



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

OPTIMALIZACE PROCESU PLASTIFIKACE MATERIÁLU

OPTIMIZATION OF MATERIAL PLASTIFICATION PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

HANA ŠENIGLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. LIBOR PANTĚLEJEV, Ph.D.

BRNO 2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Šeniglová Hana

Ekonomika a procesní management (6208R161)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává bakalářskou práci s názvem:

Optimalizace procesu plastifikace materiálu

v anglickém jazyce:

Optimization of Material Plastification Process

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Cíle práce

Teoretická část - plasty obecně (použití, zpracování vlastnosti)

Analýza řešené problematiky

Experimentální část - použitý materiál, experimentální techniky, vlastní výsledky

Diskuse výsledků

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

DUCHÁČEK, V. Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT, 1995.
ISBN 80-7080-241-3

ŠTĚPEK, J. Zpracování plastických hmot. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966,
ISBN 04-605-66

LENFELD, P. Technologie II - 2. část: zpracování plastů. Liberec: Technická univerzita, 2006.
ISBN 80-7372-037-X

PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002.
ISBN 80-7204-248-3

ASKELAND D.R., PHULÉ, P.P. The Science and Engineering of Materials. Canada: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Libor Pantělejev, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

L.S.

prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA
Ředitel ústavu

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
Děkan fakulty

V Brně, dne 02.06.2014

Abstrakt

Tato práce se zabývá optimalizací procesu plastifikace materiálu. Cílem práce bylo najít vhodné nastavení parametrů vstřikovacího lisu. Toho bylo dosaženo pomocí metody „Design of Experiments“. Potřebná měření byla provedena na vzorku, krytu filtru palivové nádrže dodaného firmou Robert Bosch České Budějovice. Jednotlivá měření jsou v práci blíže popsána. Jejich výsledky jsou shrnuty a poté vyhodnoceny softwarem Minitab, který navrhl nejvhodnější nastavení parametrů lisu.

Abstract

This bachelor's thesis deal with the optimization of the process of material plastification. The purpose of the thesis is to devise feasible parameters of a injection molding machine. The goal was achieved by the „Design of Experiments“ method. The necessary measurements were taken on the sample, a filter fuel tank, which was provided by the company Robert Bosch České Budějovice. Each measurements are described in the bachelor's thesis. The results are summarized and evaluated in the Minitab software used for optimal parameters settings of the production process.

Klíčová slova

Plastifikace, plastifikační jednotka, vstřikování plastů, polymer

Key words

Plastification, plastification unit, injection of polymers, polymer

Bibliografická citace

Šeniglová, H., *Optimalizace procesu plastifikace materiálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2014. s. Vedoucí práce doc. Ing. Libor Pantělejev, Ph.D

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 3. června 2014

.....

Hana Šeniglová

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla tímto poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Liboru Pantělejevovi, Ph.D. za pomoc při vedení mé bakalářské práce, jeho cenné rady a připomínky. Dále bych ráda poděkovala Ing. Karlu Krpounovi, technologu z firmy Robert Bosch České Budějovice, za poskytnuté materiály a čas strávený konzultacemi.

OBSAH

ÚVOD.....	10
CÍLE PRÁCE.....	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1 Použití plastů.....	12
1.1.1 Použití plastů v průmyslu	12
1.1.2 Použití plastů v automobilovém průmyslu	13
1.1.3 Zpracování plastů.....	14
1.2 Druhy plastů	15
1.2.1 Nejrozšířenější plasty.....	18
1.2.2 Plasty používané v automobilovém průmyslu	19
1.3 Technologie zpracování plastů.....	21
1.3.1 Doplňkové technologie	21
1.3.2 Tvářecí technologie.....	25
1.3.3 Tvarovací technologie.....	31
2 ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	33
2.1 Současný stav	33
2.2 Experimentální metody	34
2.2.1 Metoda DOE	34
2.2.2 Software Minitab	35
2.2.3 Zkouška přetlakem.....	36
2.2.4 Index toku taveniny	36
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
3.1 Dílčí výsledky měření	39
3.1.1 Výskyt neroztavených granulí	39
3.1.2 Teplota taveniny	40

3.1.3	Přetlaková zkouška Berstdruck.....	41
3.1.4	Index toku taveniny dílu	42
4	DISKUSE VÝSLEDKŮ	44
	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52
	SEZNAM TABULEK	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

ÚVOD

Plasty jsou v současné době velmi rozšířeným materiálem snad ve všech odvětvích průmyslu. Pokud se nepoužívají přímo při zpracování produktů některého odvětví, slouží minimálně jako obalový materiál. Není proto překvapivé, že našly své uplatnění i v automobilovém průmyslu. Od dob, kdy se plasty používaly pouze na doplňky automobilů, se jejich využití znásobilo. Nyní zabírají více jak deset procent hmotnosti automobilu, což je vzhledem k nízké hmotnosti plastů, nezanedbatelné číslo.

S rozvojem a novými technologiemi v oblasti zpracování plastů stále stoupají požadavky na kvalitu výrobků. A proto v době vysoké konkurence se každá firma snaží vyrábět co nejvyšší kvalitu výrobky za přijatelnou cenu.

Jedním z mnoha faktorů ovlivňující kvalitu i cenu výrobku je příprava materiálu. U vstřikování plastů je poslední fází přípravy materiálu před samotným vstřikováním plastifikace materiálu. Tímto procesem se bakalářská práce bude zabývat s cílem jej optimalizovat a nalézt vhodné nastavení parametrů vstřikovacího lisu.

CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zpracovat literární rešerši problematiky zpracování plastů, dále nalézt nejlepší variantu vstupních parametrů vstřikovacího lisu pro optimální plastifikaci materiálu v reálném procesu výroby.

Pro optimalizaci procesu plastifikace materiálu je nutné nalézt vhodné nastavení parametrů vstřikovacího lisu. To bude prováděno pomocí metody „Design of Experiments“, ke které je potřeba splnit dílčí cíle. Těmi jsou provedení měření a zkoušek na použitých vzorcích. Měřena bude teplota taveniny, výskyt neroztavených granulí, index toku taveniny dílce a také prováděna přetlaková zkouška.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části je blíže popsáno použití plastů, jaké druhy plastů se používají a velká část je věnovaná způsobům zpracování plastů, především vstřikování plastů.

1.1 Použití plastů

V dnešní době jsou plasty rozšířené asi do všech průmyslových odvětví. Některé věci ani nemusí na první pohled jako plastové vypadat a přesto jsou z plastu. Z čeho je například vaše nová „dřevěná“ podlaha, či „skleněná“, nerozbitná váza? Proč je využití plastů tak rozšířené? Díky rychle se vyvíjející technologii výroby a zpracování plastů, mohou nahradit svými vlastnostmi jiné dražší materiály, anebo se dokonce hodí k některým účelům více než jiné materiály. Používají se především díky jejich nízké hmotnosti, snadné tvarovatelnosti a odolnosti proti korozi. [1]

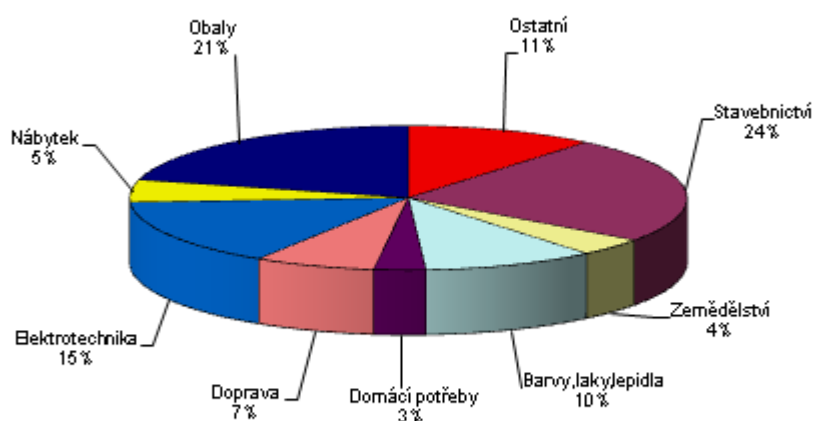
1.1.1 Použití plastů v průmyslu

Plasty se nejprve začaly objevovat při výrobě spotřebního zboží. Zde se totiž klade velký důraz na cenu výrobků a použití plastů bylo ekonomicky přínosné. Ačkoliv mechanické i fyzikální vlastnosti tehdejších plastů, nebyly tak dobré jako nyní, nízké nároky na funkční vlastnosti výrobků splňovaly. A navíc výrobky splňovaly požadovaný estetický vzhled a měly nízkou hmotnost. Zejména v elektrotechnice našly plasty široké uplatnění. Díky tvárnosti plastů se daly vyrábět složité tvary izolačních součástí. Dalším předpokladem pro využívání plastů v této oblasti jsou jejich fyzikální vlastnosti, především elektrické a dielektrické vlastnosti. Až s dalším pokrokem pronikly plasty i do stavebnictví a zemědělství. Tento pokrok představoval výrobu lehčených plastů, izolačních fólií, trubek, hadic apod. [1]

Posledním odvětvím, kde se začaly používat plasty ve větší míře, bylo strojírenství. Strojní součásti bývají totiž vystaveny velkému mechanickému a tepelnému namáhání, to vyžaduje poměrně vysoké hodnoty pevnosti a modulu pružnosti použitých materiálů, a to i za zvýšených teplot. Dalšími požadavky na strojní součásti jsou přesné rozměry a

dostatečná rozměrová a tvarová stabilita za provozních podmínek. Tyto požadavky splňují kovové materiály, ale tehdejší běžné plasty nárokům nevyhovovaly. Měly však jiné výhody, jako korozivzdornost, schopnost tlumení, nízkou hmotnost a především levný způsob zpracování tvářením. Nízká nákladnost tvářením souvisela s nižší pracností při výrobě oproti obrábění. Vzhledem ke zvýšenému důrazu v posledních několika desetiletích především na nízkou hmotnost a snížení výrobní náročnosti ve všech vyspělých zemích, se začaly uplatňovat plasty ve větší míře i v oboru strojírenství. [1]

Bylo to možné ovšem až s příchodem konstrukčních plastů na trh. Ty vykazují lepší mechanické vlastnosti, tepelnou odolnost a některé speciální vlastnosti. Vlastnosti speciálních plastů plněných skleněnými a uhlíkovými vlákny se dokonce přibližovaly vlastnostem kovových materiálů. [1]



Obr. 1: Spotřeba plastů podle odvětví [2]

1.1.2 Použití plastů v automobilovém průmyslu

Plasty v automobilech se začaly objevovat v 70. letech minulého století. V té době zaujímaly 6 % z celkové hmotnosti vozidla, v současné době je to už 12-15 % a toto

číslo pravděpodobně stále poroste. Podle prognóz se do roku 2020 vyšplhá až na 25 %.

[3]

Co stojí za tímto nárůstem použití plastů v automobilovém průmyslu? Určitě to je dobrá zpracovatelnost plastů a jejich vlastnosti, především malá hmotnost. Při snížení o 100 kilogramů na váze automobilu díky použití plastů přináší úsporu spotřeby paliva o 0,4 litru na 100 kilometrů. [3]

Asi prvním plastem, který se v automobilovém průmyslu používal, byl bakelit. Plast vzniklý z fenolu a formaldehydu, se používal jako izolátor na elektroinstalaci. Mohli bychom ho najít především na rozdělovačích, pojistkových skříňkách, ale i na volantech. Na těch se projevoval velký rozvoj plastů i v poválečném období. V 80. letech však hladké a na dotek nepříjemné tvrdé plasty vystřídaly ty měkčené. [4]

Dalšími plasty, které se osvědčily v automobilech, byly vinyl tj. PVC a polyetylen. Objevují se od 30. let, vinyl jako těsnící hmota nebo v části čalounění a polyetylen jako výborný izolátor. [4]

Významným dnem v historii používání plastů v automobilovém průmyslu byl zajisté 13. leden 1942, kdy si nechal Henry Ford patentovat karoserii z plastů. První použil na podvozku velkého kupé Ford V8, skládala se ze čtrnácti panelů a vážila 113 kg. Díky tomu celková hmotnost automobilu klesla o 30 % na 1043 kg, srovnáváno je s běžnou ocelovou karoserií. Z výroby plastových fordů však nakonec sešlo. Zpřísnění požadavků na bezpečnost aut v padesátých letech přispělo k vyvinutí reaktoplastu známého pod názvem „Duroplast“. Z něj vznikla karoserie legendárního vozu Trabant.

[4]

1.1.3 Zpracování plastů

Důkazem rozšíření plastů v dnešní době je to, že existuje sedm velkých průmyslových odvětví, které se zabývají zpracováváním plastů. V některých z těchto odvětví dokonce zatím nejsou nalezeny vhodnější materiály jako náhrada za plasty.

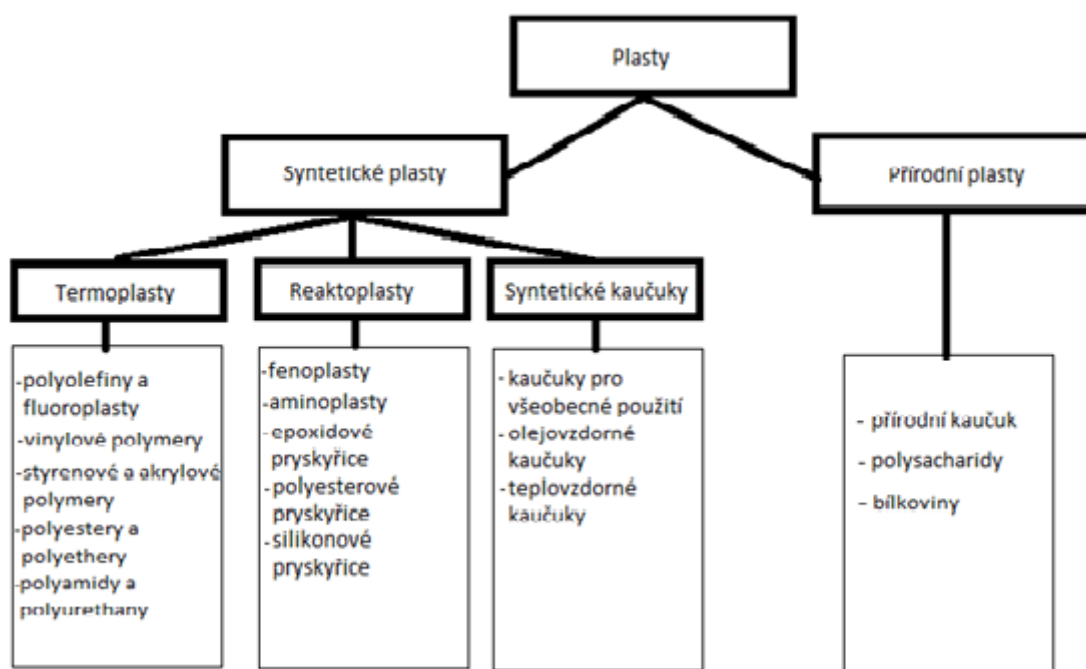
Odvětví jsou následující:

1. výroba a zpracování plastů,
2. gumárenský a pneumatikářský průmysl,
3. obuvnický průmysl a výroba syntetických usní,
4. výroba fólií a obalů,
5. výroba kompozitních materiálů,
6. výroba nátěrových hmot, pryskyřic a lepidel
7. výroba syntetických vláken.[2]

1.2 Druhy plastů

Dnes je na výběr nepřeberné množství druhů plastů, lišících se svým chemickým složením, druhem a obsahem aditiv i molekulární a nemolekulární strukturou. Padesát základních druhů plastů si výrobci upravují a od každého z nich nabízí až několik desítek typů, lišících se zpracovatelskými a užitnými vlastnostmi. [2]

Plasty lze rozdělovat z několika hledisek. Na obrázku č. 1 můžeme vidět rozdělení na přírodní plasty, vyráběné z přírodních materiálů a syntetické plasty, vyráběné průmyslově.



Obr. 2: Rozdělení plastů (vlastní zpracování)

Z hlediska fyzikálních a mechanických vlastností se plasty rozdělují na:

- elastomery – jsou to plasty s velkou pružností v širokých mezích protažení, představiteli jsou kaučuky a kaučukovité hmoty, např. polybutadien, thiokol, polyizobutylen
- plastomery – tyto plasty jsou termoplastické i teplem tvrditelné, např. polystyren, polyvinylchlorid, fenoplasty

Plastomery lze dělit dále na:

- polymeráty – to jsou syntetické plasty vznikající polymerací, např. polyvinylchlorid, polystyren, polyetylen, polyakryláty, syntetické kaučuky
- polykondenzáty – polykondenzací vznikající syntetické polymery, např. polyestery, polyamidy, fenolformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice, epoxidové pryskyřice
- polyadukty – syntetické polymery, které vznikají polyadací, např. polyuretany [2]

Posledním rozdělením plastů, které uvedu je z hlediska chování za zvýšené teploty. Toto rozdělení a druhy plastů patřících do obou skupin lze vidět výše na obrázku 2.

- termoplasty, jak vyplývá z názvu, jsou to teplem tavitelné plasty. Zahříváním mohou opakovaně měknout a chladnutím opětovně tuhnout v teplotním intervalu typickým pro daný typ polymeru. Když je plast roztavený, je možné jej tvarovat na požadovaný tvar výrobku, který si zachová i po ztuhnutí. V ideálním případě nedochází při ohřevu k žádným chemickým změnám makromolekul, což umožňuje opětovné využití polymerního materiálu po skončení životnosti výrobku jejich roztavením a vytvarováním nového výrobku. [5]

- reaktoplasty, rozdělované dále na duroplasty a termosety, jsou materiály tvrditelné teplem. Znamená to, že účinkem tepla, případně katalyzátoru a síťovacího činidla přejdou do netavitelného a nerozpustného stavu. K vytvrzení dochází při tvarování na požadovaný tvar výrobku. Je to tzv. proces zesíťení, z příčných vazeb mezi makromolekulami se důsledkem tepla vytvoří prostorová síť. Vzhledem ke vzniku netavitelné a nerozpustné prostorové struktury sítě není možná materiálová recyklace reaktoplastů. [5]

Poměrně novou skupinou plastů jsou bioplasty, které se stávají buď doplňkem, nebo v některých oblastech i alternativou ke konvenčním plastům. Předpona bio v tomto slovním spojení může znamenat buď biodegradabilní plasty, nebo plasty na biobázi. První skupina, tedy biodegradabilní plasty se skládají z biodegradabilních polymerů a aditiv. Znamená to, že jsou plasty schopny se rozložit za působení určitého druhu bakterií a jejich enzymů na biomasu, CO₂ nebo metan, vodu a minerály. Pro podmínky kompostovatelnosti musí být plast z 90 % degradovatelný za jasně stanovených podmínek na části menší než dva milimetry během dvanácti týdnů. Tyto plasty nemusí být nutně vyrobeny z obnovitelných zdrojů a mohou mít původ v ropě. Z toho plyne, že biodegradabilita nezávisí na zdrojovém materiálu, ale na chemické struktuře plastu. Do biodegradabilních plastů patří např. polylaktidy (PLA), polyhydroxyalkanoáty (PHA), deriváty celulózy a škrob, jako i na ropě založený polybutylentereftalát (PBT) a polybutylensukcinát (PBS). Plasty na biobázi pocházejí z obnovitelných zdrojů. Nemusí však být nutně zároveň biodegradabilní. Biobáze znamená jen to, že atomy uhlíku

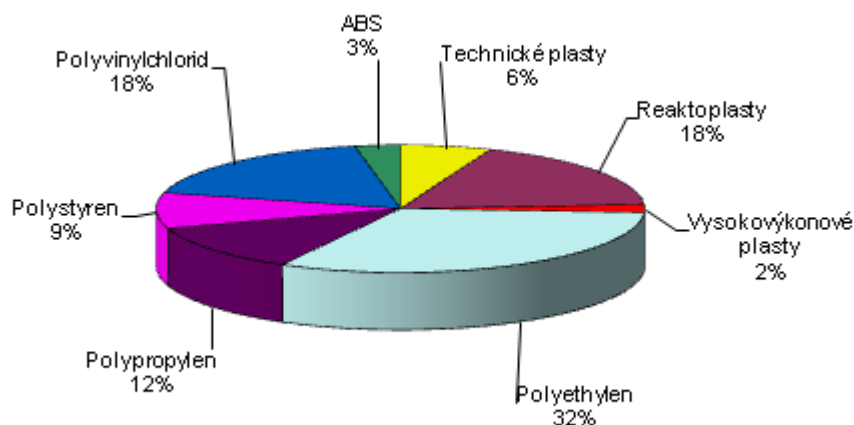
v molekulárních řetězcích pocházejí ze současné přírody, a nikoli z fosilií. Vyrábějí se tedy z různých uhlovodíků obsažených například v cukru, škrobu, proteinech, celulóze, tucích a olejích. [6]

V roce 2011 firmy sdružené v asociaci Plastics Europe vyrobily 280 tun polymerů. Jen o necelých padesát tun méně a to 235 tun z toho bylo použito na výrobu plastů, podíl bioplastů byl zanedbatelný. Některé studie však předpokládají nárůst podílu bioplastů ve světové výrobě, kdy podíl vzroste do roku 2016 na 5,8 miliónů tun. Je tedy možné, že bioplasty do budoucna částečně přispějí k řešení otázky docházejících fosilních paliv. [6]

1.2.1 Nejrozšířenější plasty

Na tzv. komoditní neboli velkotonážní plasty připadá 70 % z celkového objemu používaných plastů. Těmito plasty jsou polyetylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), polypropylen (PP) a polystyren (PS). Další poměrně významnou část spotřeby zaujímají reaktoplasty tj. fenolformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice (PF, UF), nenasycené polyestery (UP) a epoxidy (EP). Jsou používány jako technické lisovací hmoty, pro laminování nebo jako lepidla. [2]

Konstrukční termoplasty činí asi 9 % spotřeby. Do této skupiny patří akrylonitril butadien styren (ABS), polyamidy (PA), polykarbonát (PC), polymethylmethakrylát (PMMA), polyetylen tereftalát a polybutylen tereftalát (PET, PBT) a jejich slitiny. [2]



Obr. 3: Spotřeba plastů ve světě [2]

1.2.2 Plasty používané v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu se používá mnoho druhů plastů, v dnešní době je totiž najdeme téměř všude, v interiéru vozu, v karoserii, ale i pod kapotou. Nejpoužívanějším druhem plastů jsou asi termoplasty různých druhů. [7]

Všechny plasty používané v automobilovém průmyslu nenaleznete pod jejich skutečnými názvy, používané v chemickém průmyslu, ale je potřeba hledat je pod obchodními značkami jednotlivých prodejců. Každý z prodejců může mít své označení.

V katalogu firmy Velox lze najít názvy uvedené níže.

Duracon je název pro POM (polyoxymetylen), je to univerzální inženýrský plast. Uplatňuje se ve výrobě různých mechanických komponentů, např. díly pro převodové páky, kluzná ložiska, součástky pro automobilový průmysl. [8]

Duranex, PBT (polyetylentereftalát) je modifikován a vyráběn dle požadavků zákazníka, vyznačuje se vysokou spolehlivostí založenou na výborných elektrických vlastnostech a teplotní odolnosti. Nejčastěji se používá na výrobu autokonektorů, senzorů a elektrických součástek pro automobilový průmysl. [8]

Durafide, nový typ PPS (polyfenylensulfid), vykazuje vynikající teplotní odolnost, samozhášivost a výbornou odolnost vůči chemikáliím. Obsahuje velmi málo iontových nečistot. Uplatnění nachází při výrobě komponentů pro automobilový průmysl, zdokonalených elektronických součástek, vybavení pro chemické provozy a zařízení pro dodávky horké vody.[8]

Materiál používaný na vstřikování krytů filtrů v palivové nádrži se jmenuje Ultraform S2320 003. Je prodáván firmou BASF.

Ultraform S2320 003 je polymer používaný na vstřikování krytů filtrů, které byly použity na vstřikování vzorků použitých pro provedená měření. Pod tímto obchodním názvem je vyráběn a prodáván firmou BASF. Je dodáván ve formě granulátu, je vhodný na tenkostěnné výrobky.

