

Vliv kvality povrchu na zatékavost polymerů ve formě

Bc. Hynek Dědek

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Hynek DĚDEK**

Osobní číslo: **T09683**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Vliv kvality povrchu na zatékavost polymerů ve formě**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Připravte zkušební tělesa vstřikováním.
3. Proveďte měření a staticky zpracujte naměřená data.
4. Porovnejte naměřená data se simulací.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2011


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělčně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce zkoumá vliv technologického parametru procesu vstřikování a drsnosti povrchu na plnění dutiny vstřikovací formy. Byl sledován vliv vstřikovacího tlaku a drsnosti povrchu na zatékavost vybraných termoplastů. Byly měřeny indexy toku taveniny použitých termoplastů. Dále byla reálná délka zatečení srovnána s analýzou délky zatečení v programu Autodesk Moldflow Insight. Závěrem byly zhodnoceny dosažené výsledky celé práce.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, vstřikovací stroj, termoplast, drsnost povrchu, zatékavost.

ABSTRACT

This thesis examines the influence of technological parameter of the injection molding process and surface roughness on the performance of cavity injection mold. The effect injection pressure and surface roughness on the fluidity of selected thermoplastics. There were measured the melt flow index of thermoplastic materials. Furthermore, the real length of fluidity compared with the analysis length of fluidity in Autodesk Moldflow Insight. Finally, the results were evaluated throughout the work.

Keywords: injection molding proces, injection mold, injection molding machine, thermoplastic, surface roughness, fluidity.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, PhD., za pomoc a užitečné rady při získávání informací potřebných k vypracování práce a za vynaložený čas při nastavení vstřikovacích procesů na stroji. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vladimíru Šumberovi za spolupráci při vstřikování.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERY	13
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	13
1.2 STRUKTURA POLYMERŮ	14
1.3 ZÁKLADNÍ TYPY POLYMERŮ.....	17
1.3.1 Polyamidy	17
1.3.2 Polyestery	17
1.3.3 Polyolefiny	17
1.3.4 Styrenové polymery	18
1.3.5 Vinylové polymery.....	18
1.3.6 Akrylové polymery	19
1.3.7 Polyacetalý	19
1.3.8 Polyuretany	19
1.3.9 Fenoplasty	19
1.3.10 Aminoplasty	20
1.3.11 Epoxidové pryskyřice.....	20
1.3.12 Elastomery.....	20
2 REOLOGIE POLYMERŮ	22
2.1 VÝROBCE SUROVIN A JEJICH ZPRACOVATELÉ.....	22
2.2 REOLOGIE POLYMERNÍ TAVENINY	23
2.3 VISKOZITA POLYMERNÍ TAVENINY	24
2.3.1 Vliv teploty a tlaku na smykovou viskozitu.....	25
2.4 TOK TAVENINY VE FORMĚ	25
2.4.1 Rychlostní profil fondánového toku.....	26
2.5 MĚŘENÍ VISKOZITY	26
2.6 ZÁKLADNÍ PRINCIPY MĚŘENÍ VISKOZITY	27
2.6.1 Oblast použití přístrojů.....	27
2.6.2 Rotační viskozimetr válec – válec.....	28
2.6.3 Rotační viskozimetr kužel – deska.....	29
2.6.4 Kapilární viskozimetr.....	31
2.7 INDEX TOKU TAVENINY	33
2.8 SPIRÁLOVÁ ZKOUŠKA ZABÍHAVOSTI POLYMERU	34
3 ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	36
3.1 FRÉZOVÁNÍ	36
3.2 ABRAZIVNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	37
3.2.1 Broušení	38
3.2.2 Honování	39
3.3 ELEKTROEROZÍVNÍ OBRÁBĚNÍ.....	39
3.3.1 Elektrojiskrové obrábění	40
3.3.2 Elektrokontaktní obrábění.....	42
3.3.3 Anodomechanické obrábění.....	43
4 KVALITA OBROBENÉHO POVRCHU	44

4.1	DRSNOST POVRCHU	44
4.1.1	Měření drsnosti povrchu	45
4.1.2	Povrch forem	46
5	VSTŘIKOVÁNÍ	48
5.1	VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	49
5.1.1	Plastikace.....	49
5.1.2	Vstříknutí taveniny.....	50
5.1.3	Dotlak.....	50
5.1.4	Ochlazování výstřiku ve formě	50
5.1.5	Průběh vstřikování v PVT diagramu.....	50
5.1.6	Vliv technologických podmínek na vlastnosti výstřiku	51
5.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	52
5.2.1	Vstřikovací jednotka	53
5.2.2	Uzavírací jednotka	53
5.2.3	Ovládání a regulace vstřikovacího stroje	54
5.3	VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	55
5.3.1	Materiály na výrobu forem.....	56
5.4	KONSTRUKCE FOREM PRO TERMOPLASTY	56
5.4.1	Rám formy	57
5.4.2	Vtokový systém.....	57
5.4.3	Vtokové ústí	57
5.4.4	Dutina formy	58
5.4.5	Vyhazovací systém.....	58
II	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	60
III	PRAKTICKÁ ČÁST	62
6	POUŽITÉ MATERIÁLY	63
6.1	POLYPROPYLEN (PP).....	63
6.2	POLYSTYREN (PS).....	64
6.3	POLYOXYMETYLEN (POM)	65
6.4	VYSOKOHUSTOTNÍ POLYETYLEN (HDPE).....	66
6.5	POLYPROPYLEN S 40 % MASTKU (PP + 40% MASTEK)	67
6.6	POLYKARBONÁT + AKRYLONITRIL BUTADIEN STYREN (PC+ABS).....	68
7	MĚŘENÍ INDEXU TOKU TAVENINY.....	69
7.1	POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	69
7.2	NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY.....	72
8	ZKUŠEBNÍ DESKY.....	74
8.1	JAKOST POVRCHU ZKUŠEBNÍCH DESEK	74
9	VSTŘIKOVÁNÍ VZORKŮ	77
9.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	77
9.2	TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ.....	79
10	VYHODNOCENÍ DÉLKY ZATEČENÍ.....	80
10.1	VYHODNOCENÍ PP TATREN HM 50 46	81
10.1.1	PP Tatren HM 50 46 vstřikovací tlak 8 MPa	81

10.2	VYHODNOCENÍ PS KRASTEN 154.....	82
10.2.1	PS Krasten 154 vstřikovací tlak 4 MPa.....	83
10.3	VYHODNOCENÍ POM HOSTAFORM C 13021	84
10.3.1	POM Hostaform C 13021 vstřikovací tlak 4 MPa	85
10.4	VYHODNOCENÍ HDPE 25055E	86
10.4.1	HDPE 25055E vstřikovací tlak 4 MPa.....	87
10.5	VYHODNOCENÍ PP HOSTACOM M4 U05 (40% MASTEK).....	88
10.5.1	PP Hostacom M4 U05 vstřikovací tlak 8 MPa	89
10.6	VYHODNOCENÍ PC + ABS – BLEND	90
10.6.1	PC + ABS vstřikovací tlak 4 MPa.....	91
10.7	SROVNÁNÍ MATERIÁLŮ.....	93
11	POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT SE SIMULACÍ.....	94
11.1	GRAFICKÉ SROVNÁNÍ DