

Seznam použitých zkratk a symbolů	11
1 ÚVOD	14
2 TEORETICKÁ ČÁST	15
2.1 Plasty.....	15
2.1.1 Rozdělení plastů	15
2.2 Technologie zpracování plastů	20
2.2.1 Vstřikování plastů	20
2.2.2 Vstřikovací cyklus	21
2.2.3 Vliv technologických parametrů na kvalitu výrobku.....	23
2.2.3.1 Vstřikovací tlak	23
2.2.3.2 Teplota taveniny	23
2.2.3.3 Teplota formy	24
2.2.3.4 Rychlost plnění dutiny formy	24
2.2.3.5 Dotlak	24
2.2.4 Vstřikovací stroje	25
2.2.4.1 Vstřikovací jednotka	25
2.2.4.2 Uzavírací jednotka.....	26
2.2.4.2 Řídící jednotka	26
2.2.5 Vstřikovací formy	27
2.3 Polymerní směsi.....	28
2.3.1 Mísitelnost a kompatibilita polymerních směsí	29
2.3.2 Příprava polymerních směsí	31
2.3.2.1 Směšování v tavenině	31
2.3.2.2 Směšování roztoků.....	31
2.3.2.3 Směšování latexů.....	32
2.3.2.4 Částečná bloková (příp. roubovací) kopolymerace	32
2.4 Nanomateriály	32
2.4.1 Příprava nanomateriálů.....	33
2.4.1.1 Polymerace in-situ.....	33
2.4.1.2 Roztoková polymerace.....	34
2.4.1.3 Míchání taveniny polymeru	34
2.4.2 Montmorillonit	35
2.5 Použité druhy plastů a jejich obecné vlastnosti	36
2.5.1 PP/PS blend - ELAN ^{XP}	36

2.5.2 PP (polypropylen)	37
2.5.3 ABS (akrylonitril-butadien-styren)	38
2.5.4 PS (polystyren)	39
2.6 Mechanické vlastnosti plastů a jejich měření.....	40
2.6.1 Stanovení tahových vlastností dle ČSN ISO 527	40
2.6.2 Stanovení ohybových vlastností polymerů dle ČSN ISO 178	42
2.7 Stanovení rázové a vrubové houževnatosti metodou Charpy dle ČSN ISO 179	44
2.8 Výrobní smrštění dle ČSN EN ISO 294-4	45
2.9 Hodnocení tokových vlastností taveniny	46
2.9.1 Spirálová zkouška zabíhavosti dle PN 5700	48
2.10 Měření lesku dle ČSN EN ISO 2813:1994	49
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	50
3.1 Popis zkoušených materiálů	50
3.1.1 ELAN XP 515	50
3.1.2 Daplen FSC5031	51
3.1.3 Borcom TM BG055Al	51
3.1.4 Magnum 3616	52
3.2 Popis přípravy vzorků pro zkoušky	52
3.4 Spirálová zkouška zabíhavosti taveniny	54
3.5 Tahové vlastnosti	55
3.5.1 Hodnocení tahových vlastností	62
3.6 Ohybové vlastnosti	63
3.6.1 Hodnocení ohybových vlastností	69
3.7 Stanovení vrubové houževnatosti metodou Charpy	70
3.7.1 Vrubová houževnost pro 23 °C	71
3.7.1.1 Porovnání vrubové houževnatosti při 23 °C	74
3.7.2 Vrubová houževnost pro -15 °C	74
3.7.2.1 Porovnání vrubové houževnatosti při -15 °C	77
3.7.3 Hodnocení vrubové houževnatosti	77
3.8 Stanovení výrobního smrštění	78
3.8.1 Výrobní smrštění pro destičku tl. 2mm	79
3.8.1.1 Porovnání výrobního smrštění pro destičku tl. 2mm	82
3.8.2 Výrobní smrštění pro destičku tl. 4mm	82

3.8.2.1 Porovnání výrobního smrštění pro destičku tl. 4mm.....	85
3.9 Stanovení „matnosti“ povrchu.....	86
4 Závěr.....	89
5 LITERATURA.....	91

Seznam použitých zkratk a symbolů

T_m	[°C]	teplota tání
T_f	[°C]	teplota viskózního toku
T_g	[°C]	teplota zesklňování
PS		polystyren
PP		polypropylén
ABS		akrylonitril-butadién-styren
PC		polykarbonát
PVC		polyvinylchlorid
PMMA		polymethylmetakrylát
PE		polyethylén
POM		polyoxymethylén
PA		polyamid
PET		polyethylénteraftalát
PPO		polyfenylén oxid
SK	[%]	stupeň krystalinity
F_p	[N]	přisouvací síla
F_u	[N]	uzavírací síla
t_{s1}	[s]	čas potřebný pro přisunutí a uzavření vstřikovací formy
t_{s2}	[s]	strojní čas pro přisunutí tavící komory k formě
t_v	[s]	čas vstřikování
t_d	[s]	doba dotlaku
t_{ch}	[s]	doba chladnutí
t_{pl}	[s]	doba plastikace
p_z	[MPa]	zbytkový tlak
t_{s3}	[s]	strojní čas pro otevření formy
t_m	[s]	manipulační čas
s_k	[mm]	pohyb šneku
s_n	[mm]	pohyb nástroje
p_i	[MPa]	vnitřní tlak v dutině formy
ΔG	[J]	Gibbsova energie mísení
ΔH	[J]	entalpie mísení
T	[K]	termodynamická teplota
ΔS	[J.K ⁻¹]	entropie mísení

φ_2	[%]	objemový zlomek druhé složky v polymerní směsi
ρ	[kg/m ³]	měrná hustota
MFR	[g/10min]	hmotnostní index toku taveniny
MVR	[cm ³ /10min]	objemový index toku taveniny
R'	[-]	součinitel odrazu
m	[kg]	hmotnost vzorku
t	[s]	interval odřezávání
σ_M	[MPa]	tahové napětí na mezi kluzu
ε_M	[%]	poměrné prodloužení na mezi kluzu
σ_{fM}	[MPa]	napětí v ohybu
σ_{fC}	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci 3,5%
E_f	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
a_{CA}	[kJ/m ²]	rázová houževnatost tělesa s vrubem
W	[J]	spotřebovaná energie
l_c	[mm]	délka tvarové dutiny
l_1	[mm]	délka zkušebního tělesa
b_c	[mm]	šířka tvarové dutiny
b_1	[mm]	šířka zkušebního tělesa
ε_1	[°]	úhel odrazu
L	[mm]	rozpětí podpěr
h	[mm]	tloušťka zkušebního tělesa
L_0	[mm]	počáteční délka zkušebního tělesa
ΔL_0	[mm]	změna délky zkušebního tělesa
σ	[MPa]	tahové napětí
S_0	[mm ²]	plocha počátečního průřezu tělesa
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
E_f	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
σ_1	[MPa]	napětí při poměrném prodloužení $\varepsilon_1 = 0,0005$
σ_2	[MPa]	napětí při poměrném prodloužení $\varepsilon_2 = 0,0025$
F	[N]	zatěžující síla
b	[mm]	šířka zkušebního tělesa
a_U	[kJ/m ²]	rázová houževnatost tělesa bez vrubu

b_N	[mm]	šířka zkušebního tělesa s vrubem
S_{Mp}	[mm]	podélné smrštění
S_{Mn}	[mm]	příčné smrštění
τ	[Pa]	smykové napětí
η	[Pa.s]	viskozita
D	[s ⁻¹]	smyková rychlost
ϕ	[s ⁻¹]	koeficient tekutosti
m	[-]	konstanta mocninového zákona

1 ÚVOD

Plasty (polymerní materiály) dnes představují nejvýznamnější část objemu výroby mezi všemi technickými materiály. V konkurenci s materiály klasickými, především kovy, se polymery prosadily snadnou zpracovatelností, výbornými elektroizolačními a tepelně izolačními vlastnostmi a především výhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Jednou z výhodných vlastností je nízká měrná hmotnost plastů, která dosahuje čtvrtina až osminy hmotnosti kovů. Důsledkem toho dosahuje plast lepšího poměru mechanických vlastností vztahených na jednotku hmoty než kovy. Toho se hojně využívá při snižování hmotnosti konstrukcí a dílů. Bohužel nevýhodou plastů jsou nízké mechanické a časově závislé vlastnosti (nízké hodnoty mechanických vlastností mají především neplněné plasty), kříp a ekologická zatížitelnost. Jedním ze způsobů jak tyto vlastnosti zlepšit je výroba polymerních směsí. To že je to způsob často využívaný, dokazuje velký nárůst jejich produkce v posledních letech. Ten dosahuje již přibližně čtvrtiny všech současně vyráběných polymerních materiálů. Důvodem tohoto rozvoje je fakt, že smícháním více složek lze získat materiál, který má lepší některou specifickou vlastnost nežli polymer užívaný pro danou aplikaci, někdy dokonce lepší, nežli obě směřované polymerní složky. Většinou tak lze získat materiál, který má zlepšené mechanické vlastnosti, zpracovatelnost, chemickou odolnost, případně materiál, který má dokonale vyvážené vlastnosti (např. je houževnatý, dobře zpracovatelný a samozhášivý). Nebo prostě jenom snížit cenu výrobku při zachování jeho vlastností.

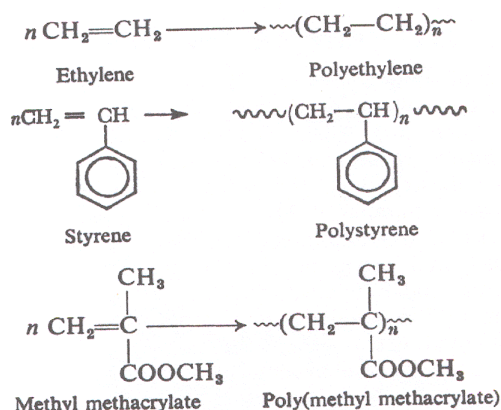
Jako hlavní cíl diplomové práce lze označit provedení zkoušek na vzorcích z materiálů ELAN XP 515 (PP/PS), Daplen FSC5031 (PP), Borcom BG 055AI (PP), Magnum 3616 (ABS) a následně zhodnotit a porovnat jejich základní mechanické vlastnosti. Tyto materiály používá firma Cadence Innovation pro výrobu automobilových dílů. Materiál Magnum 3616 by chtěla nahradit polymerní směsí Elan XP 515, který by nemusel být pro „zmatnění“ povrchu upravován lakováním a tím by došlo k výraznému snížení nákladů.

2 TEORETICKÁ ČÁST

V této diplomové práci bude z hlediska zadání pojednáno o polymerech, polymerních směsích, nanomateriálech, technologii vstřikování, vlastnostech plastů a jejich měření.

2.1 Plasty

Plast je makromolekulární látka tvářitelná teplem a tlakem. Je to látka, která je přírodního nebo syntetického původu a její molekulová hmotnost je větší než 10^4 . Synteticky se plasty připravují polyreakcemi (polymerace (viz. obr. 1), polyadice a polykondenzace), při kterých vzniká polymer řetězením nízkomolekulárních sloučenin (monomerů) a přidáním nezbytných přísad (aditiv), jejichž účelem je specifická úprava vlastností. Tím vznikne látka, která má odlišné mechanické a fyzikální vlastnosti než látka výchozí.



Obr. 1: Příklady polymerací

2.1.1 Rozdělení plastů

Plasty se dělí podle několika hledisek, mezi která patří:

1. Rozdělení na základě teplotního chování na:

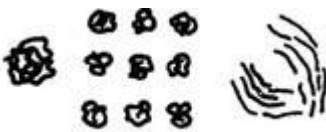
- Termoplasty – polymery, které přecházejí zahříváním do plastického stavu, v kterém jdou snadno tvářet tlakem do požadovaných tvarů. Při ochlazení pod teplotu tání T_m , případně teplotu viskózního toku T_f přejdou do tuhého stavu,

kde získají opět své původní vlastnosti. To znamená, že se při zahřívání nemění chemické vlastnosti, ale pouze fyzikální vlastnosti. Proto je možné u těchto látek plastikaci a tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení.

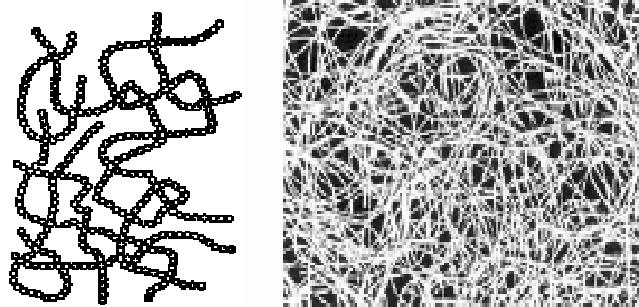
- Reaktoplasty (dříve termosety) – polymery, ve fázi zahřívání měknou a lze je tvářet. To jde pouze omezenou dobu, protože dalším působením tepla, záření nebo síťovacích činidel nastává chemická reakce, která vede k prostorovému zesíťování struktury, kde jsou původní molekuly vzájemně propojeny kovalentními vazbami. Tento děj se nazývá vytvrzování a je nevratný, takže tyto plasty pak nelze roztavit ani rozpustit bez degradace plastu.
- Pryže, kaučuky a elastomery – polymery v první fázi také přecházejí do plastického tvaru, kde je možné je tvářet. Dalším zahříváním dochází ale podobně jako u reaktoplastů k prostorovému zesíťování struktury, tzv. vulkanizaci. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury a proces plastikace lze opakovat.

2. Rozdělení podle nadmolekulární struktury (morfologie) na:

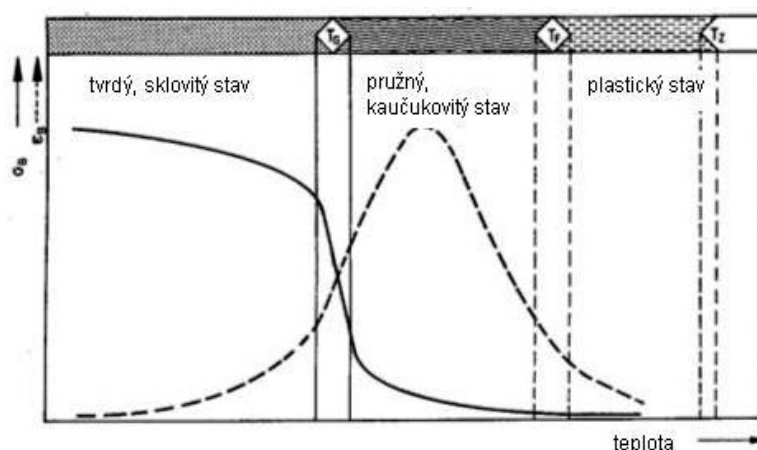
- Amorfní – kde je struktura bez jakékoliv uspořádanosti. Základním morfologickým útvarem jsou globuly, které jsou tvořeny chaotickým stočením makromolekul (viz. obr. 2, 3). Typické vlastnosti amorfních plastů jsou tvrdost, křehkost, vysoká pevnost a průhlednost (vzhledem k nízkému lomu světla). Jsou také dobře rozpustné v organických rozpouštědlech. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesíťování T_g (obr. 4). Zástupci amorfních plastů jsou např. PS, ABS, PC, PVC, PMMA.



Obr. 2: Nadmolekulární struktura amorfních plastů (směrem zleva globula, uspořádání globul, svazek)

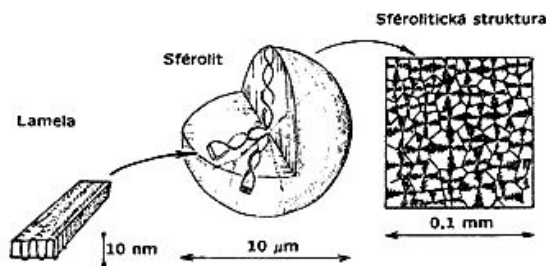


Obr. 3: Struktura amorfního termoplastu

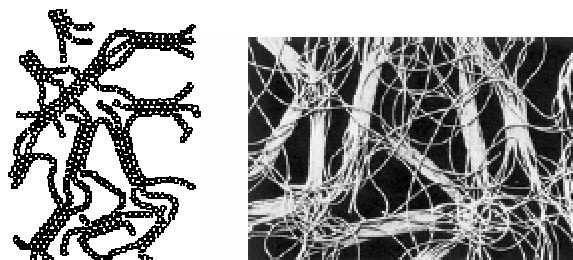


Obr. 4: Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu

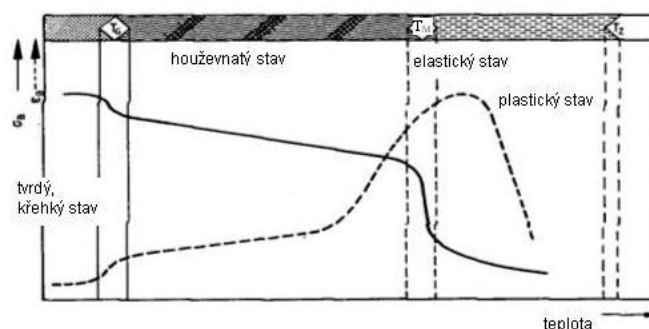
- Semikrystalické – kde se struktura vyznačuje určitým stupněm uspořádanosti, který souvisí s pravidelností geometrické stavby polymerních řetězců (viz. obr. 5, 6). Toto vyjadřuje tzv. stupeň krystalinity SK, který udává relativní podíl krystalických oblastí v amorfní části a zpravidla se pohybuje mezi 40 – 90%. Krystalická struktura vzniká tím snadněji, čím je molekula symetričtější, řetězce hladší, ohebnější a pravidelnější. Semikrystalické plasty jsou za pokojové teploty houževnaté a mléčně zakalené (mají vyšší index lomu světla). Jejich pevnost se zvyšuje s rostoucí krystalinitou a oproti amorfním plastům se v organických rozpouštědlech rozpouštějí špatně nebo vůbec. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m (obr. 7), pak již dochází k samovolné deformaci. Zástupci jsou například PP, PE, POM a PA.



Obr. 5: Sférolitická struktura semikrystalických termoplastů



Obr. 6: Struktura semikrystalického termoplastu

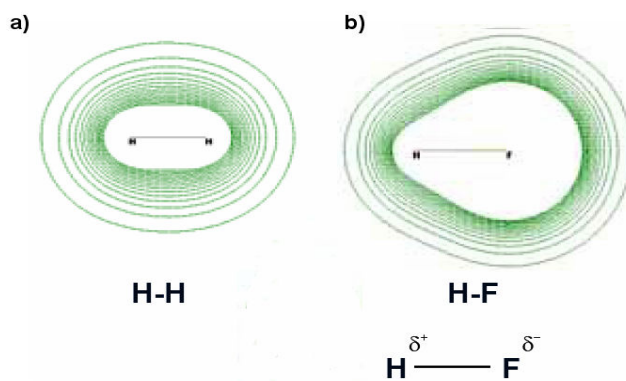


Obr. 7: Průběh deformačních vlastností u semikrystalických plastů

3. Rozdělení podle polaritě na:

- Polární plasty – mají permanentní (trvalé) elektrické dipóly v makromolekulách. Jejich vzájemným působením vzniká dipólový moment a přitažlivé síly, které patří k nejsilnějším mezimolekulárním silám. Polární plasty ve svých makromolekulách obsahují atomy N, O, F, které mají velkou elektronegativitu (schopnost přitahovat sousední elektronový pár) a tudíž vytvářejí elektrický dipól. Do této skupiny patří většina plastů, např. PA, PET, PVC a pryskyřice.
- Nepochární plasty – nemají trvalý dipól, dochází u nich k rovnoměrnému rozdělení elektronového páru a neustálému

pohybu elektronů v atomech. Jsou to plasty které mají ve svých řetězcích většinou pouze atomy C a H. Patří sem např. PE, PP, PS, ABS.



Obr. 8: Polarita vazeb

a) nepolární vazba H-H, b) polární vazby H-F

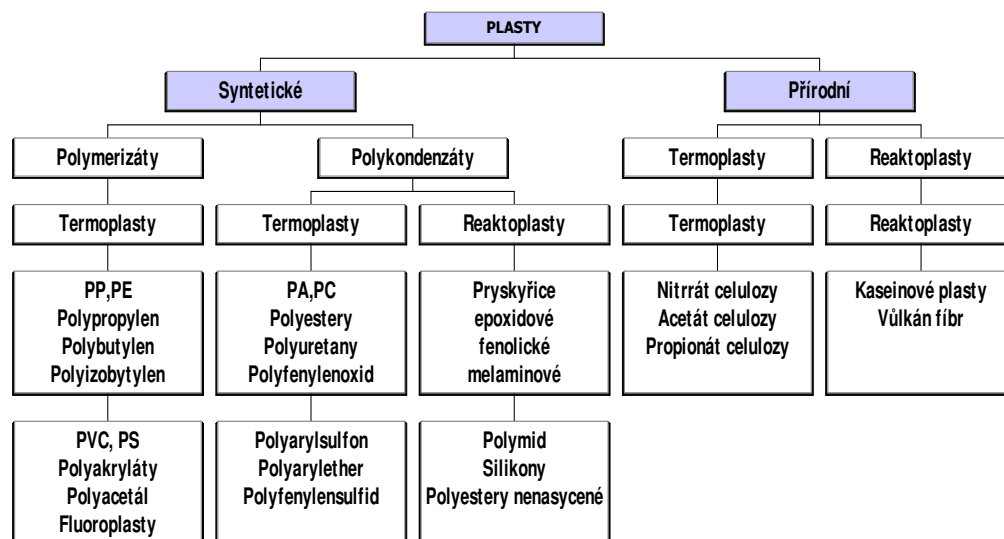
4. Podle chemické struktury se odvodily chemické názvy plastů (viz. tab. 1) na:

Tab. 1: Rozdělení plastů dle chemického složení

TERMOPLASTY				
<i>Polyolefiny</i>		<i>Akryláty</i>		
PE		polyetylén	PMMA	polymetylmakrylát
	HDPE	lineární polyetylén	MBS	metylmetakrylát – butadien – styren
	LDPE	rozvětvený polyetylén	<i>Polyamidy</i>	
	UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	PA	polyamid
PP		polypropylén	<i>Polyétery</i>	
<i>Chlorované plasty</i>			POM	polyoxymetylén
PVC		polyvinylchlorid	PFO	polyfenylénoxid
<i>Styrénové plasty</i>			<i>Polyestery</i>	
PS		polystyrén	PET	polyetyléntereftalát
	PS-GP	standardní polystyrén	PBT	polybutyléntereftalát
	PS-HI	houževnatý polystyrén	PC	polykarbonát
	PS-E	pénový polystyrén	<i>Vinylové plasty</i>	
SB		styrén – butadien	PVAC	polyvinylacetát
ABS		akrylonitril – butadien – styrén	<i>Ketony, sulfidy, sulfony a imidy</i>	
SAN		styrén – akrylonitril	PEEK	polyéterétherketon
ASA		akrylonitril – styrén – akrylát	PPS	polyfenylénsulfid
<i>Fluoroplasty</i>			PSU	polysulfon
PTFE		polytetrafluóretylén	PES	polyéthersulfon
ETFE		etylén – tetrafluóretylén	PI	polyimid
REAKTOPLASTY				
<i>Fenoplasty</i>		<i>Epoxidy</i>		
PF		fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice
<i>Aminoplasty</i>		<i>Polyesterové pryskyřice</i>		
UF		močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL	polyesterové skelné lamináty
MF		melaminové pryskyřice		

5. Rozdělení plastů dle původu na (viz. obr. 9):

- Přírodní - jsou založeny na přírodních makromolekulárních látkách např. na bázi celulózy, latexu, kaseinu, atd.
- Syntetické - k výrobě byla použita jiná cesta [1], [2]



Obr. 9: Rozdělení plastů podle původu

2.2 Technologie zpracování plastů

Plasty se zpracovávají různými technologiemi, které bychom mohli rozdělit do tří základních skupin. A to do technologií tvářecích, tvarovacích a doplňkových, přičemž použití technologie závisí hlavně na funkci výrobku a technologických vlastnostech zpracovávaného plastu. Pro tuto diplomovou práci byla k výrobě vzorků použita technologie vstřikování, proto se jí budu v dalším textu diplomové práce podrobněji věnovat.