Jako každý polymer je i tento tvořen velkými molekulami, jejichž základní skelet tvoří atomy uhlíku, na které se váží atomy vodíku, kyslíku a dusíku. Atomy, tvořící jednotlivé makromolekuly jsou navzájem vázány kovalentními vazbami. [9]

Další vlastnosti materiálu viz tabulka č. 1 a příloha 1.

Tab. 1: Vlastnosti materiálu Ultraform [10]

Fyzikální a mechanické vlastnosti	
Hustota	1,4 g/cm ³
Navlhavost- nasycení vodou	0,8 %
Tvrdost HRC	27
Teplota tání	167 °C
Doporučená teplota plastikace	190 -230 °C

1.3 Technologie zpracování plastů

Technologií na zpracování plastů se používá celá řada. Vhodná technologie se vybírá podle technologických vlastností plastu a také podle tvaru a funkcí hotového výrobku. Stav plastu před vstupem a po výstupu do zpracovávacího procesu určuje technologii ze tří následujících skupin:

Doplňkové technologie – jsou takové technologie sloužící k úpravě vlastností hmoty ještě před samotným zpracováním, tj. míchání a hnětení, granulace, sušení, přehřev apod., anebo naopak upravují vzhled finálních výrobků. Sem patří také recyklace. [11]

Tvářecí technologie – sem spadají takové technologie, při kterých se zásadním způsobem mění výchozí tvar materiálu. Probíhat může buď za působení tlaku, nebo teploty anebo působení obou současně. Výstupem operace je konečný díl či polotovár. [11]

Tvarovací technologie – při těchto technologiích je vstupem nějaký polotovar, který mění tvar bez velkého přemísťování částic. Při operaci může a nemusí působit teplota a tlak. Do tvarovacích technologií patří například výroba dutých těles, tvarování desek, ohýbání trubek, obrábění plastů, spojování a spékání plastů. [11]

1.3.1 Doplnkové technologie

V následujících podkapitolách se zmíním blíže o některých doplňkových technologiích především o technologiích přípravného zpracování, stručně také o finálních úpravách a recyklaci.

- Technologie přípravného zpracování

Než se začnou vyrábět hotové výrobky, musí plasty projít technologiemi přípravného zpracování. Ty obnáší přidávání různých přísad, nebo odstranění těkavých podílů, vody apod. Ovlivňuje se fyzikální a chemická struktura plastů. Po této fázi se musí polymery upravit do nějakého tvaru vhodného pro další zpracování. Většinou bývají ve formě

granulátu, prášku, kaše atd. Technologie přípravného zpracování jsou označovány za mezistupeň mezi výrobou polymeru a jeho vlastním zpracováním. [12]

- Sušení

Proces sušení musí proběhnout u plastů, které jsou navlhavé, před vlastním zpracováním. Sušení obnáší zbavení se absorbované vlhkosti v plastech, přítomnost vody se totiž projevuje zhoršením kvality povrchu výrobků i poklesem mechanických vlastností a to zejména u těch plastů, u kterých voda při zvýšené teplotě způsobuje štěpení makromolekul. Sušení musí probíhat obzvlášť v těch případech, kdy hmota v předchozí operaci přišla do styku s vodou, jako je tomu například u suspenzí nebo emulzní polymerace anebo při granulaci hmoty. Při ní vytlačovaný profil totiž prochází vodní chladicí lázní. Na charakteru spojení vlhkosti s materiálem závisí průběh sušení. Voda je v materiálu vázána dvěma způsoby, přilnavostí, to se pak jedná o vlhkost povrchovou, anebo kapilárními silami, to znamená, že se voda nachází v mikrokapilárách v celém objemu hmoty. V druhém případě je odpařování ztíženo, voda v kapilárách je pod vyšším tlakem a při sušení se musí použít vyšší teploty, než je bod varu při daném tlaku okolí. Aby došlo k sušení, tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem vlhkého materiálu, musí být větší než parciální tlak páry v okolním prostředí. Sušení probíhá jen do vyrovnání těchto tlaků. Znamená to, že materiál lze vysušit jen do určité vlhkosti, která se nazývá rovnovážná vlhkost. Ta závisí na okolních podmínkách, teplotě okolí a na relativní vlhkosti. K opětovnému navlhání materiálu dojde, pokud se již vysušený materiál ocitne v prostředí s vyšší vlhkostí, než odpovídá rovnovážnému stavu. [12]

Obvykle se obsah vlhkosti materiálu vyjadřuje v hmotnostních procentech, které udávají počet dílů vody ve stu dílech vlhkého materiálu. Pro výpočty se však tato hodnota nehodí a proto se vlhkost udává v kilogramech vody připadající na jeden kilogram absolutně suché látky neboli sušiny. Obsah sušiny je v celém procesu konstantní. Nejdůležitější z technologického hlediska je určení doby sušení, která je nutná k dosažení požadované hodnoty vlhkosti. Kromě doby je nutné znát i rychlost doby sušení. [12]

Tab. 2: Doporučená doba sušení pro vybrané materiály [12]

PLAST	PE	PP	PS	ABS	SAN, ASA	PA6	PA66	PA11, PA12	PMMA	PC	POM	PET	PPO	PU
teplota sušení /°C/	*50-70	*60	80	80	80	80	60-70	100	70-80	120-130	120-130	120	95-100	80
dobu sušení /hod/	*0,5 až 1	*05 až 1	3	3	3	7	6	3 až 6	2 až 4	4 až 20	4	2 až 4	1 až 2	3

Usušením materiálu proces však nekončí, jelikož jsou sušení a navlhání vratné děje, je nutné chránit materiál před vlhkostí v ovzduší. To se zajistí v násypce zpracovatelských strojů, kam se však může dát jen takové množství materiálu, které se zpracuje přibližně do třiceti minut. Násypky bývají vyhřívány a teplota materiálu se v nich udržuje pomocí proudu teplého vzduchu na potřebné výši. Kromě násypek strojů se mohou používat i stacionární sušárny. Ty pracují buď s nepřetržitým, nebo periodickým provozem, také se mohou dělit podle vzájemného pohybu sušeného materiálu a sušícího média na souproude, protiproude, anebo s kříženým proudem. [12]

- Míchání a hnětení

Při míchání a hnětení směsí dochází k rovnoměrnému rozptýlení dvou a více přísad v základním zpracovávaném polymeru. Při uplatnění velkých smykových sil dosáhneme nejdokonalejšího míchání. Pokud máme tuhý materiál, je vhodné míchat menší množství, aby nevznikala tzv. mrtvá místa s malou účinností míchacího procesu. [13]

Podle skupenství rozdělujeme míchací postupy na suché, viskózní a kapalné. Energeticky nejméně náročná a zároveň nejjednodušší je příprava směsí plastických hmot v podobě prášku, kapaliny, roztoku popřípadě suspenze. Lze pracovat s jednoduchými míchacími stroji. Jedním z nich je bubnový míchací stroj používaný pro míchání suchých hmot. Při potřebě materiál rozmělnit a přimíchat částice pigmentu se používá kulový mlýn. Dvouramenné míchací stroje s rameny ve tvaru Z nebo tzv. planetové stroje se používají pro míchání viskózních materiálů. Nejvýkonnější zařízení se používá pro velmi viskózní plastické hmoty. [14]

- Granulace

Tato technologie je konečným stupněm přípravného zpracování pro většinu plastů. Podle názvu lze odvodit, že materiál v tomto procesu získává tvar granulí, který je

vhodný pro další zpracování. Granule mají totiž dobrou sypnou hmotnost a lze je dobře směšovat s dalšími materiály, kterými mohou být např. barviva, také je lze dobře dávkovat. Granuluje se obvykle i recykláž. Tvary granulí jsou různé, mohou to být válečky, kuličky, čočky nebo krychličky. [13]

Na vlastnostech zpracovávané taveniny, na prostoru, na ekonomii a dalších faktorech závisí výběr granulační metody. Jednou z granulačních technologií je granulace z pásu. Je však nevhodná pro tvrdé materiály a je málo produktivní. Materiál je nejdříve rozřezán na proužky, které jsou poté rozsekány na granule. Na granulaci strun jsou založeny další výkonnější metody granulace, rozlišuje se granulace za studena nebo za tepla. Granulace za studena je to proto, že struny vytlačené granulační hlavou s mnoha otvory jsou nejprve ochlazeny ve vodní lázni a po odstranění přebytečné vody jsou teprve sekány na granule. Problém může způsobit velký počet strun, ty se mohou slepovat nebo lámat. Naopak pokud jsou granule seřezávány přímo z čela granulační hlavy, mluvíme o granulaci za tepla. Tato granulace není vhodná pro polymery s velmi nízkou viskozitou taveniny. [13]

- Tabletování

Technologie tabletování se používá na zpracování práškových polymerních materiálů, zejména reaktoplastů. Na mechanických tabletovacích horizontálních nebo vertikálních lisech se vylisují tablety požadované hmotnosti a tvaru. Ty pak umožňují rychlé, přesné a jednoduché dávkování a lehčí manipulaci s polymery při jejich dalším zpracování jinými technologiemi na hotové výrobky. [5]

- Plastifikace

Plastifikace neboli tzv. plastikace je proces, při kterém bez použití rozpouštědel nebo změkčovadel dosahujeme homogenizování materiálu. Dosáhneme ho pomocí roztavení a prohnětení materiálu tak, aby se ve hmotě nevyskytovala místa s různou hustotou, vnitřním pnutím, popř. zbytky pevných částic materiálu. Pro získání kvalitních materiálu je potřeba dodržovat předepsanou teplotu a čas plastifikace. Při překročení jednoho z těchto faktorů může materiál degradovat, může být nedostatečně

plastifikován, což se projeví nehomogenní směsí s neroztavenými granulemi, anebo příliš plastifikován, což se projevuje jako spálení materiálu. [14]

- Recyklace

Vyšší objem produkce plastových výrobků znamená i vyšší objem odpadů z plastu. Odpad může vznikat již při výrobě, např. zmetky, přetoky, odřezky, ohrus apod. Toto je tzv. vratný odpad, po upotřebení výrobku vzniká tzv. sběrový odpad. Vratný odpad se zpracovává většinou ihned ve výrobních nebo zpracovatelských závodech. Pokud není znečištěn a není smícháno více druhů polymerů do sebe, lze tento odpad nadrtit, regranulovat a přidávat v určitém poměru zpět do granulátu. Opětné zpracování sběrového odpadu je složitější z důvodu znečištění dalšími neplastovými látkami. Sběrny proto samy vyhodnocují, zda je ještě ekonomicky výhodné výrobky recyklovat. Ale vzhledem k dnešní orientaci na životní prostředí se často recykluje, i když jsou náklady na recyklovaný materiál vyšší než na materiál nový. [13]

1.3.2 Tvářecí technologie

Jak už bylo uvedeno dříve, tvářecí technologie jsou technologie s radikální změnou vstupujícího materiálu a výstupu ať už polotovaru nebo finálního výrobku. Patří sem protlačování, protahování, válcování, výtlačné tvarování, vyfukování, pění a vstřikování

- Protlačování

Na protlačovacích lisech se vyrábí profily, tyče, trubky, desky i folie. Lisy se někdy také nazývají výtlačné nebo šnekové. Princip protlačovacích lisů se podobá principu mlýnku na maso. Ve vyhřívaném válci se otáčí závitnice a tímto pohybem transportuje plastickou hmotu od plnicí násypky k výstupnímu otvoru a vytlačuje plast hubicí. Na tvaru hubice je závislý výsledný tvar výlisku, mohou vznikat trubky, hranové profily, okenní profily nebo podlahové lišty. Pokud je hubice plochá lze vytlačovat fólie a desky. [15]

- Protahování

Protahování je někdy nazýváno také tvarové lisování. Touto technologií se vyrábí polyethylenové fólie. Termoplast musí být nejdříve vytvarován jako deska. Také musí být přiříznut na délku odpovídající hotovému výlisku. Předpřipravená deska se upne do hlubokotažné formy a zahřívá se tak dlouho až je tvarovatelná jako elastická guma. Poté se odsává vzduch mezi plastovou deskou a formou pomocí vzduchových kanálků, to způsobí přilnutí hmoty a vytvarování podle formy. Rozlišujeme tzv. negativní a pozitivní sání. Při negativním se elasticky měkká deska přizpůsobuje vnitřku formy a při pozitivním sání je deska naopak přisávána zvenčí. Po ochlazení lze vytvarovanou desku vyjmout. [15]

- Válcování

Válcováním se vyrábějí desky nebo fólie. Princip stroje se ukrývá v procházení materiálu štěrbinami mezi několika otáčejícími se válci. Mezi prvními dvěma vyhřívanými válci se předpřipravená hmota plastifikuje na požadovanou strukturu a odsud prochází do dalších štěrbin, kde se již tvaruje fólie pravidelným a hladkým povrchem válců. [16]

Válcovaná fólie může být nekonečně dlouhá s požadovanou šířkou, která se je určena šířkou zvolených válců a s požadovanou tloušťkou, ta je ovlivněna šířkou štěrbin mezi válci. [15]

- Výtlačné tvarování

Pomocí této technologie se vyrábí výlisky z reaktoplastických hmot používané jako díly pro kryty elektrických přístrojů apod. Do horké dvoudílné formy je vloženo přesně odměřené množství plastu smíchané s tvrdidlem a plnidly. Umělá pryskyřice se při zavírání formy stane plastickou a úplně vyplní dutý prostor. Ačkoliv je výlisek ještě horký, ztvdne a lze jej vyjmout z otevřené formy. Papírové pásy napuštěné duroplastickými umělými pryskyřicemi např. fenolovou pryskyřicí nebo močovinou pryskyřicí se používají na výrobu vrstvených desek lisovaných za vysokého tlaku. Několik těchto pásů se položí na sebe a ve vyhřívaných etážových lisech se slisuje.

