení napětí a bod 4 značí mez pevnosti.
- Bod 5: Přetržení zkušebního tělíska. [6, 25]

3.2 Dynamická rázová zkouška

Obecným princip rázové zkoušky je přeražení zkušebního tělíska pomocí pohybujícího se předmětu (kladivo nebo padající závaží). Jedná se o zkoušku, která dokáže stanovit rázovou houževnatost tělesa. Podíl energie spotřebované k přelomení zkušebního tělíska a plochy průřezu tělíska je rázová houževnatost. Míra houževnatosti značí odolnost zkušebního tělíska odolávat prasklinám. Rozměry zkušebních těles jsou dány normou ČSN EN ISO 179-1. Tato metoda je vhodná pro zkoušení houževnatosti u neplněných i plněných termoplastických materiálů. [6, 25, 35]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘÍPRAVA PLNĚNÝCH MATERIÁLŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Příprava směsí vycházela z granulátu čistých termoplastických materiálů. Mezi tyto materiály byl zvolen PP a tři druhy PC. Obchodní názvy PC jsou APEC 1695, APEC 2095 a MAKROLON. Materiálové listy PC jsou v příloze č. 1. Příprava směsí probíhala navážením 2,5 kg čistého materiálu. Od každého materiálu bylo připraveno sedm pytlů. Do takto připravených pytlů s čistým materiálem byla přidána plniva, viz tabulka (Tab. 7). Přidáním plniv vzniklo 24 termoplastických směsí s plnivou a 4 čisté směsi termoplastických materiálů. Použitá plniva byly různé typy jílu, viz tabulka (Tab. 7).

Tab. 7. Připravené směsi pro vytlačování

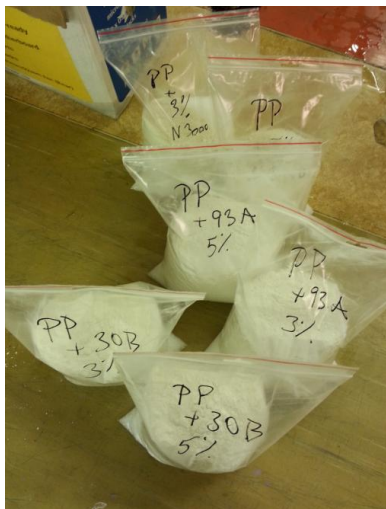
Jíl		N 3000 [%]		93A [%]		30 B [%]	
PP	bez plniva	3	5	3	5	3	5
	plniva						
PC APEC 1695	bez plniva	3	5	3	5	3	5
	plniva						
PC APEC 2095	bez plniva	3	5	3	5	3	5
	plniva						
PC MAKROLON	bez plniva	3	5	3	5	3	5
	plniva						

Vážení materiálu bylo provedeno na kalibrované digitální váze KERN. Digitální váha KERN je na obrázku (Obr. 31).



Obr. 31. Digitální váha KERN

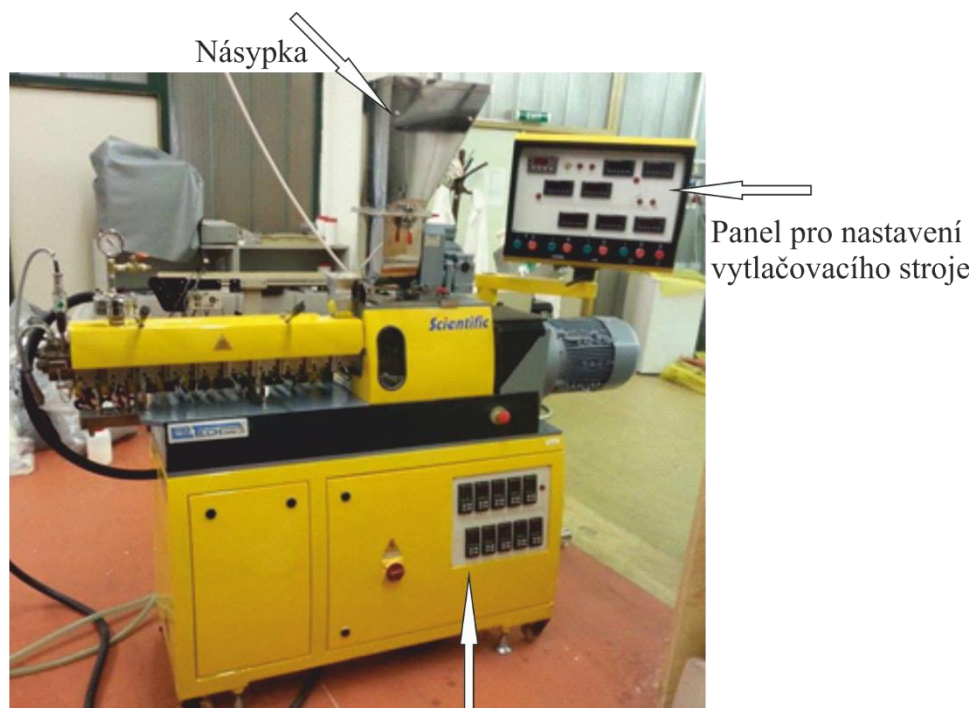
Na obrázku (Obr. 32) jsou připraveny pytle s PP a příslušnými plnivými dle tabulky (Tab. 7). V sáčcích byl granulát s plnivými dostatečně promíchán před procesem vytlačování.



Obr. 32. Nachystaná série PP s plnivými pro vytlačování

4.1 Vytlačování směsí

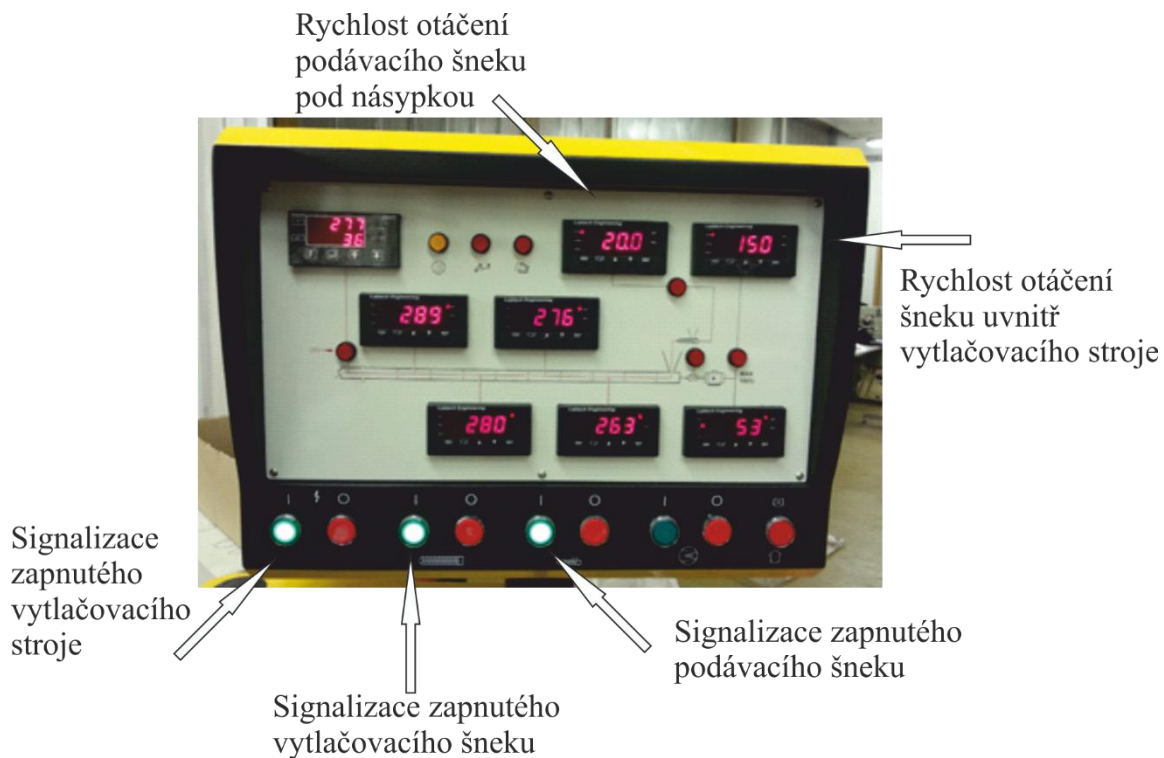
Připravené směsi termoplastických materiálů s plnivými byly zpracovány na šnekovém vytlačovacím stroji značky Scientific od firmy Compuplast, který je na obrázku (Obr. 33).



Panel pro nastavení teplot v oblasti šneku

Obr. 33. Vytlačovací stroj Scientific

Pro vytlačování termoplastických materiálů s plnivem byly nastaveny optimální podmínky pro vytlačování, tyto podmínky jsou vidět na obrázku (Obr. 34). Při těchto vytlačovacích podmínkách byly vytlačeny všechny směsi.



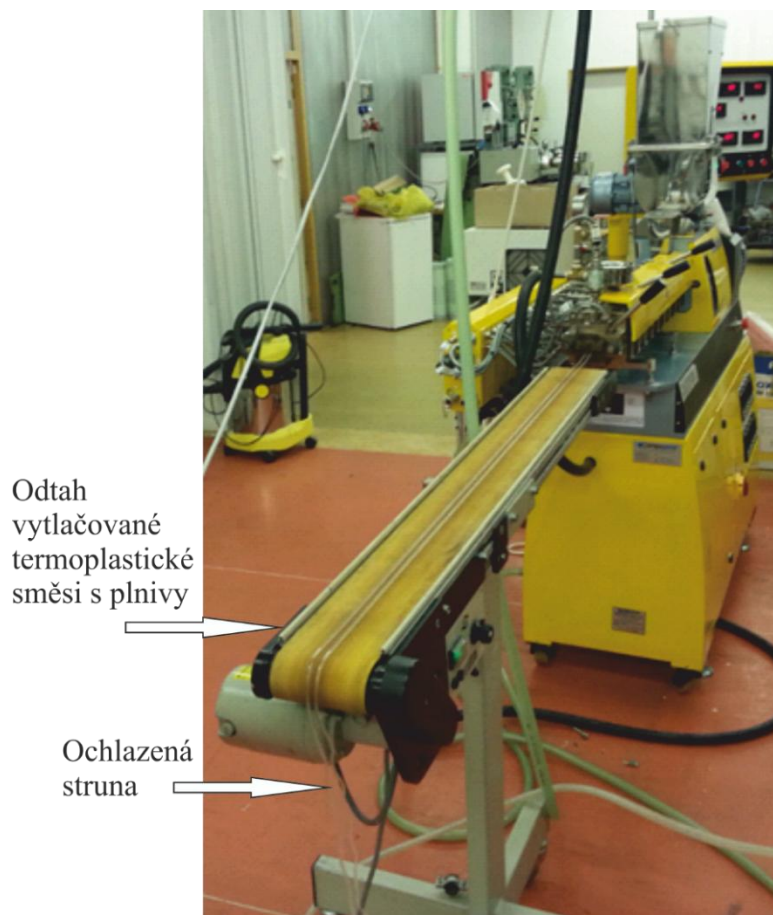
Obr. 34. Nastavené optimální parametry pro vytlačování

Dle materiálových listů byly nastaveny teploty v jednotlivých pásmech vytlačovacího šneku. Optimální teploty v °C pro vytlačování PP jsou na levé straně obrázku (Obr. 35) a teploty pro vytlačování PC jsou na pravé straně. Nejnižší teplota byla v pásmu pod násypkou, tato teplota se po 5°C zvyšovala a v prostoru vytlačovací hlavy byla teplota nejvyšší.



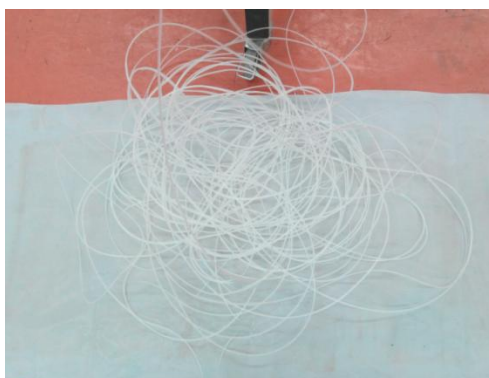
Obr. 35. Nastavení optimálních teplot pro vytlačování

Soustava pro vytlačování jednotlivých granulátů s plnivý je na obrázku (Obr. 36). K vytlačovacímu stroji byl připojen odtah. Hlavní funkce odtahu spočívala v prodloužení dráhy vytlačovaného termoplastického materiálu s jednotlivými plnivý. Na pásu odtahu vytlačovaný termoplastický materiál chladl a vytvářel strunu o stejném průměru, která byla dále zpracovávána.



Obr. 36. Soustava pro vytlačování plněných termoplastů

Na obrázku (Obr. 37) je vytlačena struna čistého termoplastického PP.



Obr. 37. Struna čistého PP

4.2 Granulace termoplastických materiálů s plnivem

Vytlačená struna termoplastického materiálu s plnivem byla nasekána na granulát, který byl později vstříkovan. Granulace vytlačených strun s plnivem probíhala na granulovací hlavě BRABENDER. Proces sekání je na obrázku (Obr. 38).



Obr. 38. Mletí vytlačené struny ze směsi PC + 3 % 93A

4.3 Sušení plněných materiálů před vstříkáním

Granulovaný plněný termoplastický materiál z PC bylo nutno před vstříkáním vysušit. Sušení probíhalo v sušárně BINDER, která je na obrázku (Obr. 39). [36]



Obr. 39. Proces sušení PC

Špatně vysušený granulát by se projevil stříbřením na povrchu zkušebních tělísek. Pro použitý PC je maximální obsah zbytkové vlhkosti 0,02 %. Doporučené parametry pro sušení dle výrobce jsou v tabulce (tab. 8). [36]

Tab. 8. Doporučené parametry sušení PC [36]

Chemické značení	Obchodní název	Teplota sušení [°C]	Minimální čas sušení [hod]
PC-HT	APEC 16	120 - 150	4
PC-HT	APEC 20	120 - 150	4
PC	MAKROLON	110 - 140	4

Nastavené parametry sušení jsou uvedeny v tabulce (Tab. 9).

Tab. 9. Nastavené parametry sušení

Chemické značení	Obchodní název	Teplota sušení [°C]	Doba sušení [hod]
PC-HT	APEC 16	130	9
PC-HT	APEC 20	130	9
PC	MAKROLON	130	9

Takto připravené plněné termoplastické materiály z PP a PC, které prošly procesem míchání s plnivou, vytlačování, granulací a následným sušením byly připraveny k dalšímu zpracování technologií vstřikování.

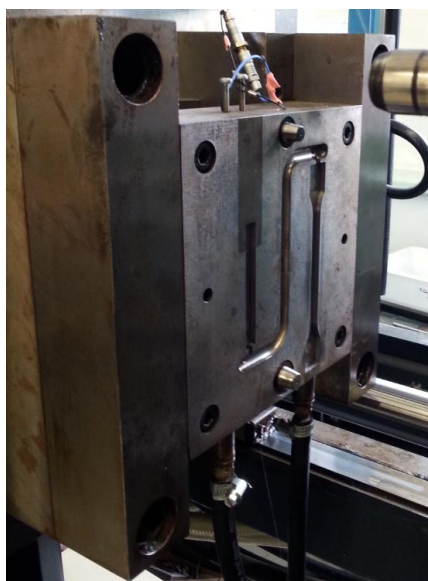
5 VSTŘIKOVÁNÍ PLNĚNÝCH MATERIÁLŮ

Připravený granulát z plněných termoplastů byl zpracován na vstřikovacím stroji DEMAG, v laboratoři FT UTB a je na obrázku (Obr. 40).



Obr. 40. Vstřikovací stroj DEMAG

Tvar vstřikovaných zkušebních tělísek byl určen dutinou formy. Forma vstřikovacího stroje, viz obrázek (Obr. 41).



Obr. 41. Dutina vstřikovací formy

Zkušební tělíska byla vyrobena dle normy. Rozměry tělísek jsou v tabulce (Tab. 10).

Tab. 10. Rozměry zkušebních tělísek

	Celková délka [mm]	Délka zúžené části[mm]	Šířka konců [mm]	Tloušťka [mm]
Lopatka	$150 \pm 1,5$	80 ± 1	$20 \pm 0,3$	$4 \pm 0,3$
Hranolek	$80 \pm 1,5$	—	—	$4 \pm 0,3$

Všechna tělíska měla stejnou velikost a pro každou sérii bylo vyrobeno 10 ks těchto tělísek. Výsledkem procesu vstřikování bylo zkušební tělísko pro zkoušku tahovou a zkušební tělísko pro zkoušku rázovou. Výlisek je vidět na obrázku (Obr. 42).



Obr. 42. Vyhozený výlisek z formy

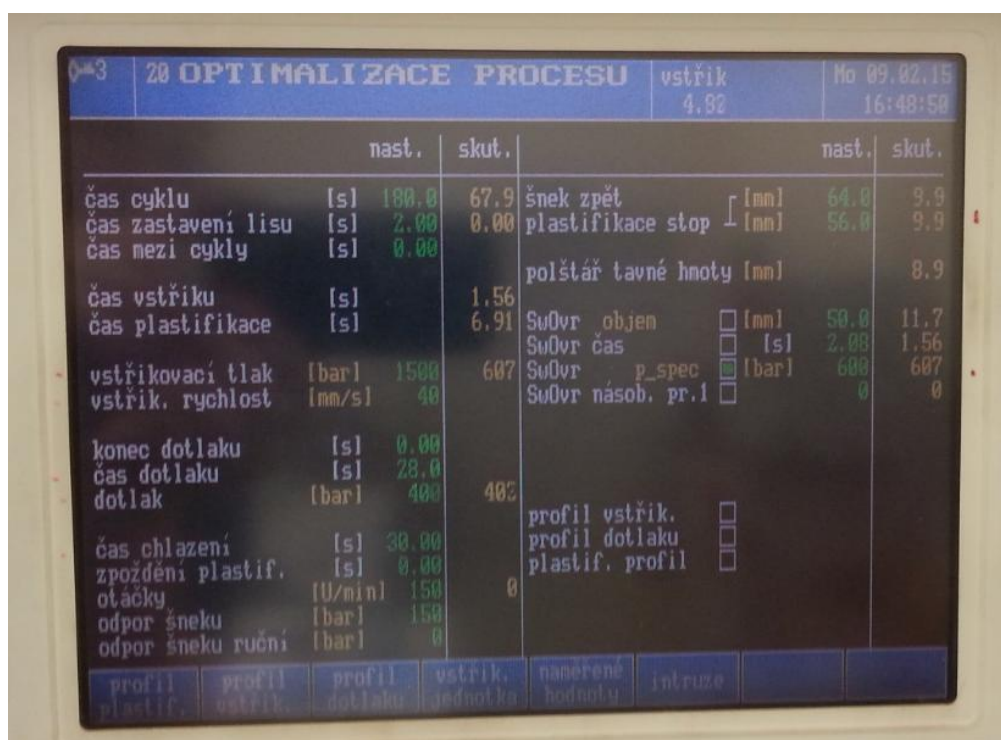
5.1 Nastavení vstřikovacího procesu

Parametry vstřikovacího procesu se nastavovaly a měnily na řídicím panelu vstřikovacího stroje. Zvolené parametry vstřikovacího procesu jsou na obrázcích (Obr. 43 a Obr. 44). V tabulce (Tab. 11) jsou zeleně označeny hodnoty tlaku a dotlaku, které jsou považovány za standardní parametry vstřikovacího procesu. Při nastavení těchto standardních parametrů byla vyrobena zkušební tělíska správných rozměrů, bez optických vad, jako jsou nedotčené konce tělísek, propadliny nebo přetoky na okrajích zkušebních tělísek.

Pro optimalizaci vstřikovacího procesu byly měněny hodnoty vstřikovacího tlaku a dotlaku. Prvně byla zachována standardní hodnota tlaku a měnily se hodnoty dotlaku, poté byla zachována hodnota dotlaku a měnily se hodnoty tlaku. Tyto hodnoty jsou v tabulce (Tab. 11).

Tab. 11. Nastavované parametry vstřikování pro směsi z PP a PC

Termoplastický materiál	Nastavovaný parametr	Hodnota [bar]	Hodnota [bar]	Hodnota [bar]	Hodnota [bar]
PP	Tlak	400	600	800	1000
	Dotlak	400	500	600	700
PC APEC 2095	Tlak	1300	1500	1700	1900
	Dotlak	700	800	900	1000
PC APEC 1695	Tlak	400	600	800	1000
	Dotlak	100	200	250	50
PC MAKROLON	Tlak	500	800	600	700
	Dotlak	20	100	50	150

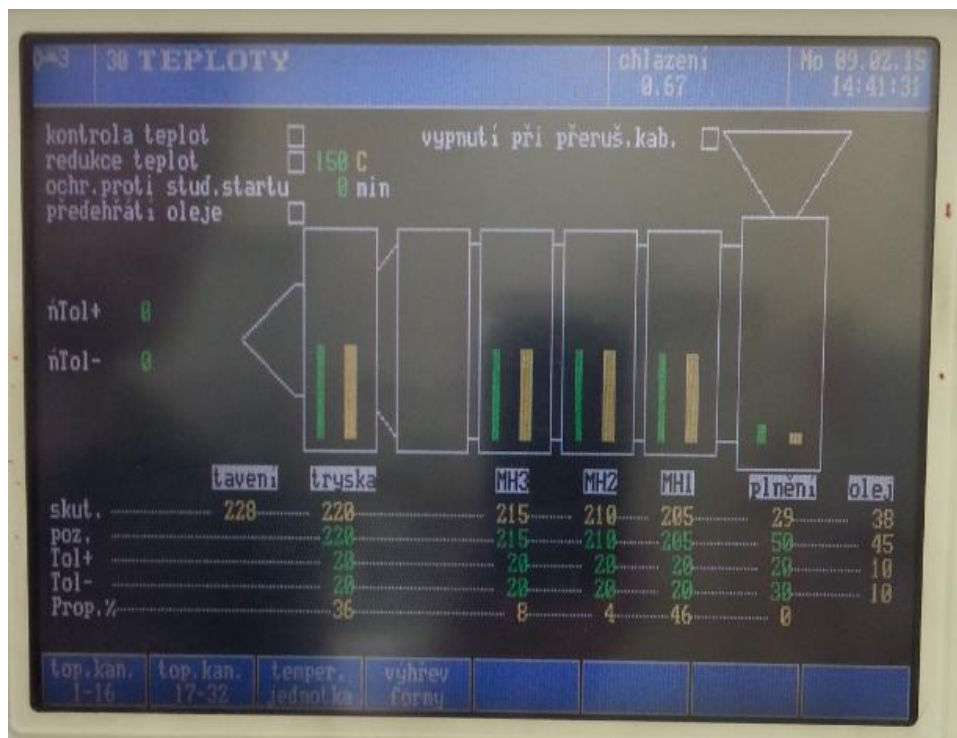


Obr. 43. Displej řídicího panelu vstřikovacího stroje a nastavení jednotlivých parametrů pro PP

		nast.		skut.		nast.		skut.	
OPTIMALIZACE PROCESU									
[3] medz: tlak(draha, cas, tlak.)									
0.00									
Tu 10.02.15									
14:18:00									
čas cyklu	[s]	180.0	45.2	šnek zpět	[mm]	70.0	70.3		
čas zastavení lisu	[s]	2.00	0.00	plastifikace stop	[mm]	55.0	55.0		
čas mezi cykly	[s]	0.00							
čas vstřiku	[s]		0.80	polštář tavné hmoty	[mm]		12.1		
čas plastifikace	[s]		5.39	SuOvr objem	[mm]	50.0	50.1	<input type="checkbox"/>	
vstřikovací tlak	[bar]	1900	1502	SuOvr čas	[s]	2.00	0.80	<input type="checkbox"/>	
vstřik. rychlost	[mm/s]	40		SuOvr p_spec	[bar]	1500	1502	<input checked="" type="checkbox"/>	
konec dotlaku	[s]	0.00		SuOvr násob. pr.1		0	0	<input type="checkbox"/>	
čas dotlaku	[s]	20.0		profil vstřik.				<input type="checkbox"/>	
dotlak	[bar]	800	707	profil dotlaku				<input type="checkbox"/>	
čas chlazení	[s]	15.00		plastif. profil				<input type="checkbox"/>	
zpoždění plastif.	[s]	5.00							
otáčky	[U/min]	150	0						
odpor šneku	[bar]	150							
odpor šneku ruční	[bar]	50							
profil plastif.				vstřik. jednotka					
profil vstřik.				naměřené hodnoty					
profil dotlaku				intruze					

Obr. 44. Displej řídicího panelu vstřikovacího stroje a nastavení jednotlivých parametrů pro PC

Při volbě parametrů vstřikování byl nastaven další důležitý parametr. Jednalo se o parametr teploty vyhřívání trysky a jednotlivých částí vstřikovacího válce. Teploty tání jednotlivých materiálů byly nastaveny dle materiálových listů. Na trysce vstřikovacího stroje byla nastavena nejvyšší teplota a směrem k násypce byla tato teplota snížena po 5 °C. Na obrázku (Obr. 45) je nastavení teploty pro termoplastické směsi s PP, na dalším obrázku (Obr. 46) je nastavení teploty pro termoplastické směsi s PC.



Obr. 45. Hodnoty vyhřívání jednotlivých částí vstřikovací jednotky pro směsi z PP



Obr. 46. Hodnoty vyhřívání jednotlivých částí vstřikovací jednotky pro směsi z PC

Chlazení formy bylo další z důležitých faktorů, který byl nastavován při procesu vstřikování. Chlazení formy je na obrázku (Obr. 47). Pro všechny směsi byla nastavena teplota chlazení formy na 60 °C.



Obr. 47. Chlazení formy

5.1.1 Vliv nastavených parametrů vstřikování na plněné směsi termoplastických materiálů a vzniklé vady

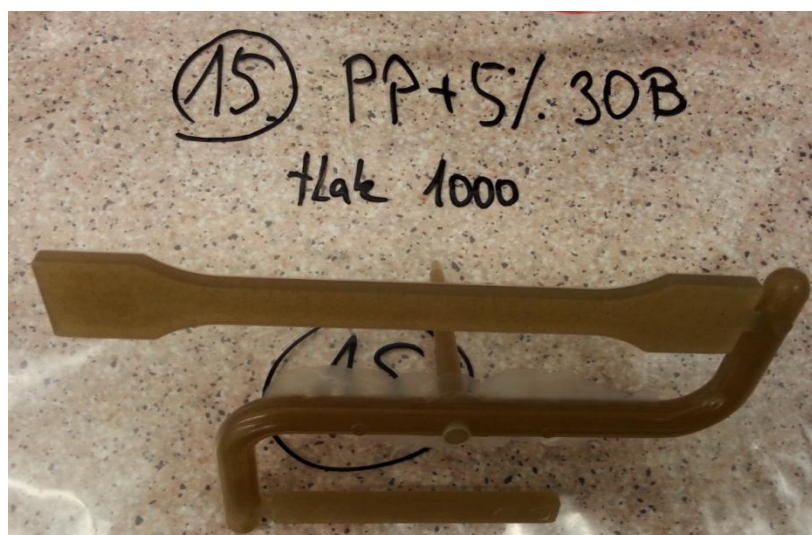
V tabulkách (Tab. 12, Tab. 13, Tab. 14, Tab. 15) jsou popsány série jednotlivých termoplastických materiálů, které byly vyráběny. Od každé série bylo vstřikováním vyrobeno 10 ks zkušebních tělísek pro mechanické zkoušky. Celkem bylo vyrobeno 104 sérií. V každé tabulce (Tab. 12, Tab. 13, Tab. 14, Tab. 15) je popsáno kolik sérií bylo vyrobeno od daného typu materiálu s danými typy plniv a podmínky vstřikování. Všechny hodnoty tlaku a dotlaku uvedeny níže jsou v jednotkách bar.

Výroba sérií z PP probíhala bez komplikací, zkušební tělíska byla bez optických vad. Pouze u série č. 8. PP + 5 % 93A tlak 1000, č. 15. PP + 5 % 30B tlak 1000 a č. 22. PP + 5 % N3000 tlak 1000 docházelo k přetokům. Přetoky jsou na obrázku (Obr. 48).

Dále u série č. 18. PP + 5 % 30B dotlak 700 nedošlo k úplnému vyhození zkušebního tělíska z dutiny formy, ale přesto byla série vzorků vyrobena.

Tab. 12. Vyráběné série vzorků z PP za různých vstřikovacích podmínek

1. PP čistý standart	5. PP + 5 % 93A standart	12. PP + 5 % 30B standart	19. PP + 5 % N 3000 standart
2. PP + 3 % 93A standart	6. PP + 5 % 93A tlak 400	13. PP + 5 % 30B tlak 400	20. PP + 5 % N3000 tlak 400
3. PP + 3 % 30B standart	7. PP + 5 % 93A tlak 800	14. PP + 5 % 30B tlak 800	21. PP + 5 % N3000 tlak 800
4. PP + 3 % N3000 standart	8. PP + 5 % 93A tlak 1000	15. PP + 5 % 30B tlak 1000	22. PP + 5 % N3000 tlak 1000
	9. PP + 5 % 93A dotlak 400	16. PP + 5 % 30B dotlak 400	23. PP + 5 % N3000 dotlak 400
	10. PP + 5 % 93A dotlak 600	17. PP + 5 % 30B dotlak 600	24. PP + 5 % N3000 dotlak 600
	11. PP + 5 % 93A dotlak 700	18. PP + 5 % 30B dotlak 700	25. PP + 5 % N3000 dotlak 700



Obr. 48. Vady vstřikování – přetoky

Při vstřikování sérií vzorků z PC_APEC2095 došlo k několika vadám. U série č. 39. A20 + 5 % N3000 dotlak 1000 nedošlo k úplnému vyhození zkušebních tělísek z dutiny formy. U vzorků s č. 50. A20 + 5 % 30B standart, č. 52. A20 + 5 % 30B tlak 1700 a č. 53. A20 + 5 % 30B tlak 1900 a 56. A20 + 5 % 30B dotlak 1000 docházelo k rozlomení při vyhazování vyhazovači z dutiny formy. Tyto vzorky byly znehodnoceny a nemohly být dále použity pro mechanické zkoušky. Toto složení a postup vstřikování není možno použít.

Tab. 13. Vyráběné série vzorků z PC_APEC2095 za různých vstřikovacích podmínek

40. A20 + 3 % N3000 standart	26. A20 čistý standart	33. A20 + 5 % N3000 standart	41. A20 + 5 % 93A standart	50. A20 + 5 % 30B standart
48. A20 + 3 % 93A standart	27. A20 čistý tlak 1300	34. A20 + 5 % N3000 tlak 1300	42. A20 + 5 % 93A tlak 1300	51. A20 + 5 % 30B tlak 1300
49. A20 + 3 % 30B standart	28. A20 čistý tlak 1700	35. A20 + 5 % N3000 tlak 1700	43. A20 + 5 % 93A tlak 1700	52. A20 + 5 % 30B tlak 1700
	29. A20 čistý tlak 1900	36. A20 + 5 % N3000 tlak 1900	44. A20 + 5 % 93A tlak 1900	53. A20 + 5 % 30B tlak 1900
	30. A20 čistý dotlak 700	37. A20 + 5 % N3000 dotlak 700	45. A20 + 5 % 93A dotlak 700	54. A20 + 5 % 30B dotlak 700
	31. A20 čistý dotlak 900	38. A20 + 5 % N3000 dotlak 900	46. A20 + 5 % 93A dotlak 900	55. A20 + 5 % 30B dotlak 900
	32. A20 čistý dotlak 1000	39. A20 + 5 % N3000 dotlak 1000	47. A20 + 5 % 93A dotlak 1000	56. A20 + 5 % 30B dotlak 1000

Při výrobě sérií z PC_APEC1695 se vyskytla pouze jedna vada při vstřikování. Tato vada byla u série č. 81. A16 + 5 % 30B dotlak 250. V tomto případě docházelo k rozlomení zkušebních tělísek při vyhazování vyhazovači z dutiny formy. I tato kombinace materiálů, podmínek a složení směsí je evidentně nepoužitelná.

Tab. 14. Vyráběné série vzorků z PC_APEC1695 za různých vstřikovacích podmínek

57. A16 čistý standart	59. A16 + 5 % N3000 standart	67. A16 + 5 % 93A standart	75. A16 + 5 % 30B standart
58. A16 + 3 % N3000 standart	60. A16 + 5 % N3000 tlak 400	68. A16 + 5 % 93A tlak 400	76. A16 + 5 % 30B tlak 400
66. A16 + 3 % 93A standart	61. A16 + 5 % N3000 tlak 800	69. A16 + 5 % 93A tlak 800	77. A16 + 5 % 30B tlak 800
74. A20 + 3 % 30B standart	62. A16 + 5 % N3000 tlak 1000	70. A16 + 5 % 93A tlak 1000	78. A16 + 5 % 30B tlak 1000
	63. A16 + 5 % N3000 dotlak 50	71. A16 + 5 % 93A dotlak 50	79. A16 + 5 % 30B dotlak 50
	64. A16 + 5 % N3000 dotlak 250	72. A16 + 5 % 93A dotlak 100	80. A16 + 5 % 30B dotlak 100
	65. A16 + 5 % N3000 dotlak 100	73. A16 + 5 % 93A dotlak 250	81. A16 + 5 % 30B dotlak 250

U posledního vstřikovaného termoplastického materiálu PC_MAKROLON byla zjištěna pouze jedna vada, a to u série č. 84. MAC čistý tlak 500. Vada byla v nedotečení vyráběných zkušebních tělísek. Pro získání kvalitního výstřiku je tato hodnota tlaku nedostačující.

Tab. 15. Vyráběné série vzorků z PC_MAKROLON za různých vstřikovacích podmínek

89. MAC + 3 % 93A standart	82. MAC čistý standart	90. MAC + 5 % 93A standart	98. MAC + 5 % 30B standart
97. MAC + 3 % 30B standart	83. MAC čistý tlak 600	91. MAC + 5 % 93A tlak 500	99. MAC + 5 % 30B tlak 500
	84. MAC čistý tlak 500	92. MAC + 5 % 93A tlak 600	100. MAC + 5 % 30B tlak 600
	85. MAC čistý tlak 700	93. MAC + 5 % 93A tlak 700	101. MAC + 5 % 30B tlak 700
	86. MAC čistý dotlak 20	94. MAC + 5 % 93A dotlak 20	102. MAC + 5 % 30B dotlak 20
	87. MAC čistý dotlak 50	95. MAC + 5 % 93A dotlak 50	103. MAC + 5 % 30B dotlak 50
	88. MAC čistý dotlak 150	96. MAC + 5 % 93A dotlak 150	104. MAC + 5 % 30B dotlak 150

Hlavní rozdíly mezi vybranými polykarbonáty jsou v tabulce (Tab. 16).

Tab. 16. Rozdíly mezi PC dle výrobce [36]

Materiál	Doporučená teplota zpracování [°C]	Teplota skelného přechodu [°C]	Teplotní odolnost při zatížení [°C]
PC APEC 16	320 - 340	158	138 - 150
PC APEC 20	320 - 340	203	173 - 192
PC MAKROLON	280	145	124 - 137

5.2 Použitá plniva

Pro plnění čistých termoplastických materiálů byla použita nanoplňiva s obchodními názvy Cloisite 93A, 30B a Nanofil N3000. Všechna tato plniva jsou založena na jílu montmorillonitu (MMT) upraveném modifikací různými typy organických sloučenin. Cloisite je produkt firmy Southern Clay Chemistry, USA a Nanofil je od Sudchemie, Německo. Postup úpravy je tzv. ion-výměnou metodou, kdy se pomocí jednotky meq/g (miliekvivalent) určuje množství modifikující organické sloučeniny v mezivrstvi MMT.

6 ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ VYROBENÝCH TĚLÍSEK

U všech vyrobených sérií (104) bylo zjišťováno, jakým způsobem změna parametrů vstříkovaní a množství plniv ovlivní výsledné mechanické vlastnosti. Pro zkoušky mechanických vlastností byla zvolena tahová a rázová zkouška. Jako poslední byla provedena zkouška nespalitelných složek. Množství nespalitelných složek bylo zjišťováno v termoplastickém materiálu PC_APEC20 + plnivo 93A.

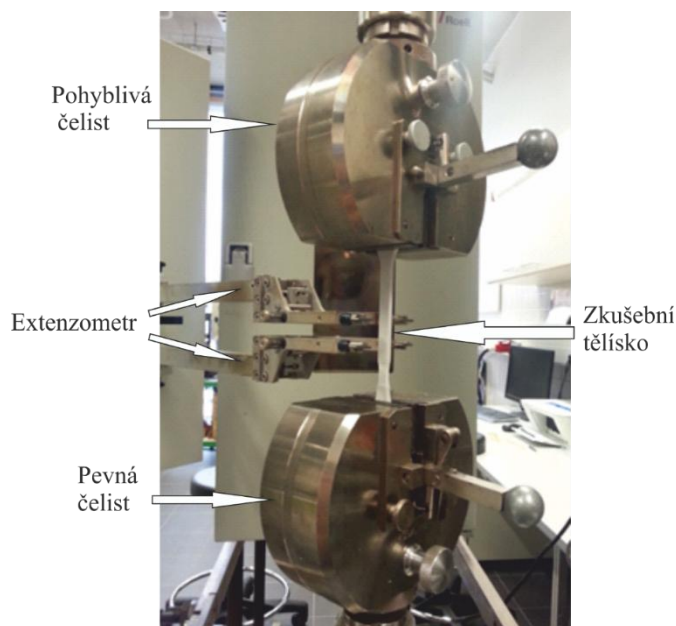
6.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 527 – 1. Princip tahové zkoušky spočívá v protahování zkušebního tělíska až do přetržení, přičemž nesmí docházet k prokluzování zkušebního tělíska v upínacích čelistech. Na obrázku (Obr. 49) je stroj Zwick, na kterém byla provedena tahová zkouška. Počítač připojený ke stroji Zwick sloužil pro nastavení jednotlivých parametrů. Zkouška probíhala za teploty 23 ± 1 °C a relativní vlhkost v laboratoři byla 55 ± 1 %. [37]



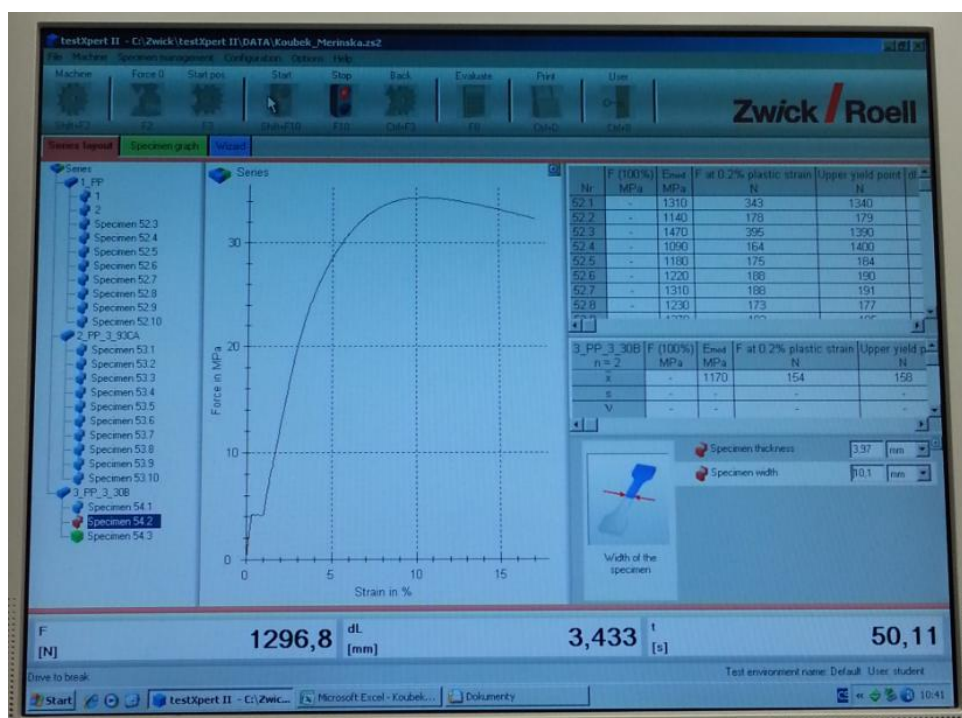
Obr. 49. Pracoviště tahové zkoušky

Tahovou zkouškou prošlo 104 sérií vzorků. Každá série měla 10 ks zkušebních tělísek. Na obrázku (Obr. 50) je popsána pracovní část stroje Zwick.