2.2.1 Vstřikování plastů

Technologie vstřikování je nejběžnější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Principem vstřikování je vstříknutí roztaveného plastu vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde dojde během působení dotlaku k jeho ochlazení a ztuhnutí. Poté je výstřik vyjmut (vyhozen) z dutiny formy.

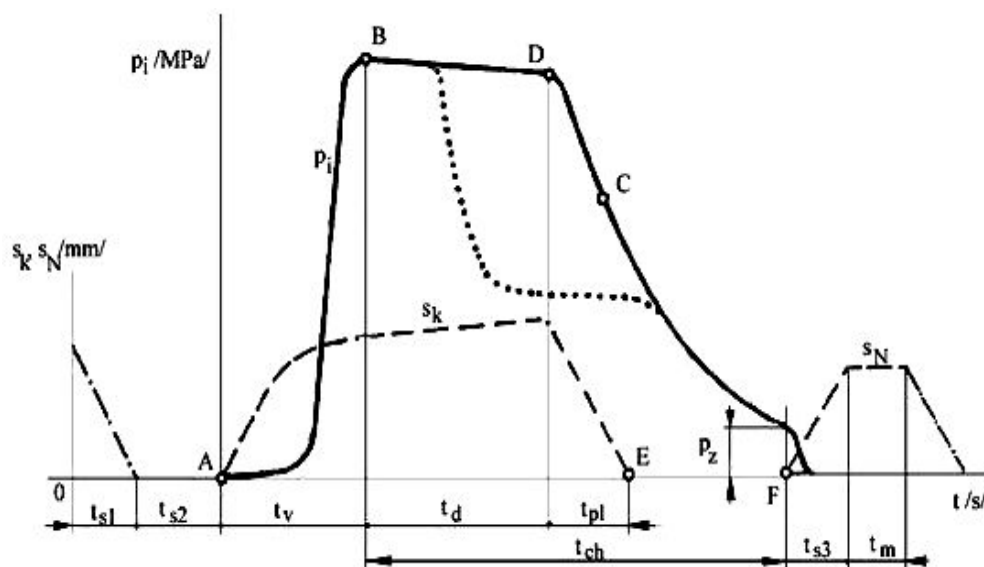
Technologie vstřikování se používá pro výrobu hotových tvarových dílů z plastu. Mezi její hlavní výhody patří možnost dosažení vysokých tvarových i rozměrových přesností výrobku, výroba tvarově složitých výrobků bez následovného obrábění, vysoký stupeň automatizovanosti a možností pracovat bez jakýchkoliv odpadů. Hlavní nevýhodou této technologie jsou vysoké investiční náklady, zdlouhavá výroba forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

2.2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je sled za sebou jdoucích operací, které vedou ke zhotovení výrobku. Během tohoto cyklu se uplatňuje celá řada faktorů, které ovlivňují výsledné vlastnosti a kvalitu výstřiku. Jsou to např. druh plastu, konstrukce formy a technologické parametry (vstřikovací tlak, teplota formy, teplota taveniny, rychlost plnění dutiny formy, doba a výše dotlaku). K popisu vstřikovacího cyklu používáme schématické znázornění činnosti vstřikovacího stroje (viz. obr. 11), kdy je za počátek cyklu většinou považován impuls k uzavření formy. Další variantou je posuzování vstřikovacího cyklu z hlediska zpracovávaného plastu a vyjádřit jej jako závislost tlaku v dutině formy na čase (viz. obr. 10), případně pomocí diagramu $p-v-T$.

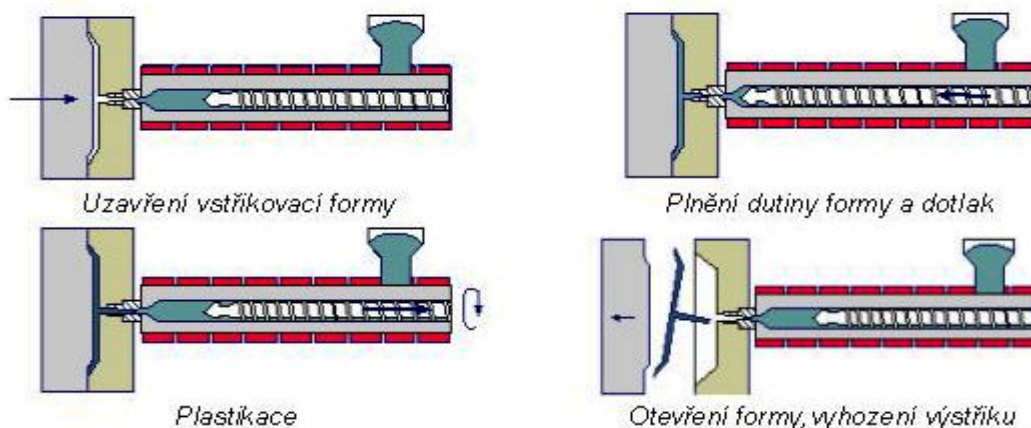
Samotný cyklus začíná v čase $t=0$, kdy je forma otevřená a dutina je prázdná. V tomto čase je dán impuls, pohyblivá část formy se přisune k pevné, dojde k jejímu uzavření a uzamknutí. Tyto činnosti je třeba odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_P , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_U . Toto se děje v časovém úseku t_{s1} . V čase t_{s2} se přisune tavící komora k formě. Úseky t_{s1} a t_{s2} jsou časy strojní. V bodě A se dává do pohybu šnek, který se v tomto okamžiku pohybuje pouze axiálně. Tím plní funkci pístu a zahajuje vlastní vstřikování. Čas vstřikování t_v je úsek mezi body A a B, kdy probíhá plnění dutiny formy taveninou. V bodě B také začne probíhat tzv. dotlak, který se značí dobou dotlaku t_d . Funkcí dotlaku je kompenzovat staženiny, které vznikají chladnutím hmoty, dodatečným vtlačením taveniny z polštáře (zbylý objem taveniny před čelem šneku) do dutiny formy. Plast

začíná chladnout okamžitě při styku se stěnou dutiny formy a chladne až do okamžiku vyjmutí. Doba chladnutí se značí t_{ch} . Dotlak končí v bodě D, kdy začíná doba plastikace t_{pl} nové dávky plastu. V této době se začne šnek otáčet a posouvat se směrem dozadu, přitom nabírá granulát z násypky, plastikuje ho a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Doba plastikace a tím i kvalita prohnětení materiálu je závislá na výšce protitlaku, který musí šnek překonávat při pohybu dozadu. Teplo potřebné pro plastikaci materiálu se získává převodem tepla ze stěn válce, který je vyhříváný odporově, dále třením plastu o stěny komory a povrch válce (tzv. frikční teplo) a přeměnou hnětací práce šneku na teplo. Bod C znázorňuje zatuhnutí vtokového kanálku, po který je možno ovlivňovat tlakové poměry v dutině formy. Po zatuhnutí taveniny ve vtokové soustavě tak působení dotlaku ztrácí význam. Doba plastikace t_p končí v bodě E, kdy dojde k zastavení pohybu šneku a odsunutí plastikační komory od formy. Během chlazení tlak neustále klesá až do zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením a kdy je výrobek již ztuhlý. Příliš vysoký zbytkový tlak zapříčiňuje velké vnitřní pnutí ve výstřiku, malý zbytkový tlak zase způsobuje propadliny. V bodě F dojde k otevření formy a vyhození výstřiku. To se děje v čase t_{s3} , čas t_m (manipulační čas) je určen pro očištění formy, případně vložení jader nebo zástříků. [1], [2]



Obr. 10: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během vstřikování

s_k – pohyb šneku, s_n – pohyb nástroje



Obr. 11: Vstřikovací cyklus

2.2.3 Vliv technologických parametrů na kvalitu výrobku

Mechanické vlastnosti a kvalitu výsledného výstřiku ovlivňuje při vstřikování řada technologických parametrů, které spolu vzájemně souvisejí a ovlivňují se. Jsou to např. teplota vstřikování, teplota formy, vstřikovací tlak, doba a výše dotlaku atd.

2.2.3.1 Vstřikovací tlak

Vstřikovací tlak je síla, která působí na zplastikovaný materiál v tavící komoře během vstřikování a u většiny plastů se pohybuje kolem 30 – 100 MPa. Jeho velikostí se ovlivňuje doba plnění formy, velikost přidržovací síly, zda dojde k dostříknutí výstřiku, vnitřnímu pnutí a orientaci (čím větší je vstřikovací tlak, tím větší je narovnání makromolekul ve směru toku taveniny).

2.2.3.2 Teplota taveniny

Teplota taveniny je vedle tlaku nejdůležitější veličinou, která ovlivňuje konečné vlastnosti plastu. S rostoucí teplotou plastu se snižuje jeho viskozita a tím pádem se zlepšuje zabíhavost plastu. Vyšší teplota taveniny umožňuje také použít nižší vstřikovací tlak a tím snížit vnitřní pnutí ve výrobku, ale na druhou stranu prodlouží dobu chlazení a zvětší smrštění. Při vyšších

teplotách taveniny je nutné sledovat dobu zdržení materiálu v tavící komoře, protože čím déle se materiál zdrží v tavící komoře, tím lepší má homogenitu, ale zároveň stoupá nebezpečí degradace materiálu.

2.2.3.3 Teplota formy

Teplota formy je závislá na druhu plastu. Ovlivňuje mimo jiné zabíhavost, dobu chlazení, vzhled povrchu, krystalizaci, velikost smrštění a vnitřního pnutí. Vždy musí být nižší než je teplota tuhnutí příslušného plastu. S vyšší teplotou formy se snižuje vnitřní pnutí, což má za následek větší rozměrovou přesnost a tvarovou stálost. Nevýhodou vyšší teploty je ale prodloužení doby chlazení a s tím spojená delší doba výroby výstřiku a vyšší náklady na výrobu. Proto je vždy nutné volit mezi ekonomicky výhodnou nízkou teplotou a technologicky výhodnou vyšší teplotou formy.

2.2.3.4 Rychlost plnění dutiny formy

Rychlost plnění formy se snažíme volit co největší tak, aby byla dutina formy zaplněna v co možná nejkratším čase. Plast, který přivádíme do dutiny formy, při styku se stěnou ihned tuhne a vytváří na ní nepohyblivou vrstvu. Tato vrstva se chová jako tepelný izolátor, který uvnitř dutiny zachovává tekutou hmotu. Ta umožňuje další plnění ve vzdálenějších místech formy. Rychlost plnění dutiny formy by měla být taková, aby nedocházelo ke vzniku velké povrchové orientace makromolekul, vnitřního pnutí a viditelných tokových čar.

2.2.3.5 Dotlak

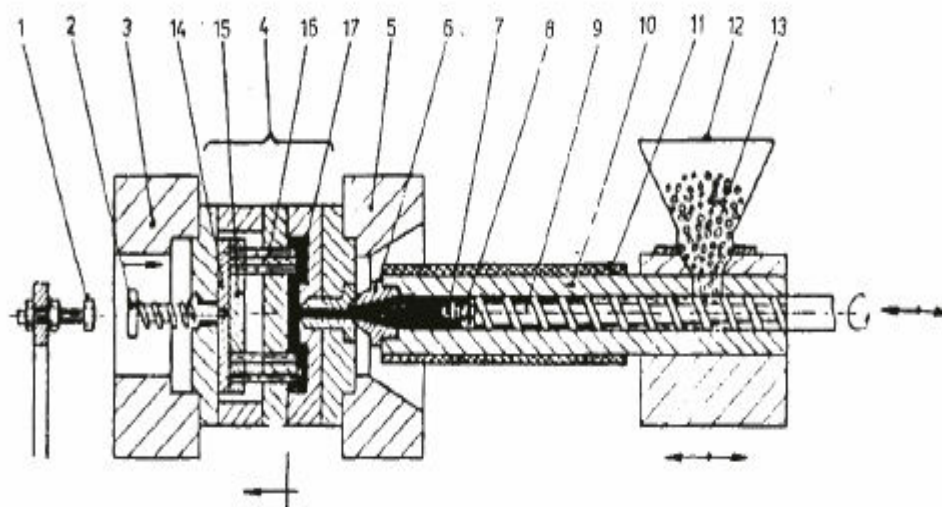
Výše a trvání dotlaku ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, velikost smrštění a vnitřního pnutí. Přepnutí na dotlak je v závislosti buď na dráze šneku, na množství taveniny vstříknuté do dutiny formy, na čase a na tlaku v hydraulice nebo v dutině formy. Pokud bychom na dotlak nepřepnuli včas, vznikla by tzv. tlaková špička, která způsobuje změnu hmotnosti výstřiku, vznik přetoků, případně prohnutí formy. Funkcí dotlaku je vtlačit do dutiny

takové množství taveniny, aby doplnil úbytek taveniny v důsledku jejího smrštění.

2.2.4 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací a z řídicí jednotky.

Schéma vstřikovacího stroje se šnekovou plastikací je na obr. 12.

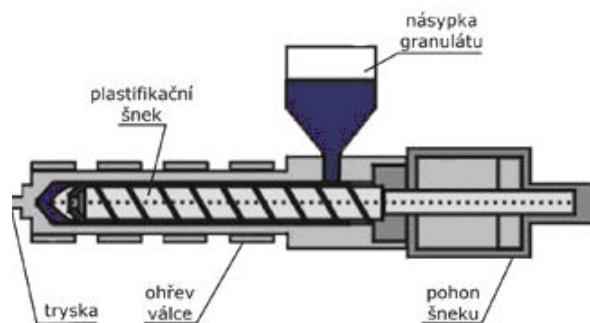


Obr. 12: Schéma vstřikovacího stroje se šnekovou plastikací

(1 – doraz, 2 – vyhazovač, 3, 5 – upínací desky, 4 – forma, 6 – tryska, 7 – špička šneku, 8 – zpětný uzávěr, 9 – šnek, 10 – tavící komora, 11 – topení, 12 – násypka, 13 – plast, 14 – deska vyhazovačů, 15 – kotevní deska, 16 – vyhazovače, 17 – výstřik) [1]

2.2.4.1 Vstřikovací jednotka

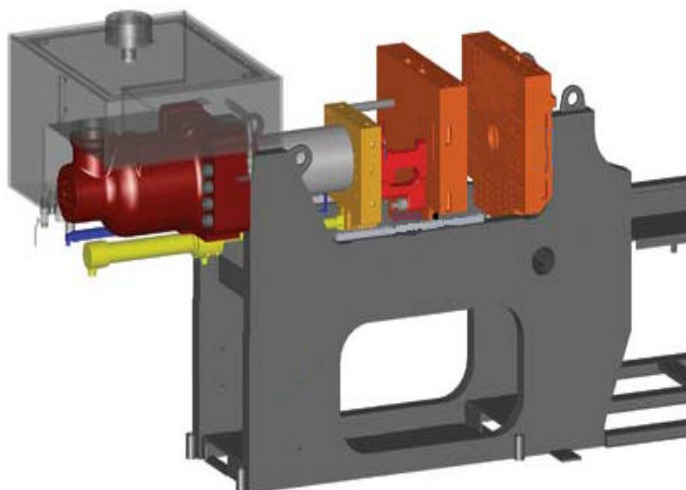
Vstřikovací jednotky dělíme na šnekové a pístové (jejich význam je v dnešní době zanedbatelný). Vstřikovací jednotky (obr. 13) mají za úkol dávkování granulátu, jeho plastikaci a dokonalé promísení (homogenizaci), vstříknutí taveniny velkou rychlostí a tlakem do dutiny formy a provedení dotlaku. Posuvy šneku a celé vstřikovací jednotky jsou zajištěny hydraulickým pohonem.



Obr. 13: Vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje

2.2.4.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka (obr. 14) zajišťuje uzavírání formy tak, aby tlak vstříknuté taveniny formu neotevřel. Dále zajišťuje její otevírání a všechny procesy nutné k vyhození výstřiku z formy. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přisouvací F_p a sílu uzavírací F_u . Uzavírací systémy jsou konstruovány jako hydraulické, mechanické, elektrické nebo jejich kombinace.



Obr. 14: Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje

2.2.4.2 Řídící jednotka

Poloautomatický, případně plně automatický provoz stroje zabezpečuje řídicí jednotka. Toto zařízení samočinně dodržuje nastavené

technologické parametry (teplota taveniny a formy, rychlost a tlak vstřikování a časové rozčlenění průběhu vstřikování).

2.2.5 Vstřikovací formy

Vzhledem k tomu, že konstrukce formy (vtokový systém, temperační systém, atd.) nebyla předmětem řešení diplomové práce, budu zde uvádět pouze obecná shrnutí, neboť formy, stejně jako stroj, patří také k procesu vstřikování.

Vstřikovací formy (viz. obr. 15) musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech a umožňovat jejich snadné vyjmutí. Proto je jejich výroba finančně i konstrukčně náročná. Na řešení formy má veliký význam tvar, složitost, sériovost výrobku a dále výběr plastu, z kterého chceme vyrábět. Vstřikovací forma se skládá z částí, které můžeme rozdělit do tří skupin.

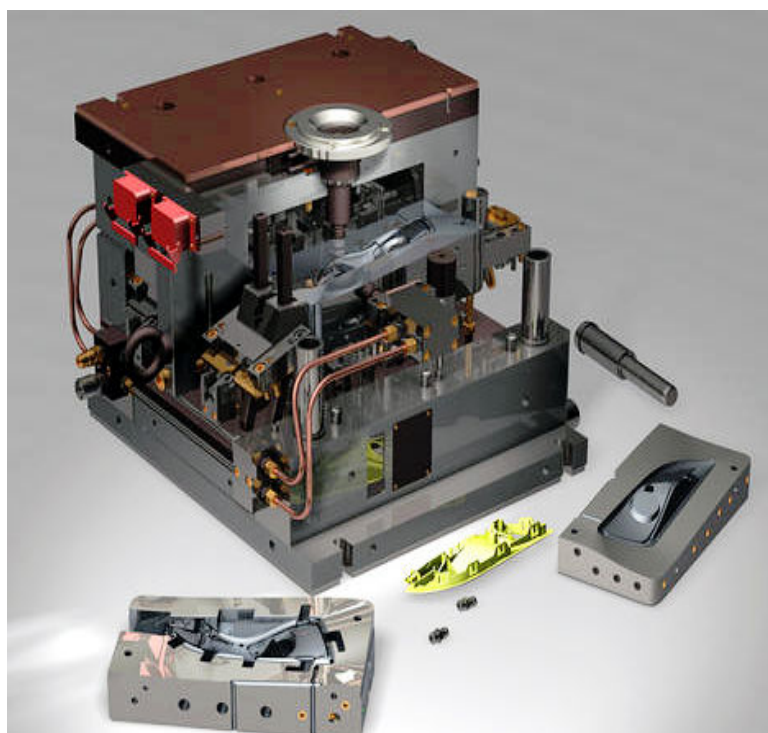
Do první skupiny patří části, které se stýkají s tvářeným materiálem. Říká se jim proto tvarové části formy a patří k nim tvárník, tvárnice, tvarová jádra a vložky. Tvárník a tvárnice vytvářejí celkový tvar výlisku (tvarovou dutinu). Jejich dosedací plocha se nazývá hlavní dělicí rovina. Drobnější detaily vytvářejí ostatní tvarové části.

Do druhé skupiny patří tzv. konstrukční části formy. Jsou to např. upínací desky formy, opěrné desky, rozpěrky, vytápění a chlazení formy, dorazy, vodící kolíky.

Do třetí skupiny patří vyhazovací ústrojí (vyhazovací kolíky, stírací desky a kroužky), které ve formě přicházejí do styku s výstřikem a působí na něj vyhazovací silou.

Kvalitu a jakost výstřiku nejvíce ovlivňuje vtokový systém, který se skládá ze systému kanálků a ústí vtoku. Konstrukční řešení vtokového systému závisí na tvaru výstřiku a násobnosti formy a má být navrhován tak, aby tavenina naplnila formu co nejrychleji bez tlakových a teplotních ztrát. Umístěním vtoku ovlivňujeme vznik tzv. studených spojů, povrchový vzhled, orientaci makromolekul, vláknitých plniv a s tím související anizotropii vlastností.

Další důležitou součástí vstřikovací formy je temperační systém. Je to soustava kanálků a dutin, umožňující odvod tepla z formy a tím rychlejší zchladnutí výrobku, které je potřeba pro zajištění opakovatelnosti cyklu. Ochlazování hmoty by mělo probíhat ve všech místech stejně rychle, aby nedocházelo k velkému vnitřnímu pnutí, případně k deformacím. Proto bývá temperační systém rozdělen do dílčích okruhů, které se řeší podle způsobu zaformování výstřiku ve formě a podle polohy dělící roviny. Celková délka kanálků by měla být taková, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a výstupu byl max. 3 až 5 °C. [1], [2]



Obr. 15: Vstřikovací forma

2.3 Polymerní směsi

V dnešní době je příprava polymerních směsí (blendů) jednou z nejvíce používaných možností rozšiřování sortimentu polymerních materiálů a v současné době blendy tvoří asi čtvrtinu veškeré produkce polymerních materiálů. Důvodem je, že smícháním dvou a více složek lze získat materiál, který má lepší specifické vlastnosti, nežli polymer užívaný pro

danou aplikaci. Například tak můžeme dosáhnout zlepšení mechanických vlastností, zpracovatelnosti, chemické odolnosti, nebo snížení ceny materiálu. Jako polymerní směs je označovaná směs alespoň dvou polymerů, kde spodní hranice minoritní složky je zhruba 20%. Pokud je zastoupení druhé složky menší, tak se polymerní směsi označují jako modifikované polymery.

Jejich zpracování je možné všemi tradičními způsoby, zejména vstřikováním, vytlačováním a vyfukováním. Kromě toho se mohou výrobky z polymerních směsí dále upravovat všemi sekundárními postupy běžnými pro plasty (např. lakování, potiskování, svařování, atd. [3])

2.3.1 Mísitelnost a kompatibilita polymerních směsí

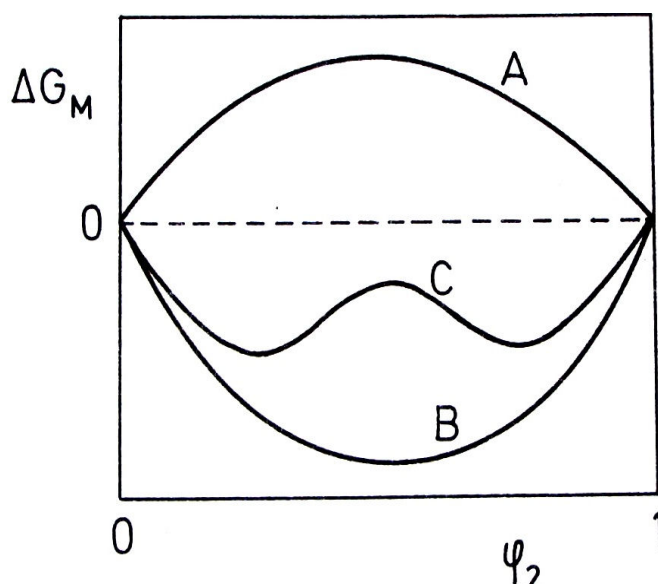
Snaha připravit smícháním více druhů polymerů nové materiály se projevuje prakticky od počátků průmyslové výroby polymerů. Brzy se však ukázalo, že prosté míšení polymerů vede k cíli jen ve velmi omezeném počtu případů, kdy jsou polymery (částečně) mísitelné. Naprostá většina polymerů je totiž vzájemně nemísitelná. V zásadě tak lze podle vzájemné mísitelnosti dělit směsi do tří základních skupin:

- směsi mísitelných polymerů s homogenní jednofázovou strukturou, kterých je menšina. Jsou to např. směsi PPO/PS.
- směsi částečně mísitelných polymerů, které mají na určitých místech dobrou adhezi mezi fázemi. Typickými zástupci jsou např. směsi polykarbonátů, které se hojně používají jako konstrukční plasty (např. PC/ABS).
- směsi nemísitelných polymerů, které mají heterogenní strukturu a aby mohly být smíchány musí být modifikovány na mezifázovém rozhraní – musí být tedy správně kompatibilizovány. Tato skupiny zahrnuje řadu směsí např. PS/PE, PA/ABS a i polymerní směs zkoumanou v této diplomové práci - PS/PP.

