

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hodnocení tekutosti a zabíhavosti elastomerů

Evaluation fluidity and excursion of elastomers

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program 23-01T – strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Hodnocení tekutosti a zabíhavosti elastomerů

Evaluation fluidity and excursion of elastomers

Petr Weinlich

KSP – 710

Vedoucí diplomové práce: Doc.Dr.Ing. Petr Lenfeld - *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Doc.Ing. Josef Krebs, CSc. - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	50
Počet tabulek	18
Počet obrázků	16
Počet příloh	0

Datum : 24.5.2002



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Petr WEINLICH

Obor

2301 T Strojírenská technologie

Zaměření

Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Hodnocení tekutosti a zabíhavosti elastomerů

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Popis elastomerů a jejich vlastnosti
2. Popis zkoušek pro hodnocení ITT a zabíhavosti
3. Výběr elastomerů z produkce Peguform Bohemia, a.s., Liberec
4. Provedení zkoušek a porovnání s termoplasty
5. Vyhodnocení výsledků a závěr

KSP/TP
50 p.

V 103/02 S

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva cca 50 stran
- grafické práce

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

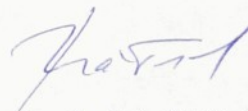
- /1/ KREBS,J. a kolektiv : Termoplasty v praxi, Verlag Dashöfer Praha, 1999
- /2/ STEIDL,J. a kolektiv : Lexikon technických materiálů, Verlag Dahöfer Praha,2000
- /3/ MATERIÁLOVÉ LISTY VYBRANÝCH ELASTOMERŮ

Vedoucí diplomové práce: Doc.Dr.Ing.Petr Lenfeld

Konzultant diplomové práce: Doc.Ing.Josef Krebs,CSc.



Prof.Ing.Jaroslav Exner,CSc.
vedoucí katedry



Doc.Ing.Ludvík Prášil,CSc.
děkan

V Liberci dne 31. 1. 2002

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI **Fakulta strojní**

Katedra strojírenské technologie **Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program:	23-01T – strojní inženýrství
Diplomant:	Petr Weinlich
Téma práce:	Hodnocení tekutosti a zabíhavosti elastomerů Evaluation fluidity and excursion of elastomers
Číslo DP:	KSP-710
Vedoucí DP:	Doc.Dr.Ing. Petr Lenfeld - <i>TU v Liberci</i>
Konzultant:	Doc.Ing.Josef Krebs, CSc. - <i>TU v Liberci</i>

Stručný výtah:

Diplomová práce se zabývá porovnáním zabíhavosti vybraných termoplastických elastomerů z produkce firmy Peguform Bohemia, a. s. V teoretické části je uveden popis technologie vstřikování, výběr materiálů a popis jejich vlastností. Experimentální část obsahuje popis měření na nízkotlakém kapilárním plastometru M 201 a pracovní postup při spirálové zkoušce zabíhavosti na šnekovém vstřikovacím stroji Engel AG ES 25/50. Jsou zde vyhodnoceny údaje získané měřeními na popsáních zařízeních jak početně, tak i graficky a materiály jsou navzájem porovnány.

Abstract:

The diploma dissertation is concerned in comparing of excursion of the selected thermoplastic elastomers developed by Peguform Bohemia, a. s. The theoretic part introduces the description of injection technology, stuff assortment and its property details. The experimental part contains measure description by using low-pressure capillary plastometer M201 and the technique of spiral excursion test on gemmer injection machine Engel AG ES 25/50. The evaluated specifications are gained by measuring on described devices as in values, so in graphs and the materials are compared to one another.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. května 2002

Petr Pfeifer

Poděkování:

Na prvním místě bych chtěl poděkovat svým rodičům za plnou podporu během mého studia na TU v Liberci.

Děkuji všem členům oddělení tváření kovů a plastů. Jmenovitě Doc.Dr.Ing.Petru Lenfeldovi za odborné vedení v experimentální části diplomové práce, za jeho cenné rady a připomínky, které mi poskytl při psaní této práce a dále pak konzultantovi Doc.Ing.Josefu Krebsovi, CSc. Poděkování patří také Ing.Jaroslavu Loufkovi, Ing.Martinu Černému a Ing.Miroslavu Frontzovi za poskytnuté prospektové materiály.

OBSAH

1.	ÚVOD	10
2.	TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1	Definice plastů, jejich příprava, rozdělení a chemické složení	12
2.2	Charakteristiky termoplastů	13
2.3	Definice a struktura termoplastických elastomerů	14
2.4	Technologie vstřikování	15
2.4.1	<i>Popis technologie vstřikování</i>	<i>15</i>
2.5	Výběr materiálů z produkce firmy Peguform Bohemia a.s.	18
2.6	Popis vybraných materiálů.....	19
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	23
3.1	Stanovení ITT pomocí nízkotlakého kapilárního plastometru.....	23
3.1.1	<i>Popis plastometru M 201</i>	<i>24</i>
3.1.2	<i>Popis měření na plastometru.....</i>	<i>26</i>
3.2	Vstřikovací stroj Engel-spirálová zkouška zabíhavosti.....	27
3.2.1	<i>Pracovní postup pro stanovení závislosti délky spirály na vstřikovací teplotě</i>	<i>28</i>
3.2.2	<i>Hodnocení výsledků spirálové zkoušky zabíhavosti</i>	<i>29</i>
4.	HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	31
4.1	Vyhodnocení indexu toku taveniny	31
4.2	Vyhodnocení spirálové zkoušky zabíhavosti	40
4.2.1	<i>Naměřené hodnoty spirálové zkoušky zabíhavosti</i>	<i>40</i>
5.	ZÁVĚR	



6. POUŽITÁ LITERATURA 50



Seznam použitých zkratek a symbolů:

ABS	[-]	Terpolymer akrylonitril-butadién-styrén
D_o	[mm]	průměr pístu plastometru
d_o	[mm]	průměr trysky plastometru
F	[N]	zatížení
h	[mm]	tloušťka spirály
H	[mm]	šířka spirály
IT	[g/10min]	index toku
ITT	[g/10min]	index toku taveniny
k	[-]	koeficient závislý na zvoleném zatížení a na průměru trysky
l	[mm]	délka trysky plastometru
L	[cm]	délky spirály
m	[g]	hmotnost
m_{pk}	[g]	hmotnost pístu a kotouče
m_s	[g]	průměrná hmotnost odřezků
m_z	[g]	hmotnost závaží
n	[-]	počet měření
P	[N]	zatížení
p	[MPa]	vstřikovací tlak
PA	[-]	Polyamid
PC	[-]	Polykarbonát
R	[-]	hodnota spolehlivosti
S	[s]	referenční čas
s	[-]	směrodatná odchylka
s^2	[-]	rozptyl
SEBS	[-]	Kopolymer styren-ethylen-butylen-styren
S_v	[mm ²]	průřez ústí vtoku spirály
T	[°C]	teplota
T_f	[°C]	teplota formy
TPE	[-]	termoplastické elastomery
TPE-S	[-]	termoplastické elastomery na bázi styrenu
TPU	[-]	termoplastické Polyurethan elastomery



t_s	[s]	průměrný časový interval mezi odříznutím vytlačeného materiálu
T_t	[°C]	teplota taveniny
$T_{vstř.}$	[°C]	vstřikovací teplota
v	[mm/s]	vstřikovací rychlost
x	[-]	nezávisle proměnná
y	[-]	závisle proměnná

1. ÚVOD

Přestože se plasty začaly vyrábět a zpracovávat již ve druhé polovině 19. století, hromadně se začaly využívat ve všech průmyslových odvětvích až v minulém století, a to zejména po 2. světové válce. Plastů je dnes obrovský sortiment, přičemž jednotlivé materiály se liší chemickým složením polymeru, složením a obsahem aditiv, molekulární a nadmolekulární strukturou, zpracovatelskými a ve finálním stavu (výrobek, dílec, součást) také užitnými vlastnostmi. Jedním z hlavních důvodů prudkého rozvoje plastů je vedle jejich výhodných vlastností a malého podílu investičních nákladů na zavedení výroby především levný a produktivní způsob zpracování. Mezi nejrozšířenější postupy přitom patří vytlačování, vyfukování, lisování, vstřikování, válcování a tvarování, nezanedbatelné jsou i doplňkové technologie, zejména svařování, lepení a obrábění. Ze jmenovaných postupů se dnes nejvíce využívá vytlačování pro výrobu trubek, tyčí, profilů, desek, fólií aj. a technologie vstřikování k produkci součástí a finálních výrobků.

Důležité místo mezi plastickými hmotami začínají zaujímat termoplastické elastomery (TPE). Obecně si tyto polymerní materiály zachovávají elasticitu v širokém rozsahu teplot včetně záporných, mají příznivý průběh hysterezní křivky pružnosti, širokou škálu tvrdosti, příznivý pevnostně hmotnostní poměr, odolnost vůči únavě, útlumové schopnosti a chemickou odolnost. V případě použití vhodných plniv lze dosáhnout dobrou vodivost a barvitelnost. Jejich odpad lze recyklovat. Výroba, zpracování a použití TPE se v současné době ve světě rychle rozvíjí. TPE pronikají do různých aplikačních oblastí, kde nahrazují dříve používané materiály. TPE nevyžadují po tváření vulkanizaci, takže při své jednoduché zpracovatelské technologii představují vhodný materiál, který proniká především do oblastí pryžových výrobků. Značného technického významu dosáhli TPE na bázi polyuretanů, lineárních polyesterů a polyimidů.

Cílem mé diplomové práce je zhodnocení tekutosti a zabíhavosti u vybraných termoplastických elastomerů z produkce podniku Peguform Bohemia, a.s., Liberec. Diplomová práce je rozdělena do dvou částí.

V první, teoretické části, jsou popsány vlastnosti termoplastů a elastomerů, proces vstřikování a je proveden výběr materiálů pro následné měření.



Druhou částí diplomové práce je část experimentální. Obsahuje popis zkoušek pro zhodnocení tekutosti a zabíhavosti na vstřikovacím stroji (určení indexu toku na nízkotlakém kapilárním plastometru a spirálová zkouška zabíhavosti), naměřené hodnoty, jejich vyhodnocení a srovnání elastomerů mezi sebou.