Obr. 50. Popis pracovní části stroje Zwick

Na obrázku (Obr. 51) jsou jednotlivé tlačítka ovládání stroje. Dle normy bylo nutné měřit tloušťku a šířku každého vstříkovaného zkušebního tělíska. Tyto hodnoty byly před každou tahovou zkouškou přepisovány dle aktuálních rozměrů zkušebních tělísek.



Obr. 51. Hlavní displej tahové zkoušky

První nastavovaný parametr byla velikost zkušebního tělíska. Druhý velice důležitý nastavovaný parametr byl E – modul pružnosti v tahu. Při nastavení E - modulu od 0,05 – 0,25 je rychlost posouvání čelistí od sebe po 1 mm/min. Po překročení hodnoty E - modulu 0,25 dojde k odjetí extenzometru. Toto nastavení je na obrázku (Obr. 52). Činnost extenzometru zajišťuje zaznamenání změny počáteční délky zkušebního tělíska v kterémkoliv okamžiku. Dle normy musí být použit extenzometr s přesností na 1 % měřené délky. [37]



Obr. 52. Nastavení E – Modulu

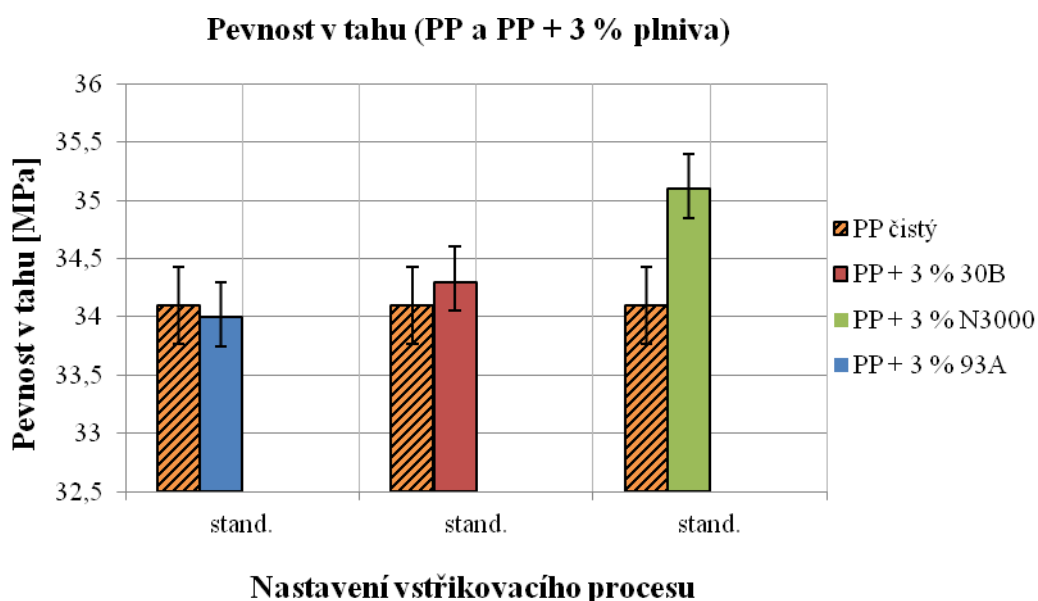
Po překročení nastaveného E - modulu dojde ke změně rychlosti posunu čelistí. Tato rychlost byla nastavena pro všechny série vzorků na 45 mm/min.

6.1.1 Interpretace výsledků tahové zkoušky

Výsledky tahové zkoušky byly rozděleny do čtyř skupin. V každé skupině byl porovnáván jeden ze čtyř materiálů a vlivy příslušných plniv. U všech výsledných grafů byly vyneseny odchylky naměřených hodnot.

6.1.1.1 Termoplastický materiál PP, vliv plniv a parametrů vstřikování

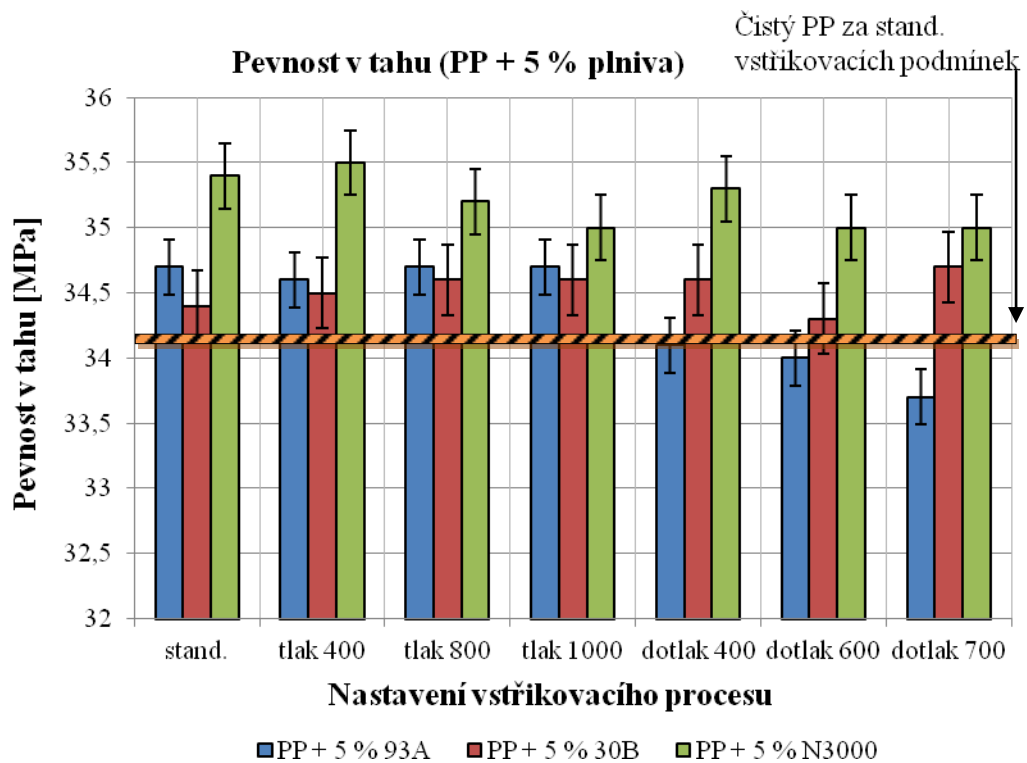
První obrázek popisuje čistý PP, který byl porovnán se směsí s 3% plněním plnivy. Všechny vzorky byly vyrobeny za standardních podmínek vstřikování. Jednalo se o hodnoty tlaku 600 bar a dotlaku 500 bar. Výsledky tahových zkoušek jsou na obrázku (Obr. 53). V případě, kdy bylo přidáno 3 % plniva N3000, došlo k zvýšení pevnosti v tahu o 1,1 MPa oproti čistému materiálu. Ostatní směsi s 3% plněním výrazně neovlivnily pevnost v tahu oproti čistému PP. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo pomocí plniva N3000 v 3% plnění s PP. Ostatními plnivami se nevykázaly zásadní změny vlastností při 3% plnění.



Obr. 53. Graf hodnot pevností v tahu (PP a PP + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

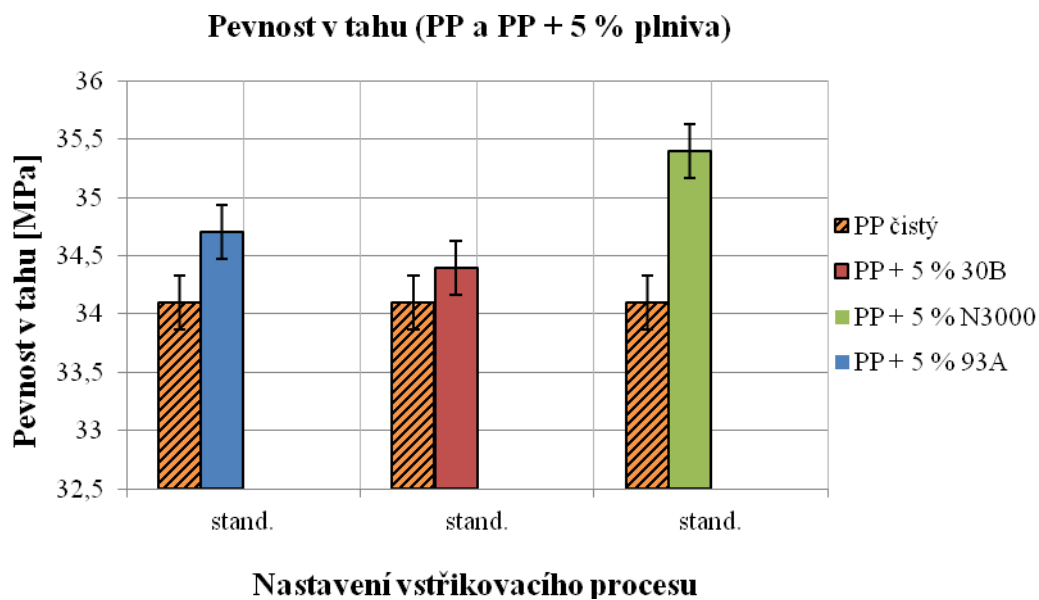
Oranžová pruhovaná čára v obrázku (Obr. 54) značí hodnotu čistého PP vstřikovaného za standardních podmínek, tlaku 600 bar a dotlaku 500 bar. Z důvodu velkého množství vzorků nebyly pro čistý PP připraveny série vzorků za různých vstřikovacích podmínek. Za různých podmínek vstřikování došlo k zvýšení (téměř u všech) pevnosti v tahu pro plněné systémy oproti čistému materiálu. Z tahové zkoušky vyplynuly nejvhodnější podmínky pro vstřikování plněného PP. Tyto nejvhodnější podmínky vstřikování byly stanoveny tlakem 400 bar a dotlakem 500 bar při plnění plnivem N3000, za těchto podmínek bylo dosaženo nejvyšší pevnosti v tahu s hodnotou 35,5 MPa.

Při porovnání jednotlivých plniv lze konstatovat, že plnivo 30B ani plnivo 93A nejsou úplně vhodná pro tento typ polymerní matrice a nezlepšují výrazně vlastnosti připravovaných vzorků.



Obr. 54. Porovnání pevností v tahu (PP + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu

Tento obrázek (Obr. 55) sloužil k porovnání čistého PP s 5% plněním, kde byla ověřena vhodnost použití plniva N3000, u kterého bylo dosaženo lepších mechanických vlastností než u čistého PP i v případě 5% plnění.



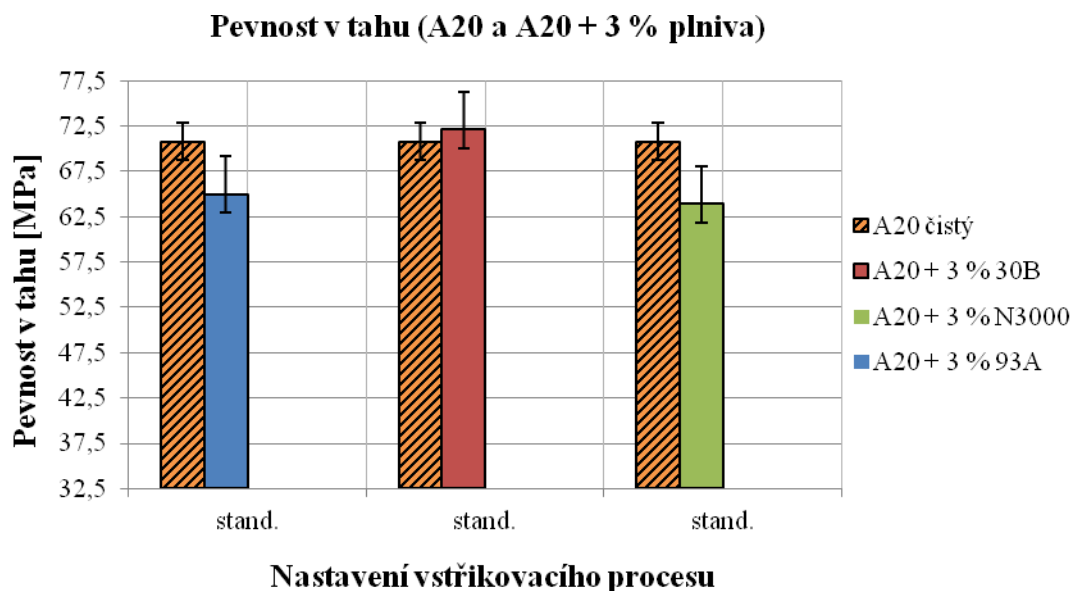
Nastavení vstřikovacího procesu

Obr. 55. Graf hodnot pevností v tahu (PP a PP + 5 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

6.1.1.2 Termoplastický materiál PC_APEC20, vliv plniv a parametrů vstřikování

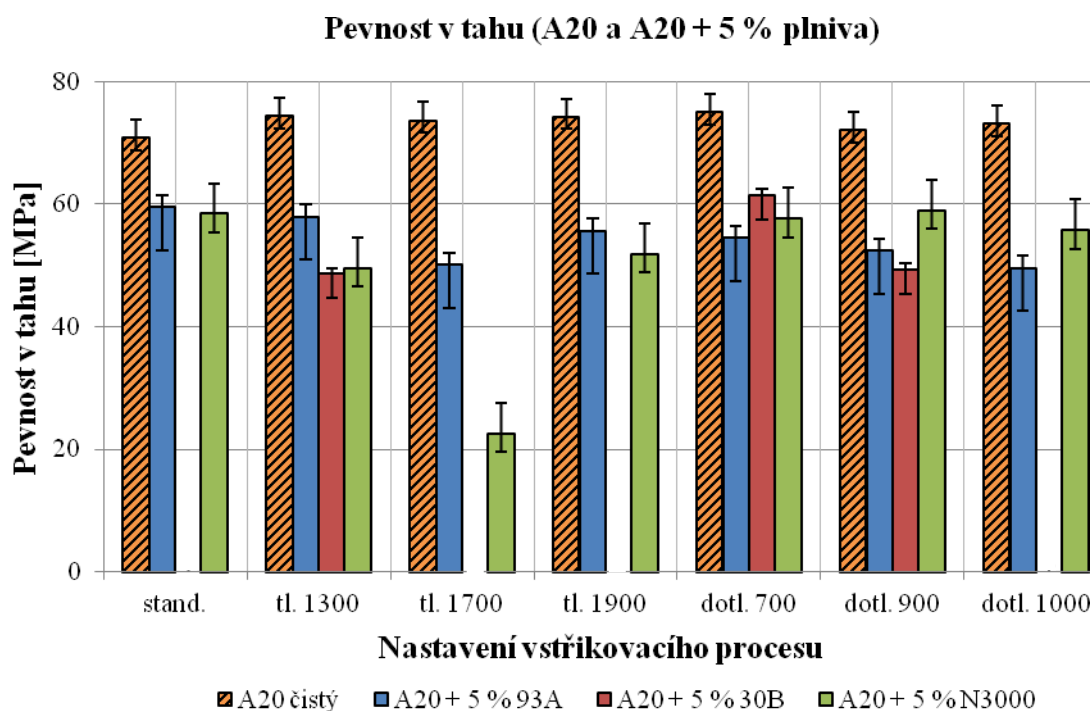
Předchozí kapitola se zabývala termoplastickým materiálem PP. V této a dalších dvou kapitolách se zkoumaly vlivy plniv na termoplastický materiál PC. Tato kapitola se zabývala vlivem plniv na čistý materiál PC_APEC20.

Při porovnání čistého A20 a A20 s 3% plnivou za standardních podmínek vstřikování (tlak 1500 bar a dotlak 800 bar) byl změřen nejlepší výsledek u vzorku A20 + 3% 30B, kde byla vyšší pevnosti v tahu oproti čistému A20 a to o 1,4 MPa. Výsledky zkoušky jsou na obrázku (Obr. 56). Systém s 3% plněním N3000 a 93A vykázal nižší pevnost v tahu v porovnání s čistým materiálem. Tento rozdíl ve srovnání s hodnocením PP matrice vyplývá z rozdílu mezi použitými typy modifikovaných jíílů. Typ Cloisite 30B je modifikován sloučeninou s částí obsahující benzenové jádro, je tedy více podobný PC matici, a tím lze vysvětlit jeho lepší účinek. Naopak Nanofil 3000 obsahuje modifikátor s alifatickými řetězci. Jak lze vidět u souhrnných výsledků níže, i tak adheze PC a Cloisite 30B není dostačující pro přípravu materiálu s výrazně lepšími vlastnostmi ve srovnání s čistou maticí PC.



Obr. 56. Graf hodnot pevností v tahu (A20 a A20 + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

Na obrázku (Obr. 57) byl porovnán neplněný i plněný PC_APEC20 za různých podmínek vstřikování. Výrazné snížení pevnosti v tahu došlo při 5% plnění materiálu A20 všemi třemi typy plniv. Při některých podmínkách vstřikování viz obrázek (Obr. 57) nebyly vyrobeny vzorky A20 + 5% 30B. Důvodem bylo rozlomení zkušebních tělísek při vyhazování těchto vzorků z dutiny vstřikovací formy. Nejlepší výsledek tahové zkoušky byl při nastavení vstřikovacích parametrů na hodnotu tlaku 1500 bar a dotlaku 700 bar. Za těchto parametrů dosáhla pevnost v tahu čistého materiálu PC_APEC20 hodnoty 74,9 MPa, což je o 4,2 MPa vyšší než za standardních podmínek vstřikovacího procesu. V tomto případě mechanické zkoušky ukázaly, že pro vstřikování čistého PC_APEC20 je vhodnější parametr dotlaku 700 bar, oproti námi stanovenému standardnímu dotlaku 800 bar. Další fakt vyplývající z tohoto hodnocení, je snížení pevnosti v tahu pro systémy s plněnou maticí a nevhodnost použití těchto plniv pro termoplastický materiál PC_APEC20.

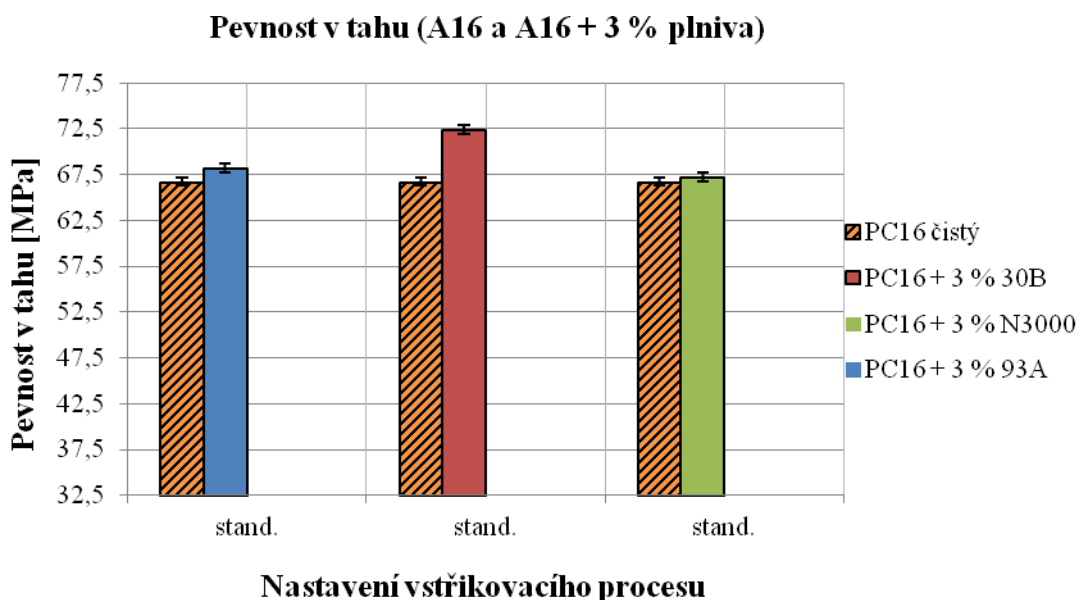


Obr. 57. Porovnání pevností v tahu (A20 a A20 + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu

Materiálový list udává pevnost v tahu pro čistý PC_APEC20 > 60 MPa. Tato skutečnost byla potvrzena provedenými tahovými zkouškami. Bohužel všechny plněné systémy vykázaly horší mechanické vlastnosti ve srovnání s neplněnou maticí. [36]

6.1.1.3 Termoplastický materiál PC_APEC16, vliv plniv a parametrů vstřikování

Termoplastický materiál PC_APEC16 se liší od materiálu PC_APEC20 nižší teplotou skelného přechodu o 45 °C a nižší teplotní odolností při zatížení o 40 °C. Pevnost v tahu u materiálu PC_APEC16 + 3 % 30B byla vyšší o 5,5 MPa oproti čistému PC_APEC16. Toto plnivo působilo kladně i u materiálu PC_APEC20, kde také došlo ke zvýšení pevnosti v tahu pro plněný systém. Tyto hodnoty byly naměřeny za standardních podmínek vstřikování (tlak 600 bar a dotlak 200 bar). U dalších směsí s 3% plněním nedošlo k výraznému zvýšení ani snížení pevnosti v tahu. Pevnost v tahu pro materiál PC_APEC16 je na obrázku (Obr. 58).

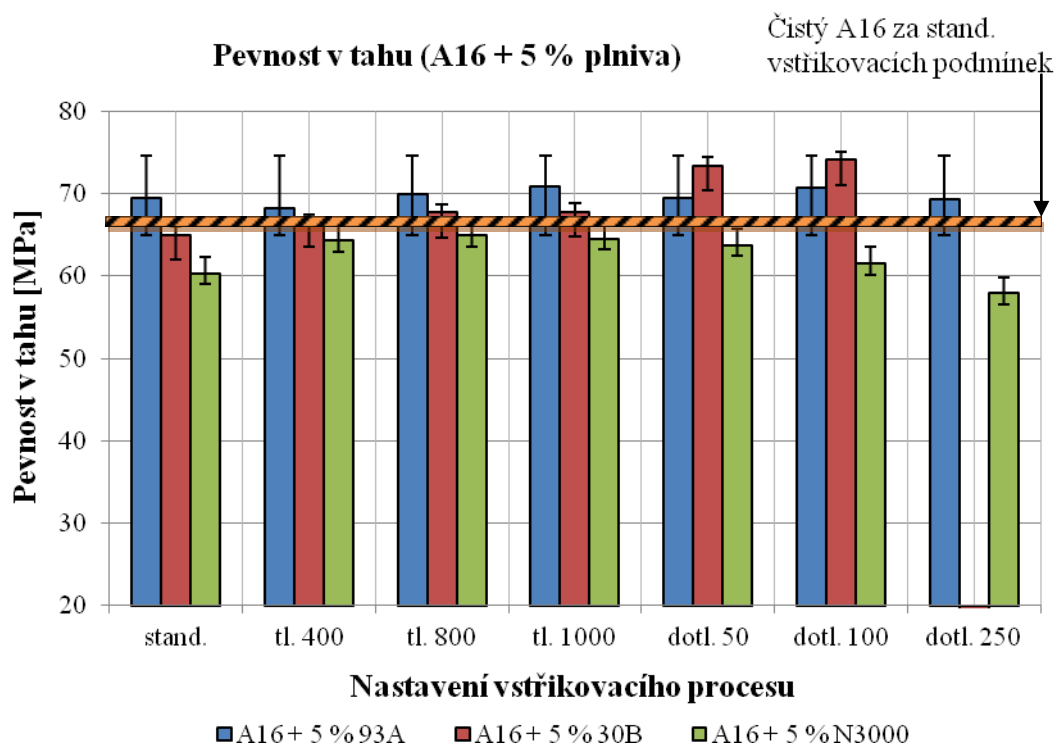


Obr. 58. Graf hodnot pevností v tahu (A16 a A16 + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

Při přidání třech druhů plniv k termoplastickému materiálu PC_APEC16 za různých podmínek vstřikování bylo dosaženo těchto výsledků, viz obrázek (Obr. 59). Nejvyšší pevnosti v tahu bylo dosaženo s plnivem 30B při vstřikovacích podmínkách tlaku 600 bar a dotlaku 100 bar. Za těchto parametrů dosáhla pevnost v tahu materiálu PC_APEC16 + 5 % 30B hodnoty 74,1 MPa. Při vstřikovacím procesu materiálu A16 + 5 % 30B za parametrů tlaku 600 bar a dotlaku 250 bar došlo při vyhazování zkušebních tělísek z dutiny formy k prasknutí. Z tohoto důvodu nebyla tato série vzorků vyrobena.

Pro tento typ materiálu není vhodné plnit matrici plnivem N3000, tuto matrici je vhodné použít v případě plnění PP, kde díky němu byla zvýšena pevnost v tahu. V případě plnění matrice plnivem 93A nedocházelo při změně podmínek vstřikování k rozdílným hodnotám pevnosti v tahu. Tato skutečnost mohla být způsobena špatným promícháním směsi s plnivem. Z důvodu velkého množství vzorků nebyly pro čistý PC_APEC16 připraveny série vzorků za různých vstřikovacích podmínek.

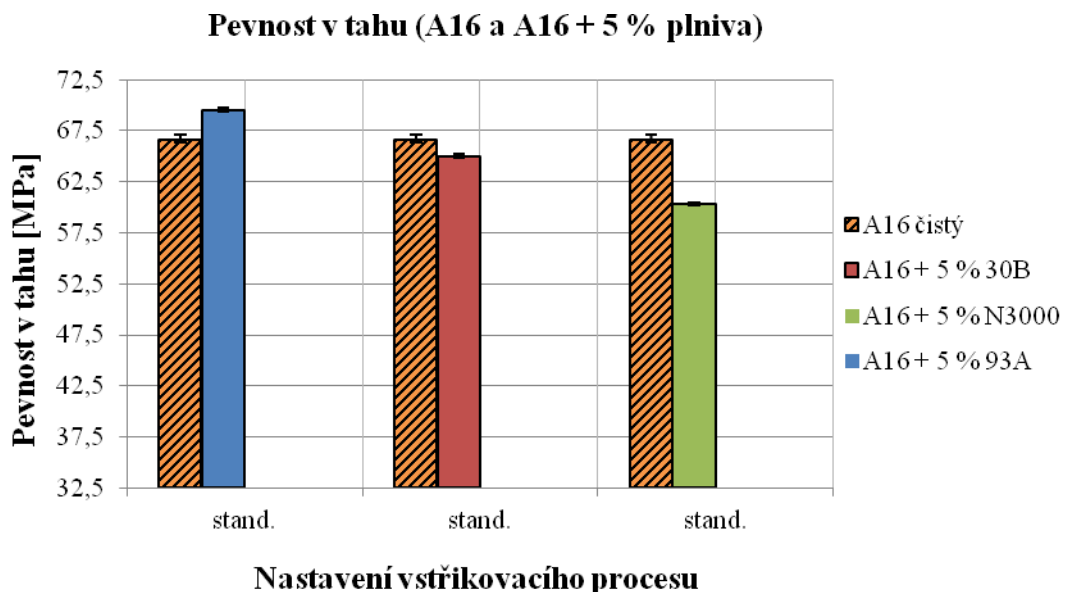
Materiálový list udává pevnost v tahu pro čistý PC_APEC16 > 60 MPa. Tato skutečnost byla potvrzena provedenými tahovými zkouškami. [36]



Obr. 59. Porovnání pevnosti v tahu (A16 + 5 % plniv) za různých podmínek vstřikovacího procesu

Po porovnání A16 a A16 + 5 % plniv za standardních podmínek vstřikování byla nejvyšší pevnost v tahu u materiálu A16 + 5 % 93A, viz obrázek (Obr. 60). Při 5% plnění došlo ke snížení pevnosti v tahu oproti výsledkům z obrázku (Obr. 58), kde byl čistý materiál plněn 3 % MMT. Za námi stanovených standardních podmínek (tlak 600 bar a dotlak 200 bar) způsobilo vyšší množství plniva snížení pevnosti v tahu.

Z obrázku (Obr. 59) je vidět nečekaně konstantní výsledky hodnot A16 s 5 % 93A. V případě obrázku (Obr. 60) je hodnota A16 + 5 % 93A neočekávaně vysoká, tato skutečnost by mohla být způsobena špatným promícháním směsi. Tvzení nemůže být ale podloženo, a tudíž by bylo zapotřebí provést zkoušku mikroskopickým pozorováním.

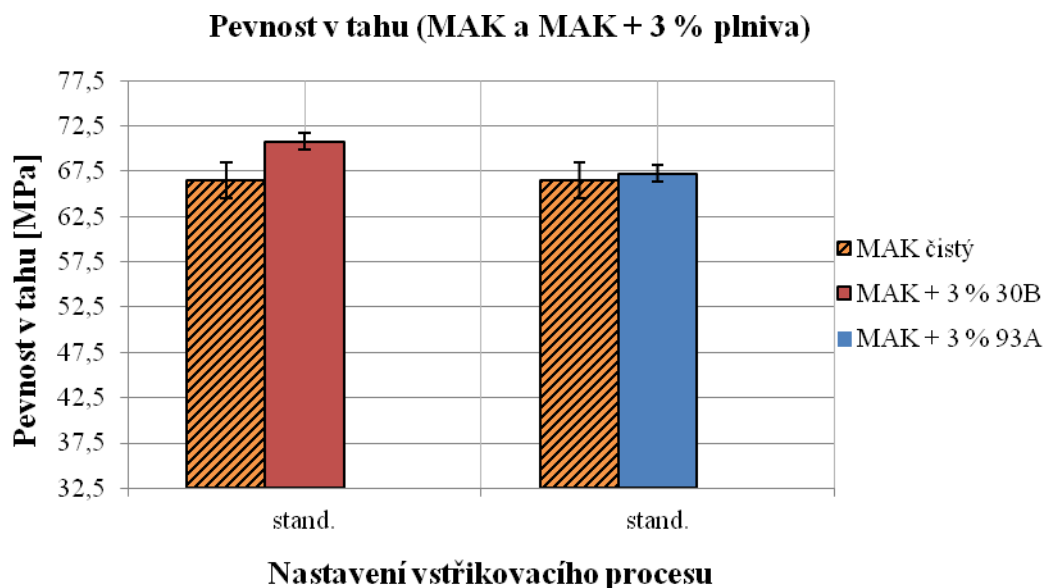


Obr. 60. Graf hodnot pevností v tahu (A16 a A16 + 5 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

6.1.1.4 Termoplastický materiál PC_MAKROLON, vliv plniv a parametrů vstřikování

PC_MAKROLON má v porovnání s PC_APEC16 a PC_APEC20 nejnižší teplotu skelného přechodu 145 °C a dále nejnižší teplotní odolnost při zatížení 124 - 137 °C. Pevnost v tahu u čistého PC_MAKROLONU byla porovnávána se směsmi s 3% plněním.

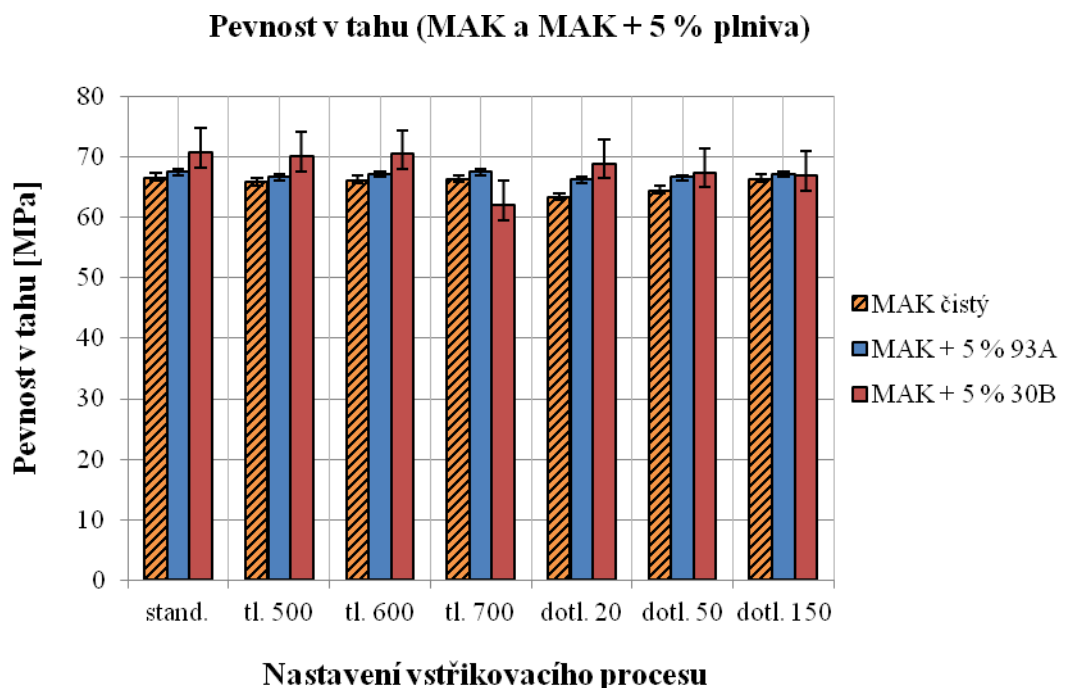
Všechny vzorky byly vyrobeny za standardních podmínek vstřikování, a to tlaku 800 bar a dotlaku 100 bar. Výsledky tahových zkoušek jsou na obrázku (Obr. 61). Směs s 3% plnění 30B vykázala nejvyšší pevnost v tahu, která byla vyšší oproti čistému neplněnému materiálu o 4,3 MPa. Z důvodu zhoršení vlastností matrice plněné plnivem N3000 u termoplastického materiálu PC_APEC16 a PC_APEC20 nebyly vstřikovány série vzorků čistého PC_MAKROLONU s tímto plnivem, a tudíž toto plnivo není zařazeno do výsledků zkoušky.



Obr. 61. Graf hodnot pevností v tahu (MAC a MAC + 3 % plniv) za standardních vstřikovacích podmínek

Porovnání neplněného i plněného PC_MACROLONU za různých podmínek vstřikování je na obrázku (Obr. 62). Při nastavení různých podmínek vstřikovacího procesu, výsledky tahových zkoušek vykazaly mírný vzestup pevnosti v tahu pro plnivo 93A a vyšší vzestup pevnosti v tahu pro plnivo 30B, které se jeví jako vhodné pro plnění materiálu PC_MAKROLON. Série vyrobená za standardních vstřikovacích podmínek (tlak 800 bar a dotlak 100 bar) s 5 % 30B měla nejvyšší pevnost v tahu. Jednalo se o hodnotu 70,8 MPa. Dále bylo dosaženo velice podobných výsledků i při nižších tlacích (500 a 600 bar). Plněné systémy vykazaly mírné zlepšení mechanických vlastností ve srovnání s neplněnou maticí, z tohoto důvodu by mohlo dojít při plnění s vyšším procentuálním zastoupením plniva za předpokladu dobré dispergace a distribuce plniva k dosažení lepších zřetelně vyšších hodnot pevnosti v tahu. Tato myšlenka by mohla být předmětem dalšího zkoumání.

Materiálový list udává pevnost v tahu pro čistý PC_MACROLON > 60 MPa. Tato skutečnost byla potvrzena provedenými tahovými zkouškami. [36]



Obr. 62. Porovnání pevností v tahu (A20 a A20 + 5 % plniv) za různých podmínek vstřikovacího procesu

6.1.2 Hodnocení tahové zkoušky

Různé procentuální množství a druh plniva má pro každý z vybraných termoplastický materiál individuální vliv na mechanické vlastnosti. Tahová zkouška ukázala rozdílné výsledky pro každý ze zkoumaných materiálů. Při plnění matrice PP plnivem N3000 došlo ke zvýšení pevnosti v tahu. Plnění matrice dalšími plnivy zhoršilo pevnost v tahu a tato plniva byla zvolena za nevhodná pro tento termoplastický materiál. Standardní parametry vstřikování, které byly zvoleny dle vzhledu vyrobeného zkušebního tělíska bez vad, nebyly v tomto případě potvrzeny. Jako optimální parametry vstřikování pro plněnou matici plnivem N3000 byly zjištěny podmínky: tlak 400 bar a dotlak 500 bar.

Co se týče porovnávání všech tří PC, byly zjištěny odlišné výsledky pevnosti v tahu pro každý ze tří materiálů. V případě plnění PC_APEC20 kterýmkoliv ze tří plniv došlo ke snížení pevnosti v tahu. Plnění matrice těmito plnivami je kontraproduktivní v 3 i 5% množství, a tudíž se jeví jako nevhodné. Z tahové zkoušky vyšly optimální podmínky pro vstřikování čistého PC_APEC20. Tyto optimální podmínky byly stanoveny na hodnot tlaku 1500 bar a dotlaku 700 bar.

Termoplastický materiál PC_APEC16 vykázal zvýšení pevnosti v tahu v případě použití plniva 30B, v porovnání s čistým A16 za standardních podmínek vstřikování. V případě volby optimálních parametrů vstřikování byly zvoleny parametry tlaku 600 bar a dotlaku 100 bar. Pro materiály PC_APEC20 a PC_APEC16 se prokázalo nevhodné plnění matrice plnivem N3000. V těchto případech docházelo ke snížení pevnosti v tahu oproti čistým PC.

Materiál PC_MAKROLON nebyl při vstřikování s plnivem N3000 vůbec vyroben, a to z důvodu nevhodnosti použití pro materiály PC_APEC20 a PC_APEC16. Čistý PC_MAKROLON byl porovnán s plnivem 30B a 93A. V případě plnění MAKROLONU byl stanoven závěr, že vliv 5 % plniva 30B na matici má vlastnosti, které zvyšují pevnost v tahu za optimálních podmínek vstřikování. Tyto podmínky jsou stejné jak námi zvolené standardní podmínky vstřikování. Jednalo se o hodnoty tlaku 800 bar a dotlaku 100 bar.

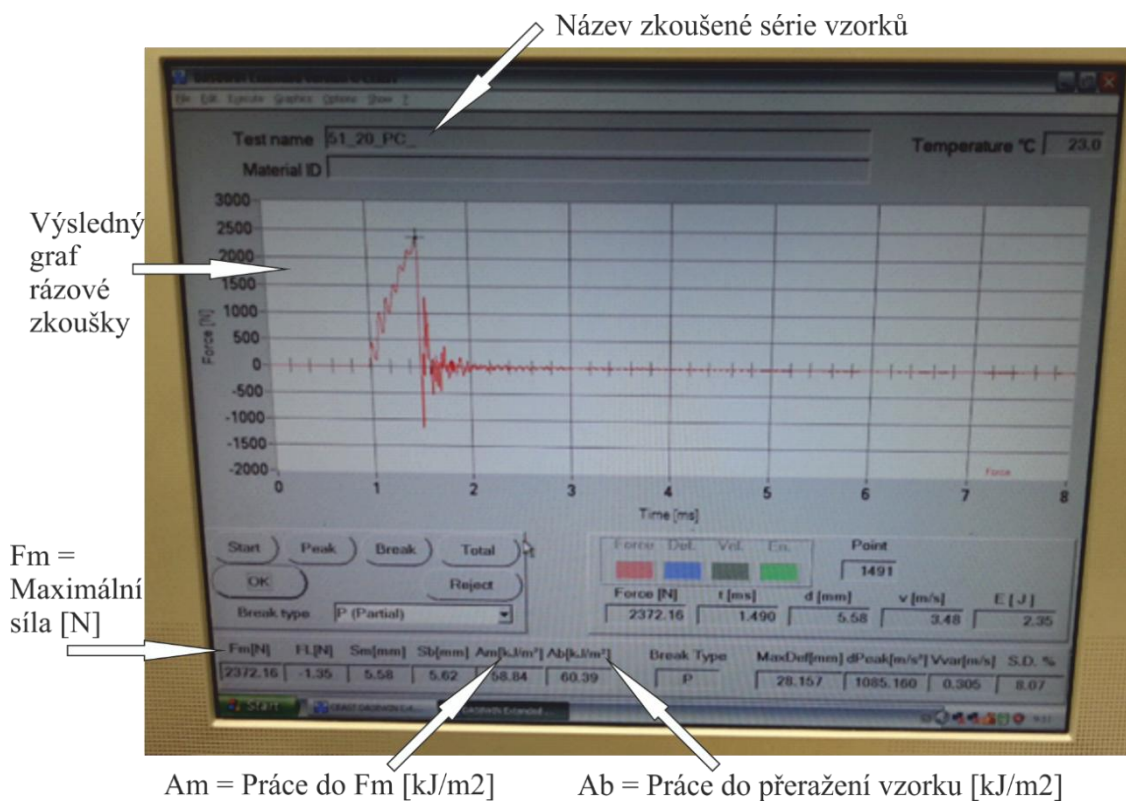
6.2 Dynamická zkouška – rázová zkouška (Charpyho kladivo)

Rázová zkouška byla provedena za účelem zjištění a posouzení rázové houževnatosti zkušebních tělísek bez plniv i s plnivý. Princip zkoušky spočíval ve zjišťování rázové energie spotřebované k přeražení zkušebního tělíska bez vrubu. Rozměry zkušebního tělíska – hranolu, jsou v tabulce (Tab. 10). Rázová zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 179-1. Zařízení pro rázovou zkoušku je na obrázku (Obr. 63). [35]



Obr. 63. Stroj RESIL IMPACTOR

Princip zkoušky spočíval ve vodorovném umístění zkušebního tělíska do prostoru v zařízení, kde volným pohybem kladiva docházelo k přeražení vzorku v jeho středu. Hodnoty při přeražení byly zaznamenávány do předem připravených tabulek. Na obrázku (Obr. 64) je znázorněna obrazovka, na které byly zobrazovány naměřené hodnoty rázových zkoušek. Zkouška probíhala za teploty $23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, relativní vlhkost v laboratoři byla $55 \pm 1 \text{ } \%$. [35]



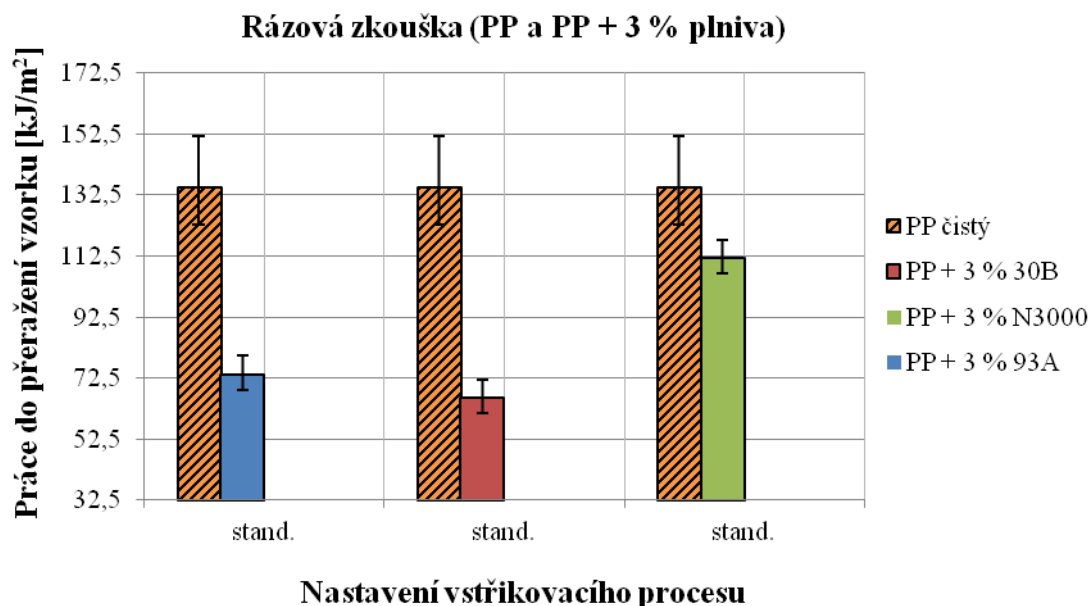
Obr. 64. Výsledek rázové zkoušky pro materiál PC A20 při tlaku 1300 bar

6.2.1 Interpretace výsledků rázové zkoušky

Vyhodnocování rázové zkoušky bylo rozděleno do čtyř skupin dle použitého materiálu, stejně jak u zkoušky pevnosti v tahu. V každé skupině byl porovnáván jeden ze čtyř materiálů a vlivy příslušných plniv. Výsledky rázové zkoušky byly doplněny odchylkami z naměřených hodnot.

6.2.1.1 Termoplastický materiál PP, vliv plniv a parametrů vstřikování

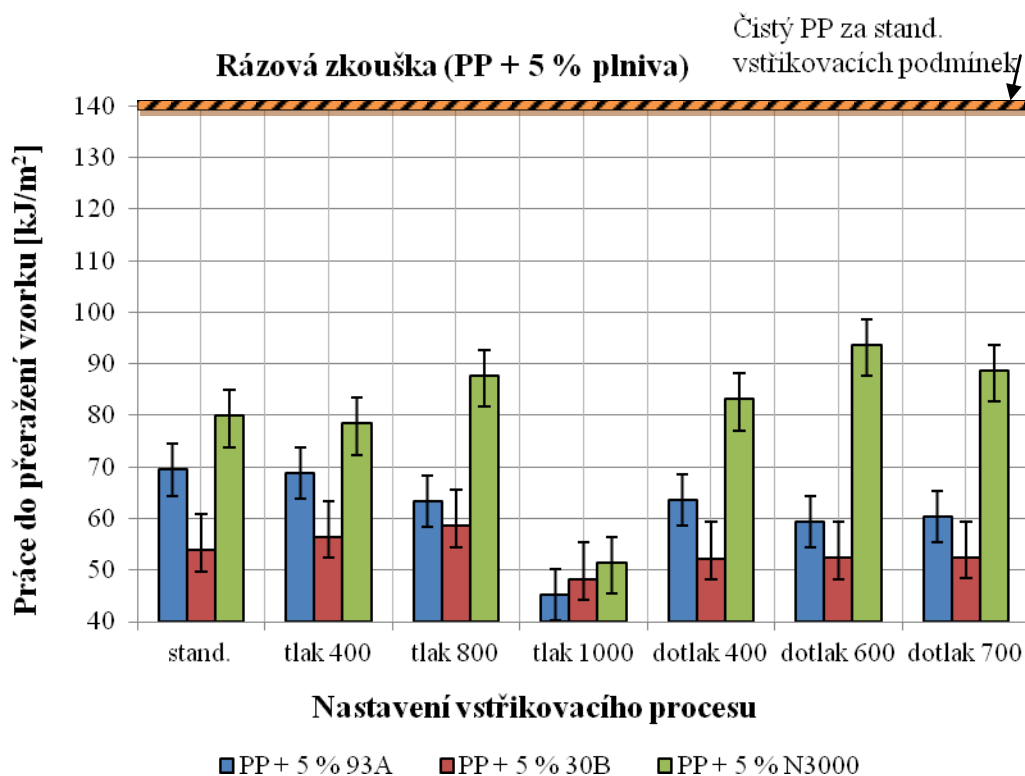
První rázové zkoušky byly provedeny pro termoplastický materiál PP. Při porovnávání rázové houževnatosti bylo zjištěno, že při standardních podmínkách vstřikování (tlak 600 bar a dotlak 500 bar), má čistý materiál s neplněnou maticí nejvyšší houževnatost. V případě 3% plnění plnivou došlo ke snížení houževnatosti oproti původnímu neplněnému materiálu. Co se týče plniva 93A bylo snížení houževnatosti o 50 %, u plniva 30B o 60 % a u plniva N3000 o cca 15 %. Interpretované výsledky jsou na obrázku (Obr. 65). Výsledná hodnota rázové houževnatosti čistého materiálu za standardních podmínek vstřikování je 134,91 kJ/m².



Obr. 65. Graf výsledků rázové houževnatosti (PP a PP + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

Vzhledem k velkému množství vzorků nebyl vyroben čistý PP za různých podmínek vstřikování. PP byl vyroben pouze za standardních podmínek (tlak 600 bar a dotlak 500 bar). V obrázku (Obr. 66) je vyznačena rázová houževnatost čistého PP žlutou čarou.

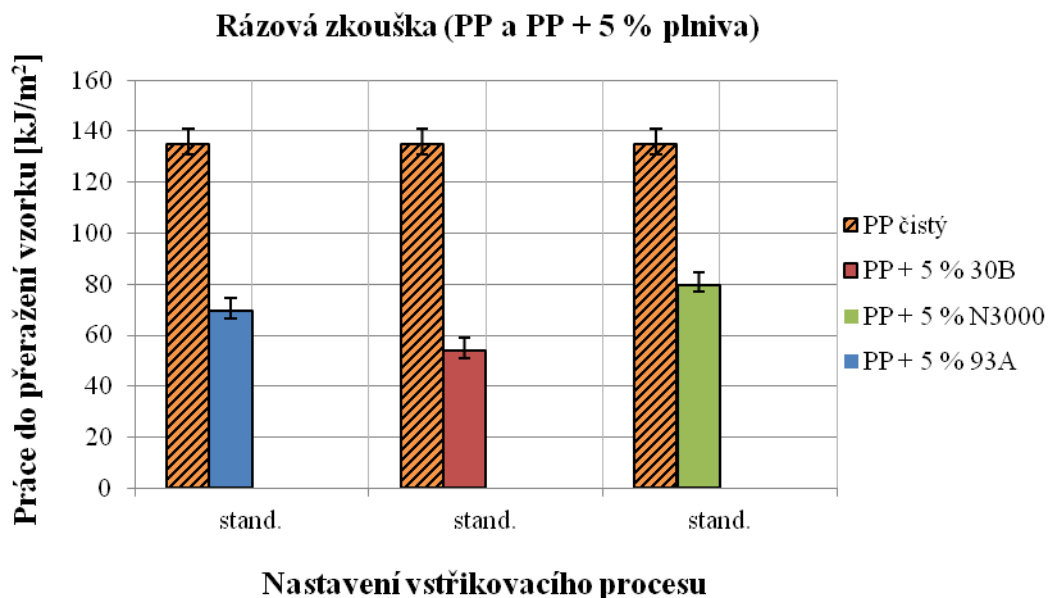
Výsledky rázové houževnatosti popisují vliv různých vstřikovacích parametrů na systémy s plněnou maticí. Nejvyšší rázová houževnatost byla naměřena při vstřikovacích parametrech tlaku 600 bar a dotlaku 600 bar pro plněný PP plnivem N3000, avšak tato houževnatost je o 40 % nižší než rázová houževnatost čistého materiálu PP. Při porovnání výsledků lze konstatovat, že pro tento PP se tyto druhy plniv v tomto procentuálním složení nehodí a výrazně zhoršují vlastnosti připravených plněných vzorků.



Obr. 66. Porovnání rázové houževnatosti (PP + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu

Poslední obrázek (Obr. 67) souží k porovnání čistého PP a vzorků s 5 % plniv, kde bylo opět vidět zhoršení vlastností plněné matrice. Při rázových zkouškách byly stanoveny všechny plněné matrice za matrice se zhoršujícími vlastnostmi. Lze ovšem konstatovat, že matrice plněná plnivem N3000 vykázala nižší rázovou houževnatost než čistý materiál, ale nejvyšší hodnoty rázové zkoušky ze všech plniv.

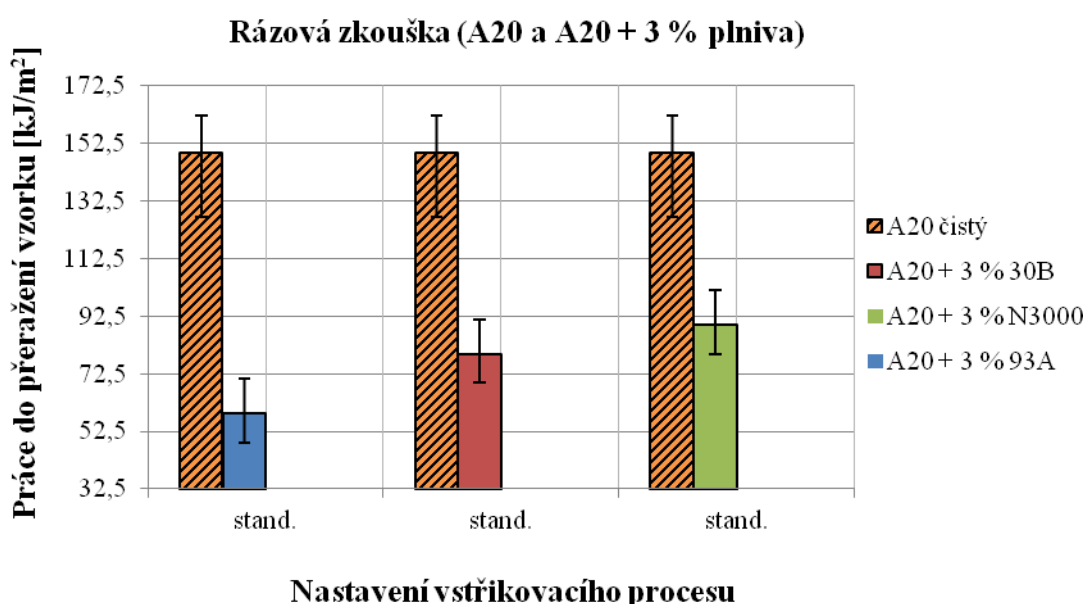
Při tahových zkouškách termoplastického materiálu PP bylo vhodné pouze jediné plnivo, a to plnivo N3000. Z těchto zkoušek vyplývá možná souvislost, že jediným vhodným plnivem pro plnění matrice PP je nanofil 3000. K tomu, abychom zvýšili rázovou houževnatost matrice plněné plnivem N3000, museli bychom nejspíše zvolit vyšší obsah procentuálního množství plniva v čistém PP nebo zajistit jiným postupem jeho lepší rozmíchání a dosažení exfoliace. Tato idea by však mohla být předmětem dalšího zkoumání.



Obr. 67. Graf hodnot rázové houževnatosti (PP a PP + 5 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

6.2.1.2 Termoplastický materiál PC_APEC20, vliv plniv a parametrů vstřikování

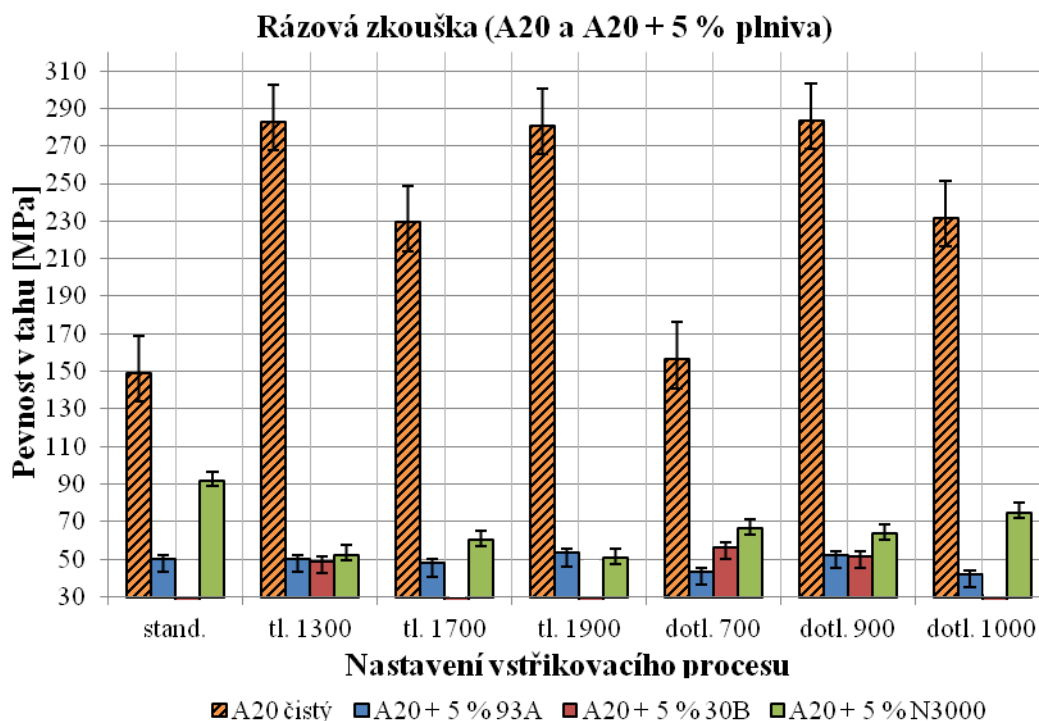
Tato kapitola se zabývá vlivem plniv a parametrů vstřikování při vstřikování termoplastického materiálu PC. U rázových zkoušek byly porovnávány tři druhy PC, a to PC_APEC20, PC_APEC16 a PC_MAKROLON. U čistého termoplastického materiálu PC_APEC20 v porovnání s plněným, byla opět rázová houževnatost plněné matrice výrazně nižší. Porovnání je na obrázku (Obr. 68). Při standardních podmínkách vstřikování (tlak 1500 bar a dotlak 800 bar), byla naměřena nejvyšší hodnota rázové houževnatosti 148.8 kJ/m² pro čistý materiál.



Obr. 68. Porovnání rázové houževnatosti (A20 a A20 + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

Při vstřikovacím procesu nebyly vyrobeny některé série vzorků PC_APEC20 + 5 % 30B viz obrázek (Obr. 69). Při vyhazování těchto vzorků z dutiny formy vyhazovači, docházelo k prasknutí. Lze tedy konstatovat, že podmínky vstřikování pro plnivo 30B nebyly vhodně zvoleny, neboť nebylo možno vzorky vyrobit.

Výsledky rázové houževnatosti pro různé nastavení vstřikovacího procesu ukázaly zásadní snížení mechanických vlastností plněné matrice všemi druhy plniv. Hledání optimálních podmínek vstřikování pro plněné materiály je z důvodu nevhodného použití plniv bezvýznamné. Námi zvolené standardní podmínky vstřikování čistého PC_APEC20 (tlak 1500 bar a dotlak 800 bar), se jeví jako neoptimální. Za optimální podmínky vstřikování byly zvoleny hodnoty tlaku 1500 bar a dotlaku 900 bar. Při těchto hodnotách bylo dosaženo rázové houževnatosti 283 kJ/m^2 . Tato hodnota je o 48 % vyšší, než za prvotně nastavených standardních podmínek vstřikování. Vzhledem k tomu, že při změně parametrů vstřikování nedošlo ke zlepšení vlastností PC s plněnou matricí, lze tato plniva označit za nevyhovující. Výskyt těchto plniv způsobilo zásadní snížení houževnatosti, oproti čistému PC_APEC20, proto není použití těchto plniv vhodné pro tento typ PC.

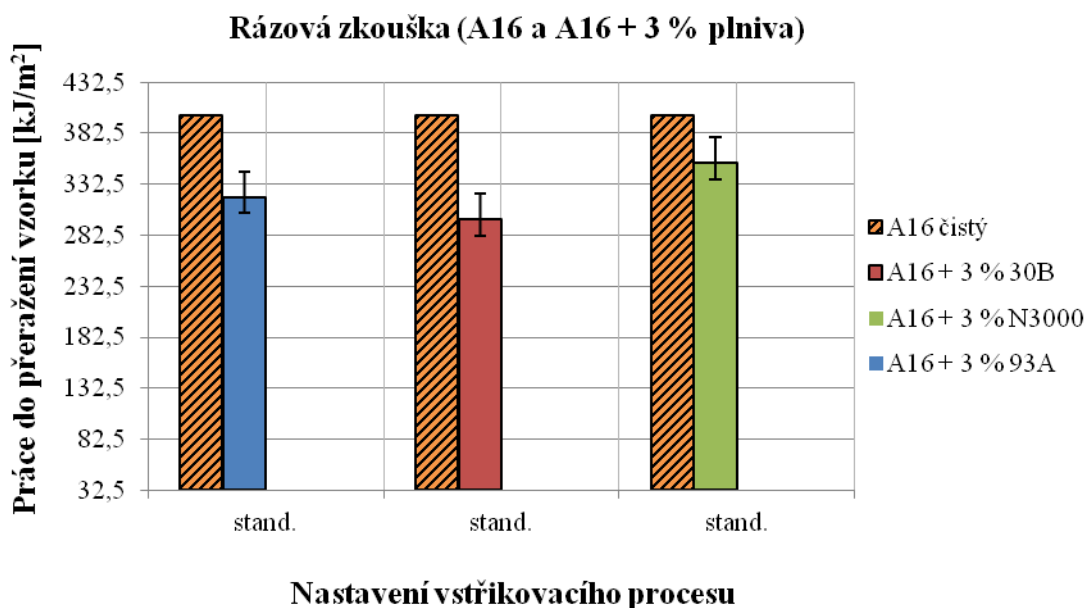


Obr. 69. Porovnání rázové houževnatosti (A20 a A20 + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu

6.2.1.3 Termoplastický materiál PC_APEC16, vliv plniv a parametrů vstřikování

Jak už bylo uvedeno v kapitole o hodnocení pevnosti v tahu, rozdíly tohoto materiálu oproti PC_APEC20 jsou v nižší teplotě skelného přechodu o 45 °C a nižší teplotní odolnosti při zatížení o 40 °C. Vzorky z čistého termoplastického materiálu PC_APEC16 nebyly na Charpyho kladivu přeraženy. K přeražení nedošlo vlivem vysoké rázové houževnatosti. V grafech u tohoto materiálu byla nastavena práce do přeražení vzorku na hodnotu 400 kJ/m². Reálná hodnota rázové houževnatosti by mohla být i vyšší, ale to jsou pouze spekulace. Pro interpretaci výsledků byla takto stanovená hodnota dostačující.