Z termodynamického hlediska jsou dva polymery považovány za mísitelné (při daných podmínkách – teplota, tlak, složení), jestliže tvoří jednofázový systém. Aby tento systém vznikl, musí být hodnota Gibbsovy energie mísení $\Delta G \leq 0$ (viz. obr. 16) , přičemž hodnotu Gibbsovy energie určíme ze vztahu :

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$$

ΔG	...Gibbsova energie mísení [J]
ΔH	...entalpie mísení [J]
T	...termodynamická teplota [K]
ΔS	...entropie mísení [$J \cdot K^{-1}$]



Obr. 16: Závislost Gibbsovy energie mísení ΔG dvousložkové směsi na objemovém zlomku složky 2 φ_2 . Křivka A jsou nemísitelné, křivka B plně mísitelné a křivka C částečně mísitelné polymery [3]

Mísitelné polymery mají jemnozrnou fázovou strukturu s poměrně malým mezifázovým napětím a dobrými užitnými vlastnostmi. Pokud jsou ale polymery vzájemně nemísitelné, projevuje se to jejich separační tendencí, která má za následek hrubou fázovou strukturu a špatnou adhezi mezi fázemi útvarů. To vede k materiálu s malou soudržností a špatnými mechanickými vlastnostmi. Separační tendenci fází ale můžeme potlačit

zjemněním fázové struktury a zvýšením adheze, které docílíme vytvořením vazeb (fyzikálních nebo chemických) na mezifázovém rozhraní. Toho docílíme přidáním další složky při směšování polymerů, kompatibilizátoru. Základní způsoby jsou:

- a) použitím vysokých smykových napětí při míchání taveniny
- b) přidavkem společného rozpouštědla
- c) přidáním blokových nebo roubovaných kopolymerů, které mají řetězce shodné nebo podobné řetězcům míchaných polymerů
- d) přidáním iniciátorů, které způsobí roubovací nebo síťovací reakce polymerů
- e) zavedením funkčních skupin
- f) přidáním nanoaditiva (postup v experimentální části)

2.3.2 Příprava polymerních směsí

Polymerní směsi jsou připravovány několika způsoby: mícháním v tavenině, míšením v roztoku, směšováním latexů, částečnou blokovou nebo roubovanou kopolymerací a chemickou syntézou vzájemně se pronikajících sítí.

2.3.2.1 Směšování v tavenině

Směšování v tavenině patří mezi nejčastější způsoby přípravy polymerních směsí. Výhodou je možnost využití univerzálních míchacích zařízení. Nevýhodou je velká energetická náročnost, nebezpečí degradace polymerů při překročení kritické teploty a dlouhá doba zpracování potřebná pro dokonalé promísení.

2.3.2.2 Směšování roztoků

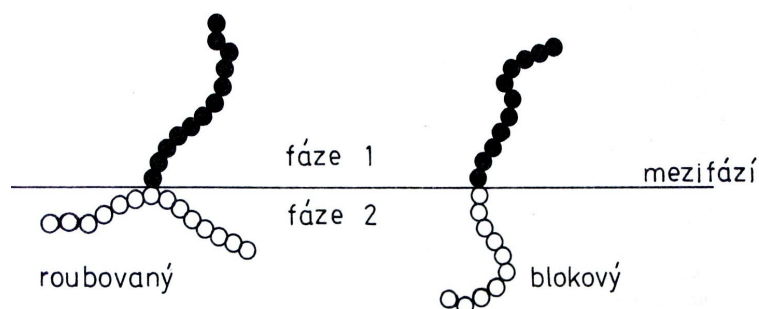
Směšování roztoků se používá v laboratorní přípravě. Nevýhodou je použití společného rozpouštědla, jehož složité odstraňování pak brání širšímu využití v praxi. Výhodou je ale naopak dokonalé promísení, bez velké spotřeby energie.

2.3.2.3 Směšování latexů

Směšováním latexů můžeme získat heterogenní směs s velikostí fází řádově v mikrometrech bez použití rozpouštědel a bez velkých energetických nároků. Nevýhodou je ale potřeba obou polymerů ve formě latexu, což tuto metodu značně omezuje.

2.3.2.4 Částečná bloková (příp. roubovací) kopolymerace

Částečná bloková (příp. roubovací) kopolymerace probíhá tak, že jejím výsledkem jsou homopolymery a dostatečné množství kopolymeru, který pak působí jako kompatibilizátor a umožňuje dobrou adhezi nemísitelných fází. Typickým zástupcem je např. houževnatý polystyrén, kde polymerní směs je tvořena polystyrénovou maticí ve které jsou rozptýleny částice polybutadiénu a vazby jsou uskutečněny styrenbutadiénovými kopolymeru. [3], [4]



Obr. 17: Ideální umístění blokového a roubovaného kopolymeru na rozhraní fází [3]

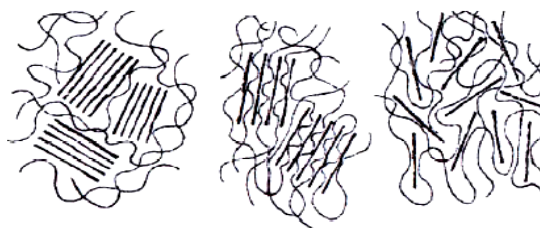
2.4 Nanomateriály

Vzhledem k tomu, že polymery PP a PS, které tvoří směs ELAN XP 515 zkoumanou v této diplomové práci, jsou navzájem nemísitelné, musely být kompatibilizovány nanomateriálem zvyšujícím adhezi mezi jejich fázovými útvary. Proto se bude nanomateriálům a jejich přípravě věnováno podrobněji.

Nanomateriály jsou charakterizovány tak, že alespoň jeden jejich rozměr musí být v řádu nanometrů. V současné době se rozlišují tři druhy nanomateriálů a jejich základním třídícím znakem je počet rozměrů, které se

pohybují v nanometrech. Pokud v nich jsou všechny tři rozměry, tak hovoříme o globulárních částicích. Pokud dva, tak hovoříme o fibrilárních nanomateriálech a třetí skupinou jsou plošné nanomateriály u kterých je udáván pouze jeden rozměr v nanometrech. A právě plošné nanomateriály (např. vrstevnaté minerální jíly) jsou v dnešní době nejvíce používané. Mezi ně patří i bentonit, použitý jako kompatibilizátor umožňující vznik polymerní směsi PP/PS zkoumané v této diplomové práci.

Podle dispergace vrstvených jíků v polymeru (polymerech) (viz.obr. 18) se dělí na jíly konvenční, kde jíl má úlohu plniva, dále na nanomateriály interkalované, kde je polymer v mezerách mezi vrstvičkami, ale nedojde k jejich rozvrstvení. A poslední skupinou jsou nanomateriály rozvrstvené (exfoliované), kdy je jíl rozvrstven až na elementární vrstvy. Tento případ vede k největším změnám mechanických a fyzikálních vlastností materiálu.



*Obr. 18: Způsoby rozptýlení montmorillonitu v polymerní matrici
(směrem zleva konvenční jíl, polymerní molekuly ve vrstvách
montmorillonitu (interkalovaný jíl), rozvrstvená (exfoliovaná) struktura
nanokompozitu) [6]*

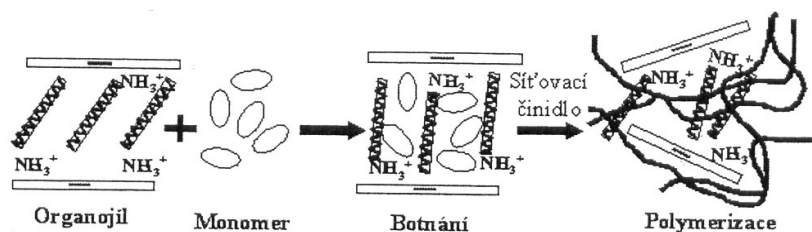
2.4.1 Příprava nanomateriálů

K přípravě nanomateriálů se používá polymerace in-situ, roztoková polymerace a míchání taveniny polymeru, která je využíváno nejčastěji kvůli své jednoduchosti.

2.4.1.1 Polymerace in-situ

Polymerace in-situ (obr. 19) je proces, kdy je jíl nabotnán v monomeru. Poté je přidáno síťovací činidlo a je inicializována (např. tepelným působením nebo katalyzátorem) samotná polymerace. Touto

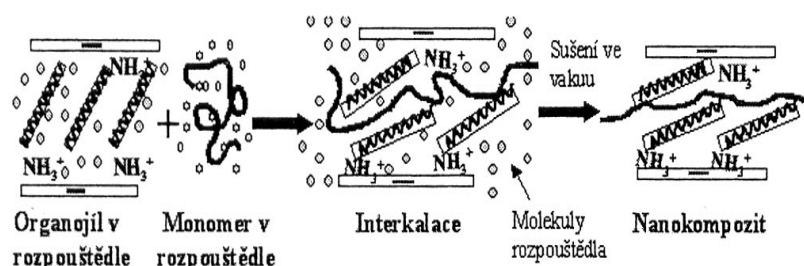
metodou se vyrábějí materiály na bázi nenasycených polyesterů, polyuretanů, polystyrenu.



Obr. 19: Polymerace in-situ [6]

2.4.1.2 Roztoková polymerace

Roztoková polymerace (obr. 20) je odlišná od polymerace in-situ tím, že je použito místo monomeru rozpouštědlo, které je vhodné pro daný typ polymeru. Jíly jsou rozpouštěny v polárním rozpouštědle (např. toluenu), díky kterému dojde k jejich nabotnění. Monomer se rozpustí v tom daném rozpouštědle a pak se oba roztoky smíchají. Dalším krokem je odstranění rozpouštědla, při kterém dojde k opětovnému seskupení vrstev a zafixování polymeru mezi vrstvami. Tento způsob se používá na přípravu materiálů na bázi PE nebo PA.

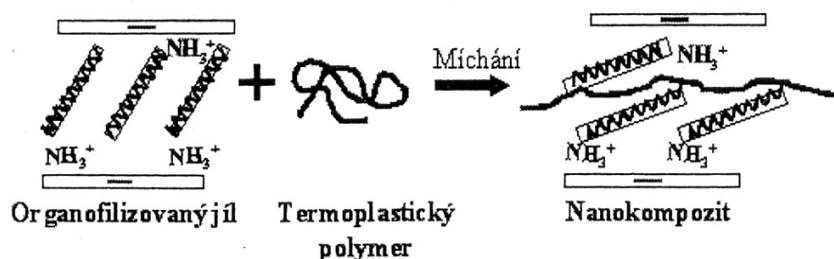


Obr. 20: Roztoková polymerace [6]

2.4.1.3 Míchání taveniny polymeru

Příprava mícháním taveniny polymeru (obr. 21) spočívá v míchání roztaveného polymeru s upraveným organojílem a následné ochlazení směsi. Tímto způsobem lze připravit jak interkalované, tak exfoliované (rozvrstvené) struktury. Tento způsob je používán z důvodu jeho jednoduchosti a možnosti použití stávajících strojních zařízení. Velmi

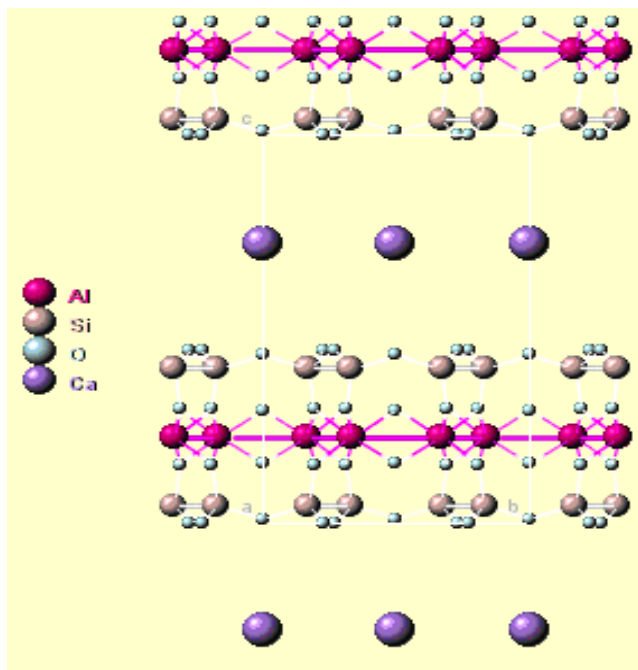
důležitou roli hraje interkalační (hydrofobizující) činidlo, které zvětšuje mezivrstevní vzdálenosti destiček a usnadňuje jejich rozvrstvení. Dále jsou důležité i disperzní mechanismy, které se při přípravě nanomateriálů kompondováním uplatňují. Jedná se o smykový mechanismus, který je dán tvarem kompondačního zařízení a rozlupovací mechanismus, který je založen na difuzi polymeru (polymerů) do mezivrstvy. Efektivita tohoto způsobu přípravy záleží na kompatibilitě polymeru, jílu a hydrofobizujícího činidla. Tímto způsobem je připravená i polymerní směs zkoumaná v této diplomové práci, kdy během procesu, který poprvé popsal p. Balata a kol., dochází během míchání taveniny a rozvrstveného montmorillonitu ke vzniku malého množství polymeru s reakčními koncovými skupinami, které jsou kompatibilní s přírodním jílem. Polymery s reakčními skupinami mohou být nahrazeny diblokovými kopolymery, kdy jedna část interkaluje a druhá je svým charakterem blízká polymeru. [6]



Obr. 21: Příprava nanomateriálů mícháním v tavenině [6]

2.4.2 Montmorillonit

Montmorillonit (obr. 22) je hlinitokřemičitanový jíl příbuzný slídku. Byl pojmenován podle francouzského města Montmorillon, kde se vyskytují jeho významné zásoby. Částice montmorillonitu mají tvar vloček menších než dva mikrometry a skládají se z vrstev o tloušťce velmi blízké 1 nanometru. Takto tenká vrstva je tvořena strukturou oxidů křemíku a oxidů hliníku, které mají tu vlastnost, že rostou pouze ve dvou směrech. Tvoří tak požadované tenké destičkové útvary. Stejně jako ostatní jíly, je montmorillonit hydrofilní, tzn. že má schopnost přijímat vodu a botnat. Pro dosažení dobré adheze s nepolárními polymery je však nutno tento minerál chemicky modifikovat.



Obr. 22: Chemická struktura montmorillonitu

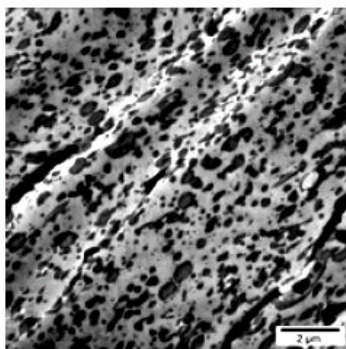
2.5 Použité druhy plastů a jejich obecné vlastnosti

V této části se bude věnováno polymerům, které byly použity k výrobě zkušebních vzorků a které posléze byly porovnávány s polymerní směsí PP/PS.

2.5.1 PP/PS blend - ELAN^{XP}

Výchozím bodem pro vývoj tohoto materiálu byly stoupající požadavky automobilového průmyslu na plastové materiály používané ve vnitřním prostoru vozu. Oproti PP plněnému talkem byla požadována vyšší odolnost proti poškrábání stejně jako jednotný matný povrch a materiál měl být také příjemný na dotyk. Z těchto důvodů byl připraven PP/PS blend. K přípravě této směsi se používá speciální metoda, kdy pro docílení sloučení polypropylenu (PP) a polystyrenu (PS) bylo použito nanoaditiva (obchodní název Nanofil SE 3000), které zamezilo odmísení jednotlivých fází polymerů. V tomto případě se jednalo o bentonit (jílový materiál s obsahem 60–95% montmorillonitu), kterému byla díky přidání hydrofobizující látky zvětšena vzdálenost vrstev na cca 1,5 - 4 nm a zároveň zlepšena slučitelnost

s hydrofobními plastovými hmotami. Takovéto nanoaditivum má pak strukturu destiček o tloušťce 1 nm a průměru 100-500 nm oproti normálním plnivům, jako je kaolin nebo talek, které mají rozměry 500 x 5000 nm. Takto připravené nanoaditivum bylo gravimetricky smícháno s PP a PS v poměru 65-75% polypropylenu, 15-25% polystyrenu a 5% Nanofilu SE 3000. V následujícím kroku bylo použito dvojitého šneku, který byl sestaven z částí pro zvýšení smyku, dokonalého promísení a dispergace (označované jako rozvrstvování) materiálu. Tím bylo docíleno rovnoměrného a jemnozrného rozdělení Nanofilu 3000 a polystyrenu v polypropylenové matrici. Takto rozvrstvené částice aditiva se hromadily na hraničních plochách fází PP a PS a napomáhaly jejich sloučení (obr. 23).



Obr. 23: Homogenní jemnozrné rozdělení PS v PP matrici na obrázku z SEM

Takto připravená polymerní směs je firmou Putsch Kunststoffe GmbH distribuována ve třech různých provedeních s označením ELAN XP 515, ELAN XP 416 a ELAN XP 422. Jejich vlastnosti se odlišují především pevností a odolností proti rázu za nízké teploty. [7]

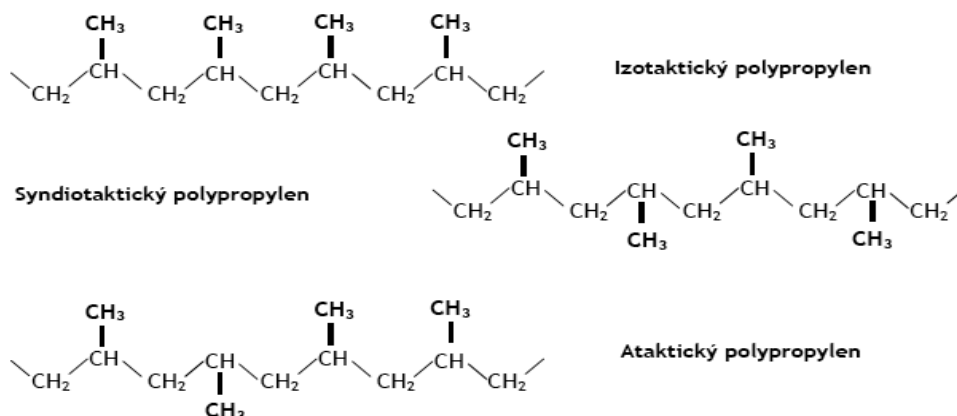
2.5.2 PP (polypropylen)

PP patří společně s PE do skupiny polyolefinů a v dnešní době patří k nejvíce využívaným polymerům. Patří do skupiny semikrystalických plastů (stupeň krystalinity se pohybuje kolem 50%). Jeho vlastnosti závisí na takticitě PP (viz. obr. 24).

- Syndiotaktický PP je vysoce průzračný, má vyšší houževnatost, ale je bohužel drahý

- Ataktický PP je pružný a měkký. Je to vlastně odpadový produkt při polymeraci a používá se jako plastický tmel
- Izotaktický PP je polypropylen u kterého konečné vlastnosti závisí na poměru izotaktické (90%) a ataktické (10%) složky. Čím větší je podíl izotaktické složky, tím lepší pak bude mít PP výsledné vlastnosti.

Při pokojové teplotě je PP středně pevný, tuhý, houževnatý, odolává kyselinám, zásadám i vodě. Rázová pevnost je dobrá, ale kolem teploty zesklenní (ataktický PP má $T_g = -10^\circ\text{C}$) prudce klesá, teplota tání se pohybuje kolem $160 - 170^\circ\text{C}$. Na rozdíl od PE je lehčí, jeho hustota je přibližně 910 kg/m^3 a je průhlednější, což je dáno menším stupněm krystalinity. PP se velmi často modifikuje plnivý (např. talkem, křídou, kaolinem, skleněnými vlákny, atd.), které zlepšují jeho vlastnosti. Zvláštním případem je modifikace PP kaučukem za účelem snížení teploty zesklenní T_g . Používá se na výrobu řady technických dílů jako např. přístrojové desky, fólie, lopatky ventilátoru, různé kryty, po modifikaci kaučukem na výrobu nárazníků atd. [1], [8]

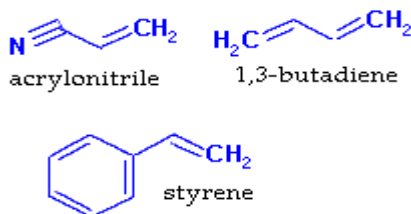


Obr. 24: PP

2.5.3 ABS (akrylonitril-butadien-styren)

Spolu s PS a dalšími styrenovými plasty patří do skupiny amorfních plastů a je tedy za pokojové teploty tuhý a pevný. Připravuje se roubovanou kopolymerací styrénu a akrylonitrilu na butadiénstyrenový kaučuk (viz. obr. 25), přičemž s větším podílem kaučuku se zlepšuje houževnatost, ale zároveň se zhoršuje pevnost, tuhost i tepelná odolnost. Jeho hustota se

pohybuje kolem 1050 kg/m^3 a teplota zesklnění $T_g = 80$ až 100°C . Používá se na přístrojové desky, mřížky chladičů, trubky a v nábytkářském průmyslu.



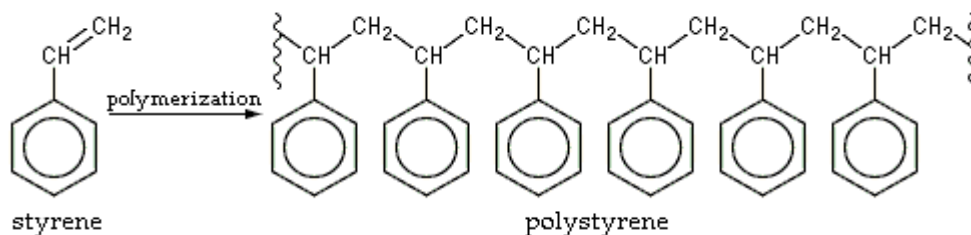
Obr. 25: Části ABS

2.5.4 PS (polystyren)

Polystyren (obr. 26) je amorfní plast, který se vyrábí blokovou nebo suspenzní polymerací. Teplota zesklnění i hustota jsou podobné jako u ABS ($\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$, $T_g = 80^\circ\text{C}$). Je to nepolární plast, takže dobře odolává kyselinám, zásadám a polárními rozpouštědly. Používá se k výrobě obalů v potravinářském průmyslu, dále k výrobě hraček atd.

Velmi často se setkáme s jeho dvěma modifikacemi:

- Lehčený PS, který vzniká suspenzní polymerací monomeru styrenu s těkavými uhlovodíky (např. benzen, hexen). Tento roztok se zahřívá v horké vodě, kde se benzen začne vypařovat a kuličky PS začnou mnohonásobně zvětšovat svůj průměr, dokud nevyplní dutinu požadovaného tvaru. Takto připravený PS je asi 50 krát lehčí než voda a má výborné izolační schopnosti. Proto je jeho hlavní využití jako obalový materiál, dále ve stavebnictví a chladírenské technice.
- Houževnatý PS vzniká roubovanou kopolymerací kaučuku v polystyrenové matrici. Tím se zbavíme křehkosti a získáme materiál s větší houževnatostí. Tu ale získáme na úkor vlastností jako pevnost v tahu, pružnost a chemická odolnost, které jsou horší než u standardního PS. Používá se na výrobky, které mají odolávat nárazům. Například manipulační bedny, různé kryty a misky. [1], [8]



Obr. 26: PS

2.6 Mechanické vlastnosti plastů a jejich měření

Chemické složení, velikost makromolekul, přísady, teplota zpracování a spousta dalších faktorů ovlivňují mechanické vlastnosti plastů. Podle způsobu, kterými stanovujeme tyto vlastnosti, se mechanické zkoušky dělí na:

- Krátkodobé, při kterých je vliv relaxačních dějů zanedbatelný a samotná zkouška trvá maximálně několik minut. Do této skupiny spadají zkoušky tahu, tlaku, ohybu, smyku a rázu.
- Dlouhodobé, kde se bere v úvahu relaxační chování plastů (takovéto zkoušky mohou trvat i několik dní). Dlouhodobé zkoušky se pak podle charakteru působící síly dělí na statické, kdy působí klidná síla (např. creepová zkouška v tahu) a na zkoušky dynamické, kdy na zkušební těleso působí síla proměnná s časem. Takováto zkouška je např. únavová.

Pro stanovení mechanických hodnot zkoumaných plastů v této diplomové práci byla použita zkouška tahem a ohybem.

2.6.1 Stanovení tahových vlastností dle ČSN ISO 527

Zkouška tahem je jednou ze základních a nejdůležitějších zkoušek. Slouží k určování chování plastu při tahovém namáhání. Zkouška se provádí na zkušebních tělesech přesně definovaných tvarů a rozměrů, které se upínají do čelistí zkušebního stroje (viz. obr. 27). Působením síly dochází k deformaci tělesa, které se prodlužuje konstantní rychlostí a to do okamžiku přetržení, nebo do předem zvolené hodnoty prodloužení. Během zkoušky se

zaznamenává zatížení působící na těleso a odpovídající prodloužení. Výsledkem zkoušky jsou tzv. napěťové a deformační charakteristiky, které znázorňujeme do grafu.

Poměrné prodloužení ε - vyjadřuje zvětšení délky zkušebního tělesa vzhledem k počáteční délce. Vyjadřuje se v procentech, případně jako bezrozměrný údaj.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (1.1)$$

ε ...poměrné prodloužení [%]

L_0 ...počáteční délka zkušebního tělesa [mm]

ΔL_0 ...změna délky zkušebního tělesa [mm]

Tahové napětí σ - je tahová síla vztažená na jednotku plochy původního průřezu pracovní části zkušebního tělesa v průběhu zkoušky. Vyjadřuje se v MPa.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1.2)$$

σ ...tahové napětí [MPa]

F ...naměřená hodnota síly [N]

S_0 ...plocha počátečního průřezu tělesa [mm²]

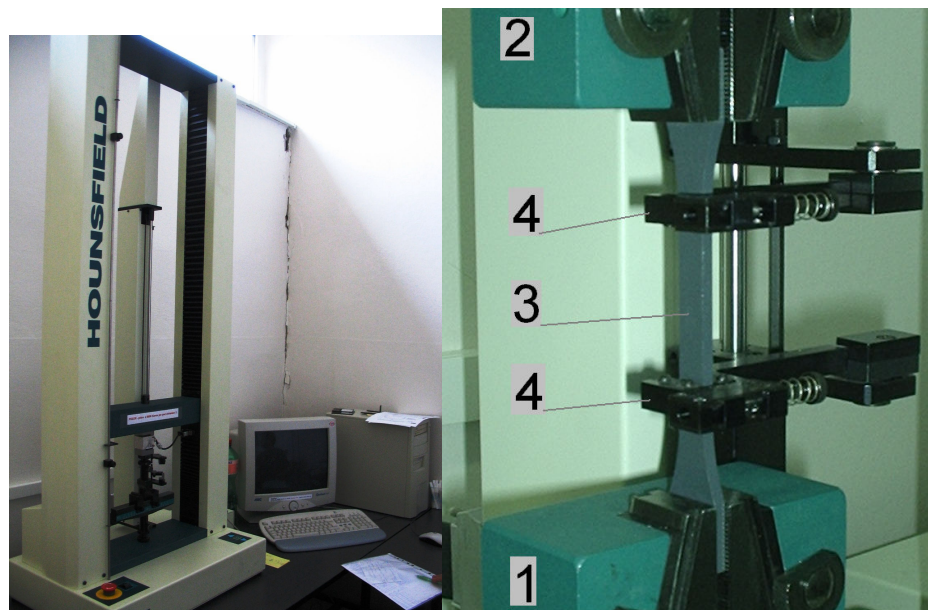
Modul pružnosti v tahu E – konstanta úměrnosti mezi poměrným prodloužením a působícím napětím při namáhání vzorku. Vyjadřuje se v MPa.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (1.3)$$

E ...modul pružnosti v tahu [MPa]

σ_1 ...napětí [MPa] při poměrném prodloužení $\varepsilon_1 = 0,0005$

σ_2 ...napětí [MPa] při poměrném prodloužení $\varepsilon_2 = 0,0025$



Obr. 27: Stroj Hounsfield H10KT (1 – pevná část, 2 – pohyblivá čelist, 3 – vzorek, 4 – průtahoměr)

2.6.2 Stanovení ohybových vlastností polymerů dle ČSN ISO 178

Zkouška ohybem bývá důležitá pro ty materiály, které jsou při použití namáhány na ohyb, což je velmi častý příklad. Provádí se na zkušebním tělese, které je podepřené jako nosník dvěma podpěrami, jejichž rozpětí je nastaveno tak, aby vyhovovalo vztahu $L=(16\pm 1)h$, kde h značí tloušťku tělesa v mm. Dále je zatěžováno trnem, který se pohybuje konstantní rychlostí (viz. obr. 28). Podle způsobu zatěžování může jít o tříbodový, případně o čtyřbodový ohyb. Těleso je prohýbáno tak dlouho, dokud se nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty deformace. Výsledkem je síla působící na těleso, která byla měřena v průběhu ohybové zkoušky. Její velikost a tím i výsledek zkoušky závisejí na struktuře plastů, rychlosti zatěžování a např. na podmínkách kondicionace.

Pevnost v ohybu – maximální napětí v ohybu, které materiál snese během zkoušky

Napětí v ohybu σ_{fM} – jmenovité napětí vnějšího povrchu zkušebního tělesa uprostřed rozpětí podpěr. Vyjadřuje se v MPa.

$$\sigma_{fM} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1.6)$$

σ_{fM} ...napětí v ohybu [MPa]

F ...zatěžující síla [N]

L ...rozpětí podpěr [mm]

b ...šířka zkušebního tělesa [mm]

h ...tloušťka zkušebního tělesa [mm]

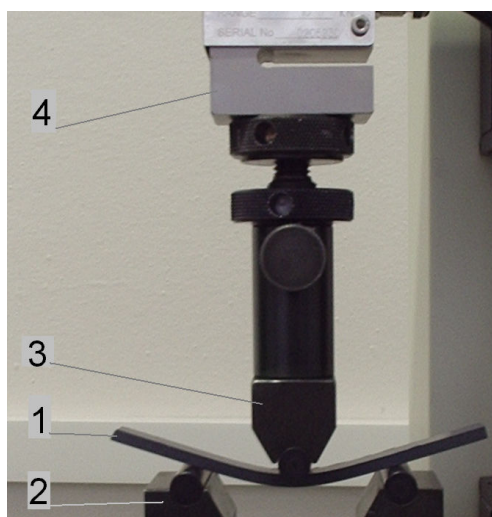
Modul pružnosti v ohybu E je konstanta úměrnosti mezi poměrným prodloužením a působícím napětím při namáhání vzorku. Vyjadřuje se v Mpa.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (1.7)$$

E ...modul pružnosti v ohybu [MPa]

σ_1 ...napětí v ohybu [MPa] při hodnotě poměrného prodloužení $\varepsilon_1 = 0,0005$

σ_2 ...napětí v ohybu [MPa] při hodnotě poměrného prodloužení $\varepsilon_2 = 0,0025$



Obr. 28: zkouška ohybem (1- vzorek, 2 – podpěry, 3 – trn, 4 – snímač)

2.7 Stanovení rázové a vrubové houževnatosti metodou

Charpy dle ČSN ISO 179

Touto zkouškou se hodnotí křehkost a houževnatost zkušebních těles. Výsledek zkoušky je opět závislý na podmínkách výroby těles (struktura plastu, podmínkách kondicionace atd.).

Podstatou zkoušky je přeražení zkušebního tělesa umístěného vodorovně na podpěrách úderem rázového kladiva, přičemž směr rázu je veden středem vzdáleností mezi podpěrami (viz. obr. 29). V případě opatření zkušebního tělesa vrubem vrubovačkou (obr. 30), dopadá kladivo na stranu protilehlou vrubu. Směr rázu vzhledem k rozměrům tělesa může být veden na užší (typ e) nebo na širší (typ f) stranu. Pro vrstevnaté plasty je ještě nutno rozlišovat ráz ve směru rovnoběžném, nebo kolmém na rovinu vrstev.

- **Rázová houževnatost Charpy zkušebního tělesa bez vrubu a_U** – je rázová energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa bez vrubu, vztažená na původní průřez zkušebního tělesa. Vyjadřuje se v kJ/m^2 .

$$a_U = \frac{W}{h \cdot b} \cdot 10^3 \quad (1.4)$$

a_U ...rázová houževnatost tělesa bez vrubu [kJ/m^2]

W ...korigovaná energie spotřebovaná na
přeražení tělesa [J]

h ...tloušťka zkušebního tělesa [mm]

b ...šířka zkušebního tělesa [mm]

- **Rázová houževnatost Charpy zkušebního tělesa s vrubem a_{cN}** – je rázová energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa s vrubem, vztažená na původní průřez zkušebního tělesa. Vyjadřuje se v kJ/m^2 .

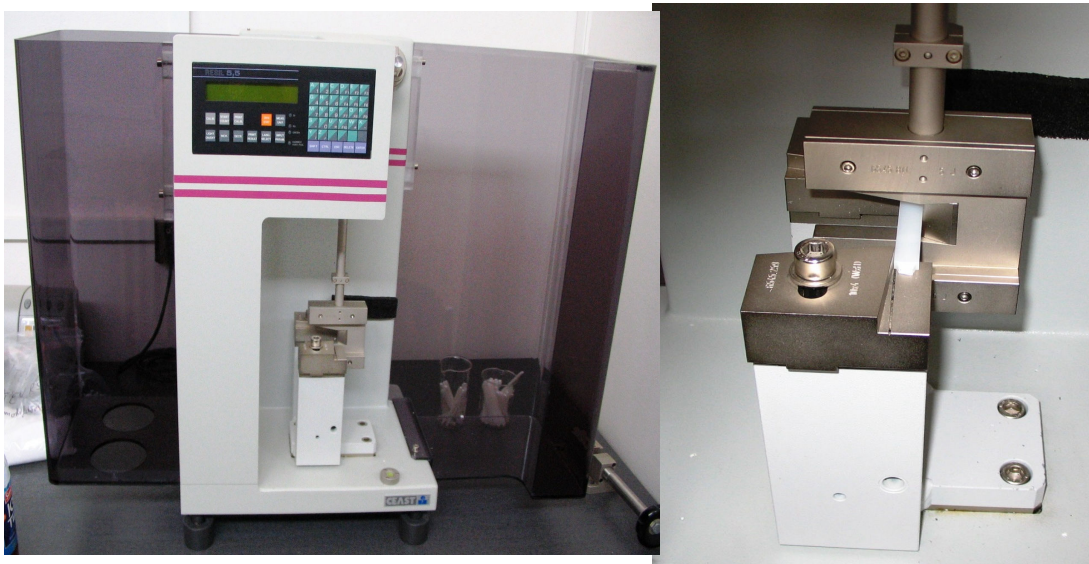
$$a_{cN} = \frac{W}{h \cdot b_N} \cdot 10^3 \quad (1.5)$$

a_{cN} ...rázová houževnatost tělesa s vrubem [kJ/m^2]

W ...korigovaná energie spotřebovaná na
přeražení tělesa [J]

h ...tloušťka zkušebního tělesa [mm]

b_N ...šířka zkušebního tělesa s vrubem [mm]



Obr. 29: Zkušební stroj CEAST (vlevo), detail (vpravo)



Obr. 30: Vrubovačka CEAST

2.8 Výrobní smrštění dle ČSN EN ISO 294-4

Výrobní smrštění je rozdíl mezi rozměry suchého zkušebního tělesa a rozměry tvarové dutiny v které bylo těleso vstřikováno. Všechny rozměry se měří při pokojové teplotě, po uplynutí nejméně 24 hodin po vyrobení, kdy by již měly být rozměry tělesa ustálené. Rozměry tělesa se určují ve středu šířky

a délky zkušebního tělesa, tak jak je naznačeno na obrázku č. 31. Smrštění se pak určí početně ze vztahů

$$s_{Mp} = 100 \cdot \frac{l_c - l_1}{l_c} \quad (1.8)$$

s_{Mp} ...podélné smrštění [mm]

l_c ...délka tvarové dutiny [mm]

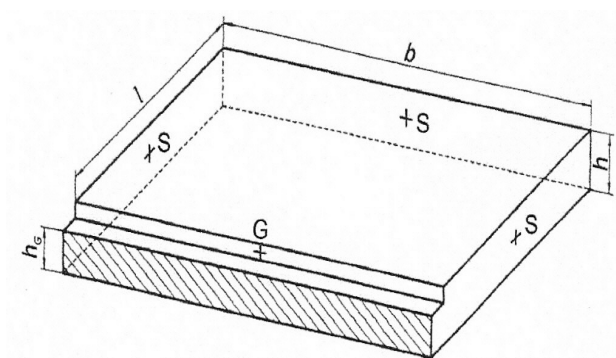
l_1 ...délka zkušebního tělesa [mm]

$$s_{Mn} = 100 \cdot \frac{b_c - b_1}{b_c} \quad (1.9)$$

s_{Mn} ...příčné smrštění [mm]

b_c ...šířka tvarové dutiny [mm]

b_1 ...šířka zkušebního tělesa [mm]



Obr. 31: Způsob měření zkušebního tělesa, šrafovaná část je zbytek ústí vtoku

2.9 Hodnocení tokových vlastností taveniny

Znalost tokových vlastností polymerů je velmi důležitá pro zpracování plastů. Slouží ke zjištění stejnoměrné kvality vstupního materiálu, ke kontrole technologických parametrů, pro návrh šneků a výpočet pohonů, pro návrh vtokového systému a tvaru výrobku.

Tokové vlastnosti plastů lze nejjednodušeji vyjádřit Newtonovým zákonem, který platí pro newtonovské (ideálně plastické) kapaliny, jejichž viskozita je na smykové rychlosti nezávislá. Platí pouze při extrémně nízkých smykových rychlostech a pro zředěné roztoky polymerů.

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dx} = \eta \cdot D \quad (2.0)$$

τ ...smykové napětí [Pa]

η ...viskozita [Pa.s]

D ...smyková rychlost [s^{-1}]

Chování tavenin plastů při toku nelze popsat Newtonovým zákonem, protože dynamická viskozita, která je charakterizována tímto zákonem, není konstanta, ale závisí na smykové rychlosti.

Proto byl experimentálně stanoven vztah, který platí při vyšších smykových rychlostech, kdy dochází k poklesu viskozity, závislé na okamžitých hodnotách smykového napětí a smykové rychlosti. Tento vztah se nazývá Mocninový zákon.

$$D = \phi \cdot \tau^m \quad (2.1)$$

D ...smyková rychlost [s^{-1}]

ϕ ...koeficient tekutosti [s^{-1}]

τ ...smykové napětí [Pa]

m ...konstanta mocninového zákona [-]

Tokové vlastnosti plastů pak hodnotíme zkouškami:

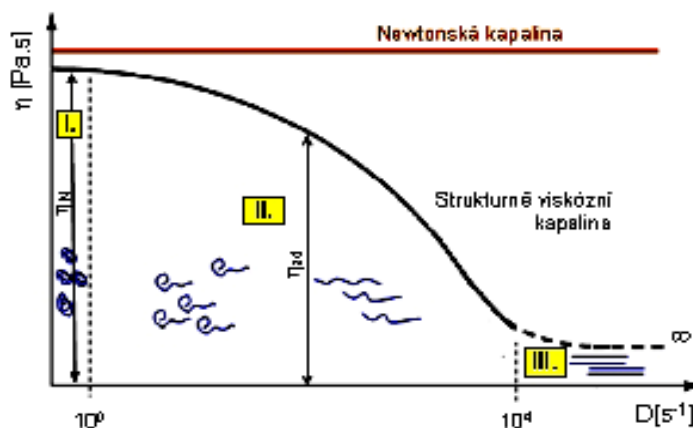
1. Index toku taveniny

- MFR ...hmotnostní index toku taveniny [g/10min]
(melt flow rate)
- MVR ...objemový index toku taveniny [$cm^3/10min$]
(melt volume rate)

2. Tokové křivky – závislost $\tau = f(D)$

3. Spirálová zabíravost polymeru

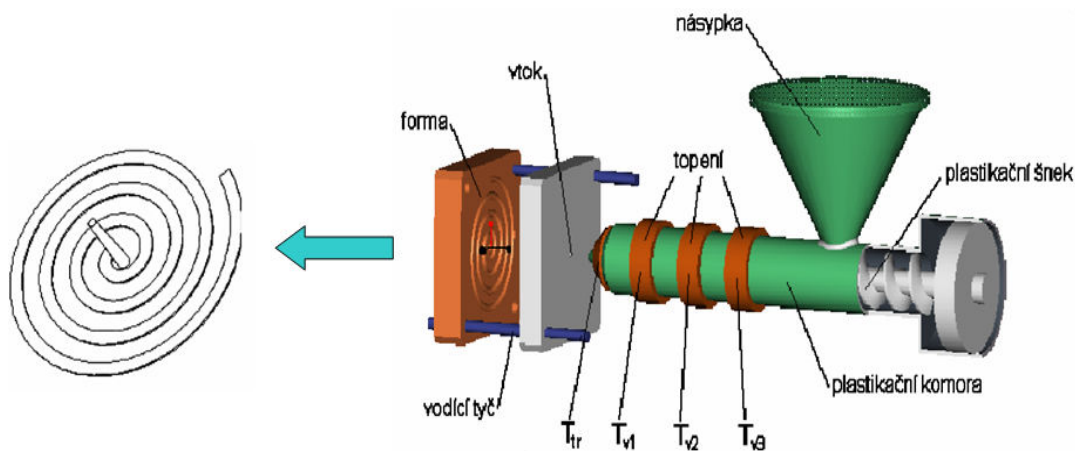
4. Extruzimetrie – reologické konstanty pro daný teplotní interval



Obr. 32: Závislost dynamické viskozity taveniny na smykové rychlosti
oblast I. - Newtonovský viskózní tavenina, oblast II. - strukturně viskózní tavenina,
oblast III. - nekonečný smyk

2.9.1 Spirálová zkouška zabíhavosti dle PN 5700

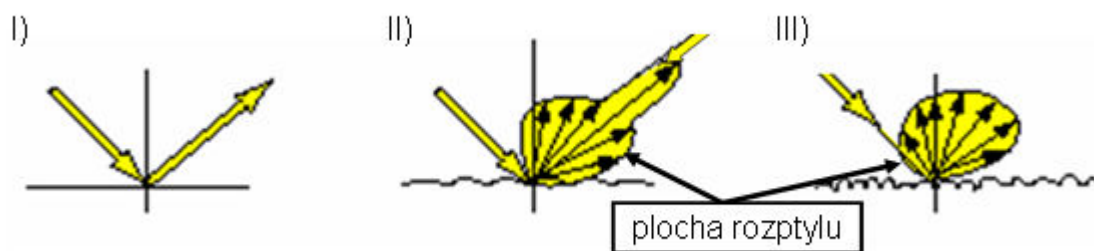
Spirálová zkouška zabíhavosti taveniny (viz. obr. 33) je technologická zkouška, která umožňuje hodnotit tokové chování taveniny polymeru za podmínek, které jsou prakticky stejné jako podmínky při vlastním zpracování. Dává možnost porovnat zabíhavost různých plastů za stejných technologických podmínek vstřikování, nebo obráceně dává možnost porovnat vliv změny technologických parametrů na taveninu, popř. vliv aditiv. Probíhá tak, že roztavený plast je vstřikován při daných technologických podmínkách do formy, jejíž dutina má tvar Archimédovy spirály šířky 10 mm a výšky 2 mm nebo 4 mm. Měřítkem této zkoušky je délka spirály.



Obr. 33: Schéma zkoušky spirálové zabíhavosti tavenin plastů a Archimédova spirála

2.10 Měření lesku dle ČSN EN ISO 2813:1994

Tato zkouška nám umožňuje získat optickou veličinu charakterizující povrch zkušebního tělesa, kterou vyjadřujeme podle hodnoty na reflektometru R' (součinitel odrazu). Tato veličina souvisí s leskem povrchu. Musíme ale zohlednit, že lesk není veličinou čistě fyzikální, ale také fyziologicky a psychologicky podmíněnou veličinou. Proto měření lesku není možné, ale je možné měřit intenzitu lesku (podíl, kterým plocha svými reflexními vlastnostmi přispívá k celkovému dojmu lesku). Zkouška začíná kalibrací přístroje (reflektometru) a nastavením úhlu osvětlení podle povrchu měřeného tělesa (20° pro vysoce lesklé povrchy, 60° pro pololesklé, 85° pro povrch s nízkým leskem). Poté reflektometr umístíme na povrch zkušebního tělesa (obr. 35) a odečteme z přístroje hodnotu, která udává součinitel odraženého světla. Ten nám potom slouží k posouzení lesku tělesa.



Obr. 34: Druhy odrazů: I) lesklý povrch - zrcadlový odraz, II) pololesklý povrch - zrcadlový a difusní obraz, III) drsný povrch - difusní odraz



Obr. 35: přístroj k měření lesku TriGloss 20, 60, 85

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Popis zkoušených materiálů

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání vlastností materiálu ELAN XP 515 s materiály, které se běžně používají v automobilovém průmyslu. Oproti těmto plastům by měl mít PP/PS ELAN XP 515 hlavní výhodu v matném povrchu, který získáme ihned po vyjmutí z formy bez následných povrchových úprav, jako je např. lakování. Tím by se výrazně zlevnila výroba plastových dílů, které se dnes musejí pro zlepšení kvality povrchu dále povrchově upravovat. Při použití materiálu PP/PS ELAN XP 515 by se pak podle výrobce dosáhlo úspory až kolem 50% z celkových nákladů na výrobu. Proto byl tento materiál porovnáván s běžnými plasty, které se používají na výrobu interiérových dílů. Porovnávané plasty jsou:

- Magnum 3616 (ABS)
- Daplen FSC5031 (PP)
- BorcomTMBG055AI (PP)
- ELAN^{XP} 515 barevná varianta bílá a černá (PP/PS)

3.1.1 ELAN XP 515

Tento materiál je vyroben ze směsi PP (polypropylenu) a PS (polystyrenu) za pomoci nanoaditiva Nanofil SE 3000 (bentonit s obsahem 60 – 95% montmorillonitu) firmou Putsch Kunststoffe. Vykazuje velmi dobrou odolnost proti poškrábání, vysokou rázovou houževnatost za nízké teploty a vyšší matnost povrchu oproti běžně používaným materiálům (např. ABS).