2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 DEFINICE PLASTŮ, JEJICH PŘÍPRAVA, ROZDĚLENÍ A CHEMICKÉ SLOŽENÍ /1/, /2/

Plasty jsou materiály, jejichž podstatou jsou makromolekulární látky, které se připravují polyreakcemi. Ve své podstatě se jedná o jednoduché chemické reakce, které se však mohou mnohonásobně opakovat. Opakování reakce je umožněno vhodnou chemickou strukturou výchozích nízkomolekulárních sloučenin, které se nazývají monomer. Spojením mnoha monomerních jednotek vzniká látka s novými vlastnostmi – polymer.

Existují tři druhy polyreakcí, a to:

- **polymerace,**
- **polykondenzace,**
- **polyadice.**

Při **polymeraci** se molekuly monomerů obsahující dvojnou vazbu mezi dvěma atomy uhlíku $C = C$ vzájemně spojují řetězovým mechanismem v polymer, aniž současně vzniká nějaká vedlejší nízkomolekulární látka. Vznikající polymer je složen z jednotek o stejné hmotnosti jako měl výchozí monomer. Makromolekuly polymeru mohou vznikat jednak z jednoho druhu monomeru a výsledný produkt se nazývá homopolymer. Jestliže se tvorby zúčastní dva nebo více monomerů, hovoříme o kopolymeraci a produkt se nazývá kopolymer. Vlastnosti kopolymerů závisí na druhu monomerů, jejich vzájemném poměru a na uspořádání makromolekul.

Polykondenzace je stupňovitou reakcí, kdy se velikost rostoucí molekuly zvětšuje přibližně geometrickou řadou. Reakce se zúčastní zpravidla monomery různého druhu a vznik makromolekuly se provázen vždy tvorbou vedlejší nízkomolekulární sloučeniny, např. vody. Molekulová hmotnost strukturních jednotek je tedy menší než celková hmotnost původních monomerů.

Polyadici se připravují polymery, jež kromě uhlíku obsahují v řetězci i neuhlíkové atomy. Je založena na postupné adici jednoho monomeru na funkční skupinu monomeru druhého, což se zpravidla děje přesunem vodíkového atomu. Podobně jako u polymerace nevzniká vedlejší produkt. Chemická struktura polymeru není totožná se strukturou monomerů, i když se procentuální zastoupení jednotlivých prvků nemění.

2.2 CHARAKTERISTIKY TERMOPLASTŮ /3/

Termoplasty jsou makromolekulární látky s lineárními nebo rozvětvenými řetězci. Jsou teplem tavitelné a v roztaveném stavu se pod tlakem vstříkují do forem, v nichž ochlazením ztuhnou na požadovaný tvar. Jsou buď homogenní, tj. bez přísad a plniv, nebo s přísadami pro zlepšení jejich fyzikálních vlastností, jako je odolnost proti vlivům záření, povětrnosti, hoření, zvýšeným teplotám apod., nebo s plnivem pro zlepšení některých mechanických vlastností.

Zpracovatelnost termoplastů je určena hlavně odolností materiálů proti tepelné degradaci během vstřikování, a tekutostí, tj. schopností dokonale vyplnit složité a tenkostěnné tvarové dutiny ve formě. Materiál dobře odolný proti tepelné degradaci má dostatečně široké pásmo zpracovatelských teplot a může mít delší dobu prodlevy v tavicí komoře vstřikovacího stroje. O odolnosti proti degradaci se zmiňujeme obvykle jen tehdy, je-li odolnost nízká.

Tekutost materiálu udává konstruktérovi výrobku představu o možné členitosti, rozměrnosti a tenkostěnnosti finálního výrobku. Lepší tekutost, tj. nižší viskozitu taveniny, mají u daného polymeru typy s nižší molekulovou hmotností. Provází ji však jistý pokles houževnatosti a pevnosti. Pro mechanicky namáhané výrobky volíme tedy obvykle typy s vyšší molekulovou hmotností. Musíme se tedy spokojit s nižší tekutostí, což znamená omezení konstrukce na jednodušší tvary výrobků se silnějšími stěnami. Tekutost taveniny se udává indexem toku taveniny ITT. Vyšší číselná hodnota indexu toku taveniny označuje vyšší tekutost materiálu.

2.3 DEFINICE A STRUKTURA TERMOPLASTICKÝCH ELASTOMERŮ /8/, /9/, /10/

Elastomer je makromolekulární látka, která se po podstatné deformaci malým napětím a uvolněním tohoto napětí při pokojové teplotě rychle vrací přibližně k původním rozměrům a tvaru. Vlastnostem specifikovaným definicí dlouhá léta vyhovovali pouze pryže. Hlavní rozdíl mezi termoplastickými elastomery a pryžemi je dán rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u termoplastických elastomerů spíše fyzikální než chemické povahy. Vzhledem k rozdílné povaze uzlů sítě u pryží a TPE nemohou být vlastnosti obou typů materiálů shodné. Protože TPE se v určitém rozmezí teplot chovají podobně jako síťované materiály, liší se jejich vlastnosti i od vlastností měkkých termoplastů.

Uzly sítě termoplastických elastomerů tvoří obvykle malé množství nemísitelných polymerních bloků, dispergovaných v kontinuální elastomerní fázi. Bloky tvořící sítě jsou při pokojové teplotě tvrdé a spojují elastomerní řetězce do trojrozměrné sítě. Při zahřátí tvrdé bloky měknou a termoplastický elastomer je schopen toku. Vlastnosti termoplastických elastomerů závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak i na poměru mezi obsahem měkké a tvrdé fáze. Přítomnost tvrdých termoplastických bloků nemísitelných s elastomerní fází vede obvykle k vytvoření doménové struktury. Zatímco v konvenčních směsích polymerů působí na rozhraní fází poměrně malé síly, u TPE mají tyto síly z části charakter kovalentních vazeb. Domény v TPE jsou samozřejmě daleko větší než chemické vazby tvořící uzly sítě v klasických pryžích. Domény tvrdých bloků tedy působí částečně i jako plnivo a mohou mít příznivý ztužující vliv na mechanické vlastnosti při větších deformacích. Vícefázová doménová struktura TPE někdy přetrvává i za zvýšených teplot v taveninách a komplikuje jejich reologické chování.

Separaci fází působí buď nesnášenlivost amorfních bloků nebo krystalizace jedné ze složek. Je zřejmé, že k dosažení optima separace dvou amorfních fází by měla být nesnášenlivost měkkých a tvrdých bloků maximální. Velká nesnášenlivost bloků však vede i ke špatné zpracovatelnosti vzhledem k vysoké viskozitě taveniny, protože tok závisí i na směšovací volné energii přítomných fází. Protože měkké a tvrdé bloky TPE mohou být

tvoreny polymery různého složení, struktury, vlastností a vzájemné mísitelnosti, existuje mnoho materiálů, které lze na základě jejich vlastností mezi termoplastické elastomery zařadit.

2.4 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ /1/, /4/

Vstřikování představuje technologii zpracování polymerů – termoplastů, reaktoplastů a TPE tvářením, tj. tedy zpracování polymerů v plastickém stavu za pomoci tlaku. Jde o proces diskontinuální a cyklický, používaný pro velkosériovou a hromadnou výrobu. V největší míře se vstřikováním zpracovávají zejména termoplasty. Vstřikování umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a rozměrově přesné výrobky v jedné operaci, kdy polymerní směs, nejčastěji granulát, ale také prášek, aglomerát a pelety se mění ve zcela hotový výrobek, tzv. výstřík. Opracování výstříků je minimální. V případě termoplastických elastomerů je možno vtoky a vtokové zbytky recyklovat a znovu vstřikovat. Ztráty polymerů jsou tak minimální.

Zahřátím termoplastů nedochází k chemické reakci, která by měla vliv na konzistenci taveniny, jde pouze o děj fyzikální. Termoplasty mohou být udržovány v plastickém stavu déle, než kaučukové směsi nebo reaktoplastické hmoty. Avšak vzhledem k termoplastičnosti materiálu vyžaduje výrobek po tvářením, před vyjmutím z formy, ochlazení a zabránit tak jeho deformaci. Reaktoplasty a kaučukové směsi na rozdíl od TPE během tvářecího procesu zesílují (vytvrzováním, resp. vulkanizací) a ztrácejí tak plastičnost. Proto je možné takovéto výrobky z forem vyjímat bez předběžného chlazení už jenom kvůli tomu, že by bylo obtížné formy temperovat a ihned chladit.

Polymery se tváří nad teplotami měknutí, které jsou odlišné dle charakteru makromolekulární látky.

2.4.1 POPIS TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ /1/, /4/, /5/

Vstřikovací proces je možné rozdělit na čtyři následující fáze:

- plastikace materiálu v tavící komoře

- vstříknutí taveniny do dutiny formy a její dotlak
- chlazení taveniny ve formě
- vyjmutí výstříku z dutiny formy

Plastikace materiálu

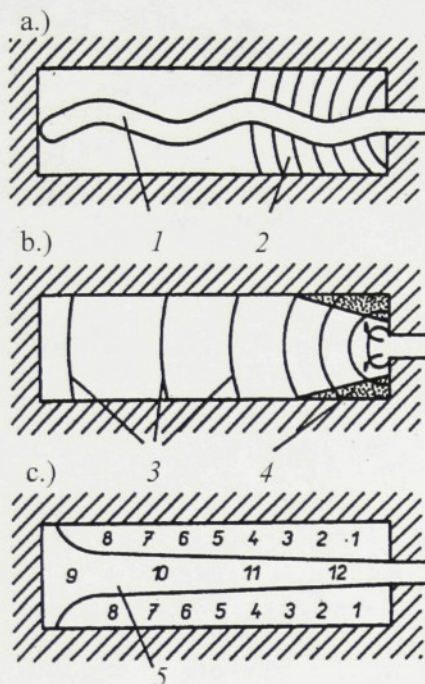
Plastikace plastů představuje homogenizaci materiálu roztavením a jeho prohnětením tak, aby ve hmotě neexistovala místa s rozdílnými vlastnostmi. Je prováděna na válcových nebo šnekových strojích. Granulát je odebíráán z násypky stroje a v tavící komoře, nejčastěji vyhřívané elektrickými odporovými pásy, se taví, působením šneku hněte, homogenizuje a dopravuje se do prostoru ve válci před čelo šneku. Ohřev polymeru se děje tedy jak převodem tepla ze stěn tavného válce, tak frikčním teplem, které vzniká působením šneku na materiál.

Při plastikaci materiálu se šnek otáčí a posouvá zpět. Posuv je hydraulický a při zpětném pohybu šneku se posouvá i hydraulický píst, zajišťující axiální posun šneku, který vytlačuje z hydraulického válce hydraulickou kapalinu. Tento pohyb je možné brzdít tzv. zpětným tlakem, kterému odpovídá určitý tlak taveniny polymeru před čelem šneku. Homogenitu taveniny je tedy možné ovlivnit konstrukcí šneku, jeho otáčkami, zpětným tlakem a vstřikovací dávkou.

Vstříknutí taveniny do dutiny formy

Během této fáze dochází k plnění dutiny formy a následnému stlačování taveniny.

Plnění dutiny formy představuje vstříknutí taveniny do uzavřené prázdné formy axiálním posunem šneku. Plnění dutiny formy musí být řízeno z hlediska získání výstříku s dobrými fyzikálními vlastnostmi a dobrým povrchem tak, aby tavenina vtékala do formy postupně a nikoliv volným paprskem. Postup je patrný z *obr.1*. Vstřikovací rychlost je pro většinu výstříků volena konstantní a je dána konstantní rychlostí axiálního posunu šneku. U složitějších výstříků, tj. výstříků s vysokými požadavky na jakost povrchu a u vstřikování tepelně citlivých plastů, je účelné programovat průběh vstřikovací rychlosti tak, aby optimálně vyhovovala konkrétnímu výstříku a bylo dosaženo vysoké kvality.



Obr. 1: Průběh plnění tvarové dutiny formy.

a.) plnění volným paprskem

b.) postupné plnění

c.) chladnutí taveniny v dutině formy probíhající
dle pořadí čísel

1 – volný paprsek,

2 – doplňující tavenina,

3 – čelo toku taveniny termoplastu,

4 – počátek chladnutí,

5 – plastické jádro.

Fáze dotlaku taveniny

Dotlakem je kompenzován úbytek materiálu, vyvolaný smrštěním hmoty při chlazení ze zpracovatelské teploty na teplotu formy. Výši dotlaku, popřípadě jeho časovou závislost, je nutné určit pro každý výstřik individuálně. Dotlak je ukončen v okamžiku ztuhnutí vtoku a uzavření dalšího vstupu taveniny do dutiny formy.

Chlazení taveniny ve formě

Chlazení výstřiku ve formě probíhá souběžně s dotlakem. Doba chlazení výstřiku, která je dána zejména tvarem a tloušťkou stěn výstřiku, termodynamickými parametry (teplotou taveniny, vstřikovací rychlostí, průběhem dotlaku, teplotou formy) a konstrukcí chlazení formy určuje v podstatě délku vstřikovacího cyklu a tím i hospodárnost zpracování.

Vyjmutí výstřiku z dutiny formy

Při vstřikování je nezbytné prakticky vždy používat vyhazovací systém, neboť výstřiky vyráběné z termoplastů se při ochlazování smršťují a ulpívají na tvarových částech formy. Ploché výstřiky je možné vyjmout z dutiny formy ručně, naopak masivní výstřiky se vyhazují mechanicky pomocí vyhazovacích kolíků, tenkostěnné výstřiky

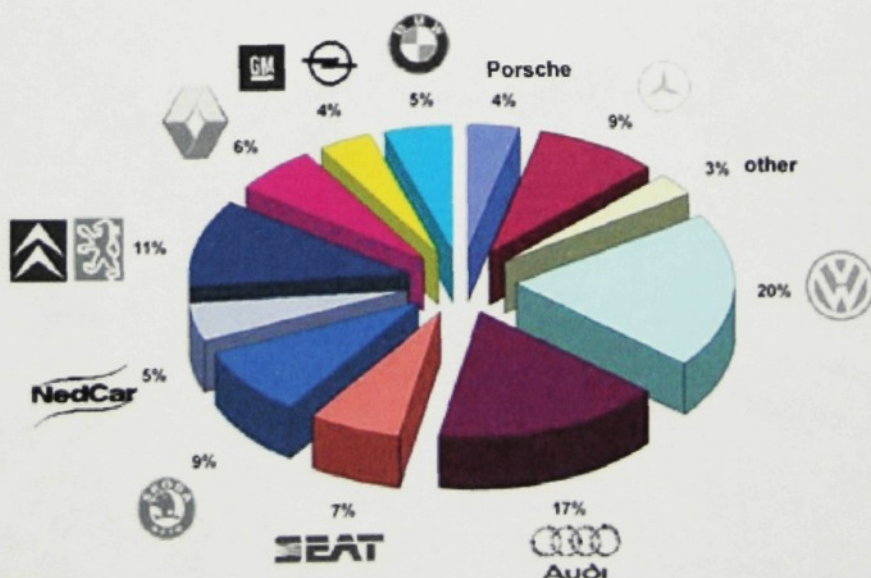


pomocí stírací desky, stíracího kroužku, popřípadě pomocí trubkového vyhazovače. Vyhazovací kolíky z důvodu možného prolomení stěny výstřiku nejsou u tenkostěnných výstřiků vhodné. Pro vyhazování hlubokých výstřiků je často používán stlačený vzduch, který je přiveden mezi dno tvárníku a výstřik. V současné době nejsou výjimkou, zejména pro účely vyjímání výstřiků z formy, robotizovaná technologická pracoviště.

Po vyjmutí výstřiku se forma opět uzavře, v případě poloautomatického cyklu až po uplynutí manipulační doby a celý cyklus se opakuje.

2.5 VÝBĚR MATERIÁLŮ Z PRODUKCE FIRMY PEGUFORM BOHEMIA a.s. /15/

Firma Peguform Bohemia, a.s., Liberec, je jako člen Ventura Group globální výrobce a dodavatel plastových systémů a komponentů pro automobilový průmysl s veškerými službami s tím spojenými. Dodává nejen na náš, ale na celosvětový trh vysoce kvalitní plastové výrobky pro řadu renomovaných firem v oblasti automobilového průmyslu. Mezi její významné odběratele patří mimo jiné také firmy Audi, BMW, Seat, VW, Ford a koncern Škoda Auto (viz obr.2).



Obr.2: Obrat firmy Peguform Bohemia, a.s.



Firma se zabývá produkcí vstřikovaných dílců do interiérů vozidel, ale i jiných jeho částí jako jsou nárazníky, přední nárazníkové moduly, dveřní systémy, kokpity a interiéry. Po konzultaci s vedoucím mé diplomové práce Doc.Dr.Ing.Petrem Lenfeldem jsem vybral k porovnání materiály na bázi termoplastických elastomerů, se kterými podnik Peguform Bohemia, a.s., pracuje. Jsou to dvě skupiny materiálů.

Do první skupiny patří termoplastické elastomery na bázi Polyuretanu :

- TPU Elastollan C60 A 10W natur.,
- TPU Elastollan C70 A 10W natur.

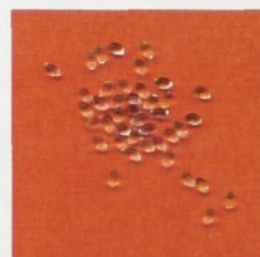
Druhou skupinu tvoří materiály na bázi SEBS (styren-ethylen-butylen-styren):

- TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur.,
- TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO,
- TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky).

2.6 POPIS VYBRANÝCH MATERIÁLŮ /13/, /14/

Materiály typu TPU Elastollan

Termoplastické Polyurethan Elastomery (TPU) mají vynikající mechanické vlastnosti, jako je vysoká pevnost v tahu, velmi dobré tlumící schopnosti a dobrou tažnost. Jsou dobře odolné proti opotřebení, povětrnostním vlivům a vodě. Mají dobrou teplotní flexibilitu - rozmezí teplot použití je od 20 °C do 70 °C. Mezi příznivé poznatky patří také fakt, že je lze recyklovat. Při zpracování vstřikováním se vstřikují v teplotním rozsahu 170 °C až 240 °C. Lze je použít v různých odvětvích průmyslu např. na výrobu hadic, duší pneumatik, těsnění, klínových řemenů, sít a různých nádob.



Obr.3: Granule
Elastollanu C70 A 10 W
natur.



Obr.4: Granule
Elastollanu C60 A 10 W
natur.



Fyzikální vlastnosti	Podmínky měření		Elastollan	
	DIN	ISO	C70 A10 W natur.	C60 A10 W natur.
Tvrdost Shore A	53505	868	70	64
Hustota [g.cm ⁻³]	53479	1183	1,17	1,17
Mez pevnosti v tahu [MPa]	53504	37	40	30
Mezní deformace [%]	53504	37	700	750
Napětí při 20% prodloužení [MPa]	53504	37	1,5	1
Napětí při 100% prodloužení [MPa]	53504	37	3,5	3
Napětí při 300% prodloužení [MPa]	53504	37	6	5
Deformace při pokojové teplotě [%]	53517	815	20	20
Deformace při teplotě 70°C [%]	53517	815	35	35
Mez pevnosti v tahu po 21 denním uložení ve vodě 80°C [MPa]	53504	37	30	25

Tab.1: Vybrané fyzikální vlastnosti materiálů typu Elastollan.

Materiály typu TPE-S Bergaflex

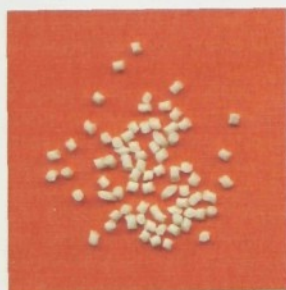
Jsou založeny na bázi styrenového blokového kopolymeru SEBS (styren-ethylen-butylen-styren) s některými vlastnostmi pryže, ale s výhodou možnosti zpracování technologickými postupy shodnými jako při zpracování termoplastů. Tyto materiály se vyrábějí v široké řadě speciálních druhů. Mohou být tedy zpracovávány mnoha způsoby a konstruktér má široké pole působnosti. Mají dobrou teplotní stabilitu, dobrou odolnost vůči povětrnostním vlivům, UV záření a dobré kompresní vlastnosti. Jsou odolné proti mnoha druhům chemikálii (odolnost závisí na složení chemikálie, teplotě, času působení a způsobu namáhání výrobku – viz *tab.2*). U některých typů je nutné před zpracováním sušit (jedná se většinou o materiály odolné proti hoření, u standardních typů sušení není potřeba). Materiály typu Bergaflex byly zkoušeny a použity v mnoha oblastech - automobilový průmysl, spotřební zboží a průmyslové oblasti. Zvláště možnost použití metody vrstvení dvou materiálů 2-K (nanášení vrstvy TPE-S na podklad z PA, ABS, PC



apod.) byla široce využita v oblasti výroby předmětů denní potřeby jako např. propisky, zubní kartáčky, nářadí, elektroinstalace, ventilace, stavebnictví.