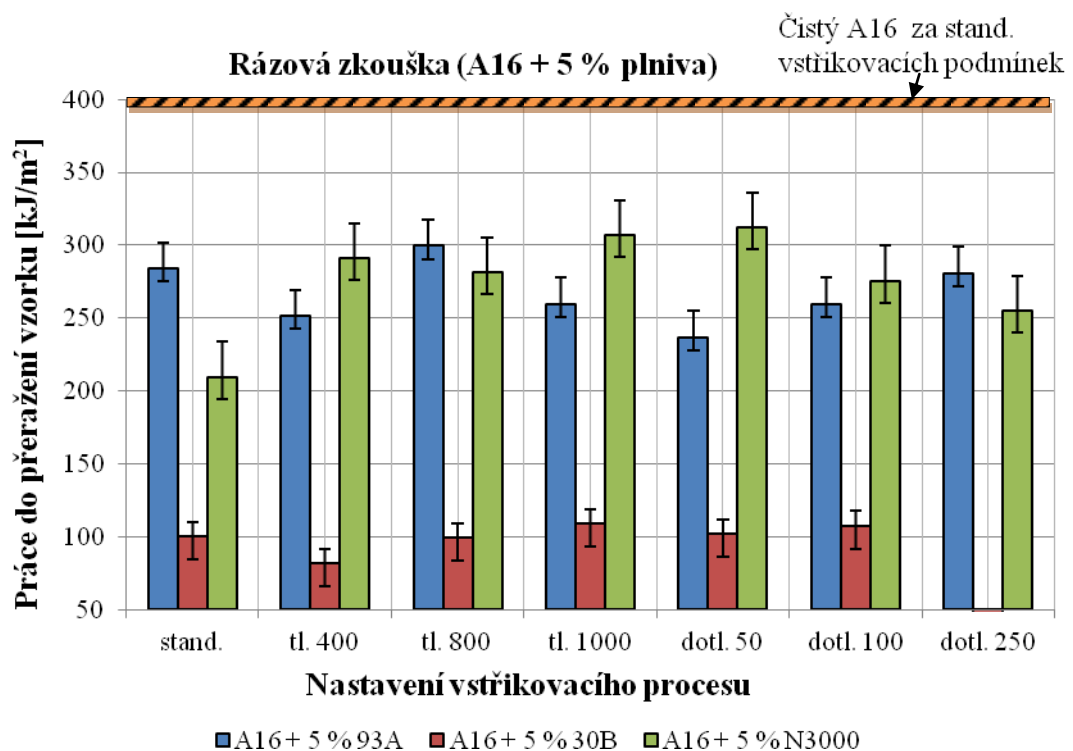
U konstantních hodnot PC_APEC16 nebyly vloženy směrodatné odchylky měření. Na obrázku (Obr. 70) je porovnání čisté a plněné matrice PC. Všechny tři druhy plniva v 3% plnění snížila rázovou houževnatost. Všechny vzorky viz obrázek (Obr. 70) byly vyrobeny za standardní podmínek (tlak 600 bar a dotlak 200 bar).



Obr. 70. Porovnání rázové houževnatosti (A16 a A16 + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

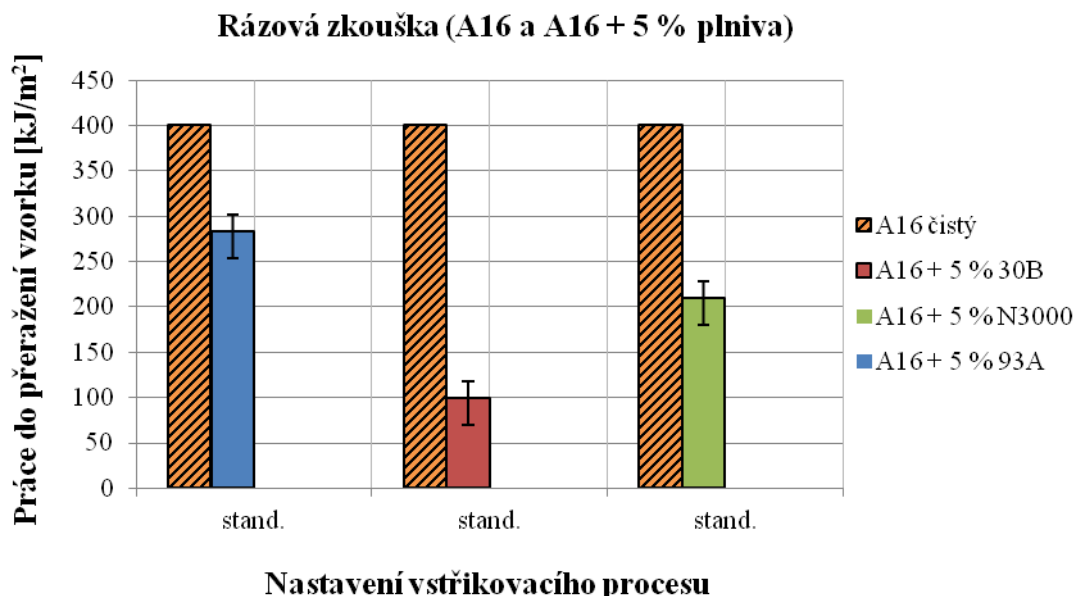
Pro přehlednost výsledků byla do obrázku (Obr. 71) přidána proužkovaná oranžová čára, která značí stanovenou hodnotu rázové houževnatosti pro čistý PC_APEC16. Tento materiál nebyl vyráběn za různých podmínek vstřikování, kvůli značnému množství již vyrobených vzorků. Při výrobě série vzorků z PC_APEC16 + 5 % 30B za tlaku 800 bar a dotlaku 250 bar nedošlo k jejich vyrobení. Při vyhazování docházelo k praskání vzorků. Tato chyba mohla být způsobena vysokým dotlakem při vstřikovacím procesu.

Při porovnávání vlivu jednotlivých 5 % plněných směsí mezi sebou za různých vstřikovacích podmínek, byla zjištěna nejvyšší rázová houževnatost u plniva N3000. Zjištění probíhalo za podmínek tlaku 600 bar a dotlaku 50 bar. Hodnota rázové houževnatosti byla 311 kJ/m^2 , viz obrázek (Obr. 71). Jednoznačně nejhorší vliv plniva na matrici mělo plnivo 30B, které dosáhlo velice nízkých hodnot rázové houževnatosti. Za žádných z nastavovaných parametrů vstřikovacích podmínek pro materiál PC_APEC16 není vhodné použít tyto typy plniv, jelikož způsobují snížení rázové houževnatosti, v porovnání s čistým materiálem.



Obr. 71. Porovnání rázové houževnatosti (A16 + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu

Na obrázku (Obr. 72) je porovnání čisté matrice a plněné 5 % plniva. Z tohoto obrázku vyplývá, že při 5% plnění jsou hodnoty rázové houževnatosti plněných matric nižší než při 3% plnění za standardních podmínek vstřikování. Při takto nízkých hodnotách plnění a standardních podmínkách vstřikování se došlo k závěru, že v případě plnění termoplastického materiálu PC_APEC16 se s vyšším procentem plnění snižuje hodnota rázové houževnatosti.



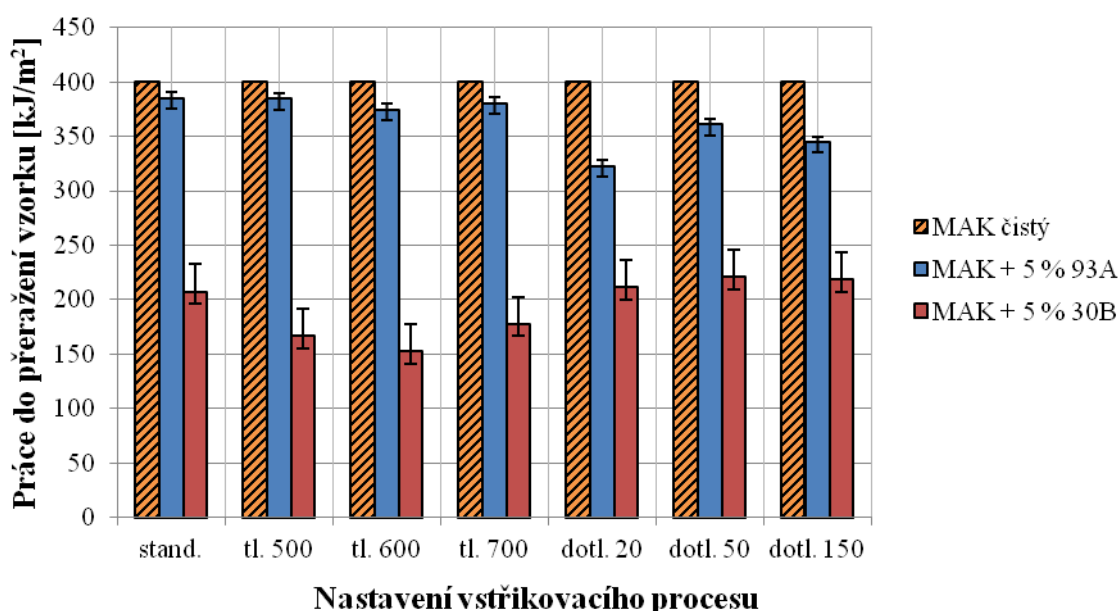
Obr. 72. Graf hodnot rázové houževnatosti (A16 a A16 + 5 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek

6.2.1.4 Termoplastický materiál PC_MAKROLON, vliv plniv a parametrů vstřikování

Materiál PC_MAKROLON má nejnižší teplotu skelného přechodu, a to 145 °C. Dále nejnižší teplotní odolnost při zatížení v porovnání s ostatními zkoušenými PC. Při zkouškách rázové houževnatosti na stroji RESIL IMPACTOR nedošlo k přeražení čistých vzorků z materiálu PC_MAKROLON za žádných vstřikovacích podmínek, které byly nastaveny. Tyto zkoušky nebylo možno provést ze stejného důvodu ani pro vzorky s 3 % plniva 93A a 30B. Pro přehlednost výsledků byla stanovena rázová houževnatost čistého termoplastického materiálu PC_MAKROLON za různých podmínek vstřikování na hodnotu 400 kJ/m², stejně jako u PC_APEC16 pro jednoduchost vizualizace výsledků.

Při rázové houževnatosti na obrázku (Obr. 73) byl zjištěn nepříznivý vliv plniv, tzn. za všech podmínek vstřikování byla rázová houževnatost nižší než u čistého PC_MAKROLON. Ovšem nejlepší výsledky 5 % plněné matrice byly s plnivem 93A, a to za standardních vstřikovacích podmínek (tlaku 800 bar a dotlaku 100 bar). Nejhorší výsledky plnění byly zaznamenány v případě použití plniva 30B, kdy došlo k výrazně horším výsledkům mechanických zkoušek oproti plnivu 93A.

Rázová zkouška (MAK a MAK + 5 % plniva)



Obr. 73. Porovnání rázové houževnatosti (MAC a MAC + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu

6.2.2 Hodnocení dynamické zkoušky

Výsledky rázové houževnatosti ukázaly jednoznačně zhoršující vliv plněné matrice v porovnání s čistou maticí termoplastického materiálu. V případě PP sejevilo jako nejlepší vhodné plnivo nanofil 3000, které však dosahovalo oproti neplněnému systému o 40 % nižší hodnoty rázové houževnatosti. Nejvhodnější podmínky vstřikování při použití tohoto plniva byly za hodnot tlaku 600 bar a dotlaku 600 bar.

U všech porovnávaných PC došlo ke snížení rázové houževnatosti pro plněné systémy. Při plnění termoplastického materiálu PC_APEC20 všemi plnivými došlo k zásadnímu snížení mechanických vlastností, přičemž plnivo 30B bylo absolutně nevyhovující. Již při výrobě zkušebních tělísek docházelo k praskání při vyhazování z dutiny formy, a tím pádem ke znehodnocení těchto vzorků. Při vstřikování čistého PC_APEC20 byly stanoveny optimální podmínky vstřikování na hodnotu tlaku 1500 bar a dotlaku 900 bar. Při těchto podmínkách došlo k výraznému zvýšení rázové houževnatosti čistého materiálu o 48 %, oproti námi zvoleným standardním podmínkám.

Hodnoty rázové houževnatosti neplněné matrice čistého PC_APEC16 nebyly na Charpyho kladivě změřeny. Z toho důvodu byla stanovena rázová houževnatost na maximální hodnotě 400 kJ/m². Všechny plněné matrice způsobily snížení mechanických vlastností. Při porovnání plniv mezi sebou, byla nejvyšší rázová houževnatost u 5% plnění plnivem N3000 za podmínek tlaku 600 bar a dotlaku 50 bar. Nejhorší výsledek byl dosažen u plněné matrice plnivem 30B, která dosáhla velice nízkých hodnot rázové houževnatosti.

Neplněný PC_MAKROLON byl porovnán s plnivými 30B a 93A. Nejlepší výsledky plněného systému byly dosaženy při 5% plnění matrice s plnivem 93A, a to za standardních vstřikovacích podmínek (tlaků 800 bar a dotlaku 100 bar). Naopak nejhorších výsledků se dosáhlo při použití plniva 30B, kde došlo k výrazně horším výsledkům mechanických zkoušek oproti plnivu 93A. Neplněná matrice PC_MAKROLON měla i v tomto porovnání s plněnou maticí nejvyšší hodnoty rázové houževnatosti. Tyto hodnoty však nemohly být změřeny v důsledku nízkého rozsahu měřicího zařízení, a proto byly námi stanoveny.

Při použití plniv 93A, 30B i N3000 došlo ve všech případech plnění matrice ke zhoršení mechanických vlastností, které bylo zásadní oproti čistému termoplastickému materiálu. Toto tvrzení bylo ověřeno dynamickou zkouškou.

6.3 Zkouška nespalitelných složek

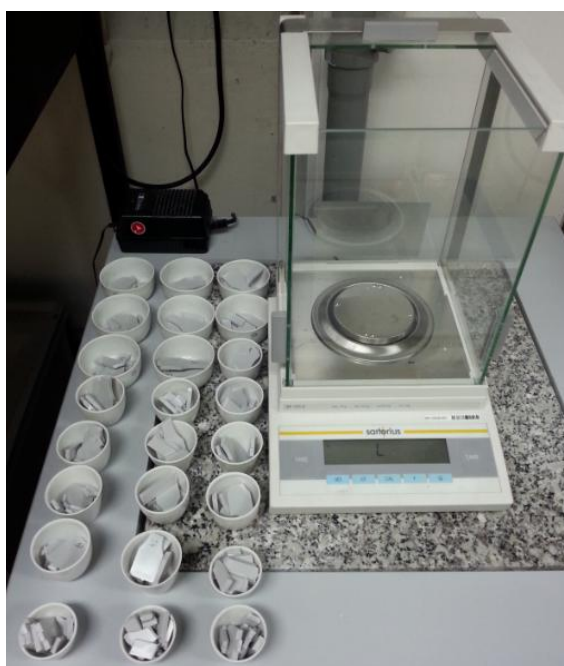
Zkouška nespalitelných složek byla provedena, abychom zjistili skutečné procentuální vyjádření hmotnosti plniv ve vybraných vzorcích. Zkouška se uskutečnila v prostorách firmy Automotive Lighting, s. r. o. v Jihlavě. Pro zkoušku nespalitelných složek byly vybrány série vzorků z materiálu PC_APEC2095, viz tabulka (Tab. 17).

Tab. 17. Série vzorků z materiálu PC_APEC2095

41. A20 + 5 % 93A standart	42. A20 + 5 % 93A tlak 1300	43. A20 + 5 % 93A tlak 1700	44. A20 + 5 % 93A tlak 1900
45. A20 + 5 % 93A dotlak 700	46. A20 + 5 % 93A dotlak 900	47. A20 + 5 % 93A dotlak 1000	48. A20 + 3 % 93A standart

Zkouška nespalitelných složek probíhala dle normy ČSN EN ISO 3451-1 – Stanovení popela. Pro zkoušku byla zvolena metoda přímým žiháním. Princip této metody spočívá ve spálení organické hmoty a následným vyžiháním do konstantní hmotnosti. Žihání do konstantní hmotnosti znamená, žíhat takovou dobu, dokud nezůstane pouze hmotnost ke-
límků s plnivem konstantní. [38]

Od každého z osmi vzorků byly připraveny tři série vzorků. Do keramických misek bylo přidáno $10 \pm 0,02$ g nadrobno nastříhaných zbytků zkušebních tělísek po zkoušce tahové a rázové. Takto nachystané vzorky jsou na obrázku (Obr. 74).



Obr. 74. Připravené vzorky pro zkoušku

Připravené keramické misky s navázkou plněného termoplastického materiálu byly vloženy do zařízení s názvem odtahovač, viz obrázek (Obr. 75). V tomto zařízení došlo k pomalému ohřevu a pozvolnému uvolnění těkavých látek. Nastavená teplota byla 400 °C. Miska s navázkou byla v zařízení po dobu 15 min.



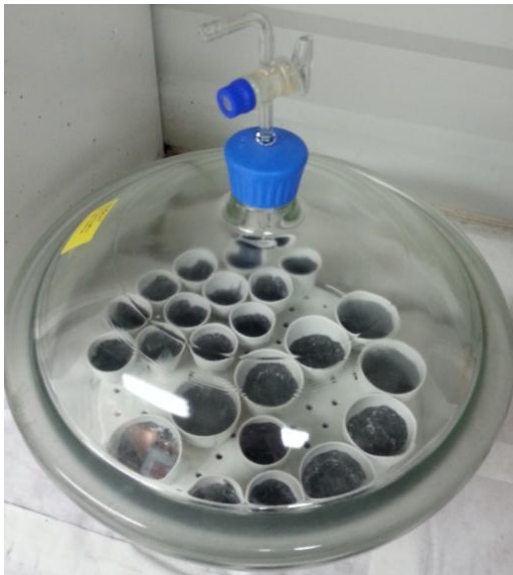
Obr. 75. Odstranění těkavých látek

Dále následoval proces žihání, který probíhal v žihací peci LAC při teplotě 600 °C. První žihání probíhalo 60 minut, druhé žihání probíhalo 20 minut a třetí žihání opět 20 minut. Mezi každým žiháním byla navážka chlazená v exsikátoru a vážena. Až po třetím žihání se váha navážky již neměnila, měla konstantní hmotnost. Na obrázku (Obr. 76) je žihací pec, ve které byly vzorky žihány.