Tab. 2: Hodnoty základních vlastností materiálu Elan XP 515

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Hustota	980	kg/m ³	ISO 1183 A
Index toku taveniny(230 °C/2,16kg)	8	g/10 min	ISO 1133
Smrštění	0,6 - 0,8	%	ISO 294-4
Mechanické vlastnosti			
Napětí na mezi kluzu (50mm/min)	20	N/mm ²	DIN 53 455
Pevnost v tahu (50mm/min)	20	N/mm ²	DIN 53 455
Pevnost v trhu	16	N/mm ²	DIN 53 455
Vrubová houževnatost IZOD 23 °C	15	kJ/m ²	ISO 180

Vrubová houževnatost IZOD -20 °C	6	kJ/m ²	ISO 180
Ohybový modul	1500	N/mm ²	DIN EN ISO 178
Ohybové napětí 3,5%	48	N/mm ²	DIN EN ISO 178
Zpracování			
Teplota hmoty	230 - 250	°C	
Teplota formy	40 – 50	°C	
Předsoušení	3hod/80 °C	-	

3.1.2 Daplen FSC5031

Tab. 3: Hodnoty základních vlastností materiálu Daplen FSC5031

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Hustota	905	kg/m ³	ISO 1183
Index toku taveniny (230 °C/2,16kg)	5	g/10 min	ISO 1133
Smrštění	1,5 – 2	%	ISO 294-4
Mechanické vlastnosti			
Napětí na mezi kluzu (50mm/min)	25	MPa	ISO 527-2
Prodloužení na mezi kluzu (50mm/min)	10	%	ISO 527-2
Tahový modul (1mm/min)	1000	MPa	ISO 527-2
Vrubová houževnatost Charpy 23 °C	8	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Zpracování			
Teplota hmoty	210 – 260	°C	
Teplota formy	10 – 30	°C	
Předsoušení	-	-	

3.1.3 Borcom™BG055AI

Polypropylén s vynikající tekutostí, který kombinuje dobrou rázovou houževnatost s vysokou tvrdostí. Používá se k výrobě částí klimatizačních jednotek, rozvodů vzduchu a na výrobky, kde je požadovaná vysoká kvalita povrchu (palubní desky, dveřní výplně).

Tab. 4: Hodnoty základních vlastností materiálu Borcom BG055AI

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Hustota	920	kg/m ³	ISO 1183
Index toku taveniny (230 °C/2,16kg)	22	g/10 min	ISO 1133
Smrštění	1,5	%	ISO 294-4
Mechanické vlastnosti			
Napětí na mezi kluzu (50mm/min)	35	MPa	ISO 527-2
Tahový modul	2000	MPa	ISO 527-2
Vrubová houževnatost Charpy 23 °C	25	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost Charpy -30 °C	10	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Ohybový modul (3-body, 2mm/min)	1850	MPa	ISO 178
Vrubová houževnatost Charpy 23 °C	4	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Vrubová houževnatost Charpy -20 °C	1,5	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Rázová houževnatost Charpy 23 °C	102	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Rázová houževnatost Charpy -20 °C	35	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Zpracování			
Teplota hmoty	210 - 260	°C	
Teplota formy	30 – 50	°C	
Předsoušení	-		

3.1.4 Magnum 3616

Tento materiál je obzvláště vhodný pro automobilové interiéry požadující poddajnost za pokojové teploty. Kombinuje dobrou tvrdost s výbornou rázovou houževnatostí a výbornou tepelnou odolností. Má také výbornou stálost barev. Používá se k výrobě středových panelů a dveřních výplní.

Tab. 5: Hodnoty základních vlastností materiálu Magnum 3616

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Hustota	1050	kg/m ³	ISO 1183B
Index toku taveniny (220 °C/10kg)	5,5	g/10 min	ISO 1133
Smrštění	0,4 - 0,7	%	ISO 294-4
Mechanické vlastnosti			
Napětí na mezi kluzu (50mm/min)	38	MPa	ISO 527-2
Prodloužení na mezi kluzu (50mm/min)	3	%	ISO 527-2
Tahový modul	2200	MPa	ISO 527-2
Vrubová houževnatost Charpy 23 °C	25	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost Charpy - 30 °C	10	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Ohybový modul (3-body, 2mm/min)	2100	MPa	ISO 178
Ohybové napětí (3-body, 2mm/min)	65	MPa	ISO 178
Zpracování			
Teplota formy	40 – 60	°C	
Předsoušení	4hod/80 °C	-	

3.2 Popis přípravy vzorků pro zkoušky

Pro zkoušky mechanických vlastností a rázové houževnatosti metodou Charpy byla zkušební tělesa připravena na vstřikovacím stroji ENGEL ES 25/50 s použitím formy, která měla jednu desku s tvarovou dutinou a druhou desku hladkou. Deska s tvarovou dutinou pak byla měněna dle požadovaného tvaru zkušebního tělesa. Vzorky byly vstřikovány až po ustálení všech technologických parametrů (tj. min. po 5 vstřikovacích cyklech). Technologické parametry nastavené na vstřikovacím stroji při přípravě vzorků jsou uvedené v tab. 6 - 10.

Tab. 6: Technologické parametry při přípravě zkušenních těles - ELAN XP 515 bílý

Údaj pro parametr	Jednotka	Smrštění 2mm	Smrštění 4mm	Tah	Ráz + ohyb	Vzhledová deska
Teplota formy	°C	45				
Teplota hmoty	°C	230				
Sušení	hod/°C	3/80				
Doba vstřiku	s	25	25	20	20	10
Doba chlazení	s	10	10	15	15	15
Doba šnekování	s	8	11	11	7	11
Doba celk. cyklu	s	60	60	60	60	45
Vstřikovací tlak	MPa	5	5	5	5	5

Tab. 7: Technologické parametry při přípravě zkušenních těles - ELAN XP 515 černý

Údaj pro parametr	Jednotka	Smrštění 2mm	Smrštění 4mm	Tah	Ráz + ohyb	Vzhledová deska
Teplota formy	°C	45				
Teplota hmoty	°C	230				
Sušení	hod/°C	3/80				
Doba vstřiku	s	25	25	20	20	10
Doba chlazení	s	10	10	15	15	15
Doba šnekování	s	7	10	10	6	11
Doba celk. cyklu	s	60	60	60	60	45
Vstřikovací tlak	MPa	5	5	5	5	5

Tab. 8: Technologické parametry při přípravě zkušenních těles - Daplen FSC 5031

Údaj pro parametr	Jednotka	Smrštění 2mm	Smrštění 4mm	Tah	Ráz + ohyb	Vzhledová deska
Teplota formy	°C	28				
Teplota hmoty	°C	230				
Sušení	hod/°C	-				
Doba vstřiku	s	25	25	20	20	10
Doba chlazení	s	10	10	15	15	15
Doba šnekování	s	9	16	15	10	14
Doba celk. cyklu	s	60	60	60	60	45
Vstřikovací tlak	MPa	5	5	5	5	5

Tab. 9: Technologické parametry při přípravě zkušenních těles - BorcomTMBG055AI

Údaj pro parametr	Jednotka	Smrštění 2mm	Smrštění 4mm	Tah	Ráz + ohyb	Vzhledová deska
Teplota formy	°C	40				
Teplota hmoty	°C	230				
Sušení	hod/°C	-				
Doba vstřiku	s	25	25	20	20	10
Doba chlazení	s	10	10	15	15	15
Doba šnekování	s	11	20	18	9	15
Doba celk. cyklu	s	60	60	60	60	45
Vstřikovací tlak	MPa	5	5	5	5	5

Tab. 10: Technologické parametry při přípravě zkušebních těles - Magnum 3616

Údaj pro parametr	Jednotka	Smrštění 2mm	Smrštění 4mm	Tah	Ráz + ohyb	Vzhledová deska
Teplota formy	°C	60				
Teplota hmoty	°C	260				
Sušení	hod/°C	4/80				
Doba vstřiku	s	15	15	10	10	10
Doba chlazení	s	15	15	25	25	15
Doba šnekování	s	8	13	12	8	12
Doba celk. cyklu	s	60	60	60	60	45
Vstřikovací tlak	MPa	5	5	6	6	5

3.4 Spirálová zkouška zabíhavosti taveniny

Vzorky byly připraveny na stroji Engel ES 25/50, ve kterém byla upnuta forma ve tvaru spirály se značkami, které od sebe byly navzájem vzdáleny 0,5 cm. Po ustálení technologických parametrů pak byla podle značek změřena délka jednotlivých vzorků (viz. obr. 36). Technologické parametry byly až na teplotu formy pro všechny materiály stejné. Naměřené délky spirál jsou uvedené v tab. 11 a výsledky graficky porovnány v obr. 37.

Parametry zkoušky:

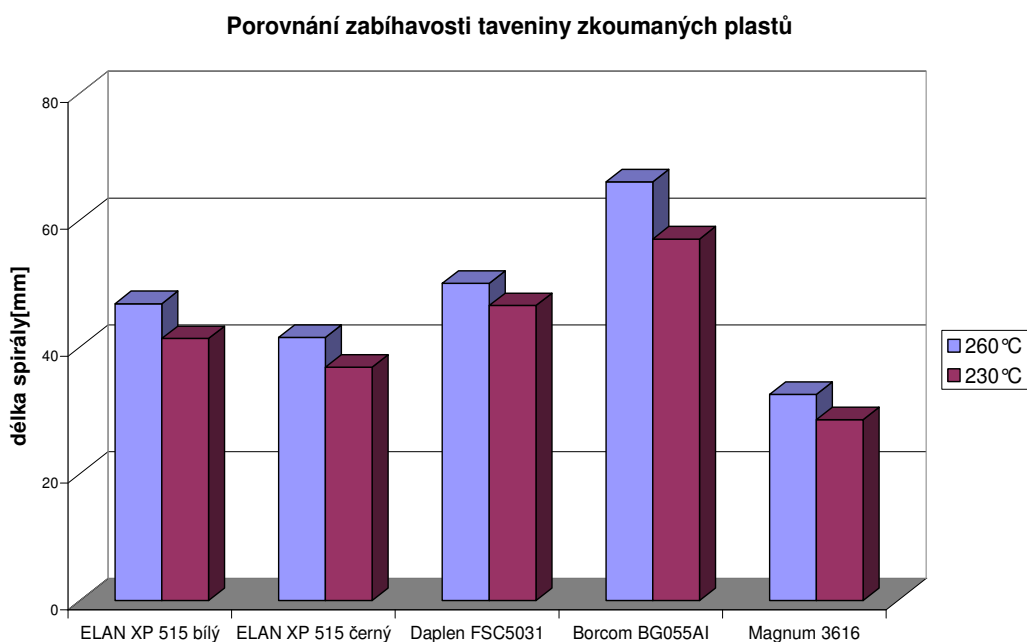
- teplota taveniny a) 260 °C
 b) 230 °C
- vstřikovací tlak 5 MPa
- doba vstřiku 10 s
- doba chlazení 15 s
- teplota formy ELAN XP 515 - 41 °C
 Daplen FSC5031 - 28 °C
 Borcom BG055AI - 40 °C
 Magnum 3616 - 60 °C



Obr. 36: Vzorek ve tvaru spirály

Tab. 11: Délky spirál zkoušených materiálů

materiál	ELAN XP 515 bílý	ELAN XP 515 černý	Daplen FSC5031	Borcom BG055Al	Magnum 3616
260 [°C]	46,8	41,5	50,0	66,0	32,5
230 [°C]	41,3	36,8	46,5	57,0	28,5



Obr. 37: Porovnání zabíhavosti taveniny u zkoumaných plastů

Diskuse: Nejlepší zabíhavost vykazuje materiál Borcom BG055Al následován materiály Daplen FSC5031 a ELAN XP 515. Nejhorší zabíhavost má Magnum 3616, u kterého tavenina zatekla do formy tvaru spirály o 2-krát kratší vzdálenost než byla u materiálu Borcom BG055Al.

3.5 Tahové vlastnosti

Zkouška tahem byla provedena dle ČSN EN ISO 527-1,2 na stroji Hounsfield H10KT s průtahoměrem 100 RS a programem QMAT (v. 3.89). Parametry zkoušky byly pro všechny materiály stejné.

Parametry zkoušky:

- typ zkušebního tělesa dle ČSN EN ISO 527-2 je 1A, průřez 4x10mm (viz. obr. 38)

- tělesa byla kondicionována po dobu min. 24 hodin v prostředí zkušební místnosti
(teplota vzduchu 23 °C)
- rychlost zkoušení 50 $mm \cdot min^{-1}$
- počet zkušebních těles byl 10 pro každý materiál
- předzatížení 5,0 N

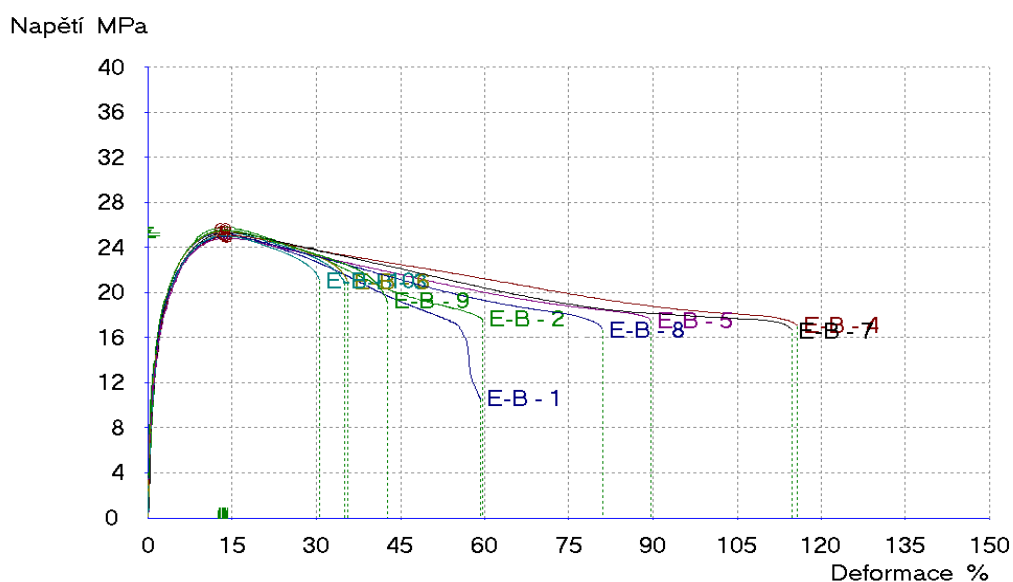


Obr. 38: Zkušební tělesa pro zkoušku tahem

V následujících tabulkách č. 12 - 16 jsou uvedena naměřená data. Ke každé tabulce jsou graficky znázorněny průběhy ohybových křivek pro vzorky vyrobené z příslušného plastu (viz. obr. 39 - 43).

Tab. 12: Tahové vlastnosti - ELAN XP 515 bílý

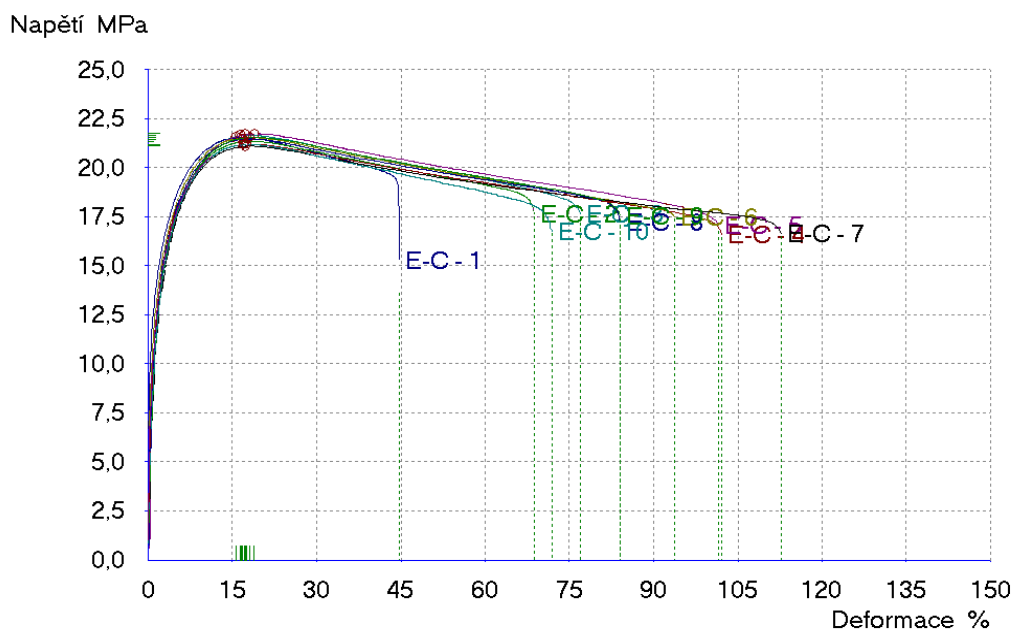
vzorek	σ_M [MPa]	ε_M [%]
E-B-1	25,25	12,64
E-B-2	25,75	12,88
E-B-3	25,38	12,84
E-B-4	25,03	14,10
E-B-5	24,83	14,00
E-B-6	25,44	12,92
E-B-7	25,28	13,50
E-B-8	24,98	13,80
E-B-9	25,53	13,65
E-B-10	25,03	13,28
průměrná hodnota	25,250	13,361
směrodatná odchylka	0,270	0,497



Obr. 39: Tahové křivky pro vzorky z materiálu ELAN XP 515 bílý

Tab. 13: Tahové vlastnosti - ELAN XP 515 černý

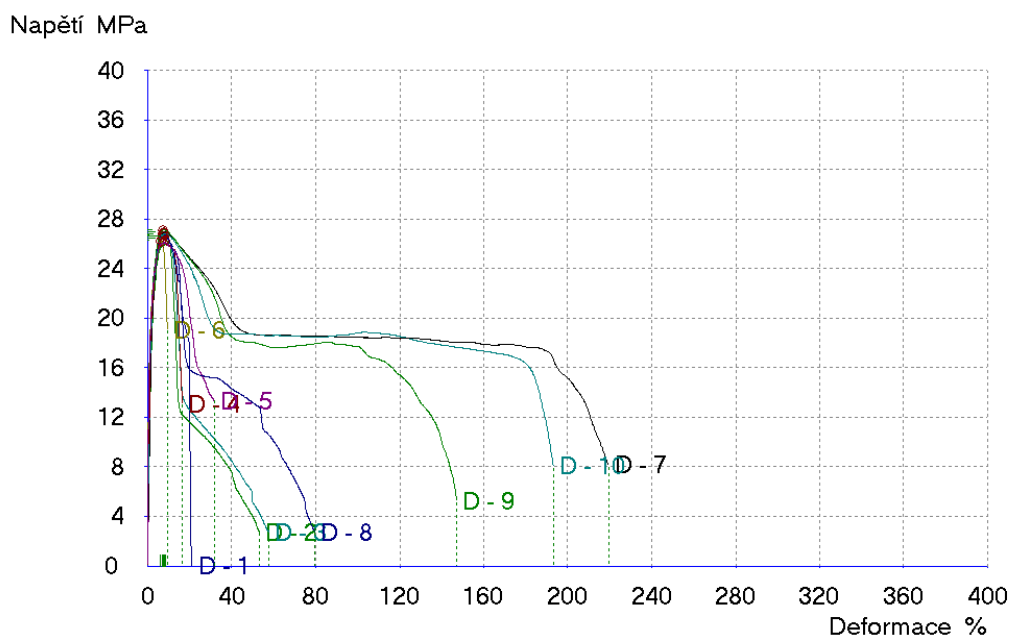
vzorek	σ_M [MPa]	ε_M [%]
E-C-1	21,53	15,68
E-C-2	21,33	17,12
E-C-3	21,65	16,40
E-C-4	21,18	16,80
E-C-5	21,73	18,90
E-C-6	21,53	16,60
E-C-7	21,10	17,25
E-C-8	21,45	16,90
E-C-9	21,55	18,00
E-C-10	21,18	17,04
průměrná hodnota	21,423	17,069
směrodatná odchylka	0,204	0,834



Obr. 40: Tahové křivky pro vzorky z materiálu ELAN XP 515 černý

Tab. 14: Tahové vlastnosti - Daplen FSC5031

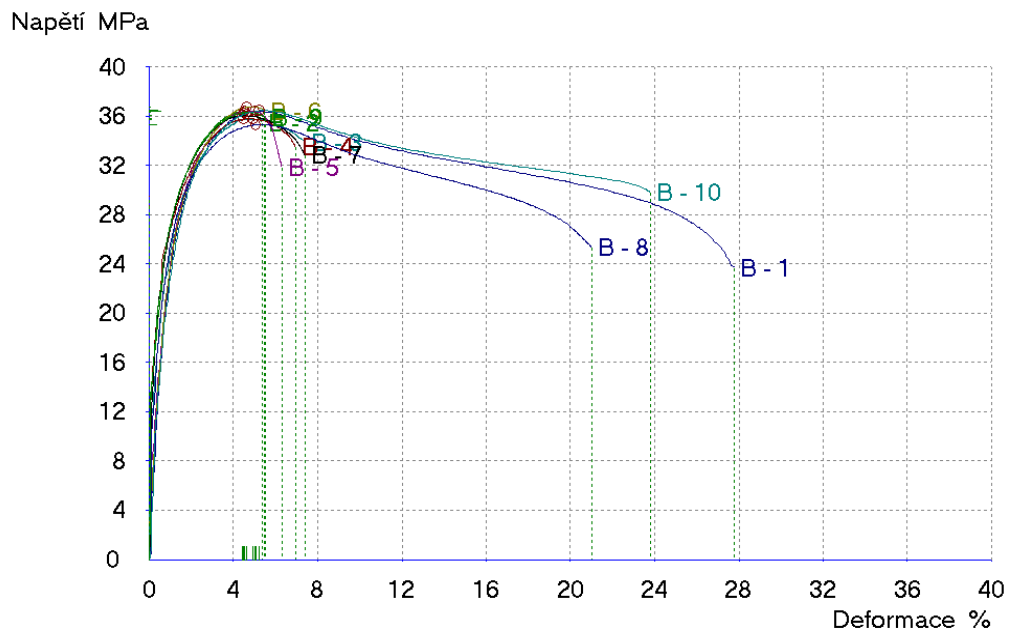
vzorek	σ_M [MPa]	ε_M [%]
D-1	26,47	7,25
D-2	26,31	8,08
D-3	26,81	7,20
D-4	26,72	7,58
D-5	26,03	8,52
D-6	26,19	6,12
D-7	26,94	7,75
D-8	26,75	7,44
D-9	27,09	7,20
D-10	26,81	7,60
průměrná hodnota	26,612	7,474
směrodatná odchylka	0,328	0,600