Chemická odolnost	
Médium	Odolnost
Voda	velmi dobrá
Zásadité roztoky	uspokojivá – dobrá
Kyseliny	dobrá – velmi dobrá
Alkohol	dobrá – velmi dobrá
Aldehyd / Keton	velmi dobrá
Benzín	nedoporučovaná – uspokojivá
Polyglycol	velmi dobrá
Minerální oleje: působení po dobu 7 dní při teplotě 23°C	dobrá
působení po dobu 24 hodin při teplotě 70°C	uspokojivá

Tab.2: Chemická odolnost materiálů typu Bergaflex.



Obr.5: Granule
TPE-S Bergaflexu
BFI H65-3105
natur.



Obr.6: Granule
TPE-S Bergaflexu
BFI 50A-3E1310
natur. SO



Obr.7: Granule
TPE-S Bergaflexu
BFI 80A-3E1313
natur. (plnivo skl. kuličky)



Fyzikální vlastnosti		Podmínky měření	Bergaflex BFI		
			80A-3E1313 natur.(plnivo skl.kuličky)	50A-3E1310 natur. SO	H65-3105 natur.
		DIN			
Tvrdost	Shore A	53505	80	50	65
Hustota	[g.cm ⁻³]	53479	1,15	1,02	1,1
Mez pevnosti v tahu	[MPa]	53504	9	4,5	6
Mezní deformace	[%]	53504	500	600	500
Smrštění za 72 hod. při 23°C	[%]	53517	15	10	14
Smrštění za 22 hod. při 70°C	[%]	53517	36	28	34
Smrštění za 22 hod. při 100°C	[%]	53517	47	49	49

Tab.3: Vybrané fyzikální vlastnosti materiálů typu Bergaflex.

Poznámka: Výše uvedená data u vybraných fyzikálních vlastností měřených materiálů jsou typické hodnoty, které se mohou měnit v závislosti na použití a zpracování materiálů.



3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Zadáním mé diplomové práce bylo zhodnocení tekutosti a zabíhavosti vybraných elastomerů z produkce společnosti Peguform Bohemia, a.s., Liberec. Ke stanovení ITT a zabíhavosti byla použita tato zkušební zařízení:

- nízkotlaký kapilární plastometr M 201 (ke zjištění ITT);
- vstřikovací stroj Engel AG typ ES 25/50 se šnekovou plastikací (ke zjištění zatékavosti termoplastů pomocí spirálové zkoušky zabíhavosti).

3.1 STANOVENÍ ITT POMOCÍ NÍZKOTLAKÉHO KAPILÁRNÍHO PLASTOMETRU /12/



Obr.8 : Nízkotlaký kapilární plastometr M 201.

V praxi se tokové vlastnosti roztavených plastů posuzují na základě tzv. indexu toku taveniny ITT. Podmínky jeho stanovení uvádí ČSN 64 0861 a ISO 1133. Index toku taveniny udává množství taveniny v gramech, které proteče tryškou za deset minut při předepsaných podmínkách zkoušky. Měří se na vytlačovacím plastometru při konstantní teplotě tlakového spádu a s použitím standardní trysky ($l=8,0$ mm, $\varnothing d_0=2,1$ mm). Zkušební podmínky, tj. teplota a tlak na píst, se volí dle druhu plastu. Podle předpokládané hodnoty ITT se volí hmotnost náplně. U materiálů s předpokládaným ITT:

- do 3,5 g/10 min je to 4 až 5 gramů,
- nad 3,5 g/10 min je to 6 až 8 gramů.

Při stanovení hodnoty zatížení se musí počítat nejen s vlastní hmotností závaží, ale i s hmotností čtecího kruhu a pístu. Hmotnost se stanoví nejméně na třech odřezcích, jejichž hmotnost se nesmí lišit o více jak 5 % a změří se doba nutná k jejich vytlačení. Z nich se potom vypočítá průměr.

Index toku se vypočítá ze vzorce:

$$IT_{(T,P)} = \left(\frac{S \cdot m_s}{t_s} \right), \quad (1)$$

kde T je teplota zkoušky [K],

P je zatížení [N],

S je referenční čas [s],

m_s je průměrná hmotnost odřezků [g],

t_s je průměrný časový interval mezi odřezáním vytlačeného materiálu [s].

Pomůcky potřebné pro měření:

- násypka pro plnění válce,
- přípravek pro odřezávání vytlačeného materiálu,
- pomůcky k čištění,
- váhy s přesností na 0,005 g,
- stopky (pokud nejsou součástí zařízení),
- teplotní snímač s přesností měření na 0,1 °C.

3.1.1 POPIS PLASTOMETRU M 201 /11/

Základ plastometru tvoří ocelový válec ve vertikální poloze. Je opatřen tepelnou izolací, která brání ztrátám tepla do okolí a která umožňuje pracovat při teplotách 400 °C (673 K). Výška válce musí být v rozmezí od 115 do 180 mm, vnitřní průměr od 9,500 mm do 10,000 mm s dovolenou mezní odchylkou $\pm 0,025$ mm. V našem případě je výška válce 162 mm a vnitřní průměr válce $9,55 \pm 0,01$ mm. Válec slouží k plastikaci měřeného materiálu.

Základnou je tepelně izolovaná teflonová deska. V dutině se pohybuje píst. Pracovní délka pístu musí být rovna nejméně výšce válce. Délka vodící hlavy nesmí být větší než $6,35 \pm 0,1$ mm a její průměr musí být o $0,075 \pm 0,015$ mm menší než je průměr válce. Spodní hrana pístu má poloměr zaoblení 0,1 mm. Průměr pístní tyče musí být cca 9 mm. Na horní části pístu se nachází zařízení pro umístění přídavného závaží, přičemž píst musí být od závaží tepelně izolován. Na pístu jsou vyznačeny dvě tenké kruhové značky ve vzdálenosti 30 mm od sebe tak, aby při vzdálenosti spodního okraje pístu od horního okraje trysky rovné 20 mm byla kruhová značka na úrovni horního okraje válce. Kruhové značky vymezují oblast, ve které se odebírají odřezky vytlačeného plastu pro stanovení ITT. Píst je z oceli o tvrdosti menší, než je tvrdost ocele pro výrobu válce. Pro zkoušky vyžadující malá zatížení, se vyrábí píst dutý, při dosažení vyšších zatížení je píst plný.

Tryska se vyrábí buď z kalené oceli nebo ze spékaných karbidů a má délku $l = 8,000 \pm 0,025$ mm. Její vnitřní průměr se volí v souladu s příslušnými normami pro zkoušení materiálů. Obvyklý průměr je $2,095 \pm 0,005$ mm. Tryska nesmí vyčnívat ze základny válce.

Elektrický ohřev s elektronickou regulací zaručuje automatické udržování teploty s přesností $\pm 0,5$ °C. V blízkosti komory válce ve vzdálenosti 15 mm od základny válce je umístěn teplotní snímač, který umožňuje měření teploty s přesností 0,1 °C. Prostor pro snímání teploty se vyplňuje vodivým médiem, zpravidla lehko tavitelnou slitinou nebo silikonovým olejem. Přídavné závaží tvoří sada závaží, které působí společně s vlastní hmotností pístu na zkoušený materiál zatížením stanoveným s přesností $\pm 0,5$ %.

Zatížení P se vypočítá dle vzorce:

$$P = k \cdot \frac{D_0^2}{d_0^4}, \quad (2)$$

kde k je koeficient závislý na zvoleném zatížení a na průměru trysky,

D_0 je průměr pístu [mm],

d_0 je průměr trysky [mm].

3.1.2 POPIS MĚŘENÍ NA PLASTOMETRU /11/

Nejprve zkontrolujeme ustavení přístroje v základní poloze a čistotu vnitřního povrchu komory, trysky a pístu. Podle zkušebních předpisů a norem pro daný materiál nastavíme žádanou teplotu na panelu přístroje. Po dokonalém vytemperování válce, které trvá 35 až 40 min., naplníme tavnou komoru až po okraj příslušným plastem. Hmotu stlačíme vsunutím pístu, který přidržujeme rukou a zároveň kontrolujeme, zda je zajištěno správné vedení pístu v komoře. Tlačítkem “START” spustíme ohřev plastu. Dobu ohřevu materiálu volíme v rozmezí 1 až 9 min. Pokud norma materiálu nepředepisuje jinak, volíme jí nejméně 4 min. Zvolené závaží vložíme do čtecího hliníkového kruhu a nasadíme na manipulační zařízení. Dvacet sekund před uplynutím přípravného času se objeví na displeji číslo 0 a po jeho uplynutí údaj 000.0. Současně se automaticky odblokuje snímací zařízení stopek a my spustíme mechanismus manipulačního zařízení. Tavenina začne pod tlakem vyvozeným závažím a pístem vytékat volně do prostoru. Stopky se automaticky spustí, jakmile čtecí kruh přejde svým spodním rozšířeným okrajem přes spouštěcí zařízení. V tomto okamžiku odřízneme strunu, která se nevyhodocuje. Další odříznutí provedeme při zastavení stopek, které automaticky vypne horní rozšířený okraj čtecího kruhu. Strunu z vytlačeného materiálu odřízneme a zvážíme. Její hmotnost použijeme při výpočtu ITT. Čtecí kruh necháme se závažím a pístem klesnout do spodní polohy, kde se jejich pohyb zastaví. Manipulační zařízení vrátíme pomocí tlačítka do horní polohy.

Po každém měření je nutné plastometr důkladně vyčistit. Píst se ještě horký vyčistí bavlněným hadrem, trysku vyčistíme též za tepla pomocí vrtáčku, který je součástí výbavy. Dutinou válce protačujeme pomocí mosazné tyče kousky hadru o velikosti asi 6x6 cm.