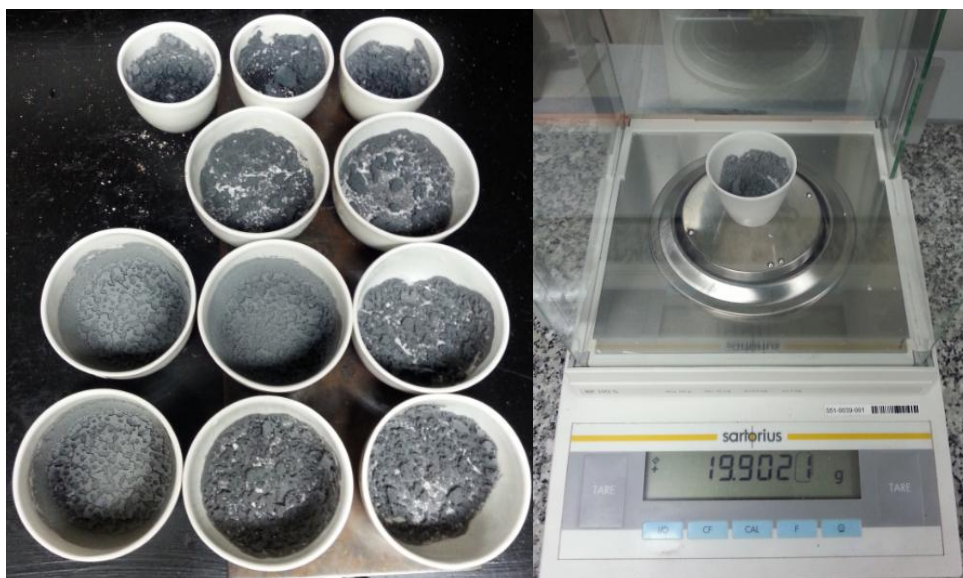
Obr. 76. Žihací pec LAC

Na obrázku (Obr. 77) je exsikátor, ve kterém byly misky se zbylými plnivými ochlazovány. Ochlazování probíhalo po dobu 60 minut, než byly vzorky ochlazeny na pokojovou teplotu ($23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$).



Obr. 77. Chlazení vzorků v exsikátoru

Výsledkem zkoušky jsou misky s nespalitelnými složkami. V tomto případě se jednalo o plniva, která byla přidána do termoplastického materiálu, viz tabulka (Tab. 16).



Obr. 78. Nespalitelné složky v miskách po procesu pálení

Posledním krokem zkoušky bylo vážení plniv v miskách. Na obrázku (Obr. 78) je vážený vzorek. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 18).

Tab. 18. Naměřené výsledky zkoušky nespalitelných složek

Číslo vzorku	Váha vzorku po vypálení [g]			
	1. série	2. série	3. série	Výsledek
41. A20 + 5 % 93A standart	0,4843	0,4689	0,5008	Ø 0,485
42. A20 + 5 % 93A tlak 1300	0,4672	0,508	0,5403	Ø 0,505
43. A20 + 5 % 93A tlak 1300	0,4249	0,43	0,4255	Ø 0,427
44. A20 + 5 % 93A tlak 1300	0,397	0,4392	0,4148	Ø 0,417
45. A20 + 5 % 93A dotlak 700	0,4759	0,462	0,5123	Ø 0,483
46. A20 + 5 % 93A dotlak 900	0,451	0,495	0,617	Ø 0,521
47. A20 + 5 % 93A dotlak 1000	0,562	0,517	0,513	Ø 0,531
48. A20 + 3 % 93A standart	0,29	0,3002	0,3097	Ø 0,299

6.3.1 Interpretace výsledků zkoušky nespalitelných složek

U vzorků s 5% plněním byl očekáván podíl nespalitelné složky 0,5 g a u vzorku s 3% plněním byl očekáván podíl nespalitelné složky 0,3 g. Naměřené výsledné hodnoty ukázaly odchylky v množství plniva termoplastického materiálu. Tyto odchylky mohly vzniknout při sypaní granulátu s plnivem do šnekového vytlačovacího stroje. Přes malé odchylky výsledných hodnot lze konstatovat, že požadovaný procentuální obsah plniv v testovaných materiálech byl obsažen.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjištění nastavení optimálního procesu vstřikovacího pro plněné termoplasty. V teoretické části byly popsány vlastnosti termoplastických materiálů a proces vstřikování. V následné praktické části byly vybrány čtyři termoplastické materiály PP, PC_APEC16, PC_APEC20 a PC_MAKROLON. Z vybraných termoplastů byly připraveny vzorky čisté a plněné. Plnění bylo 3 a 5% pomocí jílových plniv 93A, 30B, N3000. Takto připravené vzorky byly vstřikovány za různých podmínek vstřikovacího procesu. Vstřikováním byla vyrobena zkušební tělíska, která byla použita pro zkoušky mechanických vlastností. Z výsledků tahových a rázových zkoušek lze konstatovat, že pro každý jak čistý, tak i plněný termoplastický materiál, vychází lišící se optimální hodnoty vstřikovacího procesu.

Tahové zkoušky byly provedeny na stroji Zwick. Tyto zkoušky ukázaly rozdílné výsledky pro každý ze zkoumaných termoplastických materiálů. Použitím plniva Nanofilu 3000 u materiálu PP, došlo k zvýšení pevnosti v tahu plněné matrice v porovnání s neplněnou matricí. Optimální podmínky vstřikování při 5% plněním N3000 byly stanoveny na tlak 400 bar a dotlak 500 bar. Plnění matrice ostatními plnivami se ukázalo ve všech zkoumaných případech jako nevyhovující.

V případě aplikace plniv na čistý termoplastický materiál PC_APEC20 bylo zjištěno snížení pevnosti v tahu při plnění 3 i 5 %, a to u všech typů nanofilů. Zde byly stanoveny optimální podmínky pro vstřikování neplněného materiálu na hodnoty tlaku 1500 bar a dotlaku 700 bar.

Materiál PC_APEC16 dosáhl nejlepších výsledků pevnosti v tahu při 5% plněním plnivem 30B za podmínek tlaku 600 bar a dotlaku 100 bar, které byly zvoleny za optimální podmínky vstřikovacího procesu pro plněný materiál. Vysvětlení zlepšení sledované vlastnosti lze vysvětlit tím, že Cloisite 30B je modifikován sloučeninou s částí obsahující benzenové jádro, je tedy podobný PC.

Co se týče termoplastického materiálu PC_MAKROLON, lze konstatovat, že plniva zlepšila pevnost v tahu. V případě plnění 3 % plniv za standardních podmínek vstřikování byla pevnost v tahu plněných systémů téměř stejná jako u neplněných. Při plnění 5 % plniva dosáhly plněné systémy vyšší pevnosti v tahu, oproti čistému materiálu za různých podmínek vstřikování. Optimální podmínky pro vstřikování plněných systémů jsou za konstantního dotlaku 100 bar a tlaků 500, 600, 800 bar při 5% plněním matrice Cloisite 30B.

Zkoušky rázové houževnatosti jednoznačně prokázaly, nevhodnost použití námi vybraných plniv. Při použití daných plniv došlo bohužel ke snížení rázové houževnatosti, a to ve všech zkoumaných případech plněné matrice v porovnání s čistou matricí. Toto tvrzení bylo ověřeno dynamickou zkouškou.

Pro rázovou zkoušku se jevilo jako jediné vhodné plnivo N3000, které dosáhlo nejlepších výsledků mezi plnivy (tlak 600 bar a dotlak 600 bar), ale tyto výsledky byly nižší než čistý PP. Optimální podmínky vstřikování neplněného PP zde uvedeny nejsou z důvodu nevyrobených vzorků neplněného PP za různých podmínek tlaků a dotlaků.

Pro čistý PC_APEC20 byly stanoveny optimální parametry vstřikování při rázové zkoušce za podmínek vstřikování tlaku 1500 bar a dotlaku 900 bar. Došlo zde k zvýšení rázové houževnatosti o cca 48 %. Pro materiál PC_APEC20 mají námi vybraná plniva o námi zvolených hmotnostech zhoršující vlastnosti. Pro tuto polymerní matrici se ani jedno z nich nejeví jako vhodné pro zlepšení vlastností ve srovnání s neplněnou matricí.

U materiálu PC_APEC16 nebyly přeraženy neplněné vzorky, rázová houževnatost byla vyšší než bylo možno přístrojem Resil Impactor změřit. Při porovnání plniv mezi sebou byla nejvyšší rázová houževnatost u plniva Nanofil 3000.

Nejlepších výsledků rázové houževnatosti bylo dosaženo u materiálu PC_MAKROLON, opět pro neplněnou matrici. Obě plniva způsobovala snížení rázové houževnatosti a jevila se jako nevyhovující.

V poslední části práce byla provedena zkouška nespalitelných složek. Pro tuto zkoušku byl vybrán plněný materiál PC_APEC20 + 93A, který byl vstřikován za různých podmínek vstřikování. Výsledkem této zkoušky bylo ověřeno procentuální množství plniva ve vzorcích, které byly shodné s množstvím plniva přidaného do čistého granulátu. Touto zkouškou bylo ověřeno, s jakou přesností byly plněné materiály připraveny. Lze konstatovat, že výsledky zkoušky ukázaly minimální odchylky od stanoveného množství plniva v čistém materiálu v testovaných vzorcích.

V závěru praktické části diplomové práce můžeme konstatovat, že vliv vybraných plniv na dané termoplastické materiály o takto nízkých hmotnostech nemá jednotný dopad na mechanické vlastnosti. Plniva se chovají jinak pro každý typ termoplastického materiálu a nelze stanovit jednotné optimální podmínky vstřikování pro daný materiál s takto nízkým procentem plniva. Nalezení jednotných neoptimálnějších podmínek pro plněné termoplasty by bylo předmětem dalšího zkoumání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MLEZIVA, J. a J. ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [2] MAREK, P. *Plastikářský svět míří do Düsseldorfu: Plasty ve světě*. [online]. [cit. 2015-01-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/plastikarsky-svet-miri-do-dusseldorfu.html>.
- [3] LENFELD, P. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti*. Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů: Technologie II [online]. [cit. 2015-01-06]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#012.
- [4] *The 7 Most Common Plastics and How They are Typically Used*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.reuseit.com/product-materials/the-7-most-common-plastics-and-how-they-are-typically-used.htm>.
- [5] SOVA, M. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha: Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
- [6] DUCHÁČEK, V. *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [7] DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry*. [online]. Univerzita Tomáši Bati ve Zlíně, 2013 [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/41195/>
- [8] *Historie kaučuku a pryže*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/technicke-informace/materialy/historie-kaucuk-pryz/>.
- [9] *Kaučuk: Kaučuk*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.quote.cz/slovník/1639-kaucuk>.
- [10] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

- [11] DVORŽÁK, Z. a H. LÉNOVÁ. *Základy výrobních procesů: Výrobní technologie zpracování polymerů vstřikováním* [online]. Zlín, 2007 [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: file:///C:/Users/PC/Downloads/T1PR_technologie_vstrikovani_%20plastu.pdf.
- [12] ERHARD, G. *Designing with plastics*. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2006, xii, 517 p. ISBN 978-1-56990-386-5.
- [13] LENFELD, P. *Nadmolekulární struktura polymerů*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/11-struktura.jpg.
- [14] ŠVORČÍK, V. *Polymery: Polymery "stručně"*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [15] ŠTĚPEK, J, J. ZELINGER a A. KUTA. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha/Bratislava: SNTL/alfa, 1989.
- [16] NEUHÄUSL, E. *Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>.
- [17] BIRON, M. *Thermoplastics and thermoplastic composites*. 1st ed. Waltham, MA: William Andrew, 2013, xxvii, 1044 p. PDL handbook series. ISBN 987-1-4557-7898-0.
- [18] *Nekovové materiály: Termoplasty*. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/5_nekovove-metrialy.pdf
- [19] MASCIA, L. *The role of additives in plastics*. London: Edward Arnold, 1974, 172. ISBN 0-7131-3328-7.
- [20] MURPHY, J. *Additives for plastics handbooks*. 2nd ed. New York, NY, USA: Elsevier Science Ltd., c2001, xxii, 469 p. ISBN 18-561-7370-4.
- [21] KUTZ, M. *Applied plastics engineering handbook: processing and materials*. 1st ed. Boston: Elsevier/William Andrew, 2011, xvi, 644 p. ISBN 978-1-4377-3514-7.

- [22] BRYCE, Douglas M. *Plastic injection molding: material selection and product design fundamentals*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c1997, xxiv, 380 p. ISBN 978-0-87263-488-6.
- [23] Chemical Technology Processes: Polypropylene. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://base.intratec.us/home/chemical-processes/polypropylene>
- [24] OSSWALD, T. A, S. BRINKMANN, K. OBERBACH a E. SCHMACHTENBERG. *International plastics handbook the resource for plastics engineers*. [1st ed.]. Munich: Hanser, 2006. ISBN 978-1-61583-753-3.
- [25] RAGAN, E. *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmot*. Prešov, 2008. ISBN 978-80-553-0102-0.
- [26] BRYCE, Douglas M. *Plastic injection molding: manufacturing process fundamentals*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c1996, xvii, 277 p. ISBN 978-0-87263-472-5.
- [27] NEUHÄUSL, E. *Historie a rozvoj vstřikování plastů v ČR*. [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/historie-a-rozvoj-vstrikovani-plastu-v-cr.html>
- [28] MICHAELI, W. *Training in injection molding: a text- and workbook*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2001, x, 154 p. ISBN 978-1-56990-302-5.
- [29] MĚŘÍNSKÁ, D. Vstřikování. [online]. [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: www.utb.cz/file/36175_1_1/
- [30] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 229 s.
- [31] MÉZL, M. *ZÁKLADY TECHNOLOGIE VSTREKOVANIA PLASTOV*. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [32] Injection Molding Machines: *PLASTIC INJECTION MOLDING MACHINES*. [online]. [cit. 2015-01-31]. Dostupné z: http://elitemachinerysystems.com/plastic_injection_molding.php

- [33] LENFELD., P. *Vstřikování plastů: Vstřikovací formy*. Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů: Technologie II [online]. [cit. 2015-01-31]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [34] *INJECTION MOLDING*. [online]. [cit. 2015-01-31]. Dostupné z: http://engineeronadisk.com/V2/notes_manufacturing/engineeronadisk-98.html
- [35] ČSN EN ISO 179-1 ZMĚNA A1. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy: Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [36] AUTOMOTIVE LIGHTING, s. r. o. *Interní materiály a podklady firmy*. Jihlava 2015
- [37] ČSN EN ISO 527-1. *Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 1: Obecné principy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [38] ČSN EN ISO 3451-1. *Plasty – Stanovení popela – Část 1: Všeobecné metody*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
A16	[-]	Polykarbonát APEC 16
A20	[-]	Polykarbonát APEC 20
Al ₂ O ₃	[-]	Oxid hlinitý
CaCO ₃	[-]	Uhličitan vápenatý
ČSN	[-]	České národní normy
HDPE	[-]	Vysokohustotní polyetylen
ITT	[g/10min]	Index toku taveniny
IR	[-]	Izoprenový kaučuk
LDPE	[-]	Nízkohustotní polyetylen
LLDPE	[-]	Nízkohustotní lineární polyetylen
MAK	[-]	Polykarbonát MAKROLON
MDPE	[-]	Středohustotní polyetylen
NR	[-]	Přírodní kaučuk
N3000	[-]	Nanofil N3000
PA	[-]	Polyamid
PB	[-]	Butadien kaučuk
PC	[-]	Polykarbonát
PE	[-]	Polyetylen
POM	[-]	Polyoxymethylen
PP	[-]	Polypropylen
PS	[-]	Polystyren
PTFE	[-]	Polytetrafluorethylen
PVC	[-]	Polyvinylchlorid
rPE	[-]	Bralen

T_c	[°C]	Teplota rozkladu polymeru
T_f	[°C]	Teplota tečení
T_m	[°C]	Teplota tání krystalického podílu
T_g	[°C]	Teplota skelného přechodu
TiO_2	[-]	Oxid titaničitý
VLDPE	[-]	Velmi nízkohustotní polyetylen
VP	[-]	Vinylpyridový latex
93A	[-]	Cloisite 93A
30B	[-]	Cloisite 30B

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Běžné plastové výrobky [4]</i>	12
<i>Obr. 2. Rozdělení přírodních a syntetických plastů [5]</i>	13
<i>Obr. 3. Dělení plastů dle teploty [3]</i>	14
<i>Obr. 4. Rozříznutý strom kaučukovníku [9]</i>	15
<i>Obr. 5. Rozdělení termoplastů [11]</i>	17
<i>Obr. 6. Ochlazování amorfního a částečně krystalického termoplastu [10]</i>	19
<i>Obr. 7. Křivka tečení materiálu [5]</i>	19
<i>Obr. 8. Uhlovodíkový řetězec PE [6]</i>	23
<i>Obr. 9. Uhlovodíkový řetězec PP [6]</i>	26
<i>Obr. 10. Rozdělení struktury PP [23]</i>	26
<i>Obr. 11. Jednotka PC [5, 6]</i>	27
<i>Obr. 12. Rozkreslení vstřikovacího cyklu [29]</i>	30
<i>Obr. 13. Průběh tlaku a teploty při vstřikovacím procesu [5, 10]</i>	31
<i>Obr. 14. Průběh vstřikovacího cyklu znázorněného pvT diagramem [5, 10]</i>	32
<i>Obr. 15. Šnekový vstřikovací stroj [32]</i>	33
<i>Obr. 16. Dělení vstřikovacích jednotek [29]</i>	33
<i>Obr. 17. Pístová plastikace [6]</i>	34
<i>Obr. 18. Šneková plastikace [34]</i>	35
<i>Obr. 19. Druhy uzavíracích jednotek [25]</i>	36
<i>Obr. 20. Hydraulická uzavírací jednotka [11]</i>	36
<i>Obr. 21. Hydraulicko-mechanická jednotka [25]</i>	37
<i>Obr. 22. Hydraulicko-mechanická jednotka [11]</i>	37
<i>Obr. 23. Forma pro vstřikování termoplastů [25]</i>	38
<i>Obr. 24. Dělení vtokových systému [25]</i>	39
<i>Obr. 25. Typy průřezu vtokového kanálku [25]</i>	39
<i>Obr. 26. Typy vtokových ústí [25]</i>	40
<i>Obr. 27. Druhy vícenásobných vtokových soustav [29]</i>	40
<i>Obr. 28. Trubkový vyhazovač [25]</i>	41
<i>Obr. 29. Různé typy odvzdušnění [25]</i>	42
<i>Obr. 30. Tahové křivky [25]</i>	47
<i>Obr. 31. Digitální váha KERN</i>	49
<i>Obr. 32. Nachystaná série PP s plnivý pro vytlačování</i>	50

<i>Obr. 33. Vytlačovací stroj Scientific</i>	50
<i>Obr. 34. Nastavené optimální parametry pro vytlačování</i>	51
<i>Obr. 35. Nastavení optimálních teplot pro vytlačování</i>	51
<i>Obr. 36. Soustava pro vytlačování plněnýtermoplastů</i>	52
<i>Obr. 37. Struna čistého PP</i>	52
<i>Obr. 38. Mletí vytlačené struny ze směsi PC + 3 % 93A</i>	53
<i>Obr. 39. Proces sušení PC</i>	53
<i>Obr. 40. Vstřikovací stroj DEMAG</i>	55
<i>Obr. 41. Dutina vstřikovací formy</i>	55
<i>Obr. 42. Vyhozený výlisek z formy</i>	56
<i>Obr. 43. Displej řídicího panelu vstřikovacího stroje a nastavení jednotlivých</i>	57
<i>Obr. 44. Displej řídicího panelu vstřikovacího stroje a nastavení jednotlivých parametrů pro PC</i>	58
<i>Obr. 45. Hodnoty vyhřívání jednotlivých částí vstřikovací jednotky pro směsi z PP</i>	59
<i>Obr. 46. Hodnoty vyhřívání jednotlivých částí vstřikovací jednotky pro směsi z PC</i>	59
<i>Obr. 47. Chlazení formy</i>	60
<i>Obr. 48. Vady vstřikování – přetoky</i>	61
<i>Obr. 49. Pracoviště tahové zkoušky</i>	64
<i>Obr. 50. Popis pracovní části stroje Zwick</i>	65
<i>Obr. 51. Hlavní displej tahové zkoušky</i>	65
<i>Obr. 52. Nastavení E – Modulu</i>	66
<i>Obr. 53. Graf hodnot pevností v tahu (PP a PP + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek</i>	67
<i>Obr. 54. Porovnání pevností v tahu (PP + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu</i>	68
<i>Obr. 55. Graf hodnot pevností v tahu (PP a PP + 5 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek</i>	69
<i>Obr. 56. Graf hodnot pevností v tahu (A20 a A20 + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek</i>	70
<i>Obr. 57. Porovnání pevností v tahu (A20 a A20 + 5 % plniva) za různých podmínek vstřikovacího procesu</i>	71
<i>Obr. 58. Graf hodnot pevností v tahu (A16 a A16 + 3 % plniva) za standardních vstřikovacích podmínek</i>	72