Obr. 41: Tahové křivky pro vzorky z materiálu Daplen FSC5031

Tab. 15: Tahové vlastnosti - Borcom BG055AI

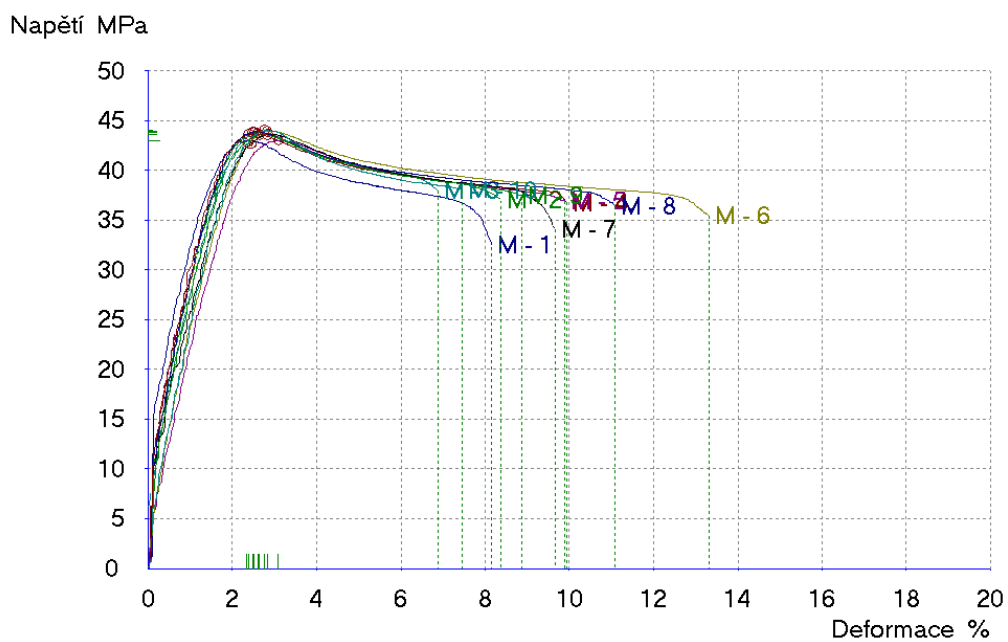
vzorek	σ_M [MPa]	ε_M [%]
B-1	36,38	5,00
B-2	36,38	4,49
B-3	35,74	4,92
B-4	35,78	4,48
B-5	36,41	4,54
B-6	36,75	4,62
B-7	36,04	4,40
B-8	35,29	5,05
B-9	36,26	4,46
B-10	36,45	5,22
průměrná hodnota	36,148	4,718
směrodatná odchylka	0,411	0,283



Obr. 42: Tahové křivky pro vzorky z materiálu Borcom BG055AI

Tab. 16: Tahové vlastnosti - Magnum 3616

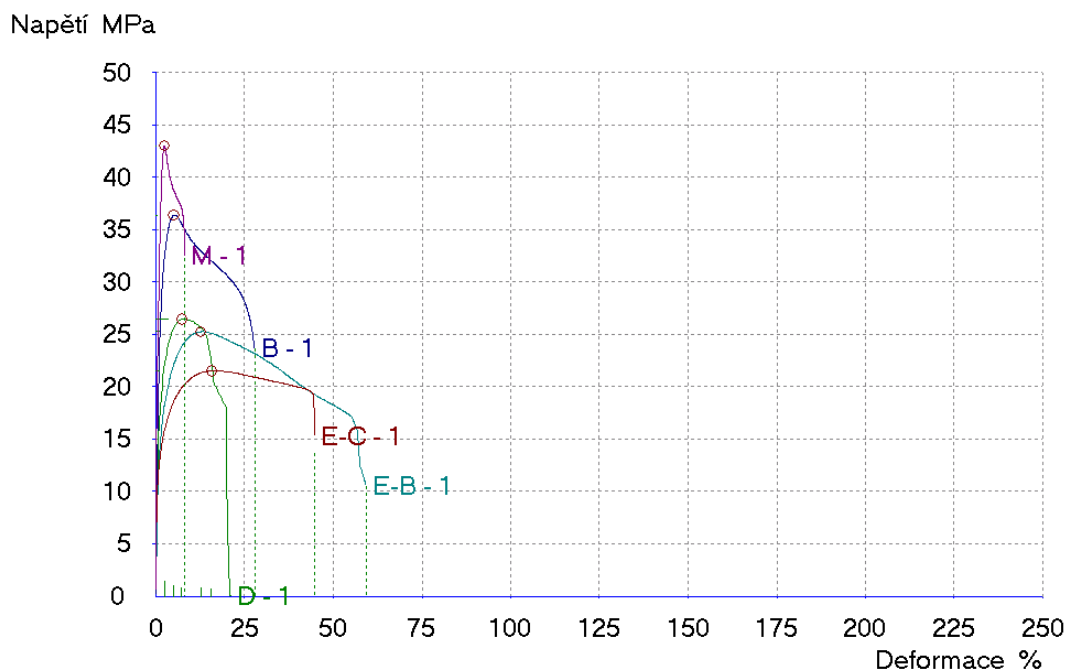
vzorek	σ_M [MPa]	ε_M [%]
M-1	43,00	2,34
M-2	43,80	2,49
M-3	43,75	2,60
M-4	43,60	2,39
M-5	43,00	3,09
M-6	43,90	2,82
M-7	43,60	2,84
M-8	43,85	2,52
M-9	43,55	2,64
M-10	44,00	2,75
průměrná hodnota	43,605	2,647
směrodatná odchylka	0,331	0,219



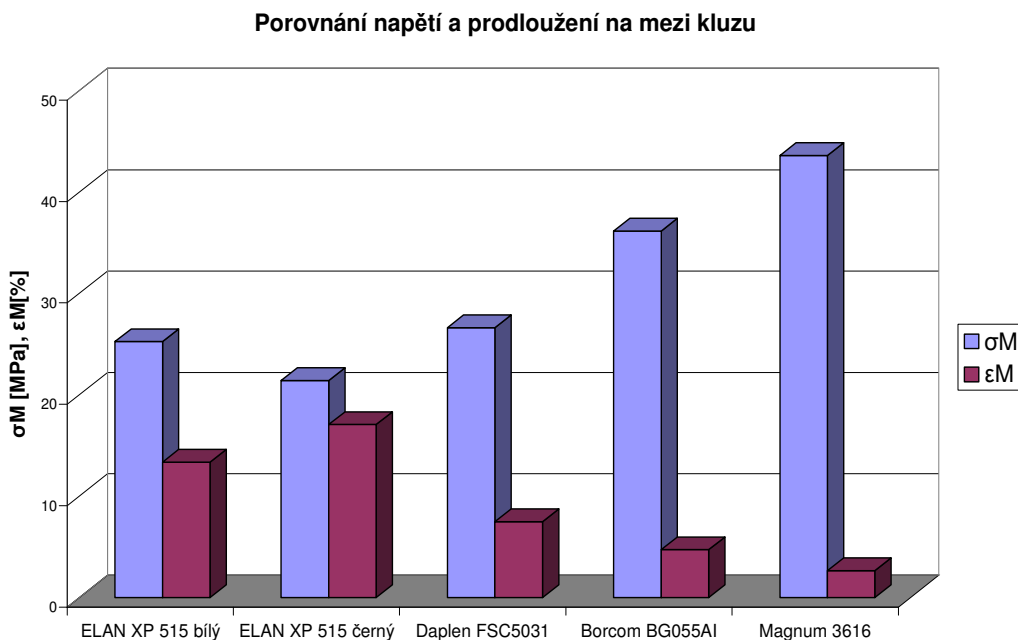
Obr. 43: Tahové křivky pro vzorky z materiálu Magnum 3616

3.5.1 Hodnocení tahových vlastností

Obr. 44 zachycuje průběhy vybraných tahových křivek jednotlivých plastů. Na obr. 45 je provedeno porovnání meze pevnosti v tahu a prodloužení na mezi kluzu mezi jednotlivými materiály.



Obr 44: Porovnání tahových křivek zkoušených materiálů



Obr. 45: Porovnání σ_M a ϵ_M u zkoumaných plastů

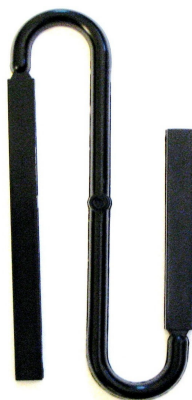
Diskuse: Nejvyšší mez pevnosti v tahu vykazují vzorky z materiálu Magnum 3616, dále pak následují materiály Borcom BG055Al a FSC5031. Nejnižší hodnotu meze pevnosti v tahu, která je o polovinu menší než u materiálu Magnum3616, mají vzorky z materiálu ELAN XP 515. Oproti tomu největší poměrné prodloužení na mezi kluzu mají vzorky z materiálu ELAN XP 515 černý, jejichž hodnota je 7x větší než hodnota u vzorků z materiálu Magnum 3616. Z grafu je vidět, že u zkoumaných materiálů s rostoucí mezí pevnosti v tahu klesá poměrné prodloužení na mezi kluzu.

3.6 Ohybové vlastnosti

Zkouška mechanických vlastností v ohybu byla provedena dle ČSN EN ISO 178 na stroji Hounsfield H10KT s programem QMAT (v. 3.89). Rozměry těles byly změřeny digitálním mikrometrem Mitutoyo. Parametry zkoušky byly pro všechny materiály stejné.

Parametry zkoušky:

- zkušební tělesa o délce 120 mm a průřezu 4x10mm (viz. obr. 46)
- tělesa byla kondicionována po dobu min. 24 hodin v prostředí zkušební místnosti (teplota vzduchu 23 °C)
- rychlost zkoušení $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
- rozpětí podpěr 64 mm
- počet zkušebních těles byl 5 pro každý materiál
- předzatížení 5,0 N

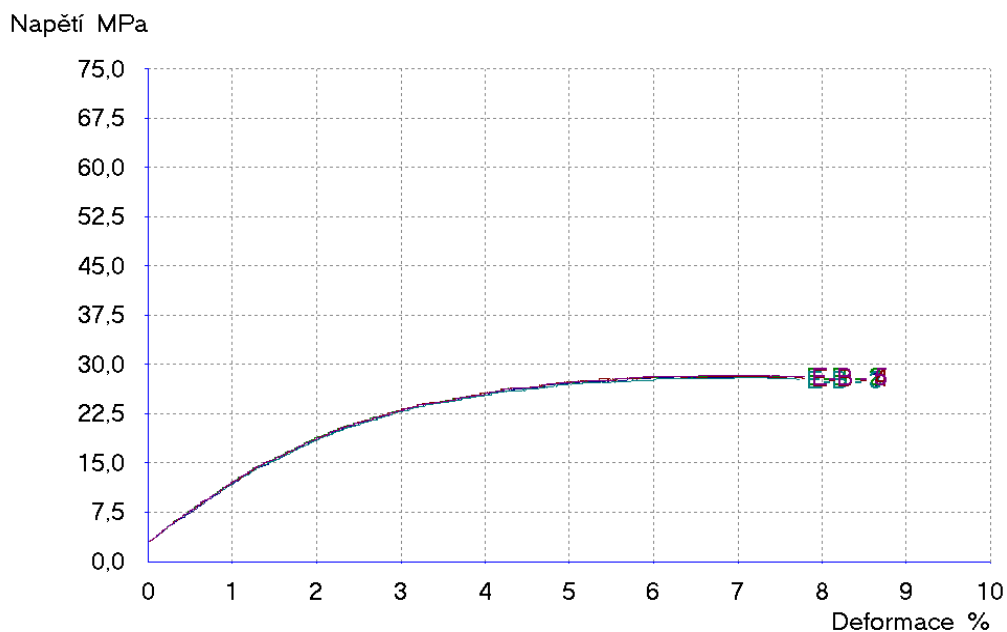


Obr. 46: Zkušební tělesa pro zkoušku ohybem (umístěna vlevo)

V následujících tabulkách č. 16 - 20 jsou uvedena naměřená data. Ke každé tabulce jsou graficky znázorněny průběhy ohybových křivek pro vzorky vyrobené z příslušného plastu (viz. obr. 47 - 51).

Tab. 16: Ohybové vlastnosti - ELAN XP 515 bílý

vzorek	σ_{fM} [MPa]	σ_{fC} [MPa]	E_f [MPa]
E-B-1	28,20	24,17	952,80
E-B-2	28,38	24,42	1039,46
E-B-3	28,02	24,18	1039,46
E-B-4	28,20	24,42	1039,46
E-B-5	28,38	24,42	1039,46
průměrná hodnota	28,236	24,322	1022,128
směrodatná odchylka	0,135	0,120	34,664

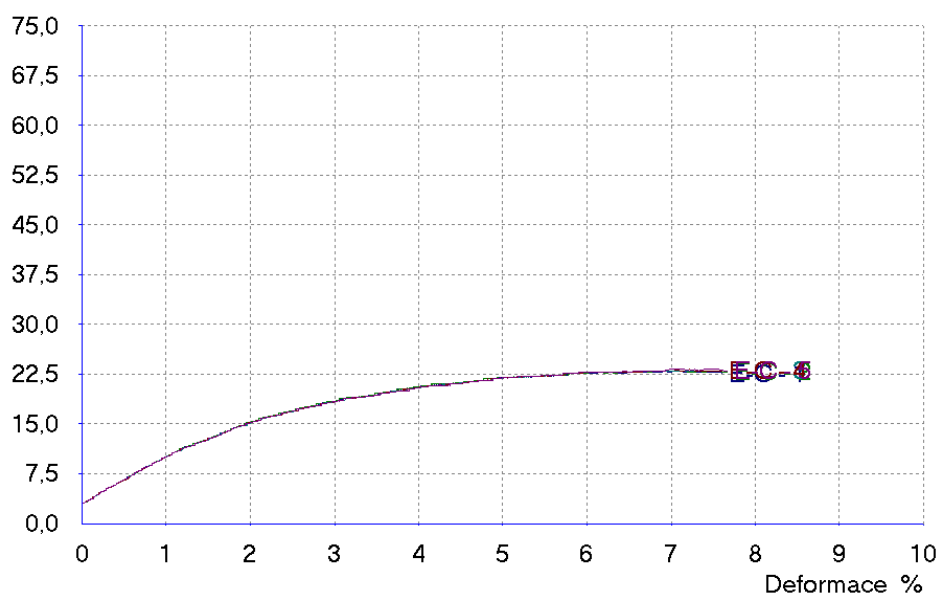


Obr. 47: Ohybové křivky pro vzorky z materiálu ELAN XP 515 bílý

Tab.17: Ohybové vlastnosti - ELAN XP 515 černý

vzorek	σ_{fM} [MPa]	σ_{fC} [MPa]	E_f [MPa]
E-C-1	22,98	19,38	759,72
E-C-2	22,98	19,62	866,21
E-C-3	22,98	19,38	750,72
E-C-4	23,22	19,38	750,72
E-C-5	23,22	19,38	866,21
průměrná hodnota	23,076	19,428	798,716
směrodatná odchylka	0,118	0,096	55,207

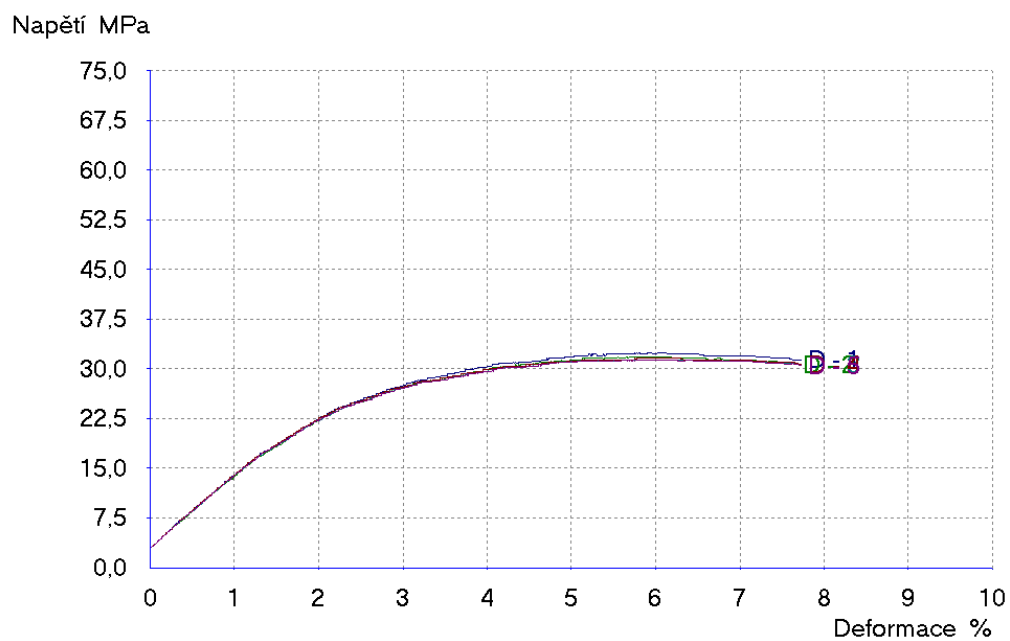
Napětí MPa



Obr. 48: Ohybové křivky pro vzorky z materiálu ELAN XP 515 černý

Tab. 18: Ohybové vlastnosti - Daplen FSC5031

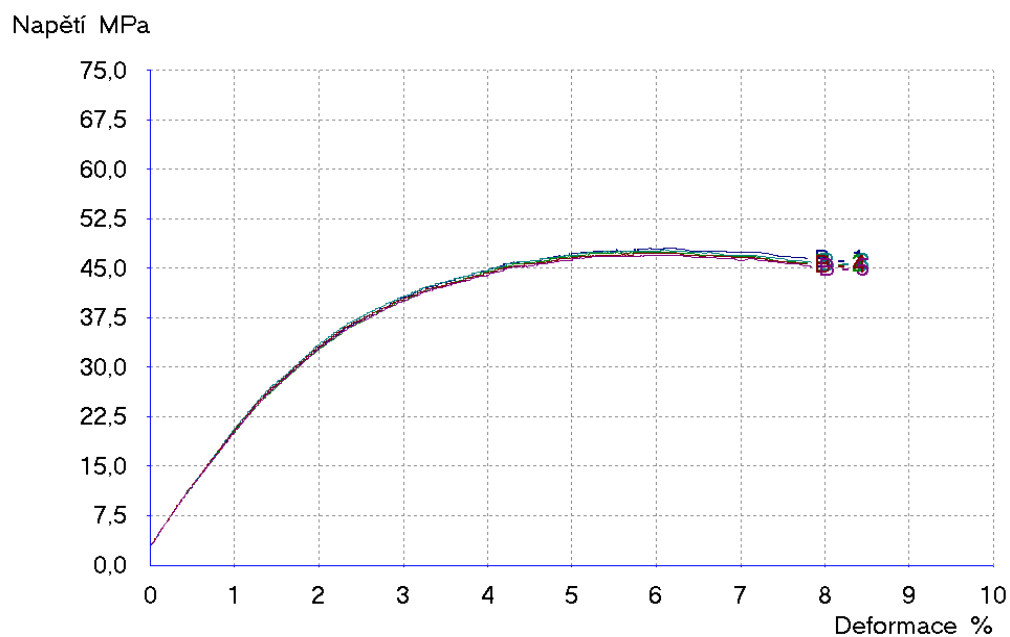
vzorek	σ_{fM} [MPa]	σ_{fC} [MPa]	E_f [MPa]
D-1	32,40	28,98	1154,96
D-2	31,80	28,62	1247,57
D-3	31,38	28,62	1154,96
D-4	31,62	28,62	1154,96
D-5	31,38	28,38	1154,96
průměrná hodnota	31,716	28,644	1173,482
směrodatná odchylka	0,377	0,192	37,044



Obr. 49: Ohybové křivky pro vzorky z materiálu Daplen FSC5031

Tab. 19: Ohybové vlastnosti - Borcom BG055AI

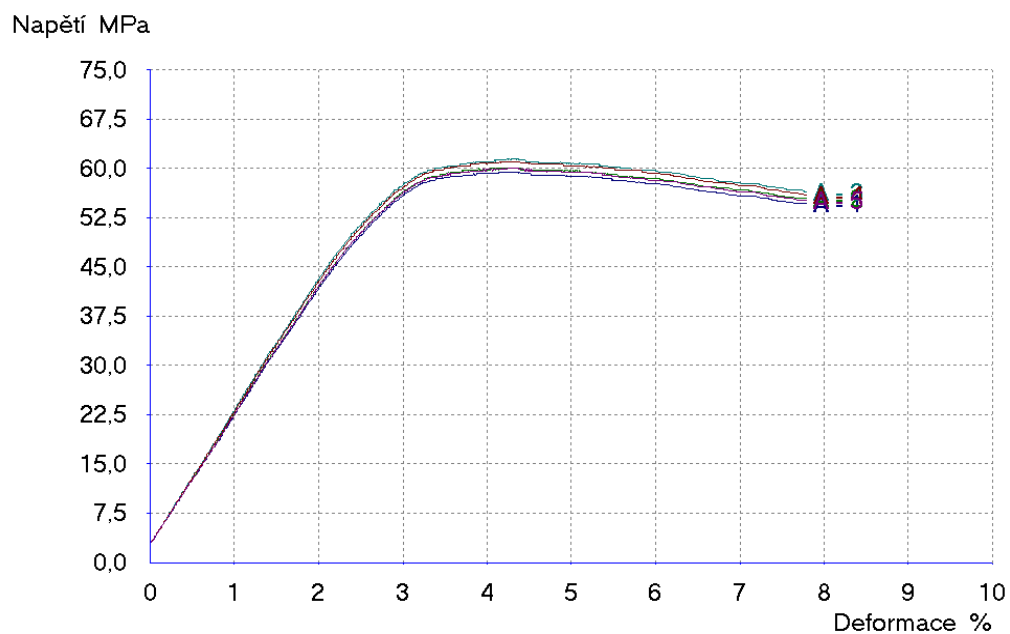
vzorek	σ_{fM} [MPa]	σ_{fC} [MPa]	E_f [MPa]
B-1	48,00	42,78	1905,68
B-2	47,40	42,60	2021,17
B-3	47,82	42,78	2021,17
B-4	47,22	42,42	1905,68
B-5	46,98	42,18	1934,55
průměrná hodnota	47,484	42,552	1957,650
směrodatná odchylka	0,377	0,229	52,924



Obr. 50: Ohybové křivky pro vzorky z materiálu Borcom BG055AI

Tab. 19: Ohybové vlastnosti - Magnum 3616

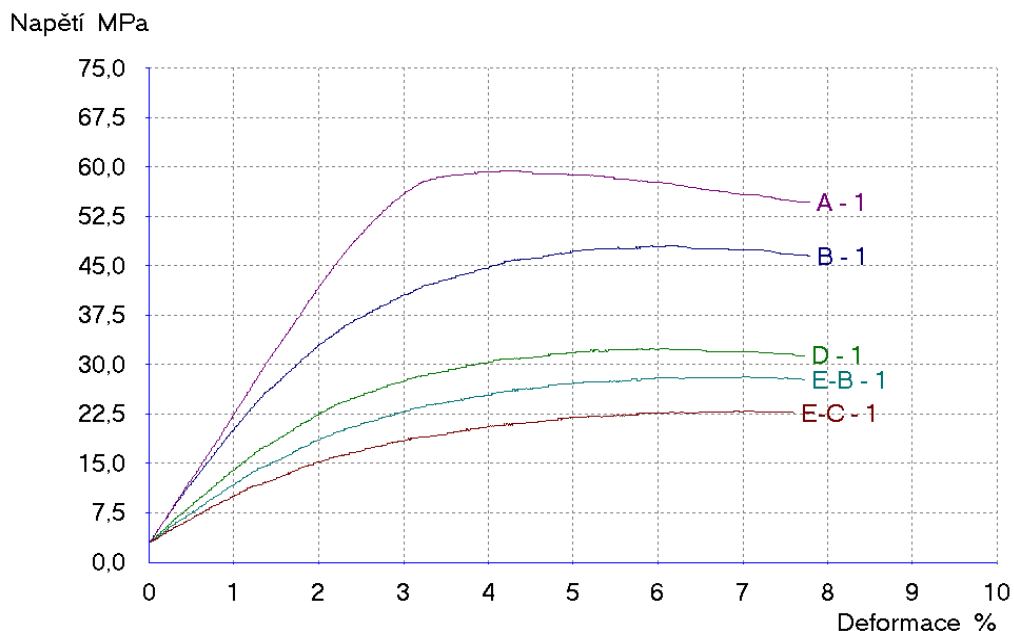
vzorek	σ_{fM} [MPa]	σ_{fC} [MPa]	E_f [MPa]
A-1	59,40	58,60	2021,17
A-2	60,00	59,00	2023,58
A-3	61,40	60,20	2023,58
A-4	61,00	60,00	2095,77
A-5	60,00	59,00	1985,60
průměrná hodnota	60,450	59,36	2029,939
směrodatná odchylka	0,792	0,625	35,935