Když papírové pásy ztvrdnou, vzniknou jednotlivé homogenní desky. V ČR známe tyto desky pod obchodním názvem umakart. [15]

- Vyfukování

Touto metodou se zpracovávají duté nádoby, jako jsou láhve, nádrže, konve atd. Jsou dva způsoby, první z nich výtlačné vyfukování, se používá častěji než vstřikovací vyfukování. [14]

Výtlačné vyfukování se skládá z vytlačení tlustostěnné hadice nebo trubky, tzv. parizónu, do otevřené formy a to pomocí vytlačovacího stroje. Forma se na jedné straně uzavře a z druhé strany se přitiskne hubice přivádějící vzduch. Tlakem z hubice se hadice v plastickém stavu vyfoukne do formy. Po ochlazení se nejprve odstraní přetoky a poté se hotový výrobek vyjme z formy. Druhým způsobem je vstřikovací vyfukování. Přitomto způsobu vyfukování se ve vstřikovacím stroji vyrobí předlisek přímo na vyfukovacím trnu. Spolu s vyfukovacím trnem se materiál, který je v plastickém stavu přemístí do vyfukovací formy. Do té se otvory v trnu přivádí stlačený vzduch. Po ochlazení se výrobek vyndá z formy. Výhodou tohoto postupu je rovnoměrnost tloušťky stěn, rozměrová přesnost, možnost výroby přesných tvarů hrdel nezávisle na tvaru nádoby, neexistence svárových spojů a žádný technologický odpad. [5]

- Pěnění

Téměř všechny plasty se dají použít pro tuto technologii. Pěněním získají novou odlišnou porézní strukturu. Má v sobě malé dutiny kulovitěho tvaru, ty jsou vyplněné vzduchem nebo jiným plynem. Nejen jejich struktura, ale i vlastnosti jsou po úpravě odlišné. Pěnové plasty jsou odolné vůči korozi, rostlinným i živočišným škůdcům a jsou velmi vodotěsné. Vyznačují se také malou hustotou a velmi dobrými izolačními vlastnostmi. Lze je členit podle struktury, mechanického chování, druhu plastu a výrobního postupu. Rozlišujeme tři druhy struktury pěnových plastů a to s uzavřenými póry, s otevřenými póry a se smíšenými. [15]

Uzavřené póry brání výměně vzduchu a na kapaliny nemají žádný kapilární účinek. Jsou proto vhodné na tepelné izolace i do prostředí, které je ve styku s vodou, a to z důvodu, že nepropouští vodu. Jejich pevnost bývá větší než pevnost hmoty

s otevřenými póry. Struktura pěnových hmot s otevřenými póry vypadá tak, že jsou tyto póry vzájemně spojené. Mohou díky svým kapilárním účinkům nasávat kapaliny. Používají se převážně jako hluková izolace a hmoty pro čalounění. Pěnové plasty se smíšenými póry, jak už název naznačuje, mají póry uzavřené i otevřené. Polyuretanová strukturovaná pěna má zvláštní strukturu a to tím, že má hustou, pevnou a téměř neporézní vnější zónu, která směrem dovnitř přechází ve stále více porézní strukturu. Tyto pěny jsou vhodné hlavně pro samonosné stavební díly a předměty, např. nábytková dvířka, stoly, židle apod. Další rozdělení pěnových plastů je z hlediska mechanických vlastností na tuhé, polotuhé a měkké hmoty. Tyto vlastnosti jsou dány velikostí a rozdělením pórů, druhem plastu a podílem změkčovadel. [15]

Výroba probíhá s použitím nadouvadla, to se s plastem mísí v kapalně formě nebo jako prášek. Přeměnou nadouvadla na plyn vznikne pěna kapalného nebo plasticky měkkého plastu. Nadouvadla jsou dvojího druhu, rozděluje se podle způsobu přeměny na plyn a to buď fyzikální, nebo chemickou cestou. Nadouvadla fungující na fyzikálním principu jsou kapaliny s nízkým bodem varu, které pracují tak, že se při zahřívání odpařují a napění plast. Nadouvadla, která fungují na chemickém principu, se při zahřívání chemicky rozkládají na plyny. Plastové pěny jsou vyráběny ve speciálních zařízeních a poté dováženy jako polotovary k dalšímu zpracování, nebo je lze vytvořit přímo na místě, jako např. montážní a lepicí pěny. [15]

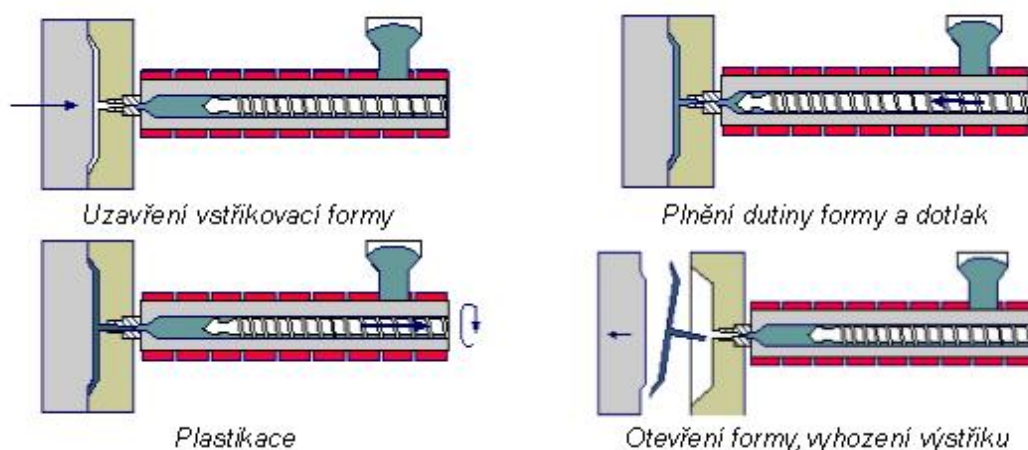
- Vstřikování

Vstřikování je nejrozšířenější technologie na zpracování převážně termoplastických polymerů. Je vhodná především pro výrobu členitých výrobků. [Veselý] Vstřikováním lze zpracovávat i reaktoplasty, případně kaučukové směsi. Tuhý polymer vstupuje do procesu v podobě granulátu. [5]

Dávka granulátu je z pomocné tlakové komory, která je součástí vstřikovacího stroje, vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, v níž tuhne do podoby finálního výrobku. Během cyklu se materiál do tlakové komory stále doplňuje. Mezi výhody vstřikování patří krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a dobrou povrchovou úpravou a také konstrukční flexibilita umožňující odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. V porovnání

s ostatními metodami zpracování plastů jsou hlavní nevýhodou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používání strojů mnohonásobně větších rozměrů než vyráběný díl. [17]

Cyklus vstřikování začíná nasypáním granulátu do násypky, odkud je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje, kterým je šnek nebo píst. Pracovní část dopraví materiál do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení dochází k plastifikaci materiálu. Vzniklá tavenina je posléze vstřikována do dutiny formy, zcela ji zaplní a zaujme její tvar. Vzhledem k vlastnostem plastů a jejich rozměrovou nestálost následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn nazývaná dotlak. Forma odebírá teplo taveniny a ta postupně tuhne ve finální výrobek. Po otevření formy je výrobek vyhozen a celý cyklus se opakuje. [18]

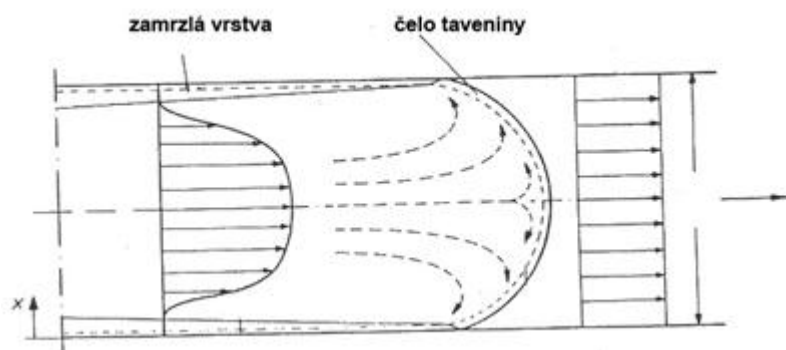


Obr. 4: Schéma vstřikovacího cyklu [12]

Celková doba vstřikování se skládá z několika dob dílčích částí, doby vstřikování, doby dotlaku, doby plastikace a doby chlazení.

Doba vstřikování je čas, za který se naplní dutina formy, odvíjí se od rychlosti vstřikování. Rychlost vstřikování je v podstatě rychlost pohybu šneku vpřed a závisí na technologických podmínkách, zejména na teplotě taveniny a na vstřikovacím tlaku. Dalšími vlivy jsou teplota formy, objem výstřiku a jeho geometrický tvar, druh plastu a řešení vtokové soustavy. Vstřikovací rychlost je spojena s určitou hodnotou vstřikovacího tlaku, nelze nastavit velkou vstřikovací rychlost při nízkém tlaku a

naopak. Složité výrobky a výrobky s vysokými požadavky na kvalitu povrchu a přesnost výroby si občas vyžadují programování průběhu rychlosti vstřikování. Při vysoké vstřikovací rychlosti hrozí riziko přehřátí a degradace materiálu, ale na druhou stranu má příznivý vliv na orientaci makromolekul. U výstřiků s velkou hmotností se doba plnění pohybuje v řádu několika sekund, v případě menších výrobků jsou to i zlomky sekundy. Vstřikovaná tavenina se při styku s chlazenou formou ochlazuje a ztrácí tekutost, proto by měla být doba plnění co nejkratší. Pokud by byla příliš dlouhá, tavenina by nezaplnila celou dutinu a vznikl by nedostříknutý zmetek. Také je nežádoucí, aby tavenina vtékala do formy volným tokem, měla by vtékat postupně. Laminární tok neboli postupné plnění, je složitý mechanismus tuhnutí vrstev taveniny. Kvůli 3krát až 4krát nižší teplotě formy než je teplota taveniny, tuhne tavenina ihned při styku se stěnou formy. Vytváří tak vrstvu nepohyblivé hmoty a zároveň i vrstvu tepelné izolace. Uvnitř zůstává plastické jádro s nízkou viskozitou, které umožňuje další průtok taveniny plastu do dutiny formy, ta se pak roztéká směrem ke stěnám, dokud nedojde k zaplnění tvarové dutiny formy. Zvyšování viskozity směrem ke stěně formy způsobuje rostoucí rychlost v plastickém jádru a zakřivení čela. Tlak klesá ve směru ke stěně formy. Toto znázorňuje obrázek číslo 5. [12]



Obr. 5: Schéma laminárního toku taveniny plastů [12]

Doba dotlaku následuje po naplnění tvarové dutiny formy. Je to čas, při kterém se hmota stlačuje a tlak prudce stoupne a rychlost náhle klesne. Tlak nemůže zůstat na původní hodnotě, protože by došlo ke vzniku tlakové špičky, ke zvětšení rozměrů výstřiku a k vysokému namáhání formy. To by mohlo vést až k pružnému prohnutí formy, tzv. dýchnutí. Těmto jevům se zamezí tak, že se včas přepne na dotlak. Při pozdějším přepnutí tlak stoupne příliš vysoko a dojde k výše popsaným jevům.