<i>Obr. 59. Porovnání pevnosti v tahu (A16 + 5 % plniv) za různých podmínek vstříkovacího procesu</i>	73
<i>Obr. 60. Graf hodnot pevností v tahu (A16 a A16 + 5 % plniva) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	74
<i>Obr. 61. Graf hodnot pevností v tahu (MAC a MAC + 3 % plniv) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	75
<i>Obr. 62. Porovnání pevností v tahu (A20 a A20 + 5 % plniv) za různých podmínek vstříkovacího procesu</i>	76
<i>Obr. 63. Stroj RESIL IMPACTOR</i>	78
<i>Obr. 64. Výsledek rázové zkoušky pro materiál PC A20 při tlaku 1300 bar</i>	79
<i>Obr. 65. Graf výsledků rázové houževnatosti (PP a PP + 3 % plniva) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	80
<i>Obr. 66. Porovnání rázové houževnatosti (PP + 5 % plniva) za různých podmínek vstříkovacího procesu</i>	81
<i>Obr. 67. Graf hodnot rázové houževnatosti (PP a PP + 5 % plniva) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	82
<i>Obr. 68. Porovnání rázové houževnatosti (A20 a A20 + 3 % plniva) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	83
<i>Obr. 69. Porovnání rázové houževnatosti (A20 a A20 + 5 % plniva) za různých podmínek vstříkovacího procesu</i>	84
<i>Obr. 70. Porovnání rázové houževnatosti (A16 a A16 + 3 % plniva) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	85
<i>Obr. 71. Porovnání rázové houževnatosti (A16 + 5 % plniva) za různých podmínek vstříkovacího procesu</i>	86
<i>Obr. 72. Graf hodnot rázové houževnatosti (A16 a A16 + 5 % plniva) za standardních vstříkovacích podmínek</i>	87
<i>Obr. 73. Porovnání rázové houževnatosti (MAC a MAC + 5 % plniva) za různých podmínek vstříkovacího procesu</i>	88
<i>Obr. 74. Připravené vzorky pro zkoušku</i>	90
<i>Obr. 75. Odstranění těkavých látek</i>	91
<i>Obr. 76. Žihací pec LAC</i>	91
<i>Obr. 77. Chlazení vzorků v exsikátoru</i>	92
<i>Obr. 78. Nespalitelné složky v miskách po procesu pálení</i>	92

SEZNAM TABULEK


<i>Tab. 1. Typy PE jejich základní vlastnosti [1, 6]</i>	24
<i>Tab. 2. Základní vlastnosti LDPE [1, 5, 10, 12]</i>	25
<i>Tab. 3. Základní vlastnosti HDPE [1, 5, 10, 12]</i>	25
<i>Tab. 4. Základní vlastnosti PP [1, 5,6, 21]</i>	27
<i>Tab. 5. Vlastnosti PC [5, 6, 22]</i>	28
<i>Tab. 6. Teploty formy pro termoplastické materiály [21, 25].....</i>	42
<i>Tab. 7. Připravené směsi pro vytlačování</i>	49
<i>Tab. 8. Doporučené parametry sušení PC [36]</i>	54
<i>Tab. 9. Nastavené parametry sušení</i>	54
<i>Tab. 10. Rozměry zkušebních tělísek</i>	56
<i>Tab. 11. Nastavované parametry vstřikování pro směsi z PP a PC</i>	57
<i>Tab. 12. Vyráběné série vzorků z PP za různých vstřikovacích podmínek.....</i>	61
<i>Tab. 13. Vyráběné série vzorků z PC_APEC2095 za různých vstřikovacích podmínek.....</i>	62
<i>Tab. 14. Vyráběné série vzorků z PC_APEC1695 za různých vstřikovacích podmínek.....</i>	62
<i>Tab. 15. Vyráběné série vzorků z PC_MAKROLON za různých vstřikovacích.....</i>	63
<i>Tab. 16. Rozdíly mezi PC dle výrobce [36]</i>	63
<i>Tab. 17. Série vzorků z materiálu PC_APEC2095</i>	90
<i>Tab. 18. Naměřené výsledky zkoušky nespalitelných složek</i>	93

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI Materiálové listy polykarbonátu APEC 1695, APEC 2095,
MAKROLON

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÉ LISTY POLYKARBONÁTU APEC 1695, APEC 2095, MACROLON

PC_APEC1695

	<h2 style="margin: 0;">Material Specification</h2>	ALH/ID MS-Nr. 1 309 940 004																																																																																																																													
Subject: PC high flow, unreinforced, for Bezels and Design Parts		Review 08.08.2005 Page 1 of 3																																																																																																																													
Remarks: 																																																																																																																															
released	ALRT/EEV ALRT/QAS (Zustimmung/Agreement)	Date: Date: Signature: sign. Schöttle Signature: sign. Ziehm																																																																																																																													
Distribution:	Alterations																																																																																																																														
<input checked="" type="checkbox"/> ALH_BU_PM <input checked="" type="checkbox"/> ALH/PU <input checked="" type="checkbox"/> ALCZ/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALGE/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALVE/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALBR/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALCN/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALMA/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALNA/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRL/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRU/PUR <input checked="" type="checkbox"/> MAKO/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/ELD <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/QAS <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/EEV <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/EEV10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Alteration-No.:</th> <th style="width: 15%;">Date:</th> <th style="width: 10%;">Sign:</th> <th style="width: 10%;">Issue:</th> <th style="width: 45%;">Remark:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10EEV050025</td> <td>24.05.05</td> <td>Wei</td> <td></td> <td>New edition</td> </tr> <tr> <td>10EEV050037</td> <td>08.08.05</td> <td>Si</td> <td></td> <td>Complete review</td> </tr> <tr> <td>10EEV090756</td> <td>28.05.09</td> <td>Ik</td> <td></td> <td>Correction MVR-tolerance</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Alteration-No.:	Date:	Sign:	Issue:	Remark:	10EEV050025	24.05.05	Wei		New edition	10EEV050037	08.08.05	Si		Complete review	10EEV090756	28.05.09	Ik		Correction MVR-tolerance																																																																																																									
Alteration-No.:	Date:	Sign:	Issue:	Remark:																																																																																																																											
10EEV050025	24.05.05	Wei		New edition																																																																																																																											
10EEV050037	08.08.05	Si		Complete review																																																																																																																											
10EEV090756	28.05.09	Ik		Correction MVR-tolerance																																																																																																																											
																																																																																																																															
																																																																																																																															
Safeguarding: ALRT/EEV10	Date: 20.05.05 Department ALRT/MFE Name: Wolf Phone: 2062																																																																																																																														

1. Content

This specification describes characteristics and requirements for unreinforced high-flow PC - resins for the use in automotive bezel and design part application.
The resin is used in the injection moulding process.

2. Delivery conditions

Delivery form	pellets
Weight	0.5 – 3.0 g / 100 pellets
Dimensions (length)	3.0 – 5.0 mm
Bulk density (ISO 60)	0.5 – 0.8 g/cm ³
Water Content (ISO 62, 23 °C, 50 % rH)	< 0.2 %

No vacuoles allowed.
No contamination inside corn allowed.

2.1 Packaging

Silo supply	
Or Octabin	with PE - foil inlay
Or big Pack	with PE - foil inlay
Or 25 kg	sealed PE - bag

Resin packed below 32 °C temperature.
Capsuled from environment.
Silo supply under clean room conditions.

All types of packaging free of dust and other kinds of contamination.

Shelf life of material (storage < 35 °C)	> 2 years
------------------------------------------	-----------

2.2 Supply documents

With the supply of the resin AL receives an Inspection certificate acc. EN 10204, containing the MVR, HDT B and yield stress in the specified tolerances.

3. Properties for injection moulding

Mould temperature (ISO 294)	85 – 110 °C
Mold temperature (ISO 294)	280 – 315 °C
Predrying time/temperature	3 - 4 h / 120 °C
Moisture content after predrying	< 0.02 %
Injection velocity (ISO 294)	>195 mm/s
Glass transition temperature (ISO 11357-1/-3)	> 142 °C; 10 K/min
MVR (ISO 1133,300 °C, 1.2 kg)	15 – 24 cm ³ /10min

4. Properties of moulded part

Moulding shrinkage (ISO 2577) 0,5 -0,7 %

Part must be aluminisable directly under vacuum without any opacity, clouding, iridescence.

5. General properties

Density (ISO 1183)	1.19 – 1.24 g/cm ³
Water absorption in water (ISO 62)	< 0.55 %
Filler content	none
Additives	release agents

6. Mechanical Properties

Yield stress (ISO 527)	> 60 MPa
Nominal strain at break	> 88 %
Flexural Strength at yield (ISO 178)	not specified
Flexural Modulus (ISO 178)	not specified
IZOD-notched impact strength (ISO 180A, 23 °C, 3.2 mm)	> 60 kJ/m ² clear material

7. Thermal Properties

Heat deflection temperature HDT B (ISO 75)	> 133 °C
Vicat softening temperature (ISO R 306)	not specified

8. Optical Properties for clear material

Light transmission (ISO 13468-2, 4mm)	> 88 %
Haze (ISO 14782, 3 mm)	< 0.8 %
Refractive index (ISO 489)	1.586

9. Special requirements


Colour point	according agreed specification
Thermal outgassing (AL Test Specification Y 300 P00 020)	reflection loss < 5 %; no deposit

10. Industrial test

ALBD	PSA D2 ADR
ALCZ	W169 ADR

Final release of the material can only be decided after testing according to AL corporate test procedures specified in GTS 002.

PC_APEC2095

		Material Specification			ALH/ID MS-Nr. 1 309 940 004																																																																																																																								
Subject: PC high flow, unreinforced, for Bezels and Design Parts					Review 08.08.2005																																																																																																																								
Remarks: [REDACTED]																																																																																																																													
released	ALRT/EEV ALRT/QAS (Zustimmung/Agreement)	Date:	Signature: sign. Schöttle																																																																																																																										
		Date:	Signature: sign. Ziehm																																																																																																																										
Distribution: <input checked="" type="checkbox"/> ALH_BU_PM <input checked="" type="checkbox"/> ALH/PU <input checked="" type="checkbox"/> ALCZ/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALGE/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALVE/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALBR/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALCN/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALMA/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALNA/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ARLR/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRU/PUR <input checked="" type="checkbox"/> MAKO/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/ELD <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/QAS <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/EEV <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/EEV10 <input type="checkbox"/> [REDACTED] <input type="checkbox"/> [REDACTED] <input type="checkbox"/> [REDACTED] <input type="checkbox"/> [REDACTED] <input type="checkbox"/> [REDACTED]	Alterations <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Alteration-No.:</th> <th style="width: 15%;">Date:</th> <th style="width: 10%;">Sign:</th> <th style="width: 10%;">Issue:</th> <th style="width: 30%;">Remark:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10EEV050025</td> <td>24.05.05</td> <td>Wei</td> <td>[REDACTED]</td> <td>New edition</td> </tr> <tr> <td>10EEV050037</td> <td>08.08.05</td> <td>Si</td> <td>[REDACTED]</td> <td>Complete review</td> </tr> <tr> <td>10EEV090756</td> <td>28.05.09</td> <td>lk</td> <td>[REDACTED]</td> <td>Correction MVR-tolerance</td> </tr> <tr> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>					Alteration-No.:	Date:	Sign:	Issue:	Remark:	10EEV050025	24.05.05	Wei	[REDACTED]	New edition	10EEV050037	08.08.05	Si	[REDACTED]	Complete review	10EEV090756	28.05.09	lk	[REDACTED]	Correction MVR-tolerance	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]																																																																																										
Alteration-No.:	Date:	Sign:	Issue:	Remark:																																																																																																																									
10EEV050025	24.05.05	Wei	[REDACTED]	New edition																																																																																																																									
10EEV050037	08.08.05	Si	[REDACTED]	Complete review																																																																																																																									
10EEV090756	28.05.09	lk	[REDACTED]	Correction MVR-tolerance																																																																																																																									
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]																																																																																																																									
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]																																																																																																																									
Safeguarding:																																																																																																																													
ALRT/EEV10																																																																																																																													
Date: 20.05.05		Department: ALRT/MFE	Name: Wolf	Phone: 2062																																																																																																																									

1. Content

This specification describes characteristics and requirements for unreinforced high-flow PC - resins for the use in automotive bezel and design part application.
The resin is used in the injection moulding process.

2. Delivery conditions

Delivery form	pellets
Weight	0.5 – 3.0 g / 100 pellets
Dimensions (length)	3.0 – 5.0 mm
Bulk density (ISO 60)	0.5 – 0.8 g/cm ³
Water Content (ISO 62, 23 °C, 50 % rH)	< 0.2 %

No vacuoles allowed.
No contamination inside corn allowed.

2.1 Packaging

Silo supply	with PE - foil inlay
Or Octabin	with PE - foil inlay
Or big Pack	with PE - foil inlay
Or 25 kg	sealed PE - bag

Resin packed below 32 °C temperature.
Capsuled from environment.
Silo supply under clean room conditions.

All types of packaging free of dust and other kinds of contamination.

Shelf life of material (storage < 35 °C)	> 2 years
------------------------------------------	-----------

2.2 Supply documents

With the supply of the resin AL receives an Inspection certificate acc. EN 10204, containing the MVR, HDT B and yield stress in the specified tolerances.

3. Properties for injection moulding

Mould temperature (ISO 294)	85 – 110 °C
Mold temperature (ISO 294)	280 – 315 °C
Predrying time/temperature	3 - 4 h / 120 °C
Moisture content after predrying	< 0.02 %
Injection velocity (ISO 294)	>195 mm/s
Glass transition temperature (ISO 11357-1/-3)	> 142 °C; 10 K/min
MVR (ISO 1133,300 °C, 1.2 kg)	15 – 24 cm ³ /10min

4. Properties of moulded part

Moulding shrinkage (ISO 2577) 0,5 -0,7 %

Part must be aluminisable directly under vacuum without any opacity, clouding, iridescence.

5. General properties

Density (ISO 1183)	1.19 – 1.24 g/cm ³
Water absorption in water (ISO 62)	< 0.55 %
Filler content	none
Additives	release agents

6. Mechanical Properties

Yield stress (ISO 527)	> 60 MPa
Nominal strain at break	> 88 %
Flexural Strength at yield (ISO 178)	not specified
Flexural Modulus (ISO 178)	not specified
IZOD-notched impact strength (ISO 180A, 23 °C, 3.2 mm)	> 60 kJ/m ² clear material

7. Thermal Properties

Heat deflection temperature HDT B (ISO 75)	> 133 °C
Vicat softening temperature (ISO R 306)	not specified

8. Optical Properties for clear material

Light transmission (ISO 13468-2, 4mm)	> 88 %
Haze (ISO 14782, 3 mm)	< 0.8 %
Refractive index (ISO 489)	1.586

9. Special requirements


Colour point	according agreed specification
Thermal outgassing (AL Test Specification Y 300 P00 020)	reflection loss < 5 %; no deposit

10. Industrial test

ALBD	PSA D2 ADR
ALCZ	W169 ADR

Final release of the material can only be decided after testing according to AL corporate test procedures specified in GTS 002.

PC_MAKROLON

		Material Specification			ALH/ID MS-Nr. 1 309 940 004																																																																																																					
Subject: PC high flow, unreinforced, for Bezels and Design Parts					Review 08.08.2005																																																																																																					
					Page 1 of 3																																																																																																					
Remarks: 																																																																																																										
released		ALRT/EEV ALRT/QAS (Zustimmung/Agreement)		Date: Date:		Signature: sign. Schöttle Signature: sign. Ziehm																																																																																																				
Distribution:		Alterations																																																																																																								
<input checked="" type="checkbox"/> ALH_BU_PM <input checked="" type="checkbox"/> ALH/PU <input checked="" type="checkbox"/> ALCZ/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALGE/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALVE/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALBR/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALCN/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALMA/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALNA/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRL/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRU/PUR <input checked="" type="checkbox"/> MAKO/PUR <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/ELD <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/QAS <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/EEV <input checked="" type="checkbox"/> ALRT/EEV10 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Alteration-No.:</th> <th style="width: 15%;">Date:</th> <th style="width: 10%;">Sign:</th> <th style="width: 10%;">Issue:</th> <th style="width: 45%;">Remark:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10EEV050025</td> <td>24.05.05</td> <td>Wei</td> <td></td> <td>New edition</td> </tr> <tr> <td>10EEV050037</td> <td>08.08.05</td> <td>Si</td> <td></td> <td>Complete review</td> </tr> <tr> <td>10EEV090756</td> <td>28.05.09</td> <td>lk</td> <td></td> <td>Correction MVR-tolerance</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>					Alteration-No.:	Date:	Sign:	Issue:	Remark:	10EEV050025	24.05.05	Wei		New edition	10EEV050037	08.08.05	Si		Complete review	10EEV090756	28.05.09	lk		Correction MVR-tolerance																																																																																
Alteration-No.:	Date:	Sign:	Issue:	Remark:																																																																																																						
10EEV050025	24.05.05	Wei		New edition																																																																																																						
10EEV050037	08.08.05	Si		Complete review																																																																																																						
10EEV090756	28.05.09	lk		Correction MVR-tolerance																																																																																																						
																																																																																																										
																																																																																																										
Safeguarding: ALRT/EEV10																																																																																																										
Date: 20.05.05		Department ALRT/MFE		Name: Wolf		Phone: 2062																																																																																																				

1. Content

This specification describes characteristics and requirements for unreinforced high-flow PC - resins for the use in automotive bezel and design part application.
The resin is used in the injection moulding process.

2. Delivery conditions

Delivery form	pellets
Weight	0.5 – 3.0 g / 100 pellets
Dimensions (length)	3.0 – 5.0 mm
Bulk density (ISO 60)	0.5 – 0.8 g/cm ³
Water Content (ISO 62, 23 °C, 50 % rH)	< 0.2 %

No vacuoles allowed.
No contamination inside corn allowed.

2.1 Packaging

Silo supply	with PE - foil inlay
Or Octabin	with PE - foil inlay
Or big Pack	with PE - foil inlay
Or 25 kg	sealed PE - bag

Resin packed below 32 °C temperature.
Capsuled from environment.
Silo supply under clean room conditions.

All types of packaging free of dust and other kinds of contamination.

Shelf life of material (storage < 35 °C)	> 2 years
------------------------------------------	-----------

2.2 Supply documents

With the supply of the resin AL receives an Inspection certificate acc. EN 10204, containing the MVR, HDT B and yield stress in the specified tolerances.

3. Properties for injection moulding

Mould temperature (ISO 294)	85 – 110 °C
Mold temperature (ISO 294)	280 – 315 °C
Predrying time/temperature	3 - 4 h / 120 °C
Moisture content after predrying	< 0.02 %
Injection velocity (ISO 294)	>195 mm/s
Glass transition temperature (ISO 11357-1/-3)	> 142 °C; 10 K/min
MVR (ISO 1133,300 °C, 1.2 kg)	15 – 24 cm ³ /10min

4. Properties of moulded part

Moulding shrinkage (ISO 2577) 0,5 -0,7 %

Part must be aluminisable directly under vacuum without any opacity, clouding, iridescence.

5. General properties

Density (ISO 1183)	1.19 – 1.24 g/cm ³
Water absorption in water (ISO 62)	< 0.55 %
Filler content	none
Additives	release agents

6. Mechanical Properties

Yield stress (ISO 527)	> 60 MPa
Nominal strain at break	> 88 %
Flexural Strength at yield (ISO 178)	not specified
Flexural Modulus (ISO 178)	not specified
IZOD-notched impact strength (ISO 180A, 23 °C, 3.2 mm)	> 60 kJ/m ² clear material

7. Thermal Properties

Heat deflection temperature HDT B (ISO 75)	> 133 °C
Vicat softening temperature (ISO R 306)	not specified

8. Optical Properties for clear material

Light transmission (ISO 13468-2, 4mm)	> 88 %
Haze (ISO 14782, 3 mm)	< 0.8 %
Refractive index (ISO 489)	1.586

9. Special requirements

Colour point	according agreed specification
Thermal outgassing (AL Test Specification Y 300 P00 020)	reflection loss < 5 %; no deposit

10. Industrial test

ALBD	PSA D2 ADR
ALCZ	W169 ADR

Final release of the material can only be decided after testing according to AL corporate test procedures specified in GTS 002.