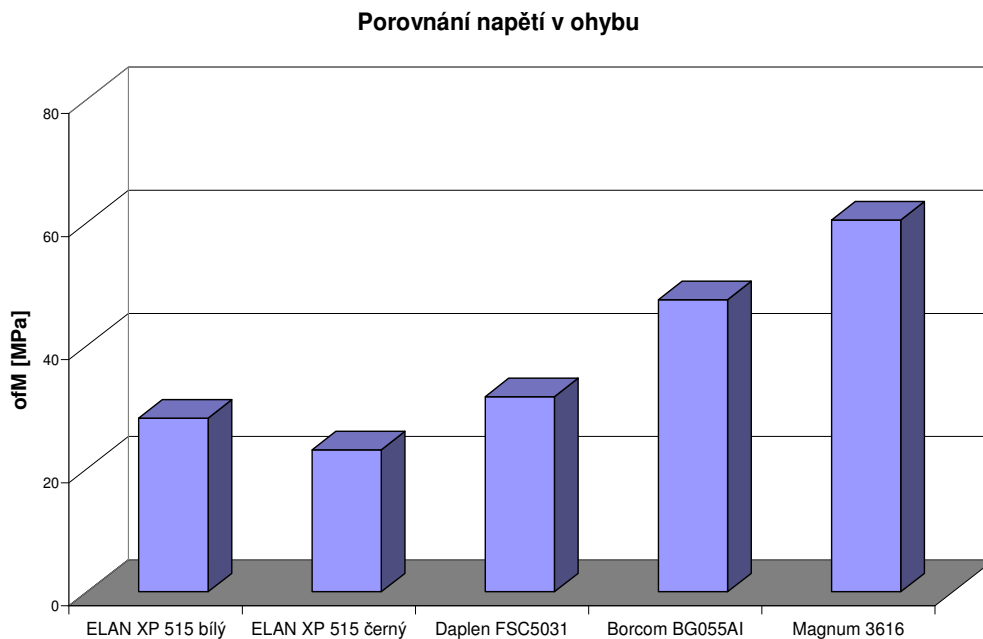
Obr. 51: Ohybové křivky pro vzorky z materiálu Magnum 3616

3.6.1 Hodnocení ohybových vlastností

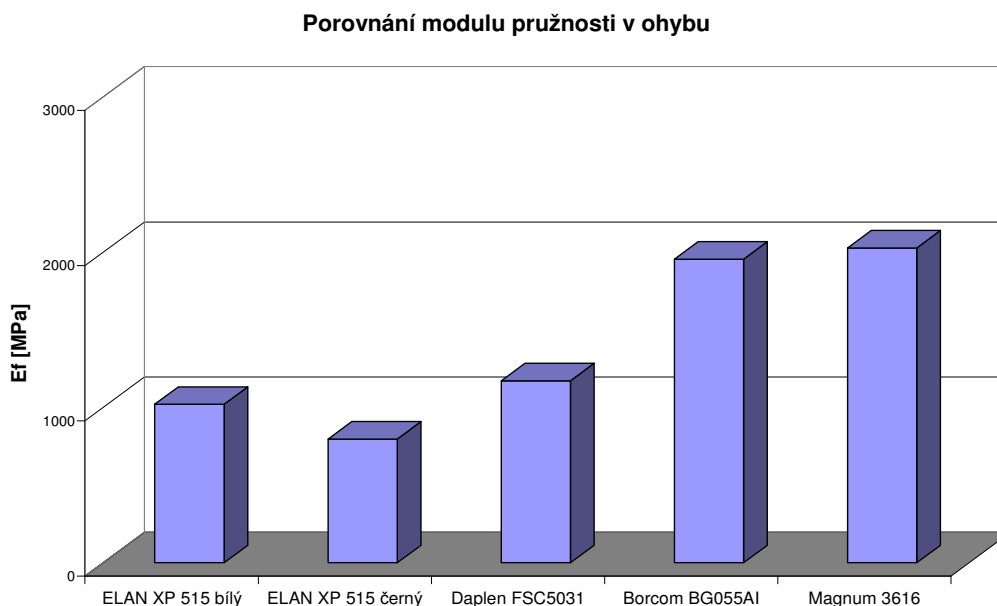
Obr. 52 ukazuje průběhy vybraných tahových křivek jednotlivých plastů. Na obr. 53 a 54 je provedeno porovnání meze pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu jednotlivých plastů mezi sebou.



Obr. 52: Porovnání ohybových křivek zkoumaných plastů



Obr. 53: Porovnání σ_{fM} zkoumaných plastů



Obr. 54: Porovnání E_f zkoumaných plastů

Diskuse: Nejvyšší mez pevnosti v ohybu byla zjištěna u materiálu Magnum 3616. Tato hodnota je o polovinu vyšší než hodnota meze pevnosti v ohybu která byla naměřená u vzorků z materiálu ELAN XP 515. Tyto vzorky mají též nejmenší modul pružnosti v ohybu, který je opět o polovinu menší než u vzorků z materiálů Magnum 3616 a Borcom BG055Al. Z této zkoušky vychází nejlépe materiál Magnum 3616 díky nejvyšším hodnotám meze pevnosti a modulu pružnosti v ohybu. Nejhorší ohybové vlastnosti má ELAN XP 515.

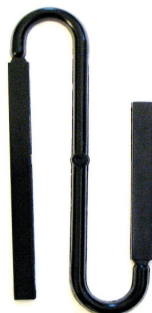
3.7 Stanovení vrubové houževnatosti metodou Charpy

Zkouška pro stanovení vrubové houževnatosti byla provedena metodou Charpy dle ČSN EN ISO 179 na zkušním stroji Resil 5.5J CEAST se softwarovým vybavením WINMFT, který byl vybaven kladivem Charpy s příslušnou potencionální energií. Na přípravu vrubů byla použita mechanická vrubovačka CEAST s digitálním úchylkoměrem s přesností 0,001 mm.

Parametry zkoušky:

- zkušební tělesa o délce 80 mm a průřezu 4x10mm s vrubem dle ISO 179/1eA (viz. obr. 55)

- první polovina zkušebních tělesa byla kondicionována po dobu min. 24 hodin v prostředí zkušební místnosti (teplota vzduchu 23 °C), druhá polovina byla kondicionována v mrazícím zařízení (teplota – 15 °C)
- počet zkušebních těles byl 10 pro každý materiál
- nominální energie kyvadla pro každý materiál byla určena tak, aby byla v rozsahu 10% až 80% kapacity kyvadla
- rychlost rázu $2,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 55: Zkušební těleso pro vrubovou zkoušku (umístěno vpravo)

3.7.1 Vrubová houževnost pro 23 °C

V tabulkách 21 - 25 jsou zaznamenána hodnoty vrubové houževnatosti při teplotě 23 °C provedené metodou Charpy. Označení písmenem C (v sloupci popisujícím typ přeražení) značí úplné přeražení zkušebního vzorku.

Tab. 21: Vrubová houževnatost při 23 °C - ELAN XP 515 bílý

vzorek	W [J]	a_{cA} [$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$]	typ přeražení
1	0,357	11,156	C
2	0,355	11,094	C
3	0,362	11,313	C
4	0,355	11,094	C
5	0,359	11,219	C
6	0,361	11,281	C
7	0,372	11,625	C
8	0,338	10,563	C
9	0,363	11,344	C
10	0,351	10,969	C
průměrná hodnota	0,357	11,166	
směrodatná odchylka	0,008	0,263	
nominální energie kyvadla - 2J			

Tab. 22: Vrubová houževnatost při 23 °C - ELAN XP 515 černý

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,387	12,094	C
2	0,409	12,781	C
3	0,382	11,938	C
4	0,403	12,594	C
5	0,323	10,094	C
6	0,332	10,375	C
7	0,336	10,500	C
8	0,394	12,313	C
9	0,374	11,688	C
10	0,380	11,875	C
průměrná hodnota	0,372	11,625	
směrodatná odchylka	0,029	0,911	
nominální energie kyvadla - 2J			

Tab. 23: Vrubová houževnatost při 23 °C - Daplen FSC5031

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,335	10,469	C
2	0,316	9,875	C
3	0,326	10,188	C
4	0,325	10,156	C
5	0,342	10,688	C
6	0,336	10,500	C
7	0,340	10,625	C
8	0,311	9,719	C
9	0,328	10,250	C
10	0,317	9,906	C
průměrná hodnota	0,328	10,238	
směrodatná odchylka	0,010	0,315	
nominální energie kyvadla - 2J			

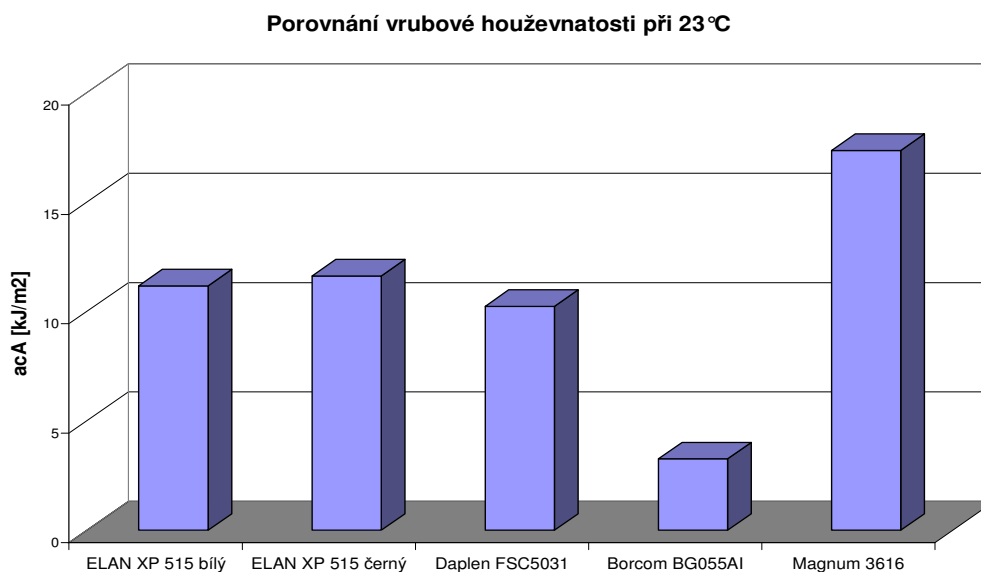
Tab. 24: Vrubová houževnatost při 23 °C - Borcom BG055Al

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,097	3,031	C
2	0,111	3,469	C
3	0,103	3,219	C
4	0,107	3,344	C
5	0,101	3,156	C
6	0,095	3,250	C
7	0,112	3,500	C
8	0,115	3,594	C
9	0,100	3,125	C
10	0,104	3,250	C
průměrná hodnota	0,105	3,266	
směrodatná odchylka	0,006	0,197	
nominální energie kyvadla - 0,5J			

Tab. 25: Vrubová houževnatost při 23 °C - Magnum 3616

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,582	18,188	C
2	0,575	17,969	C
3	0,568	17,750	C
4	0,519	16,219	C
5	0,533	16,656	C
6	0,575	17,969	C
7	0,561	17,531	C
8	0,548	17,125	C
9	0,539	16,844	C
10	0,557	17,406	C
průměrná hodnota	0,556	17,366	
směrodatná odchylka	0,020	0,611	
nominální energie kyvadla - 2J			

3.7.1.1 Porovnání vrubové houževnatosti při 23 °C



Obr. 56: Porovnání vrubové houževnatosti a_{cA} zkoumaných plastů při 23 °C

3.7.2 Vrubová houževnost pro -15 °C

V tabulkách 26 - 30 jsou zaznamenána hodnoty vrubové houževnatosti při teplotě -15 °C provedené metodou Charpy. Označení písmenem C (v sloupci popisujícím typ přeražení) značí úplné přeražení zkušebního vzorku.

Tab. 26: Vrubová houževnatost při -15 °C - ELAN XP 515 bílý

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,204	6,375	C
2	0,206	6,438	C
3	0,264	8,250	C
4	0,253	7,906	C
5	0,223	6,969	C
6	0,255	7,969	C
7	0,213	6,656	C
8	0,229	7,156	C
9	0,209	6,531	C
10	0,239	7,469	C
průměrná hodnota	0,230	7,172	
směrodatná odchylka	0,021	0,657	
nominální energie kyvadla - 0,5J			

Tab. 27: Vrubová houževnatost při -15 °C - ELAN XP 515 černý

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,253	7,906	C
2	0,251	7,844	C
3	0,268	8,375	C
4	0,233	7,281	C
5	0,257	8,031	C
6	0,261	8,156	C
7	0,276	8,625	C
8	0,260	8,125	C
9	0,254	7,938	C
10	0,268	8,375	C
průměrná hodnota	0,258	8,066	
směrodatná odchylka	0,011	0,350	
nominální energie kyvadla - 0,5J			

Tab. 28: Vrubová houževnatost při -15 °C - Daplen FSC5031

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,161	5,031	C
2	0,171	5,344	C
3	0,179	5,594	C
4	0,170	5,313	C
5	0,162	5,063	C
6	0,159	4,969	C
7	0,173	5,406	C
8	0,172	5,375	C
9	0,164	5,125	C
10	0,158	4,938	C
průměrná hodnota	0,167	5,216	
směrodatná odchylka	0,007	0,208	
nominální energie kyvadla - 0,5J			

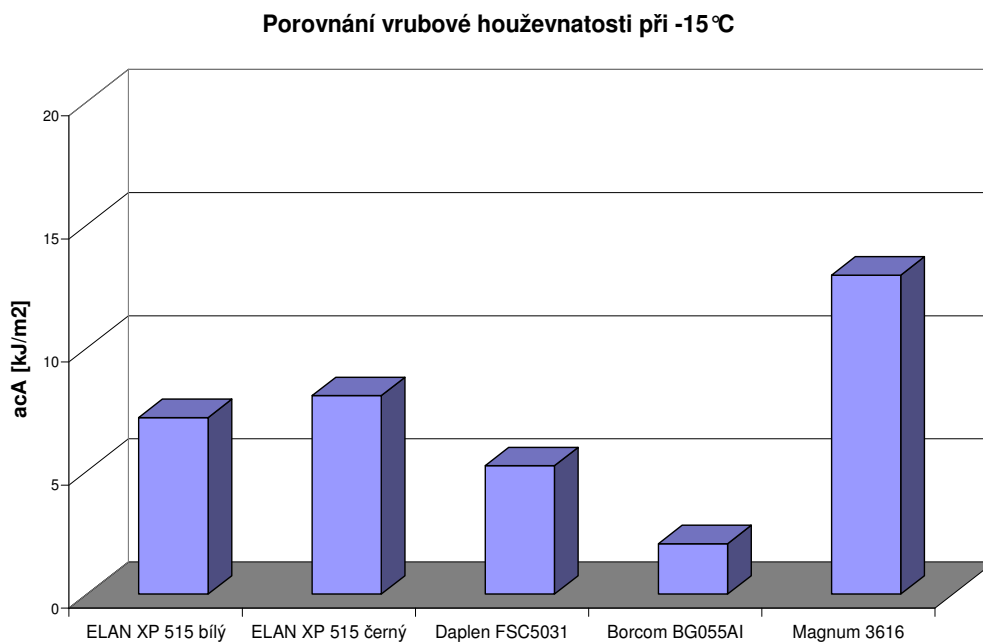
Tab. 29: Vrubová houževnatost při -15 °C - Borcom BG055AI

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,061	1,906	C
2	0,070	2,188	C
3	0,072	2,250	C
4	0,059	1,844	C
5	0,063	1,969	C
6	0,078	2,438	C
7	0,071	2,219	C
8	0,057	1,781	C
9	0,059	1,844	C
10	0,065	2,031	C
průměrná hodnota	0,066	2,047	
směrodatná odchylka	0,007	0,206	
nominální energie kyvadla - 0,5J			

Tab. 30: Vrubová houževnatost při -15 °C - Magnum 3616

vzorek	W [J]	a_{cA} [kJ · m ⁻²]	typ přeražení
1	0,427	13,344	C
2	0,399	12,469	C
3	0,415	12,969	C
4	0,406	12,688	C
5	0,430	13,438	C
6	0,411	12,844	C
7	0,394	12,313	C
8	0,427	13,344	C
9	0,417	13,031	C
10	0,423	13,219	C
průměrná hodnota	0,415	12,966	
směrodatná odchylka	0,012	0,366	
nominální energie kyvadla - 2J			

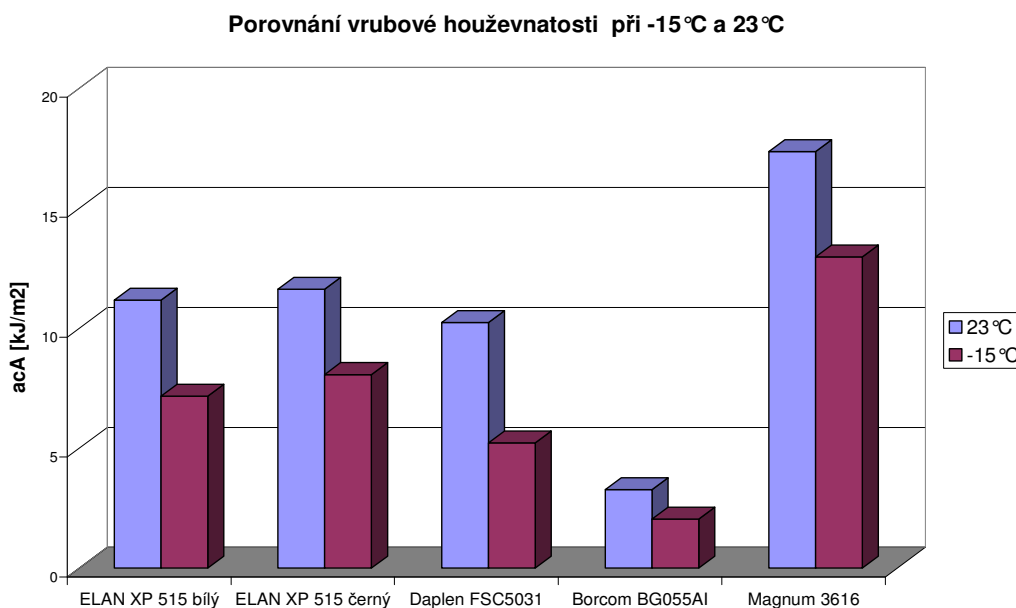
3.7.2.1 Porovnání vrubové houževnatosti při -15 °C



Obr. 57: Porovnání vrubové houževnatosti a_{cA} zkoumaných plastů při -15 °C

3.7.3 Hodnocení vrubové houževnatosti

Sloučením obr. 56 a 57 vznikl obr. 58, který slouží k názornějšímu porovnání vrubové houževnatosti při teplotách -15 °C a 23 °C.



Obr. 58: Porovnání vrubové houževnatosti a_{cA} zkoumaných plastů při teplotách 23 °C a -15 °C

Diskuse: U všech těles došlo za obou teplot k přeražení typu C, tj. úplnému přeražení. Nejvyšší rázová pevnost (při obou teplotách) byla zjištěna u vzorků z materiálu Magnum 3616. Tato pevnost byla výrazně vyšší než u ostatních zkoumaných materiálů. Druhou nejvyšší rázovou pevnost za obou teplot měl materiál Elan XP 515. Vzorky z materiálu FSC 5031 měly za teploty 23°C jen nepatrně menší vrubovou houževnatost než materiál ELAN XP 515. Rozdíl mezi těmito dvěma materiály se projevil až při teplotě -15°C, kde byl rozdíl ve vrubové houževnatosti výraznější. Nejhuře ze všech zkoušených materiálů v této zkoušce dopadly vzorky z materiálu Borcom BG055Al, jehož hodnoty byly nejnižší ze všech plastů.

3.8 Stanovení výrobního smrštění

K posouzení výrobního smrštění dle ČSN EN ISO 294-4 bylo použito digitálního úchylkoměru Mitutoyo ID-F150 umístěném ve speciálním měřícím přípravku.

Parametry zkoušky:

- zkušební tělesa o rozměrech 50x50mm a tloušťce 2mm, resp. 4mm (viz. obr. 59)
- zkušební tělesa byla kondicionována po dobu min. 24 hodin v prostředí zkušební místnosti (teplota vzduchu 23°C)
- počet zkušebních těles byl 10 pro každý materiál a tloušťku zkušebních těles
- digitální úchylkoměr byl kalibrován dle etalonu 50x50mm
- rozměry tvarové dutiny viz. tab. 31 a 32



Obr. 59: Zkušební vzorky pro měření smrštění

Tab. 31: Rozměry tvarové dutiny hluboké 2 mm

tvarová dutina	A	B
rozměr tvarové dutiny		
l_c [mm]	50,03	49,96
b_c [mm]	50,00	50,03

Tab. 32: Rozměry tvarové dutiny hluboké 4 mm

tvarová dutina	A	B
rozměr tvarové dutiny		
l_c [mm]	50,03	49,96
b_c [mm]	50,00	50,03

3.8.1 Výrobní smrštění pro destičku tl. 2mm

V následujících tabulkách č. 33 - 37 jsou uvedeny naměřené rozměry destiček o tloušťce 2 mm.