3.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ ENGEL – SPIRÁLOVÁ ZKOUŠKA ZABÍHAVOSTI /6/, /7/



Obr.9: Šnekový vstřikovací stroj Engel ES 25/50.

Spirálová zkouška zabíhavosti umožňuje zjistit tokové chování polymerů za podmínek, které jsou prakticky shodné s podmínkami při vlastním vstřikování. Účelem zkoušky je stanovit zatékavost zkoušené hmoty v závislosti na zvolených (normovaných) technologických podmínkách. Roztavený polymer je na vstřikovacím stroji vstřikován při definovaných technologických podmínkách do formy, jejíž dutina má tvar ploché Archimédovy spirály, teoreticky nekonečné délky. Zkouška umožňuje porovnávat zabíhavost zkoušeného termoplastu se zabíhavostí referenčního termoplastu. Normy Peguformu (dříve Plastimatu) Liberec PN 5700 a PN 5615 stanoví podrobný pracovní postup a určují především vstřikovací teploty a tlaky, při nichž se měření provádí. Zkušebním zařízením v tomto případě je :

- vstřikovací stroj se šnekovou plastikací Engel AG typ ES 25/50,
- zkušební forma se spirálou o šířce $H=2$ mm

Temperace formy se provádí pomocí vody z ultratermostatu typ NBE, výrobce Prüfgeräte Medingen, SRN.

3.2.1 PRACOVNÍ POSTUP PRO STANOVENÍ ZÁVISLOSTI DÉLKY SPIRÁLY NA VSTŘIKOVACÍ TEPLITĚ /6/, /7/

Při konstantním vstřikovacím tlaku (p) se stanoví délky spirály (L) pro řadu vstřikovacích teplot ($T_{\text{vstř.}}$) v celém teplotním rozsahu zpracování zkoušeného polymeru. Z experimentálních výsledků se sestaví graf závislosti délky spirály na teplotě taveniny. Hodnota délky spirály, uváděná v tabulkách a zakreslovaná v grafech je aritmetickým průměrem nejméně 15 po sobě následujících spirál, odebraných po ustálení vstřikovacích podmínek. Ustálených vstřikovacích podmínek se dosáhne tehdy, když délka po sobě zhotovených spirál se mění v rozsahu asi 1 cm, tj. 1 dílek spirály. Podmínky se ustálí asi po 15 minutách vstřikování (po nastavení vstřikovacích podmínek na stroji, zejména vstřikovací teploty). Při změně pouze vstřikovacího tlaku se pracovní režim stroje ustálí dříve. Vstřikovací teplota, jako charakteristická veličina pro délku spirály, se měří v cyklu, následujícím po posledním odebrání hodnocené spirály, a to v tavenině vystříknuté mimo formu.

Podmínky vstřikování:

Teploty T [$^{\circ}\text{C}$]	pásmo I	$T + 40$ $^{\circ}\text{C}$
	pásmo II (střed)	$T + 20$ $^{\circ}\text{C}$
	pásmo III (násypka)	T

Teplota T je nastavená na regulátoru teploty topného pásma u násypky. Počáteční nejnižší teplota taveniny se stanoví tak, aby pracovní režim stroje byl pravidelný a bez závad (jako je např. brždění šneku při plastikaci, neprotavené granule ve výstřiku aj.). Teplota temperačního média byla 60 $^{\circ}\text{C}$.

U vstřikovacího stroje Engel AG typ ES 25/50 je topné těleso s příkonem 150 W umístěno na nástavci pro vstřikovací trysku. Topným tělesem prochází proud 0,5 A. Celkový cyklus je stanoven na 45 s (vstřik 10 s, chlazení 15 s, šnekování a manipulace 20 s). Rychlost vstřiku je $2 \pm 0,1$ mm/s. Tato hodnota udává dobu pohybu pístu vpřed pro úplný zdvih a nastaví se při počáteční vstřikovací teplotě. Přitom se vstřikuje mimo vstřikovací formu. Při změnách vstřikovací teploty a tlaku se nastavení rychlosti vstřiku nemění.



Technologické podmínky zkoušky:

Hydraulický tlak:	vstřikovací	5 MPa
	uzavírací	14 MPa
Tloušťka spirály:		2 mm
Kuželový vtok:	průměr trysky	3 mm
	průměr dýzy	3 mm
Průměr vstřikovací trysky stroje:		3 mm

3.2.2 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SPIRÁLOVÉ ZKOUŠKY ZABÍHAVOSTI /6/, /7/

Při hodnocení vlivu technologických parametrů na zatékavost jsou důležité tyto vztahy:

- závislost délky spirály (L) na teplotě taveniny (T_t),
- závislost délky spirály (L) na vstřikovacím tlaku (p),
- závislost délky spirály (L) na teplotě formy (T_f),
- závislost délky spirály (L) na vstřikovací rychlosti (v),
- závislost délky spirály (L) na její tloušťce (h),
- závislost délky spirály (L) na tvaru a průřezu ústí vtoku (S_v),

a to za předpokladu, že ostatní technologické podmínky jsou konstantní.

Tyto konstantní technologické podmínky je vhodné volit tak, aby se přibližovaly skutečným technologickým podmínkám v provozu. Srovnatelné výsledky jsou pouze tehdy, jsou-li srovnávané materiály vstřikovány za stejných technologických podmínek. Liší-li se při vstřikování nastavení parametrů vstřikovacího stroje, lze výsledky srovnávat pouze přibližně. Zpracovatelský rozsah taveniny zkoušeného polymeru se volí v souladu s doporučením výrobce materiálu.



V našem případě jsme zjišťovali závislosti délky spirály (L) na teplotě taveniny (T_t), které jsou zaznamenány v tabulkách (viz *tab.14 - 18*) a vyneseny do grafů (viz *obr. 14 - 16*).

4. HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

4.1 VYHODNOCENÍ INDEXU TOKU TAVENINY

Materiál : **TPU Elastollan C 70 A 10W natur.**

Podmínky měření:

- teplota $T = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$
- hmotnost závaží $m_z = 1\,835\text{ g}$
- hmotnost pístu a kotouče $m_{pk} = 0,325\text{ g}$
- zatížení $F = 21,18\text{ N}$
- koeficient $k = 464$

naměřené hodnoty		
číslo měření	doba vytlačování t	hmotnost odřezků m_i
	[s]	[g]
1	96,9	1,890
2	86,2	1,846
3	84,9	1,873
4	91,6	1,881
5	88,8	1,921

Tab.4: Naměřené hodnoty materiálu TPU Elastollan C 70 A 10W natur. při měření ITT.

Výpočet indexu toku taveniny ITT

Index toku taveniny ITT se spočítá dle vzorce:

$$IT_{(T,P)} = \left(\frac{S \cdot m_s}{t_s} \right), \quad (3)$$

kde teplota je $T = 463\text{ K}$,

zatížení
$$P = k \cdot \frac{D_0^2}{d_0^4} = 464 \cdot \frac{9,55^2}{2,095^4} = 2\,197\text{ N}$$
,

referenční čas $S = 240\text{ s}$.



Výpočet průměrné hmotnosti m_s :

$$m_s = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_i, \text{ kde} \quad (4)$$

n je počet naměřených hodnot,

m_i jsou naměřené hmotnosti odřezků [g],

$i = 1, 2, 3, \dots, n$,

dále vypočteme rozptyl s^2 a směrodatnou odchylku s :

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - m_s)^2, \quad (5)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (6)$$

a po dosazení naměřených hmotností m_i do předchozích vzorců dostaneme průměrnou hmotnost odřezků m_s [g], její rozptyl s^2 a směrodatnou odchylku s . Při výpočtu průměrné doby vytlačování t_s postupujeme obdobným způsobem. Všechny vypočítané hodnoty jsou zaneseny v následujících tabulkách.

Do vztahu (3) dosadíme vypočítané hodnoty m_s a t_s a dostaneme:

$$IT_{(463,2197)} = \left(\frac{240 \cdot 1,883}{89,68} \right) = 5,038 \text{ g/10min.}$$

vypočítané hodnoty			
průměrná doba vytlačování t_s [s]	89,68	průměrná hmotnost odřezků m_s	1,883
směrodatná odchylka s	4,279	směrodatná odchylka s	0,024
rozptyl s^2	15,258	rozptyl s^2	0,0005
index toku taveniny $IT_{(463,2197)}$	5,038		

Tab.5: Vypočítané hodnoty materiálu TPU Elastollan C70 A 10W natur. při měření ITT.



Materiál: TPU Elastollan C 60 A 10W natur.

Podmínky měření:

- teplota $T = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$
- hmotnost závaží $m_z = 1\,835\text{ g}$
- hmotnost pístu a kotouče $m_{pk} = 0,325\text{ g}$
- zatížení $F = 21,18\text{ N}$
- koeficient $k = 464$

naměřené hodnoty		
číslo měření	doba vytlačování t	hmotnost odřezků m_i
	[s]	[g]
1	46,4	1,848
2	48	1,880
3	46,5	1,879
4	46,2	1,920
5	45,6	1,900

Tab.6: Naměřené hodnoty materiálu TPU Elastollan C 60 A 10W natur. při měření ITT.

vypočítané hodnoty			
průměrná doba vytlačování t_s [s]	46,54	průměrná hmotnost odřezků m_s	1,885
směrodatná odchylka s	0,794	směrodatná odchylka s	0,024
rozptyl s^2	0,525	rozptyl s^2	0,0005
index toku taveniny $ITT_{(463,2197)}$	9,722		

Tab.7: Vypočítané hodnoty materiálu TPU Elastollan C 60 A 10W natur. při měření ITT.



Materiál: TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky)

Podmínky měření:

- teplota $T = 190\text{ °C}$
- hmotnost závaží $m_z = 9\,675\text{ g}$
- hmotnost pístu a kotouče $m_{pk} = 0,325\text{ g}$
- zatížení $F = 98,1\text{ N}$
- koeficient $k = 2\,150$

naměřené hodnoty		
číslo měření	doba vytlačování t	hmotnost odřezků m_i
	[s]	[g]
1	19,9	1,170
2	20,1	1,178
3	19,7	1,144
4	18,6	1,164
5	19,3	1,166

Tab.8: Naměřené hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky) při měření ITT.

vypočítané hodnoty			
průměrná doba vytlačování t_s [s]	19,52	průměrná hmotnost odřezků m_s	1,166
směrodatná odchylka s	0,531	směrodatná odchylka s	0,012
rozptyl s^2	0,235	rozptyl s^2	0,0001
index toku taveniny $ITT_{(463,10179)}$	14,35		

Tab.9: Vypočítané hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky) při měření ITT.