Při dřívějším přepnutí dojde k jevům opačným a je možné, že vznikne nedostříknutý výrobek. Nastavení na přepnutí na dotlak se může určit podle dráhy šneku, vstřikovacího času, tlaku ve formě, nebo podle tlaku v hydraulice. Doba dotlaku je různá, pohybuje se v rozmezí několika sekund až desítek sekund, závisí hlavně na průřezu vtokového kanálu. Účelem je kompenzování smrštění během chladnutí a předcházení tak propadlinám a staženinám. Průběh dotlaku lze optimalizovat u strojů, u kterých je to možné, v první fázi je dotlak vyšší a ke konci se snižuje. [12]

Doba plastifikace neboli plastikace materiálu je čas potřebný k zplastikování dávky plastu a k jejímu rovnoměrnému homogenizování a umístění dávky před čelo šneku, tzv. polštáře. Zplastikovaná dávka musí být dostatečně velká, aby zabezpečila nejen naplnění tvarové dutiny formy a vtokového systému, ale i kompenzovala změnu objemu, vyvolanou smrštěním. Při posuvu šneku vzad se snižuje účinná délka šneku, a proto musí být zpětný tlak zvyšován. Asi jedna třetina tepla potřebného k roztavení jedné dávky je dodáváno z elektrického odporového topení a zbylé dvě třetiny zajišťuje tření hmoty při hnětení. [12]

Doba chlazení je největší část z doby cyklu. Pohybuje se v rozmezí několika sekund u tenkostěnných výstřiků až po několik málo minut. Tloušťka stěny výstřiku, druh plastu, teplota taveniny, teplota formy a teplota výstřiku v okamžiku vyjímání z formy jsou faktory ovlivňující čas chlazení. Kvůli produktivitě výroby by měla být zkrácena na minimum a toho lze dosáhnout účinným chlazením formy, zejména těch míst, v nichž hmota chladne nejpomaleji. Proces chladnutí začíná už při fázi vstřikování a pokračuje během dotlaku. Při chladnutí dochází ke změnám stavových veličin, tlaku, teploty a měrného objemu. Ovlivňuje nejenom strukturu, ale i kvalitu povrchu. [12]

1.3.3 Tvarovací technologie

Pod tvarovací technologie spadá tvarování desek, obrábění, spojování a svařování plastů.

- Tvarování

Při změně tvaru polotovaru ve tvaru desky nebo fólie bez většího přemísťování částic hmoty mluvíme o tvarování. Tvarování se provádí většinou za tepla, jen u výrobků jednoduchých tvarů a bez velkých nároků na rozměrovou přesnost, můžeme tvarovat bez ohřevu. Různé kryty, nádoby, kufry apod. se tvarují za tepla. Tímto způsobem lze zpracovávat pouze termoplasty. [12]

Podle způsobu, kterým se technologie provádí, rozlišujeme mechanické a pneumatické tvarování. Vzájemným působením jednotlivých částí dvoudílné formy na tvarovaný materiál se dosahuje u mechanického tvarování. Pneumatické tvarování je podtlakové nebo přetlakové. Podtlakové tvarování je v praxi nejrozšířenější, změny tvaru polotovaru stačí rozdíl atmosférického tlaku a vakua vytvořeného v dutině formy pomocí vývěvy. Tlakové médium je potřeba k vyvození tlaku u přetlakového způsobu. Často se oba způsoby kombinují. [12]

- Obrábění

Obrábět lze jen některé plasty a jen nějakými způsoby, obrábění je totiž ztížené špatnou tepelnou vodivostí, nízkou tepelnou odolností a velkou tepelnou roztažností plastů. Rychlé zahřívání obráběných ploch může vést k tavení a mazání. K používaným technologiím obrábění patří řezání, vrtání plastů, dělení vrypy a pilování. [15]

- Svařování

Spojování termoplastů teplem je svařování. Svařuje se s použitím nebo bez použití dalších látek např. svařovacích provazů a tyčinek. Ke svařování lze použít pouze termoplasty. [15]

Existuje několik druhů svařování, které se rozlišují podle způsobu ohřevu svařovaných částí. Rozlišujeme svařování vedením tepla – kondukční, sáláním tepla – radiační, třením, horkým plynem, vysokofrekvenčním ohřevem, tepelným impulsem, ultrazvukem atd. [13]

2 ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V této kapitole bude popsán současný stav vstřikování krytů filtrů a dále budou zmíněny metody řešení optimalizace procesu plastifikace materiálu.

Proč je důležité dosáhnout optimalizovaného procesu plastifikace materiálu? Optimalizovaný proces zajišťuje optimální zpracování plastu, umožní rychlejší dávkování a tím zrychluje celý proces vstřikování, což přináší ve výsledku úsporu peněz. Může vyvstat otázka, proč se tedy lis nenastaví tak, aby doba vstřikování výrobku byla co nejkratší? To nelze z jednoduchého důvodu a tím je požadovaná kvalita výrobků, které lze dosáhnout za určitých podmínek ovlivněných nastavenými parametry lisu. Tyto závislosti budou rozebrány v diskuzi výsledků.

2.1 Současný stav

V současné době se kryty filtrů s firemním označením Filtergehäuse 1 582 805 015 vstřikují na lisu Engel Victory 180, typ E Victory 940/180, viz obrázek 6. Parametry lisu, které se budou měnit při experimentu, jsou v současné době nastaveny následovně, teplota válce – 200 °C, obvodová rychlost šneku – 0,325 m/s, protitlak – 12 bar. Ostatní parametry jsou shrnuty v tabulce 3.



Obr. 6: Vstřikolis Engel (vlastní zpracování)

Tab. 3: Typické hodnoty získané pro testovaný díl (vlastní zpracování)

teplota válce (°C)	obvodová rychlost (m/s)	Protitlak (bar)	čas dávkování (s)	čas vstříku (s)	čas dotlaku (s)	čas chlazení (s)
200	0,325	12	9,34	1,84	19	15
rychlost dávkování (%)	tekutost	výskyt neroztavených granulí (ks)	teplota taveniny (°C)	Berstdruck (bar)	ITT dílu (ccm/10min)	-
60	106	0	201	52,4	11,1	-

2.2 Experimentální metody

V této kapitole budou podrobněji popsány použité metody měření a software použitý k návrhu experimentu a k jeho vyhodnocení.

2.2.1 Metoda DOE

„Design of Experiments“ (DOE) se může přeložit jako „technika plánovaných experimentů“. Pro aplikaci techniky DOE existuje několik variant. Nejznámější jsou klasické DOE, které zkoumají všechny varianty a statistické DOE, které zkoumají pouze některé ze všech možných variant. [19] Oblastmi ve kterých se DOE využívá, jsou chemický, farmaceutický a zpracovatelský průmysl. V poslední době se metoda DOE využívá stále častěji i ve strojním inženýrství a v elektronice. DOE poskytuje velký potenciál i v oblastech marketingu, prodeje nebo řízení služeb. [20]

Experimentování představuje testování kombinací různých hodnot faktorů, které mají vliv na odezvu. Testování všech variant představuje neúměrně velký počet zkoušek, používají se proto zkrácené metody, které zkoumají pouze určitou část všech možných kombinací. [19] Faktory jsou vlivy, které jsou považovány za vstupy do procesu, které jsou dané. Odezvy jsou v podstatě žádané výstupy. Úkolem DOE je nalézt takovou kombinaci faktorů, aby hodnota odezvy byla co nejpríznivější. [21]

2.2.2 Software Minitab

Statistický software Minitab poskytuje nástroje potřebné k analýze dat a pro následné informované rozhodování při zdokonalování procesů v podniku. Používá se jednak v oblasti zlepšování kvality a také k vedení potřebných statistik. [22]

- Vytvoření experimentu v Minitabu

Minitab je pouze nástroj, který ulehčuje provedení experimentu. Před samotným zahájením práce se softwarem, je potřeba vědět, jaký výstup je požadován a jaké faktory mají být zkoumány. Návrh experimentu se vytvoří zadáním počtu vstupujících faktorů, u kterých se vymezí jejich minimální a maximální hodnota, určí se, zda jsou spojitě (numerické) nebo nespojitě (textové). V nastavení se také určí, jestli mají být pro experiment vybrány náhodné hodnoty parametrů. Tato možnost se použije vždy v případě praktického využití experimentu. Poté se vygeneruje návrh experimentu, dle kterého se dále postupuje. [23]

- Vyhodnocení experimentu v Minitabu

Po provedení experimentu dle návrhu jsou naměřené hodnoty vloženy do softwaru Minitab. Po zadání těchto hodnot se umožní vytvoření celé škály statistik ať už v podobě tabulek či grafů. Například analýza faktorů, kterou lze v Minitabu najít pod názvem „Analyze Factorial Design“ vypočítá mimo jiné efekt faktoru, což je odezva na změnu, a určí statistickou významnost. Lze z ní odvodit matematický model procesu. Významnými grafy jsou Paretův diagram a rozptylový graf, nazvaný „Scatterplot“. V Paretově diagramu jsou znázorněny efekty faktorů a interakcí, jež jsou seřazeny podle velikosti. Čím větší vypočtené efekty jsou, tím mají větší vliv na měřené výstupy. „Scatterplot“ vykresluje jednak naměřené hodnoty výstupů a zároveň pomocí statistického modelu určí jejich závislost na vstupujícím faktoru. Závislost zobrazí proložením naměřených hodnot lineární regresní přímkou. [23]

2.2.3 Zkouška přetlakem

Zkouška přetlakem zvaná „Berstdruck“ je statická zkouška, jejíž pomocí se zjišťuje maximální hodnota tlaku, kterou zkoušený vzorek vydrží do porušení. Na zkušební vzorek jsou nasazeny hadičky, kterými proudí zkušební médium. Když jsou hadičky nasazeny, uzavře se kryt měřicího stroje a je zvyšován působící tlak. Nárůst tlaku je řízen softwarem, obvykle je rychlost nárůstu tlaku 1 bar za sekundu. Hodnoty působícího tlaku jsou zaznamenávány softwarem do počítače, který je součástí přístroje. [24]

2.2.4 Index toku taveniny

Index toku taveniny (ITT) udává množství taveniny, které proteče tryskou předepsané geometrie v gramech nebo centimetrech krychlových za deset minut a to při dané teplotě a velikosti zatížení. Podle toho v jakých jednotkách je index měřen, se rozlišuje hmotnostní index toku taveniny (MFR – melt flow rate) a objemový index toku taveniny (MVR – melt volume rate). Jednotkou MFR je g/10min a jednotkou MVR je cm³/10min. [25]

ITT se používá při vstupní nebo výstupní kontrole kvality polymeru. Jeho hodnota závisí na smykové rychlosti, která je ovšem mnohem nižší, než při běžných provozních podmínkách. [25]

Pro stanovení indexu toku taveniny se používají dvě metody. Metodou A lze určit jen MFR a to dle vzorce:

$$MFR_{(T, m_{nom})} = \frac{600 \cdot m}{t} \quad [1],$$

kde

T ... zkušební teplota taveniny [°C]

m_{nom} ...nominální zatížení [kg]

m ...průměrná hmotnost odřezků [g]

600 ... faktor pro převod g/s na g/10 min

t ... doba měření [s]

Metoda B se používá pro MFR i MVR

a) měřením vzdálenosti, po které se píst pohybuje stanovený čas

b) měřením času, po který se píst pohybuje na stanovenou vzdálenost

$$MVR_{(T,m_{nom})} = \frac{A*600*l}{t} = \frac{427*l}{t} \quad [2]$$

$$MFR_{(T,m_{nom})} = \frac{A*600*l*\rho}{t} = \frac{427*l*\rho}{t} \quad [3]$$

A ... průměrný průřez pístu a válce [cm²]

t ... stanovený čas měření (metoda B dle bodu A), průměrná hodnota jednotlivých měření času (metoda B dle bodu b) [s]

l ... stanovená vzdálenost, kterou urazí píst (metoda B dle bodu b), průměrná hodnota jednotlivých měření vzdáleností (metoda B dle bodu a) [cm]

ρ ... hustota taveniny při zkušební teplotě [g/cm³]

Praktický význam technologické zkoušky ITT spočívá v posouzení vhodnosti použití polymerního materiálu k výrobě daného dílce při zadaném konstrukčním řešení. Tuto metodu nelze použít pro zkoušení termoplastů, jejich reologické chování ovlivňují jevy, jako jsou hydrolýza, kondenzace a síťování. Naopak je vhodná pro hodnocení stejnoměrné kvality materiálu, porovnání plněných a neplněných termoplastů a k hodnocení kvality výrobního procesu. ITT provedené u recyklovaných výrobků lze vzájemným porovnáním prokázat degradaci taveniny způsobenou nevhodnými technologickými podmínkami během procesu vstřikování. Nevhodnými podmínkami jsou např. vysoká teplota taveniny plastu, vysoká doba zdržení materiálu v tavící komoře atd. [25]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experimenty byl použit jako vzorek plastový kryt filtru palivové nádrže, viz obrázek 8. Pro výrobu je používán materiál Ultraform S2320 003, který je blíže popsán v teoretické části. Vzorky jsou dodány firmou Robert Bosch České Budějovice. Kryty filtrů jsou vstřikovány na vstřikolisu Engel Victory 180, typ E Victory 940/180.