Tab. 33: Rozměr destičky (tloušťka 2mm) - ELAN XP 515 bílý

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,66	49,43	49,61	49,58
2	49,63	49,39	49,62	49,57
3	49,65	49,42	49,63	49,57
4	49,64	49,39	49,64	49,54
5	49,63	49,39	49,65	49,55
6	49,65	49,44	49,64	49,57
7	49,65	49,43	49,67	49,55
8	49,63	49,38	49,63	49,57
9	49,66	49,43	49,65	49,56
10	49,64	49,39	49,64	49,54
průměrná hodnota	49,644	49,409	49,613	49,563
směrodatná odchylka	0,011	0,021	0,016	0,013

Tab. 34: Rozměr destičky (tloušťka 2mm) - ELAN XP 515 černý

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,64	49,40	49,64	49,44
2	49,66	49,43	49,63	49,40
3	49,66	49,40	49,64	49,45
4	49,64	49,39	49,65	49,44
5	49,65	49,41	49,62	49,45
6	49,63	49,39	49,61	49,44
7	49,64	49,40	49,65	49,46
8	49,64	49,40	49,62	49,46
9	49,64	49,40	49,61	49,45
10	49,64	49,42	49,65	49,46
průměrná hodnota	49,644	49,404	49,632	49,445
směrodatná odchylka	0,009	0,012	0,015	0,017

Tab. 35: Rozměr destičky (tloušťka 2mm) – Daplen FSC5031

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,02	48,97	48,91	48,91
2	49,08	49,01	48,91	48,88
3	49,17	49,06	49,10	49,12
4	49,00	48,94	49,08	49,11
5	48,99	48,93	48,94	48,92
6	49,17	49,15	49,03	48,99
7	49,19	49,09	48,96	48,97
8	49,08	49,02	49,05	48,99
9	49,05	48,95	49,07	49,15
10	49,05	48,96	48,98	48,94
průměrná hodnota	49,082	49,008	49,003	48,998
směrodatná odchylka	0,069	0,069	0,068	0,091

Tab. 36: Rozměr destičky (tloušťka 2mm) – Borcom BG055AI

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,42	49,31	49,40	49,40
2	49,44	49,33	49,38	49,41
3	49,41	49,31	49,40	49,39
4	49,40	49,30	49,38	49,41
5	49,41	49,32	49,38	49,39
6	49,40	49,31	49,38	49,40
7	49,40	49,31	49,37	49,41
8	49,41	49,32	49,38	49,39
9	49,39	49,30	49,38	49,38
10	49,42	49,33	49,37	49,39
průměrná hodnota	49,414	49,314	49,382	49,397
směrodatná odchylka	0,013	0,011	0,009	0,010

Tab. 37: Rozměr destičky (tloušťka 2mm) – Magnum 3616

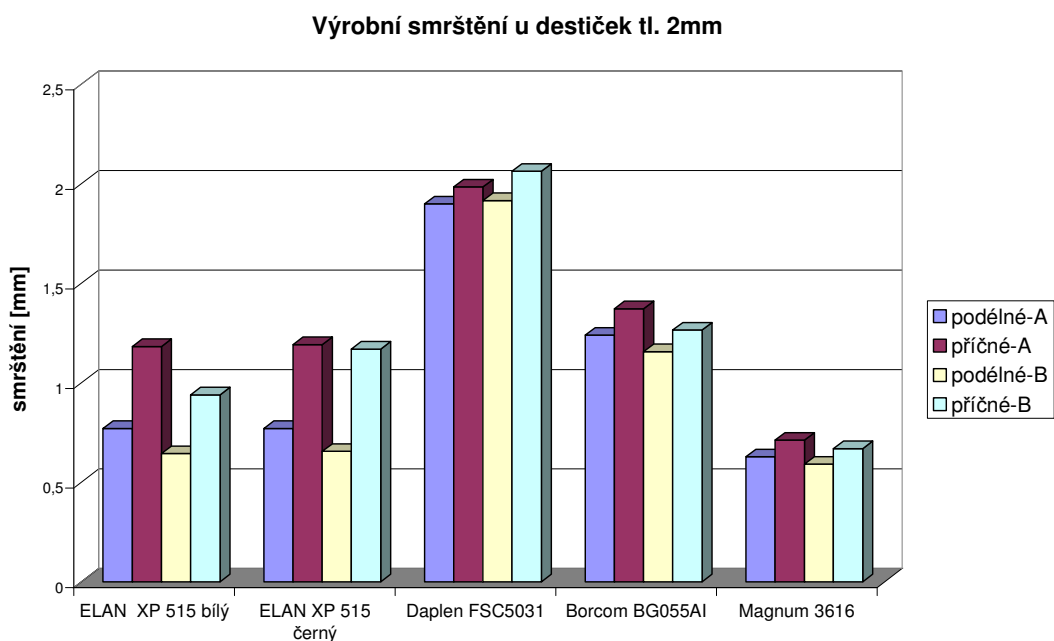
destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,72	49,64	49,67	49,69
2	49,72	49,66	49,67	49,70
3	49,71	49,64	49,67	49,70
4	49,72	49,66	49,67	49,70
5	49,70	49,63	49,66	49,69
6	49,72	49,64	49,67	49,70
7	49,72	49,64	49,67	49,70
8	49,72	49,64	49,65	49,69
9	49,71	49,65	49,66	49,69
10	49,72	49,64	49,66	49,69
průměrná hodnota	49,716	49,644	49,665	49,695
směrodatná odchylka	0,007	0,009	0,007	0,005

3.8.1.1 Porovnání výrobního smrštění pro destičku tl. 2mm

V tab. 38 jsou uvedeny vypočítané hodnoty výrobního smrštění dle vzorců (1.8) a (1.9). Jednotlivé materiály jsou porovnány v obr. 60.

Tab. 38: Výrobní smrštění – tloušťka 2mm

zkoušený plast	podélné smrštění [%]		příčné smrštění [%]	
	těleso A	těleso B	těleso A	těleso B
ELAN XP 515 bílý	0,771 ± 0,022	1,182 ± 0,043	0,644 ± 0,032	0,939 ± 0,026
ELAN XP 515 černý	0,771 ± 0,018	1,192 ± 0,024	0,656 ± 0,031	1,169 ± 0,034
Daplen FSC5031	1,899 ± 0,139	1,984 ± 0,138	1,915 ± 0,136	2,063 ± 0,182
BorcomBG055AI	1,239 ± 0,027	1,372 ± 0,021	1,157 ± 0,019	1,265 ± 0,020
Magnum 3616	0,628 ± 0,013	0,712 ± 0,018	0,591 ± 0,013	0,669 ± 0,010



Obr. 60: Porovnání výrobního smrštění – tloušťka 2mm

3.8.2 Výrobní smrštění pro destičku tl. 4mm

V následujících tabulkách č. 39 - 43 jsou uvedeny naměřené rozměry destiček o tloušťce 4 mm.

Tab. 39: Rozměr destičky (tloušťka 4mm) - ELAN XP 515 bílý

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,46	49,30	49,47	49,32
2	49,45	49,30	49,45	49,32
3	49,45	49,29	49,37	49,31
4	49,45	49,29	49,45	49,33
5	49,45	49,29	49,44	49,33
6	49,45	49,28	49,44	49,32
7	49,44	49,28	49,46	49,31
8	49,45	49,27	49,45	49,33
9	49,44	49,30	49,46	49,32
10	49,44	49,28	49,45	49,31
průměrná hodnota	49,448	49,288	49,444	49,32
směrodatná odchylka	0,006	0,010	0,026	0,008

Tab. 40: Rozměr destičky (tloušťka 4mm) - ELAN XP 515 černý

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,44	49,28	49,46	49,30
2	49,46	49,25	49,47	49,29
3	49,46	49,28	49,46	49,32
4	49,46	49,26	49,46	49,29
5	49,45	49,24	49,48	49,33
6	49,45	49,25	49,46	49,29
7	49,46	49,26	49,48	49,33
8	49,46	49,26	49,47	49,32
9	49,45	49,24	49,46	49,30
10	49,44	49,23	49,46	49,29
průměrná hodnota	49,453	49,255	49,466	49,306
směrodatná odchylka	0,008	0,016	0,008	0,016

Tab. 41: Rozměr destičky (tloušťka 4mm) – Daplen FSC5031

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,01	48,93	49,07	49,00
2	49,06	49,01	49,08	49,01
3	49,07	48,97	49,06	48,98
4	49,07	49,01	49,05	48,98
5	49,03	48,91	49,08	48,99
6	49,00	48,90	49,04	48,98
7	49,01	48,91	49,06	48,99
8	49,00	48,91	49,07	48,99
9	49,01	48,92	49,05	48,98
10	49,03	48,93	49,05	48,99
průměrná hodnota	49,089	49,000	49,121	49,049
směrodatná odchylka	0,027	0,0394	0,013	0,009

Tab. 42: Rozměr destičky (tloušťka 4mm) – Borcom BG055AI

destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,27	49,26	49,29	49,26
2	49,30	49,26	49,28	49,24
3	49,27	49,24	49,30	49,27
4	49,26	49,23	49,30	49,27
5	49,26	49,23	49,28	49,27
6	49,27	49,24	49,28	49,26
7	49,29	49,25	49,29	49,27
8	49,26	49,23	49,28	49,24
9	49,27	49,24	49,28	49,26
10	49,26	49,23	49,29	49,27
průměrná hodnota	49,271	49,241	49,287	49,261
směrodatná odchylka	0,013	0,011	0,008	0,012

Tab. 43: Rozměr destičky (tloušťka 4mm) – Magnum 3616

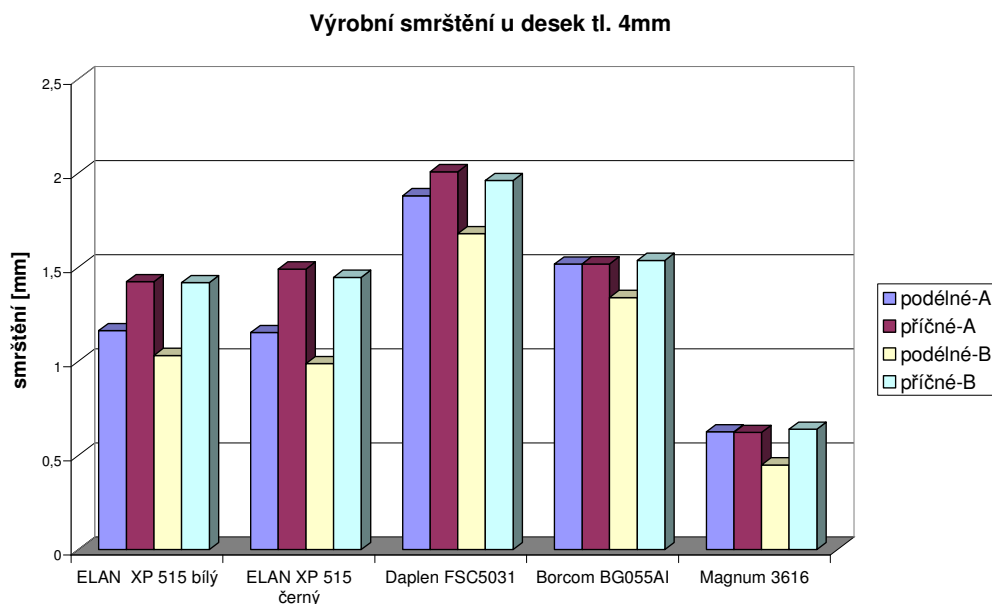
destička	těleso A		těleso B	
	l_1 [mm]	b_1 [mm]	l_1 [mm]	b_1 [mm]
1	49,72	49,69	49,74	49,71
2	49,72	49,69	49,74	49,71
3	49,72	49,69	49,73	49,71
4	49,72	49,69	49,74	49,72
5	49,72	49,69	49,74	49,71
6	49,72	49,69	49,73	49,71
7	49,72	49,69	49,74	49,71
8	49,71	49,69	49,73	49,70
9	49,71	49,69	49,73	49,71
10	49,71	49,68	49,73	49,71
průměrná hodnota	49,717	49,689	49,735	49,710
směrodatná odchylka	0,004	0,003	0,005	0,005

3.8.2.1 Porovnání výrobního smrštění pro destičku tl. 4mm

V tab. 44 jsou uvedeny vypočítané hodnoty výrobního smrštění dle vzorců (1.8) a (1.9). Jednotlivé materiály jsou porovnány v obr. 61

Tab. 44: Výrobní smrštění – tloušťka 4mm

zkoušený plast	podélné smrštění [%]		příčné smrštění [%]	
	těleso A	těleso B	těleso A	těleso B
ELAN XP 515 bílý	$1,163 \pm 0,016$	$1,424 \pm 0,019$	$1,032 \pm 0,052$	$1,419 \pm 0,015$
ELAN XP 515 černý	$1,153 \pm 0,016$	$1,491 \pm 0,031$	$0,988 \pm 0,016$	$1,447 \pm 0,032$
Daplen FSC5031	$1,881 \pm 0,053$	$2,008 \pm 0,079$	$1,679 \pm 0,026$	$1,961 \pm 0,019$
Borcom BG055Al	$1,517 \pm 0,026$	$1,518 \pm 0,023$	$1,341 \pm 0,016$	$1,537 \pm 0,022$
Magnum 3616	$0,626 \pm 0,009$	$0,622 \pm 0,006$	$0,450 \pm 0,010$	$0,639 \pm 0,009$



Obr. 61: Porovnání výrobního smrštění – tloušťka 4mm

Diskuse: U destiček obou tloušťek bylo naměřeno nejmenší smrštění (podélné i příčné) u materiálu Magnum 3616. Hodnoty smrštění byly u destiček o tloušťce 4mm výrazně nižší než u ostatních vzorků, zatímco u destiček o tloušťce 2mm už tak veliké rozdíly mezi materiálem Magnum3616 a ELAN XP 515 nebyly. Nejhuře v této zkoušce dopadly destičky z materiálu FSC 5031 u kterých přesáhlo smrštění (vzorky o tloušťce 2mm) hodnotu 2%.

3.9 Stanovení „matnosti“ povrchu

K posouzení „matnosti“ povrchu dle DIN 67530 bylo použito reflektometru TriGloss 20, 60, 85. Měření bylo provedeno pouze na ELANU XP 515 a na Magnum 3616, protože tento plast by měl ELAN XP 515 v budoucnu nahradit. Hodnoty získané z reflektometru Trigloss 20, 60, 85 jsou zobrazeny v tab. 45 - 48 a pro snadnější porovnání graficky znázorněné na obr. 63 a 64.

Parametry zkoušky:

- zkušební tělesa o rozměrech 100x100mm (viz. obr. 62)
- zkušební tělesa byla kondicionována po dobu min. 24 hodin v prostředí zkušební místnosti (teplota vzduchu 23°C)
- počet zkušebních těles byl 4 pro každý materiál

- reflektometr byl kalibrován dle standardu A (černá zrcadlová deska se součinitelem odrazu blízkému 100)



Obr 62: zkušební těleso pro posouzení matnosti a lesku povrchu

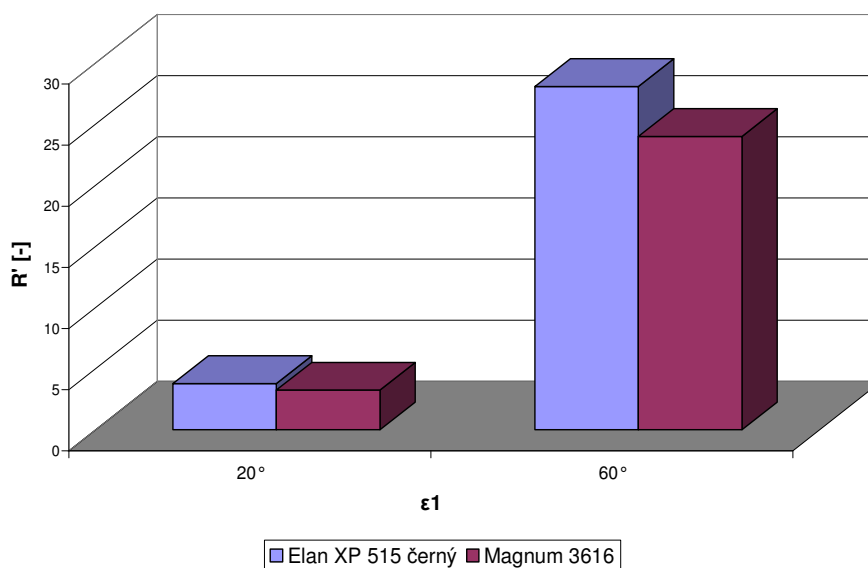
Tab. 45: R' v závislosti na ε_1 pro Magnum 3616 (neleštěný)

úhel dopadu	20°	60°
měření		
1	3,3	24,2
2	3,2	23,8

Tab. 46: R' v závislosti na ε_1 pro ELAN XP 515 černý (neleštěný)

úhel dopadu	20°	60°
měření		
1	3,6	29,0
2	4,0	27,1

Porovnání součinitele odrazu R' u neleštěných plastů v závislosti na úhlu osvětlení ε_1



Obr. 63: Porovnání R' v závislosti na ε_1 u zkoumaných neleštěných plastů

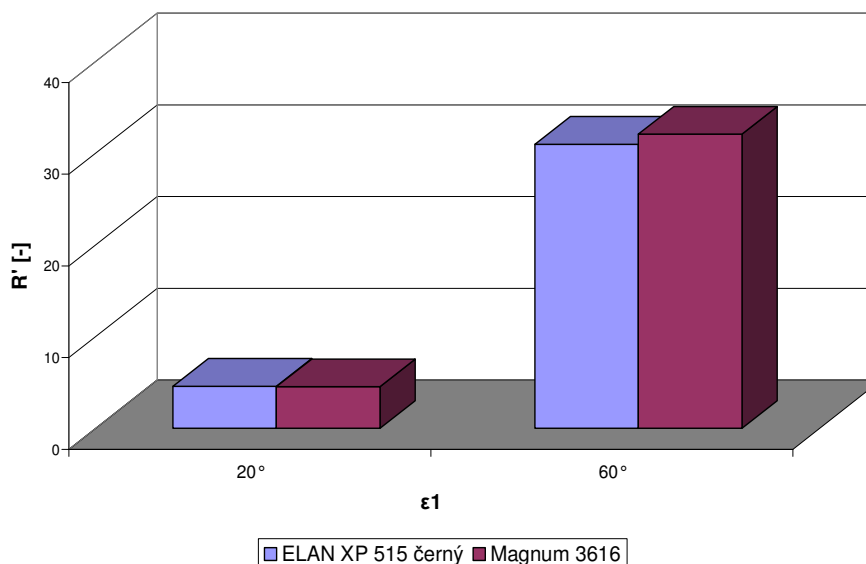
Tab. 47: R' v závislosti na ϵ_1 pro leštěný Magnum 3616

úhel dopadu	20°	60°
měření		
1	4,9	31,2
2	4,3	30,8

Tab. 48: R' v závislosti na ϵ_1 pro leštěný ELAN XP 515 černý

úhel dopadu	20°	60°
měření		
1	4,4	33,2
2	4,7	32,1

Porovnání součinitele odrazu R' u leštěných plastů v závislosti na úhlu osvětlení ϵ_1



Obr. 64: R' v závislosti na ϵ_1 u zkoumaných leštěných plastů

Diskuse: Z této zkoušky vyplynulo, že materiál ELAN XP 515 sice dosahuje poměrně velké matnosti povrchu (je vyjádřena součinitelem odrazu R'). Bohužel tato matnost povrchu je přibližně stejně velká jako u materiálu Magnum 3616, který se musí povrchově upravovat, aby bylo dosaženo požadovaných vzhledových vlastností. Z toho vyplývá, že ani u materiálu ELAN XP 515 nutnost povrchové úpravy pro zvýšení matnosti povrchu neodpadá.

4 Závěr

Diplomová práce se skládá z několika částí, mezi které patří úvod, teoretická část, experimentální část a závěr.

V úvodu diplomové práce byly uvedeny důvody vzrůstajícího použití a výroby polymerních směsí a cíle diplomové práce.

V teoretické části je nejdříve pojednáno o rozdělení plastů podle jejich základních vlastností, jako jsou např. nadmolekulární struktura, teplotní chování atd. Dále je zde popsána technologie vstřikování. Protože jedním z cílů diplomové práce je seznámení se s problematikou polymerních směsí, jsou v teoretické části popsány jejich vlastnosti, princip a možnosti přípravy. Také jsou zde popsány nanomateriály, díky kterým byla připravená zkoumaná polymerní směs. V závěru teoretické části jsou popsány základní charakteristiky plastů, které byly použity k výrobě zkušebních vzorků a dále byly rozděleny a popsány zkoušky, které bylo nutné provést k posouzení vlastností zkoumaných plastů.

Experimentální část zahrnuje základní vlastnosti zkoumaných plastů uvedené v materiálových listech a seznamuje s principem a technologickými parametry, které byly použity k výrobě zkušebních vzorků. Dále je experimentální část rozčleněna podle prováděných zkoušek, kdy na začátku každé kapitoly je uvedeno za jakých podmínek byla zkouška provedena. Výsledky získané měřením byly zapsány do tabulek a poté graficky zpracovány.

Jako první byla provedena zkouška spirálové zabíhavosti. Z té vyšel nejlépe materiál PP Borcom BG055AI, který měl výrazně lepší zabíhavost než ostatní zkoumané plasty. Proto se hodí k výrobě tenkostěnných, případně tvarově složitých výrobků. Materiály ELAN XP 515 a DAPLEN FSC5031 měli o 1/4 a Magnum 3616 dokonce o 1/2 horší zabíhavost nežli Borcom BG055AI. Z mechanických zkoušek byla jako první provedena zkouška tahem. Zde dopadl nejlépe materiál Magnum 3616, který měl výrazně lepší mez pevnosti v tahu, než ostatní plasty, což je dáno tím, že ABS je konstrukční plast. Na druhou stranu ale vykazoval nejkratší prodloužení na mezi kluzu. Nejhůře ve zkoušce tahem dopadla polymerní směs PP/PS ELAN XP 515, která měla skoro dvakrát menší pevnost v tahu než Magnum

3616. Se stejným pořadím dopadla i zkouška ohybem. U zkoušky vrubové houževnatosti metodou Charpy opět dopadly nejlépe vzorky připravené z materiálu Magnum 3616. PP/PS ELAN XP 515 měl rázovou pevnost o 1/3 menší než ABS Magnum 3616 a to jak při teplotě 23°C, tak i při teplotě -15°C. Tyto zkoušky se dělají pro posouzení toho, zda je materiál vhodný k výrobě pevných a rázu odolných interiérových a exteriérových dílů. Magnum 3616 v těchto zkouškách dopadl nejlépe, naopak PP/PS ELAN XP 515, vyjma zkoušek na vrubovou houževnatost, dopadl vždy nejhůře ze všech zkoušených materiálů.

Při zkoušce, která určovala míru výrobního smrštění (určuje možnosti vyrobení přesného výrobku při dodržení tvarových i rozměrových tolerancí) nebyly při měření rozdíly ve výrobním smrštění na destičkách o tloušťce 2 mm tak výrazné, jako u destiček o tloušťce 4 mm, což se dalo předpokládat. U této zkoušky vyšel opět nejlépe materiál Magnum 3616, který měl ze všech vzorků nejmenší výrobní smrštění. Druhé nejmenší smrštění měl materiál ELAN XP 515. U tohoto plastu bylo ale zajímavé zjištění, že na rozdíl od ostatních materiálů, které měli podélné i příčné smrštění stejně velké, měl tento materiál přibližně o 1/4 větší příčné smrštění, než podélné smrštění.

Polymerní materiál ELAN XP 515 tak celkově ve zkouškách zaměřených na ohyb a tah dopadl v porovnání s ostatními plasty podprůměrně. Jeho přednosti jsou v poměrně slušné rázové houževnatosti a v možnosti dodržení přesných rozměrových tolerancí.

Hlavní výhoda materiálu ELAN XP 515 by podle výrobce měla být vysoká matnost povrchu a na omak příjemný povrch, který se již dále nemusí upravovat. Proto byla provedena porovnávací zkouška mezi plasty ELAN XP 515 a Magnum 3616. Právě tento plast by měla polymerní směs ELAN XP 515 nahradit. Ani v této zkoušce však ELAN XP 515 nedopadl dobře. Jak vyplývá z naměřených hodnot, matnost povrchu byla pro oba materiály stejná. Z toho vyplývá, že by i pro výrazně dražší materiál ELAN XP 515 nutnost dodatečné úpravy povrchu lakováním neodpadla.

5 LITERATURA

- [1] KREBS, J.: Teorie a technologie zpracování plastů. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní, 1981. 341 s. ISBN 55-823-80
- [2] LENFELD, P.: Technologie II. - 2. část (Zpracování plastů). Liberec : TU v Liberci, 2006. 139 s. ISBN 55-002-06
- [3] VESELÝ, K.; ZILVÁR, V a kol.: Polymerní kompozity. Praha : Ústav makromolekulární chemie ČSAV, 1990. 100s. ISBN 80-85009-05-6
- [4] SOVA, M.; KREBS, J.: Termoplasty v praxi; Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. Praha : Verlag Dashofer, 2001. str. růz. ISBN 80-86229-15-7
- [5] RAAB, M.; Křesílek, V.; Sova, M.: Polymerní nanomateriály. Plasty a kaučuk, 1999, roč. 36, č. 05, s. 132-137. ISSN 0322-7340
- [6] KALEDOVÁ, L.: Možnosti přípravy nanokompozitních systémů typu polymer/jíl a metody jejich hodnocení. Plasty a kaučuk, 2004, roč. 41, č. 03, s. 11-15. ISSN 0322-7340
- [7] www.plastexpress.cz (březen 2006)
- [8] www.ksp.vslib.cz (březen 2006)
- [9] www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf (březen 2006)
- [10] ČSN EN ISO 527-1, Stanovení tahových vlastností, Část 1: Základní principy, Česká technická norma, 1998
- [11] ČSN EN ISO 527-2, Stanovení tahových vlastností, Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty, Česká technická norma, 1998
- [12] ČSN EN ISO 179, Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy, Česká technická norma, 1998
- [13] DIN 67 530, Reflektometr jako pomůcka při posuzování lesku rovinných natřených a umělohmotných povrchů, 1982
- [14] ČSN EN ISO 178, Stanovení ohybových vlastností, Česká technická norma, 1998
- [15] ČSN EN ISO 294-4, Vstřikování zkušebních těles z termoplastů, Část 4: Stanovení smrštění, Česká technická norma, 2003