Materiál: **TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO**

Podmínky měření:

- teplota $T = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$
- hmotnost závaží $m_z = 9\,675\text{ g}$
- hmotnost pístu a kotouče $m_{pk} = 0,325\text{ g}$
- zatížení $F = 98,1\text{ N}$
- koeficient $k = 2\,150$

naměřené hodnoty		
číslo měření	doba vytlačování t	hmotnost odřezků m_i
	[s]	[g]
1	37,5	1,688
2	40,8	1,647
3	41,6	1,642
4	40,6	1,659
5	37,2	1,652

Tab.10: Naměřené hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO při měření ITT.

vypočítané hodnoty			
průměrná doba vytlačování t_s [s]	39,54	průměrná hmotnost odřezků m_s	1,658
směrodatná odchylka s	1,822	směrodatná odchylka s	0,016
rozptyl s^2	2,765	rozptyl s^2	0,0002
index toku taveniny $ITT_{(463,10197)}$	10,062		

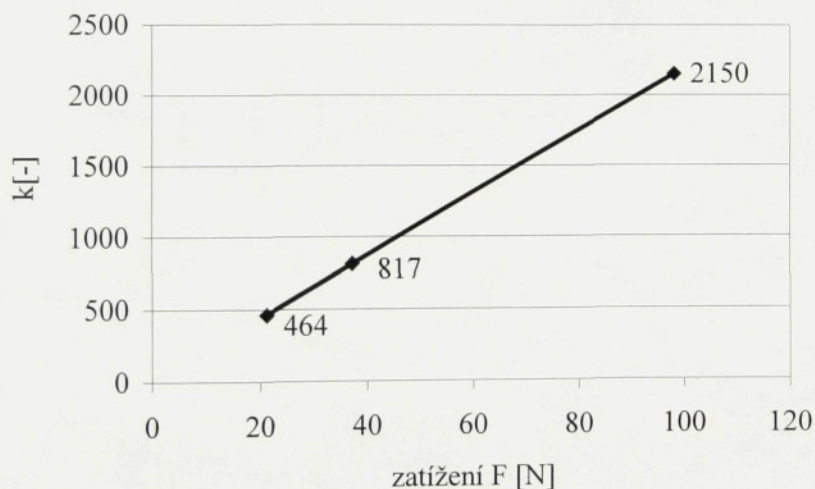
Tab.11: Vypočítané hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO při měření ITT.

Materiál: TPE-S Bergaflex BFI H65-3105

Podmínky měření:

- teplota $T = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$
- hmotnost závaží $m_z = 3\,475\text{g}$
- hmotnost pístu a kotouče $m_{pk} = 0,325\text{g}$
- zatížení $F = 37,26\text{N}$

Protože zvolené zatížení F neodpovídá podmínkám normy ČSN 64 0861, je nutno dopočítat hodnotu koeficientu k pro provedené měření. Hodnoty zatížení F a koeficienty k z předchozích měření byly zaneseny do grafu, body proloženy přímkou a z její rovnice byl koeficient k pro materiál TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 dopočítán.



Obr.10: Graf závislosti koeficientu k na velikosti zatížení F .

rovnice přímky:

$$y = 21,919 \cdot x - 0,2418 \quad (7)$$

po dosazení:

$$k = 21,919 \cdot F - 0,2418 = 21,919 \cdot 37,26 - 0,2418$$

$$k = 817$$



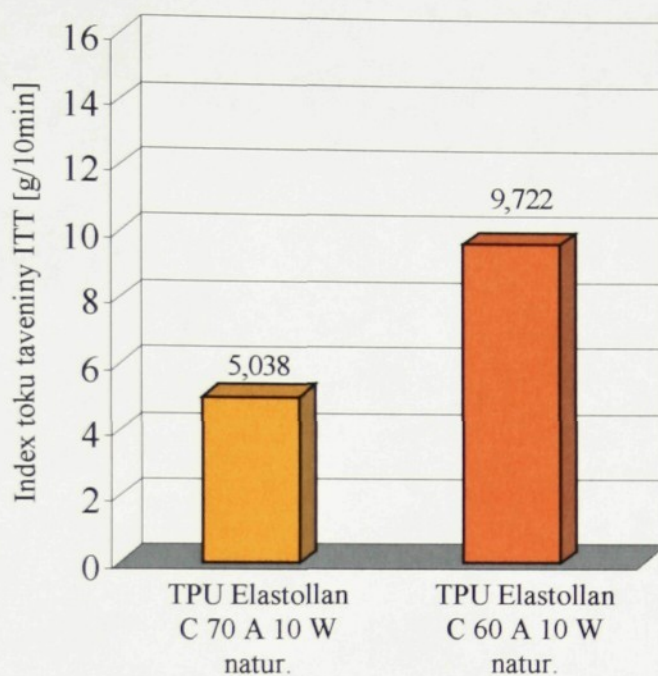
naměřené hodnoty		
číslo měření	doba vytlačování t	hmotnost odřezků m_i
	[s]	[g]
1	33,5	1,642
2	33,9	1,642
3	33,9	1,600
4	34,3	1,632
5	34,2	1,611

Tab.12: Naměřené hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 při měření ITT.

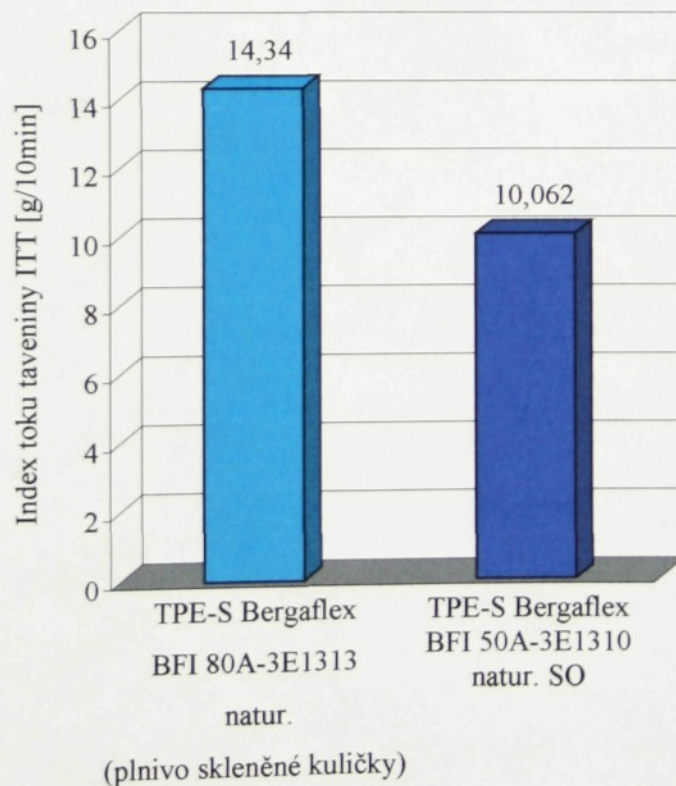
vypočítané hodnoty			
průměrná doba vytlačování t_s [s]	33,96	průměrná hmotnost odřezků m_s	1,625
směrodatná odchylka s	0,280	směrodatná odchylka s	0,017
rozptyl s^2	0,065	rozptyl s^2	0,0002
index toku taveniny $ITT_{(463,3868)}$	11,487		

Tab.13: Vypočítané hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 při měření ITT.

Porovnání ITT u zkoušek se stejnými vstupními podmínkami (T,P):



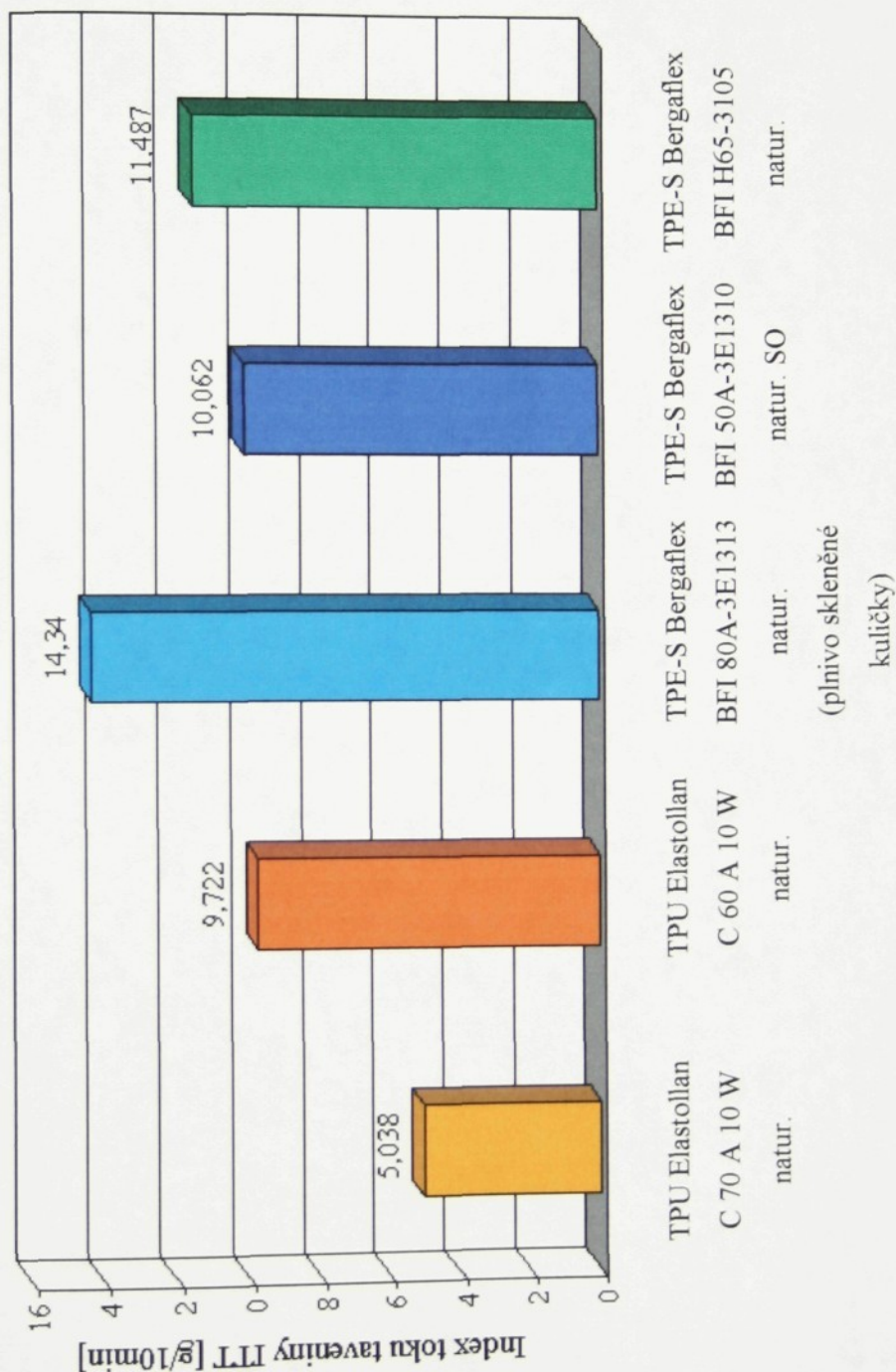
Obr.11: Porovnání ITT materiálů typu TPU Elastollan.