Obr. 7: Vzorek - plastový kryt filtru palivové nádrže (vlastní zpracování)

Aby bylo možné porovnat vliv nastavení lisu na materiál hotového krytu filtru, bylo použito sedmnáct variant nastavení parametrů lisu, vygenerovaných softwarem Minitab. Varianty nastavení jsou uvedeny v tabulce číslo 4.

Tab. 4: Varianty nastavení lisu [26]

Číslo varianty	Teplota válec (°C)	Obvodová rychlost (m/s)	Protitlak (bar)
1	185	0,35	0
2	185	0,15	0
3	185	0,35	30
4	185	0,15	30
5	185	0,25	15
6	200	0,25	15
7	200	0,25	15
8	200	0,25	15
9	200	0,35	15
10	200	0,15	15
11	200	0,25	0
12	200	0,25	30
13	215	0,15	0
14	215	0,35	0
15	215	0,15	30
16	215	0,35	30
17	215	0,25	15

3.1 Dílčí výsledky měření

Do vyhodnocení nastavení lisu pro optimalizaci procesu plastifikace, byly zahrnuty následující zkoušky, výskyt neroztavených granulí, teplota taveniny, přetlaková zkouška Berstdruck a zkouška degradace materiálu ITT dílu. Výsledky jednotlivých měření jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.1.1 Výskyt neroztavených granulí

Výskyt neroztavených granulí byl zkoumán po nastavení lisu pro danou variantu před vstříknutím prvního kusu. Do třech vaniček byl vstříknut zplastifikovaný materiál a vizuální kontrolou byly počítány případné neroztavené granule. Metoda zkoušení není určena normou, ale dlouholetými zkušenostmi se ve firmě osvědčila jako nejvhodnější.

Výsledky výskytu neroztavených granulí v tavenině jsou shrnuty v tabulce číslo 5.

Tab. 5: Výskyt neroztavených granulí (vlastní zpracování)

č. varianty	výskyt neroztavených granulí (ks)	č. varianty	výskyt neroztavených granulí (ks)	č. varianty	výskyt neroztavených granulí (ks)
1	0	7	0	13	0
2	1	8	0	14	0
3	0	9	0	15	0
4	0	10	0	16	0
5	0	11	0	17	0
6	0	12	0	-	-

3.1.2 Teplota taveniny

Měření teploty taveniny bylo prováděno na zplastifikovaném materiálu odstříknutém ve vaničce bezprostředně po jeho vyndání z lisu. K měření byl použit ruční bezdotykový infračervený teploměr.

Výsledky měření teploty taveniny všech variant nastavení lisu jsou shrnuty v tabulce číslo 6.

Tab. 6: Výsledky měření teploty taveniny (vlastní zpracování)

č. varianty	teplota taveniny (°C)	č. varianty	teplota taveniny (°C)	č. varianty	teplota taveniny (°C)
1	182	7	199	13	209
2	185	8	199	14	206
3	187	9	204	15	212
4	191	10	201	16	214
5	193	11	193	17	210
6	199	12	204	-	-

3.1.3 Přetlaková zkouška Berstdruck

Tato metoda zkoušení se provádí dle vnitřních směrnic firmy RBCB. K přetlakové zkoušce Berstdruck byly pro lepší vypovídací schopnost použity celé palivové filtry, které se skládají z krytu filtru, víčka a papírového filtru. Palivové filtry s navařenými víčky byly připojeny k hadičkám se zkušebním médiem, kterým byla v tomto případě voda. Od každé varianty nastavení lisu bylo vyzkoušeno pět vzorků. Ze zaznamenaných hodnot se poté stanovil aritmetický průměr.

Uspořádání experimentu je znázorněno na obrázku 8. Výsledky měření jsou shrnuty v tabulce 7.

Tab. 7: Výsledky zkoušky Berstdruck (vlastní zpracování)

č. varianty	Berstdruck (bar)	č. varianty	Berstdruck (bar)	č. varianty	Berstdruck (bar)
1	53,3	7	52,5	13	52,2
2	55,9	8	56,8	14	51,6
3	55,3	9	54,5	15	54,5
4	51,0	10	56,0	16	55,3
5	56,1	11	56,6	17	54,6
6	54,0	12	55,3	-	-



Obr. 8: Uspořádání experimentu při přetlakové zkoušce "Berstdruck" (vlastní zpracování)

3.1.4 Index toku taveniny dílu

Měření indexu toku taveniny dílu probíhá dle normy ČSN EN ISO 1133-1:2012, na měřicím přístroji, poloautomatickém plastoměru NOSELAB-ATS A-MeP od firmy Noselab ats, který je znázorněn na obrázku 10. Norma je založena na využití vztahu [2].



Obr. 9: Zařízení na měření ITT [27]

Před provedením této zkoušky materiálu byly kryty filtrů nejprve nadrceny na částice o velikosti granulátu. Poté byla provedena zkouška indexu toku taveniny, která má vypovídací schopnost o degradaci materiálu. Vzorek přibližně pěti gramů nadrceného materiálu byl zahříván po dobu deseti minut, po uplynutí doby bylo změřeno množství stečeného materiálu v odtokové vaničce. Toto množství bylo měřeno v centimetrech krychlových. Od každé varianty byly použity dva vzorky, jejichž výsledky se zprůměrovaly.

Naměřené hodnoty se při vyhodnocování porovnají s ITT granulátu, které se rovná 11,1 cm³/10min. Naměřené hodnoty by se neměly lišit od hodnoty ITT granulátu o více jak 20 %.

Hodnoty indexu toku taveniny jednotlivých vzorků jsou shrnuty v tabulce číslo 8.

Tab. 8: Výsledky měření ITT dílu (vlastní zpracování)

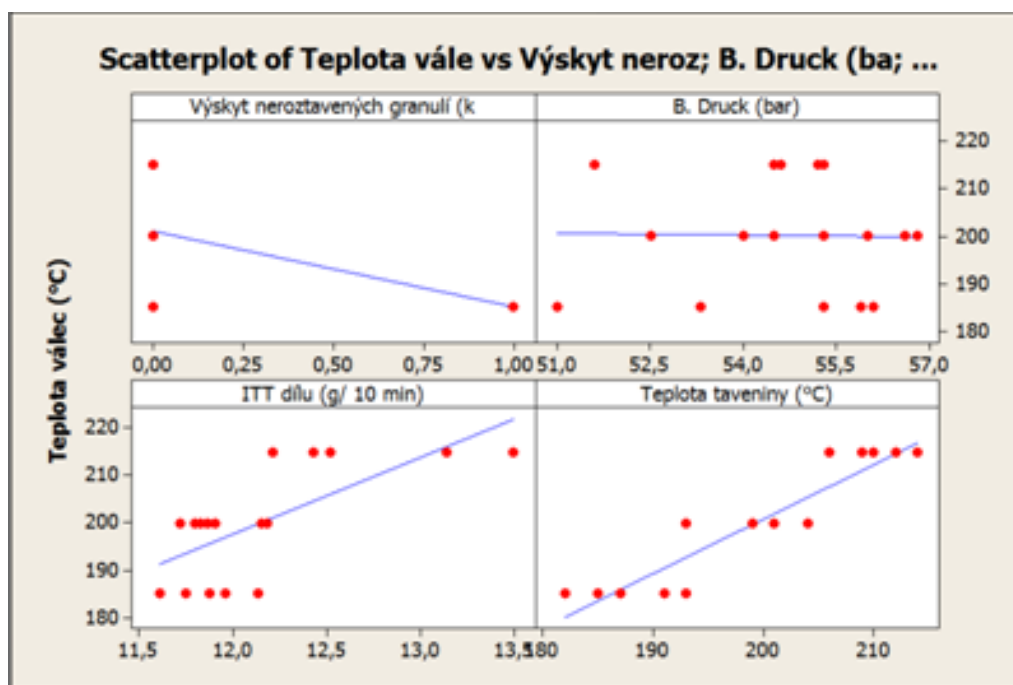
č. varianty	ITT dílu (cm ³ /10 min)	č. varianty	ITT dílu (cm ³ /10 min)	č. varianty	ITT dílu (cm ³ /10 min)
1	12,140	7	12,185	13	12,435
2	11,960	8	11,800	14	12,525
3	11,750	9	11,910	15	13,500
4	11,880	10	11,720	16	13,143
5	11,615	11	11,830	17	12,215
6	11,865	12	12,155	-	-

4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Pro splnění cíle bakalářské práce, kterým je nalezení vhodného nastavení parametrů lisu pro optimalizaci procesu plastifikace materiálu, je nutné dílčí naměřené hodnoty vyhodnotit. K tomu se použije software Minitab, do kterého se naměřené hodnoty vloží. Určí se, které veličiny jsou vstupy a které výstupy, software si na základě zadaných hodnot vytvoří statistický model, na němž znázorní v přehledných grafech závislosti veličin.

- Teplota válce

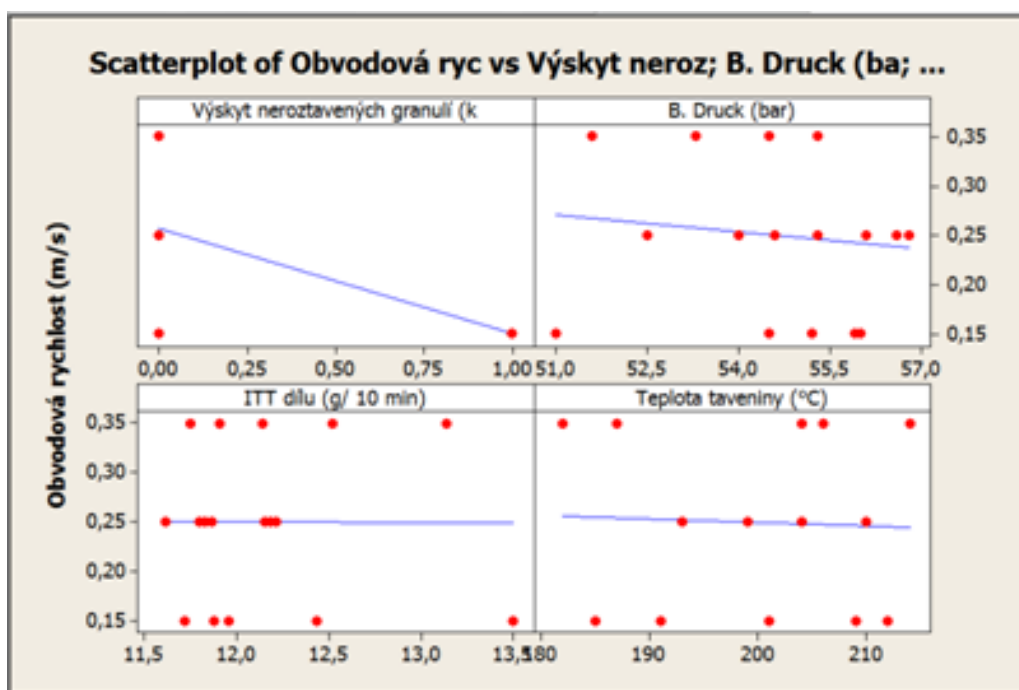
Na obrázku 10 je znázorněno, jak teplota válce ovlivňuje jednotlivé měřené veličiny. Výskyt neroztavených granulí s rostoucí teplotou dle předpokladu klesá. Čím vyšší teplota je, tím lépe se granulát taví a tím pádem nezůstávají neroztavené granule v tavenině. Na přetlakovou zkoušku Berstdruck naopak nemá výrazný vliv. Index toku taveniny dílu se s rostoucí teplotou válce zvyšuje, což znamená, že čím vyšší je teplota válce, tím více materiál degraduje. Teplota taveniny se logicky přímo úměrně zvyšuje s teplotou válce.



Obr. 10: Závislost sledovaných parametrů na teplotě válce (vlastní zpracování)

- Obvodová rychlost šneku

Vliv obvodové rychlosti šneku na zkoumané veličiny je znázorněn v obrázku číslo 11. Výskyt neroztavených granulí se snižuje s klesající obvodovou rychlostí šneku. Při vyšších obvodových rychlostech, se granulát nedostatečně zplastifikuje a mohou tak zůstat v tavenině neroztavené granule. Hodnota tlaku potřebná pro porušení dílu u přetlakové zkoušky se zvyšuje s klesající obvodovou rychlostí. Je to zřejmě tím, že pomalejší otáčení šneku méně naruší strukturu polymeru. Na index toku taveniny dílu nemá obvodová rychlost významný vliv. Mírný vliv má na teplotu taveniny, s klesající obvodovou rychlostí teplota taveniny mírně stoupá.

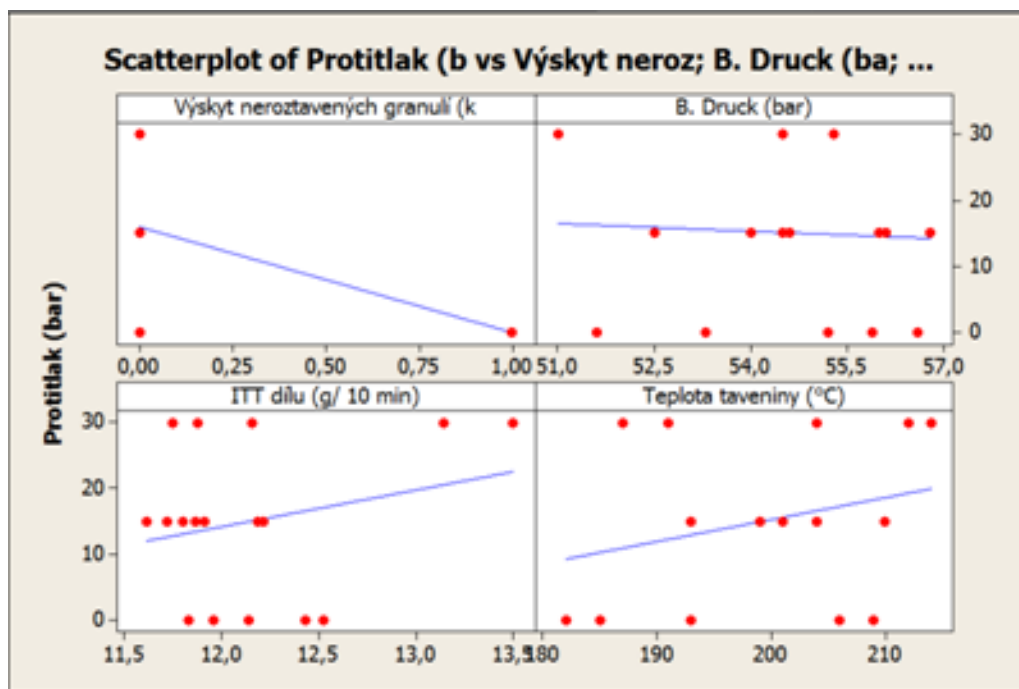


Obr. 11: Závislost sledovaných parametrů na obvodové rychlosti šneku (vlastní zpracování)

- Protitlak

Vliv protitlaku na zkoumané výstupy procesu je znázorněn v obrázku 12. Při vyšších hodnotách protitlaku je výskyt neroztavených granulí v tavenině nižší. A to z toho důvodu, že při vyšší hodnotě protitlaku se tavenina zahřívá delší dobu a je tedy více času, aby se granulát dokonale roztavil. Na přetlakovou zkoušku nemá protitlak významný vliv. Index toku taveniny se s rostoucím protitlakem zvyšuje. Znamená to, že čím déle se materiál plastifikuje, tím více degraduje. Teplota taveniny roste se

zvyšujícím se protitlakem. Čím vyšší hodnota protitlaku, tak tím déle je tavenina déle v plastifikační jednotce a tím pádem má vyšší teplotu.

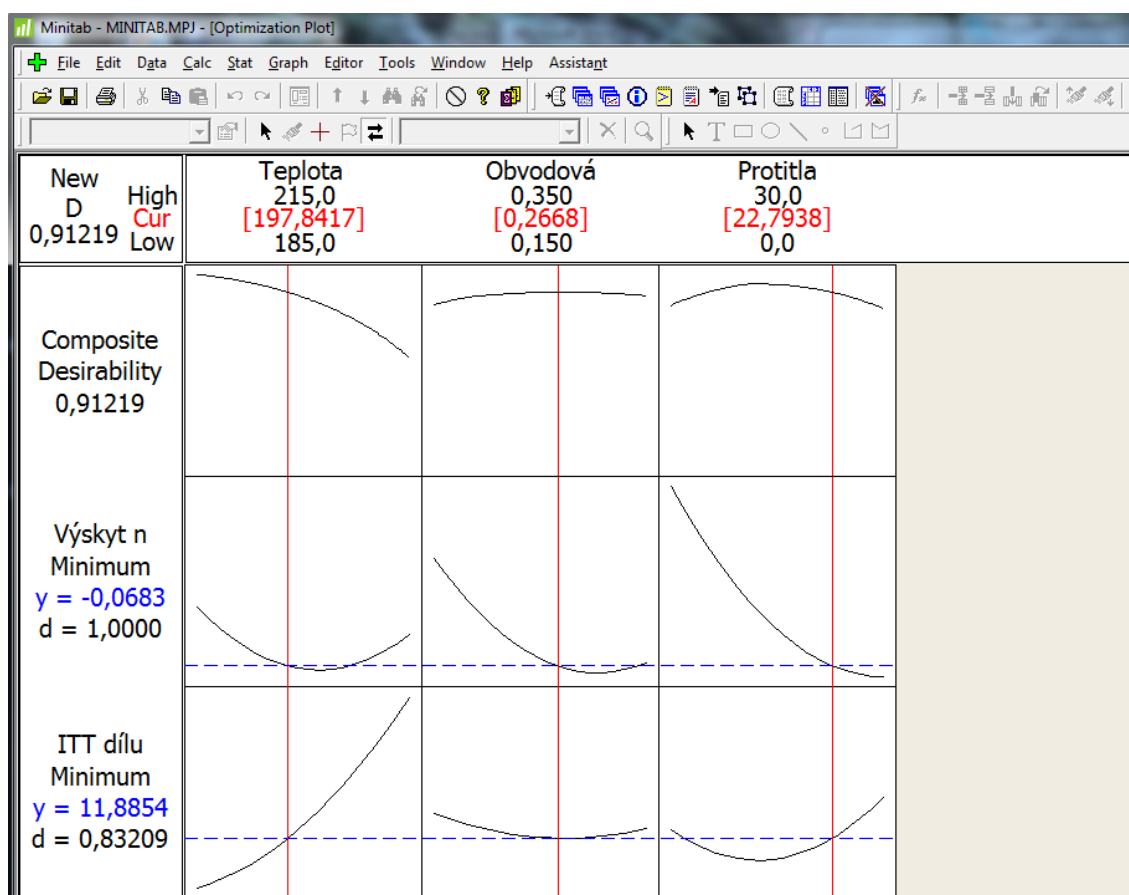


Obr. 12: Závislost sledovaných parametrů na protitlaku (vlastní zpracování)

- Nastavení parametrů lisu

Vhodné nastavení parametrů lisu se určí pomocí softwaru Minitab a jeho funkce „Optimization Plot“. Vzhledem k předchozím závislostem, se nebude zahrnovat přetlaková zkouška, kterou významně neovlivnil žádný ze vstupujících faktorů, a její hodnota vždy splňovala požadovaný minimální limit 35 barů. Teplota taveniny také nebude zahrnuta do výsledného hodnocení, vzhledem k její závislosti především na teplotě válce. Mohlo by to negativně ovlivnit výsledek. Do hodnocení se zahrne pouze výskyt neroztavených granulí, který se požaduje nulový a index toku taveniny, který by měl být v rozmezí 11,2 – 12,2 cm³/10 min.

Na obrázku číslo 13, je znázorněno doporučené nastavení parametrů lisu dle nastavených hodnot pomocí softwaru Minitab. Červená čísla označují vhodné nastavení a v grafech je znázorněna hodnota výstupů pro toto nastavení.



Obr. 13: Návrh nastavení parametrů (vlastní zpracování)

Nejlepší nastavení parametrů lisu pro optimální plastifikaci materiálu tedy je následující. Teplota válce by měla být přibližně 197 °C, obvodová rychlost šneku 0,26 m/s a hodnota protitlaku 22,79 barů.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo nalézt vhodné nastavení parametrů lisu pro optimalizaci procesu plastifikace materiálu. Optimalizace byla provedena pomocí metody „Design of Experiments“, dílčí měření byla prováděna na vzorcích krytů filtrů v palivové nádrži, dodané firmou Robert Bosch České Budějovice.

Z dílčích měření vyplývá, že výskyt neroztavených granulí ovlivňují všechny zkoumané vstupující faktory, výsledky přetlakové zkoušky naopak neovlivňuje žádný ze sledovaných faktorů. Index toku taveniny vyjadřující degradaci materiálu negativně ovlivňuje rostoucí teplota válce a zvyšující se hodnoty protitlaku. Teplota taveniny je ovlivněna především teplotou válce a hodnotou protitlaku.

Navržené nastavení parametrů vstřikovacího lisu je tedy přibližně 197 °C pro teplotu válce, 0,26 m/s pro obvodovou rychlost a 22,8 barů protitlak.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) STEIDL, J. *Použití plastů – rychlá cesta k inovaci*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2005, č. 1, s. 28 [cit. 2013-12-10]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-plastu-rychla-cesta-k-inovaci.html>
- 2) VANĚK, V. *Materiály a technologie I: Plasty*. Textová opora [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 2005 [cit. 2013-12-11]. Dostupné z: http://files.pazderalev.webnode.cz/200000145-01a2b029c2/Textov%C3%A1_opora-PLASTY2005.doc.
- 3) PEKTOR, M. O plastech. *Dr-plast.cz* [online]. Brno: GS site [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: <http://www.dr-plast.cz/autoplasty/motoplasty/oplastech>.
- 4) VACEK, Z. Historie použití plastů v automobilech: Z dehtu i konopí. *Veterán autocz*. [online]. 2011 [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://veteran.auto.cz/retronews/historie-pouziti-plastu-v-automobilech-z-dehtu-i-konopi/>.
- 5) MARCINČIN, A. a kol. *Materiály z plastov a elastomérů, vláknité materiály, keramické materiály*. Bratislava: STU, 2002. ISBN 80-227-1798-3.
- 6) JECHORT, P. Bioplasty: alternativa pro budoucnost?. *Technický týdeník: příloha plasty*. 2013, č. 2, s. 3.
- 7) DOBRONĚ, M. *Plasty v automobilovém průmyslu*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2013, č. 1, s. 38 [cit. 2013-12-11]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- 8) VELOX CMS. Nabídka materiálů na vstřikování. *Svět plastů*. 2013, č. 8, s. 22.
- 9) PTÁČEK, L. a kol. *Nauka o materiálu II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3
- 10) BASF. *Ultraform® S2320 003*. Wyandotte: BASF, 2008.
- 11) DVOŘÁK, M. a kol. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
- 12) LENFELD, P. *Technologie II - 2. část: zpracování plastů*. Liberec: Technická univerzita, 2006. ISBN 80-7372-037-X.