Obr.12: Porovnání ITT materiálů typu TPE-S Bergaflex.

Porovnání indexu toku všech měřených materiálů:

(porovnání je pouze orientační, hodnoty ITT byli naměřeny při různém zatížení P)



Obr.13: Porovnání ITT u všech měřených materiálů.

4.2 VYHODNOCENÍ SPIRÁLOVÉ ZKOUŠKY ZABÍHAVOSTI

4.2.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY SPIRÁLOVÉ ZKOUŠKY ZABÍHAVOSTI

Materiál : TPU Elastollan C 70 A 10W natur.

Údaj pro parametr	Jedn.	Spirálová zatékavost		
1. pásmo	°C	110	130	150
2. pásmo(střed)	°C	90	110	130
3. pásmo(násypka)	°C	70	90	110
tryska	A	0,5	0,5	0,5
průměr trysky	mm	3	3	3
průměr dýzy	mm	3	3	3
vstřík	s	10	10	10
chlazení	s	15	15	15
manipulace	s	11	9	6
šnekování	s	6	8	11
celkový cyklus	s	45	45	45
rychlost vstříku	mm/s	2	2	2
vstříkovací tlak	MPa	5	5	5
uzavírací tlak	MPa	14	14	14
zpětný odpor	MPa	5,5	4,5	3,5
teplota formy	°C	45	45	45
teplota taveniny	°C	180	204	223
délka spirály	cm	21,6	36,2	56,5
sušení	h/°C	3 / 70		

Tab.14: Hodnoty materiálu TPU Elastollan C 70 A W natur naměřené při spirálové zkoušce.

Materiál: TPU Elastollan C 60 A 10W

Údaj pro parametr	Jedn.	Spirálová zatékavost		
1. pásmo	°C	110	130	150
2. pásmo(střed)	°C	90	110	130
3. pásmo(násypka)	°C	70	90	110
tryska	A	0,5	0,5	0,5
průměr trysky	mm	3	3	3
průměr dýzy	mm	3	3	3
vstřík	s	10	10	10
chlazení	s	15	15	15
manipulace	s	10	8	5
šnekování	s	7	9,5	13
celkový cyklus	s	45	45	45
rychlost vstřiku	mm/s	2	2	2
vstřikovací tlak	MPa	5	5	5
uzavírací tlak	MPa	14	14	14
zpětný odpor	MPa	5	4	3
teplota formy	°C	45	45	45
teplota taveniny	°C	182	206	229
délka spirály	cm	28,4	51,6	85,4
sušení	h/°C	3 / 70		

Tab.15: Hodnoty materiálu TPU Elastollan C 60 A 10W natur. naměřené při spirálové zkoušce.



Materiál: TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky)

Údaj pro parametr	Jedn.	Spirálová zatékavost		
1. pásmo	°C	110	130	150
2. pásmo(střed)	°C	90	110	130
3. pásmo(násypka)	°C	70	90	110
tryska	A	0,5	0,5	0,5
průměr trysky	mm	3	3	3
průměr dýzy	mm	3	3	3
vstřík	s	10	10	10
chlazení	s	15	15	15
manipulace	s	15	14	12
šnekování	s	2	3	4,5
celkový cyklus	s	45	45	45
rychlost vstříku	mm/s	2	2	2
vstřikovací tlak	MPa	5	5	5
uzavírací tlak	MPa	14	14	14
zpětný odpor	MPa	5	4	3
teplota formy	°C	45	45	45
teplota taveniny	°C	179	202	234
délka spirály	cm	29,6	33,0	37,2
sušení	h/°C	4 / 70		

Tab.16: Hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky) naměřené při spirálové zkoušce.



Materiál: **TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO**

Údaj pro parametr	Jedn.	Spirálová zatěřavost		
1. pásmo	°C	110	130	150
2. pásmo(střed)	°C	90	110	130
3. pásmo(násypka)	°C	70	90	110
tryska	A	0,5	0,5	0,5
průměr trysky	mm	3	3	3
průměr dýzy	mm	3	3	3
vstřik	s	10	10	10
chlazení	s	15	15	15
manipulace	s	13	12	10
šnekování	s	4	5	6,5
celkový cyklus	s	45	45	45
rychlost vstřiku	mm/s	2	2	2
vstřikovací tlak	MPa	5	5	5
uzavírací tlak	MPa	14	14	14
zpětný odpor	MPa	5,5	4,5	3,5
teplota formy	°C	45	45	45
teplota taveniny	°C	182	206	230
délka spirály	cm	26,2	38,5	53,5
sušení	h/°C	4 / 70		

Tab.17: Hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO naměřené při spirálové zkoušce.

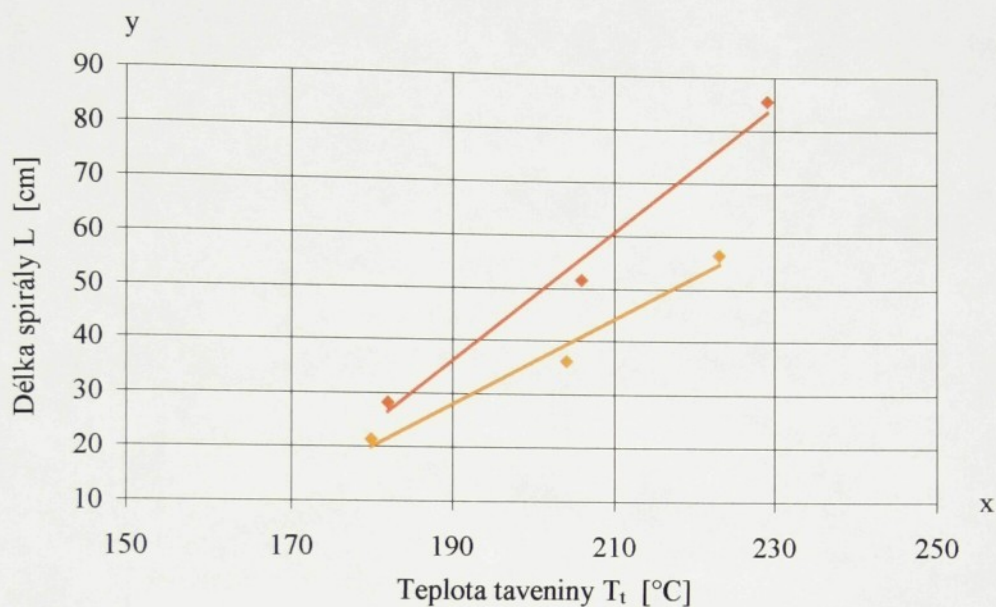


Materiál: **TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur.**

Údaj pro parametr	Jedn.	Spirálová zatékavost		
1. pásmo	°C	110	130	150
2. pásmo(střed)	°C	90	110	130
3. pásmo(násypka)	°C	70	90	110
tryska	A	0,5	0,5	0,5
průměr trysky	mm	3	3	3
průměr dýzy	mm	3	3	3
vstřik	s	10	10	10
chlazení	s	15	15	15
manipulace	s	14	13	11
šnekování	s	3	4	5,5
celkový cyklus	s	45	45	45
rychlost vstřiku	mm/s	2	2	2
vstřikovací tlak	MPa	5	5	5
uzavírací tlak	MPa	14	14	14
zpětný odpor	MPa	5	4	3
teplota formy	°C	45	45	45
teplota taveniny	°C	184	208	226
délka spirály	cm	57,3	62,5	69,2
sušení	h/°C	4 / 70		

Tab.18: Hodnoty materiálu TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur. naměřené při spirálové zkoušce.

Spirálová zkouška zabíhavosti pro materiály:



◆ **TPU Elastollan C 70 A W natur.**

$$y = 0,8029x - 124,35$$

$$R^2 = 0,9743$$

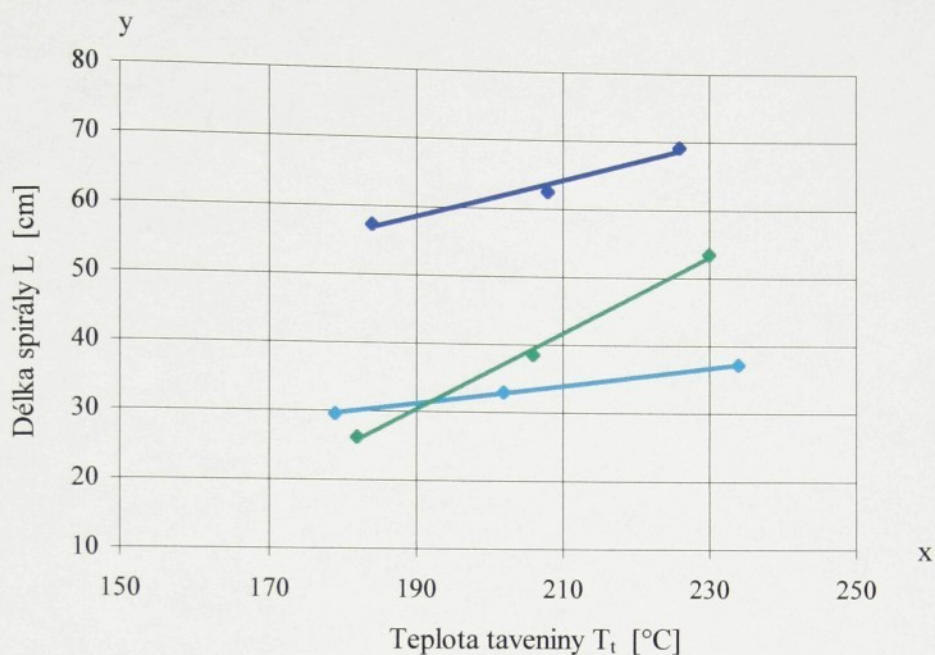
◆ **TPU Elastollan C 60 A 10W natur.**

$$y = 1,211x - 193,93$$

$$R^2 = 0,985$$

Obr.14: Závislosti délek spirál na teplotě taveniny materiálů typu TPU Elastollan.