- 13) DUCHÁČEK, V. *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: VŠCHT, 1995. ISBN 80-7080-241-3.
- 14) ŠTĚPEK, J. *Zpracování plastických hmot*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. ISBN 04-605-66.
- 15) PECINA, P., J. PECINA. *Materiály a technologie - plasty*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4100-5.
- 16) MASAŘÍK, I. *Plasty a jejich požární nebezpečí*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. ISBN 80-86634-16-7.
- 17) ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- 18) ASKELAND, D.R., PHULÉ, P.P. *The Science and Engineering of Materials*. Canada: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.
- 19) P:Q:M:. DOE – Design of experiments/Taguchi. *Process quality management*. [online]. © 2013 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.pqm.cz/nvcss/doe.html>
- 20) INTERQUALITY. Co to je statisticky navržený experiment?. *Interquality.cz*. [online]. [cit. 2014-03-13] Dostupné z: <http://www.interquality.cz/INTERNÍKURZY/DOEInterquality/tabid/79/Default.aspx>
- 21) ANDERSON, M. J., P. J. WHITCOMB. *DOE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation*. Portland: Productivity, Inc., 2000. ISBN 1—56327-225-3.
- 22) RBCB. *Manuál pro Minitab*. České Budějovice: RBCB, 2011.
- 23) MILLER, I. *DOE: Návrh a analýza experimentu s pomocí MINITAB®*. Praha: Interquality, 2010. ISBN 978-80-902770-5-2.
- 24) RBCB. *Přetlaková zkouška*. České Budějovice: RBCB, 2009.
- 25) RBCB. *Index toku taveniny*. České Budějovice: RBCB, 2010.
- 26) *MiniTab 16* [počítačový program]. Ver. 16.1.1. Pensylvánie: Minitab Inc., 1972, 2013 [citováno 2014 – 01 – 15]. Dostupné z: <http://it.minitab.com/en-us/products/minitab/free-trial.aspx>. Vyžaduje Windows XP a vyšší.

27) JKR servis. Index toku. *JKR servis* [online]. © 2013 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.jkr-servis.cz/inpage/index-toku/>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Spotřeba plastů podle odvětví [2].....	13
Obr. 2: Rozdělení plastů (vlastní zpracování)	16
Obr. 3: Spotřeba plastů ve světě [2].....	19
Obr. 4: Schéma vstřikovacího cyklu [12]	29
Obr. 5: Schéma laminárního toku taveniny plastů [12]	30
Obr. 6: Vstřikolis Engel (vlastní zpracování)	33
Obr. 7: Vzorek - plastový kryt filtru palivové nádrže (vlastní zpracování)	38
Obr. 8: Uspořádání experimentu při přetlakové zkoušce "Berstdruck" (vlastní zpracování).....	42
Obr. 9: Zařízení na měření ITT [27]	42
Obr. 10: Závislost sledovaných parametrů na teplotě válce (vlastní zpracování)	44
Obr. 11: Závislost sledovaných parametrů na obvodové rychlosti šneku (vlastní zpracování).....	45
Obr. 12: Závislost sledovaných parametrů na protitlaku (vlastní zpracování)	46
Obr. 13: Návrh nastavení parametrů (vlastní zpracování).....	47

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Vlastnosti materiálu Ultraform [10]	20
Tab. 2: Doporučená doba sušení pro vybrané materiály [12]	23
Tab. 3: Typické hodnoty získané pro testovaný díl (vlastní zpracování)	34
Tab. 4: Varianty nastavení lisu [26].....	39
Tab. 5: Výskyt neroztavených granulí (vlastní zpracování)	40
Tab. 6: Výsledky měření teploty taveniny (vlastní zpracování)	40
Tab. 7: Výsledky zkoušky Berstdruck (vlastní zpracování)	41
Tab. 8: Výsledky měření ITT dílu (vlastní zpracování)	43

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Materiálový list Ultraformu

Příloha č. 2: Protokol měření ITT

PŘÍLOHA Č. 1



The Chemical Company

Ultraform® S2320 003

BASF Corporation - Acetal (POM) Copolymer

Wednesday, November 12, 2008

General Information

Product Description

Easy flowing and rapidly freezing grade for injection molding difficult, thin-walled parts.

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• Europe
Features	• Good Flow
Uses	• Thin-walled Parts
RoHS Compliance	• RoHS Compliant
Forms	• Granules
Processing Method	• Injection Molding
Multi-Point Data	• Isochronous Stress vs. Strain (ISO 11403-1) • Isothermal Stress vs. Strain (ISO 11403-1) • Secant Modulus vs. Strain (ISO 11403-1) • Shear Modulus vs. Temperature (ISO 11403-2) • Specific Heat vs. Temperature (ISO 11403-2) • Specific Volume vs Temperature (ISO 11403-2) • Viscosity vs. Shear Rate (ISO 11403-2)
Resin ID (ISO 1043)	• POM

ASTM and ISO Properties ¹

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Density	1.40 g/cm ³	ISO 1183
Melt Volume-Flow Rate (MVR) (190°C/2.16 kg)	11.0 cm ³ /10min	ISO 1133
Water Absorption		ISO 62
Saturation, 23°C	0.80 %	
Equilibrium, 23°C, 50% RH	0.20 %	
Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus (23°C)	2700 MPa	ISO 527-2
Tensile Stress (Yield, 23°C)	65.0 MPa	ISO 527-2/50
Tensile Strain (Yield, 23°C)	9.0 %	ISO 527-2/50
Nominal Tensile Strain at Break (23°C)	28 %	ISO 527-2/50
Tensile Creep Modulus (1000 hr)	1300 MPa	ISO 899-1
Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength		ISO 179/1eA
-30°C	5.00 kJ/m ²	
23°C	5.50 kJ/m ²	
Charpy Unnotched Impact Strength		ISO 179/1eU
-30°C	170 kJ/m ²	
23°C	180 kJ/m ²	
Hardness	Nominal Value Unit	Test Method
Ball Indentation Hardness (H 358/30)	145 MPa	ISO 2039-1
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature (1.8 MPa, Unannealed)	100 °C	ISO 75-2/A
Melting Temperature (DSC)	167 °C	ISO 3146
CLTE - Flow (23 to 55°C)	0.00011 cm/cm/°C	ISO 11359-2

Copyright © 2008 - IDES - The Plastics Web ®

The information presented on this data sheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

IDES - The Plastics Web ®

800-788-4668 or 307-742-9227 | www.ides.com

Ultraform® S2320 003

BASF Corporation - Acetal (POM) Copolymer

www.ides.com

Wednesday, November 12, 2008

Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Surface Resistivity	1.0E+13 ohms	IEC 60093
Volume Resistivity	1.0E+15 ohm-cm	IEC 60093
Relative Permittivity (23°C, 1E+6 Hz)	3.80	IEC 60250
Dissipation Factor (23°C, 1E+6 Hz)	0.00500	IEC 60250
Comparative Tracking Index (Solution A)	600 V	IEC 60112

Flammability	Nominal Value Unit	Test Method
Flame Rating - UL (1.60 mm)	HB	UL 94

Additional Properties

The value listed as Melting Temperature (DSC), ISO 3146, was tested in accordance with ISO 3146.
Maximum Service Temperature (Short Cycle Operation): 100°C
POM-K, M-GNR, 04-002

Processing Information

Injection	Nominal Value Unit
Processing (Melt) Temp	190 to 230 °C
Mold Temperature	60.0 to 100 °C

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

BASF Corporation Engineering Plastics 1609 Biddle Avenue Wyandotte, MI 48192	General Information: 800-BC-RESIN Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150) Website: www.plasticsportal.com/usa
--	--

PŘÍLOHA Č. 2

RBCB/QMM8		Objednávka zkoušky – Materiálová a CT laboratoř			Číslo zakázky: Auftragsnummer: LAB 14/155	
Zadavatel: Auftraggeber:		Krpoun	Oddělení: Abteilung:	MÖE13	Datum zadání: Datum der Vergebung:	19.3.2014
Telefon: Telefonnummer:		4275	Síťový plán, Operace / Netzplan, Vorgang :			
Číslo dílu, materiálu/ SNr.:		5515264410	Výrobek (materiál) – název/ Erzeugnisbenennung:		Ultraform S2320003	
Díly po zkoušce vyšrotovat: Teile nach der Pruefung verschrotten.:		☐ ANO/ Ja ☐ NE/ Nein	Dodavatel, šarže, výrobní datum / Lieferant, Charge, Fertigungsdatum:			
			Příjemka, datum příjmu / Eingangs-Nr., Eingangsdatum:			
Původ dílů: Quelle der Teilen:		☐ Z výrobní linky ☐ Po zkoušce	☐ Nakoupené díly ☐ Z 0 km	☐ Reklamace od zákazníka ☐ Jiné (uvést)...	Počet kusů / Anzahl Teile: 16	
Vyplní pracovník QMM8 / Füllt QMM8 Mitarbeiter aus:						
Odhadovaný čas měření - Hodin: Abgeschaetzte Messzeit – Soll Stunden:			Domluvený termín: Termin zugesagt:			
Sazba na hodinu: / Stundentaxe: 1 182,84 Kč/hod (47,31 EUR)						
Další informace pro zakázku, odůvodnění zkoušky Weitere Unterlagen für Meßauftrag, Begründung: Prosím o proměření ITT na 17 vzorcích granulátu						
Výsledek/ Ergebnis:						
vzorek	MVR1 [ccm/10']	MVR2 [ccm/10']	MVR3 [ccm/10']	průměr. MVR [ccm/10']		
3.1.1.6	12,14	12,14	x	12,140		
3.1.2.4	11,99	11,93	x	11,960		
3.1.4.4	11,91	11,85	x	11,880		
3.1.5.5	11,61	11,62	x	11,615		
3.1.6.5	11,88	12,55	11,85	11,865		
3.1.7.5	12,26	12,89	12,11	12,185		
3.1.9.5	12,02	11,8	x	11,910		
3.1.11.6	11,82	10,76	11,84	11,830		
3.1.13.6	12,31	13,09	12,56	12,435		
3.1.14.6	12,37	12,68	x	12,525		
3.1.15.5	13,68	13,32	x	13,500		
3.1.16.6	13,1	13,27	13,06	13,143		
3.2.8.6	11,83	1,00	x	11,800		
3.2.10.6	11,81	11,63	x	11,720		
3.2.12.6	12,27	12,04	x	12,155		
3.2.17.6	12,38	12,05	x	12,215		
< BOSCH N28 BN22-0021: MVR(190°C/2,16 kg) - 9,5 až 12,5 ccm/10'; degradace materiálu dílu max. 20% >						
Vyhodnocení/ Auswertung : vyhovělo/gut ☒ nevyhovělo/schlecht ☐ vyhovělo s podmínkou/akzeptiert mit Auflage ☐ nehodnoceno/nicht bewertet ☐						
Vyplní pracovník QMM8 / Füllt QMM8 Mitarbeiter aus:						
Zpracoval:		Potřebný čas:	32hod	Datum:	25.3.14	Podpis:
Spokojenost zákazníka: 1. ☐ 2. ☐ 3. ☐ Kundenzufriedenheit:			Při zaškrtnutí 2,3 prosím vyplnit políčko důvod Bei Anstreichen 2,3 füllen Sie bitte das Feld GRUND aus			
1 – Plně spokojený / Voll zufrieden; 2 – Méně spokojený / Weniger zufrieden; 3 – Nespokojený / Unzufrieden						
Důvod nespokojenosti: /Grund der Unzufriedenheit:						
Vyplní zadavatel: Füllt Auftraggeber aus:		Jméno / oddělení: Name / Abteilung:		Datum: Datum:		Podpis: Unterschrift:

☐ Označené pole vyplní zákazník/ Fuehlt Auftraggeber aus

Vyplnit před zadáním zakázky/ Vor der Auftragvergebung ausfüllen

Vyplnit po ukončení zakázky/Nach dem Auftragsabschluss ausfüllen