Spirálová zkouška zabíhavosti pro materiály:



- ◆ **TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky)**

$$y = 0,1377x + 5,0288$$

$$R^2 = 0,9989$$

- ◆ **TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO**

$$y = 0,2797x + 5,3757$$

$$R^2 = 0,9762$$

- ◆ **TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur.**

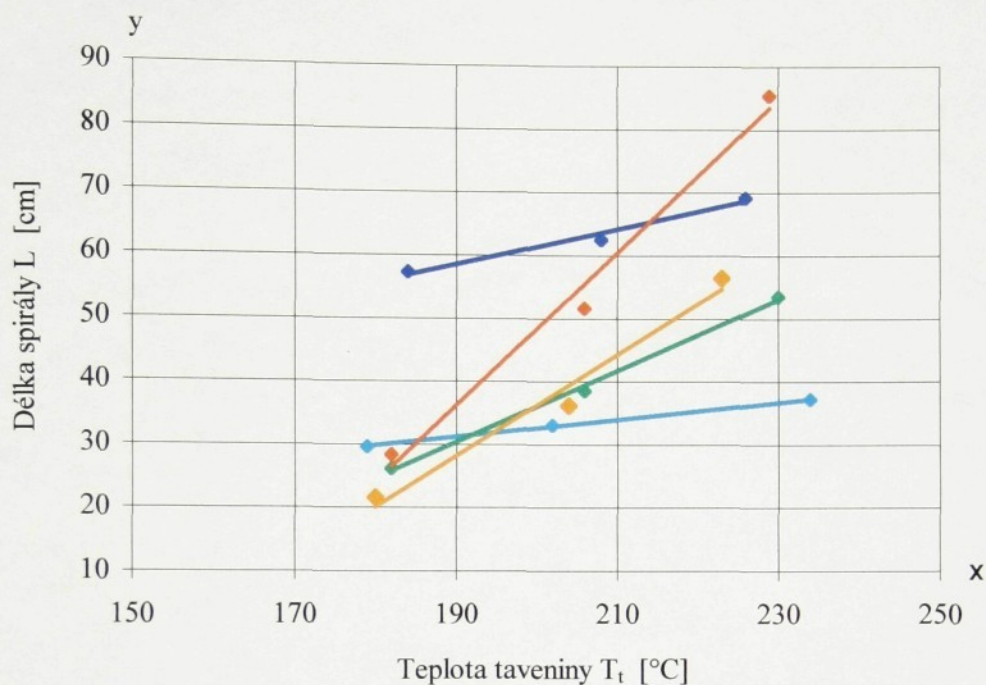
$$y = 0,5688x - 57,762$$

$$R^2 = 0,1398$$

Obr.15: Závislosti délek spirál na teplotě taveniny materiálů typu TPE-S Bergaflex.



Spirálová zkouška zabíhavosti pro materiály:



◆ **TPU Elastollan C 70 A W natur.**

$$y = 0,8029x - 124,35$$

$$R^2 = 0,9743$$

◆ **TPU Elastollan C 60 A 10W natur.**

$$y = 1,211x - 193,93$$

$$R^2 = 0,9858$$

◆ **TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky)**

$$y = 0,1377x + 5,0288$$

$$R^2 = 0,9989$$

◆ **TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO**

$$y = 0,2797x + 5,3757$$

$$R^2 = 0,9762$$

◆ **TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur.**

$$y = 0,5688x - 57,762$$

$$R^2 = 0,1398$$

Obr.16: Závislosti délek spirál na teplotě taveniny všech měřených materiálů.

5. ZÁVĚR

Vzhledem ke svým vlastnostem a možnostem zpracování se stávají termoplastické elastomery nedílnou součástí vstřikovacího průmyslu. Každý materiál je něčím specifický, každý má své určité vlastnosti a vždy záleží na konečném použití.

Cílem mojí diplomové práce bylo zhodnotit tekutost a zabíhavost elastomerů z produkce společnosti Peguform Bohemia, a.s., Liberec. Diplomová práce, tak jak bylo naznačeno v úvodu, je rozdělena do dvou částí. V první, teoretické části, je obecné rozdělení plastů, vlastnosti termoplastů, definice a vlastnosti termoplastických elastomerů. Je zde nastíněna technologie vstřikování. V druhé, experimentální části, jsou popsány technologické zkoušky, zaznamenány naměřené hodnoty, jejich vyhodnocení a následné porovnání výsledků v grafech.

K porovnání tekutosti byl u vybraných materiálů zjišťován index toku taveniny ITT pomocí nízkotlakého kapilárního plastometru M 201. Porovnávat lze pouze materiály měřené za stejných vstupních podmínek a to za stejné teploty (T) a stejného zatížení (P). Teplota (T) byla u všech provedených měření stejná a to 190 °C. Rozdílnost ve zvoleném zatížení (P) byla dána vlastní tekutostí měřených materiálů (při určitém zatížení materiál z plastometru nevytékal a bylo nutno k provedení zkoušky zatížení (P) zvýšit). Lze tedy porovnat pouze dvě dvojice materiálů z pěti měřených:

- TPU Elastollan C70 A 10 W natur. a TPU Elastollan C60 A 10 W natur.,
- TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO a TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky).

Vyšší hodnota ITT označuje materiál s vyšší tekutostí. Materiál TPU Elastollan C60 A 10W natur. prokazoval při experimentu vyšší tekutost, než s ním porovnávaný TPU Elastollan C70 A 10W natur. Index toku u prvně jmenovaného materiálu byl přibližně dvojnásobně vyšší.

U druhé porovnávané dvojice materiálů byl tekutější materiál TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky). Jeho index toku taveniny byl vyšší, a to zhruba o 30 %, než ITT materiálu TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO.

Hodnota ITT u materiálu TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur. je vzhledem k velikosti použitého zatížení (P) pouze informační.

Ke srovnání zabíhavosti materiálů byla použita spirálová zkouška zabíhavosti. Měření bylo prováděno na vstřikovacím stroji Engel AG ES 25/50 se šnekovou plastikací pro tři různé vstřikovací teploty ($T_{\text{vstř.}}=110, 130$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$), při konstantním vstřikovacím tlaku (p). Z naměřených hodnot pak byly sestrojeny grafické závislosti délky spirály (L) na teplotě taveniny (T_1). Materiály jsem nejprve porovnal s ohledem na jejich strukturní příbuznost (viz *obr. 14*, *obr. 15*) a pak všechny navzájem (viz *obr. 16*).

U materiálu TPU Elastollan C70 A 10W natur. byla délka spirály a tím i zabíhavost větší v celém rozmezí vstřikovacích teplot než u TPU Elastollan C60 A 10W (viz *obr. 14*).

U materiálů na bázi TPE-S vykazoval největší zabíhavost TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur. V okolí teploty taveniny $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ mají materiály TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO a TPE-S Bergaflex BFI 80A-3E1313 natur. (plnivo skleněné kuličky) přibližně stejnou zabíhavost, ta však u materiálu TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO se stoupající teplotou taveniny strměji roste, ale nedosahuje takových hodnot jako u TPE-S Bergaflex BFI H65-3105 natur. (viz *obr. 15*).

Při srovnání všech materiálů navzájem (viz *obr. 16*) je zřejmé, že materiály TPU mají proti materiálům TPE-S strmější charakteristiku, tedy že u materiálů TPU se výrazně zvětšuje zabíhavost při zvyšující se teplotě. Všechny materiály kromě TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO mají v okolí teplot $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ přibližně stejnou délku spirál, křivky mají počátek přibližně ve stejném bodě. Nejvýraznějších hodnot dosahuje materiál TPU Elastollan C70 A 10W natur. Výrazně se liší materiál TPE-S Bergaflex BFI 50A-3E1310 natur. SO, jehož délka spirál je v okolí teplot $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ oproti ostatním materiálům téměř dvojnásobná, ale s přibývajícím teplotou již výrazně nenarůstá.



6. POUŽITÁ LITERATURA

1. KREBS J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*, skripta VŠST, Liberec 1991
2. ŠKEŘÍK J.: *Plasty v elektrotechnice a elektronice*, SNTL, Praha 1991
3. KOLOUCH J.: *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*, SNTL, Praha 1986.
4. DUCHÁČEK, V.: *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, skripta VŠCHT Praha, 1995.
5. KUTA, A.: *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*, skripta VŠCHT Praha, 1999.
6. *Podniková norma Plastimatu Liberec PN 5700*, 1978, dodatek 1984.
7. *Podniková norma Plastimatu Liberec PN 5615*, 1968.
8. MALÁČ J.: *Plasty a kaučuk*, 26, 1989, č.5.
9. LÁČOK J.: *Plasty a kaučuk*, 24, 1987, č.6.
10. MALÁČ J.: *Plasty a kaučuk*, 24, 1987, č.11.
11. CHEMOPROJEKT: *Návod k obsluze a údržbě – Výtlačný plastometr M 201*.
12. Norma ČSN 64 0861: *Stanovení indexu toku taveniny termoplastů*, Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, Praha
13. MATERIÁLOVÉ LISTY VYBRANÝCH ELASTOMERŮ.
14. www.polyone-bergmann.de
15. www.peguform.cz



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 24. května 2002

Petr Weinlich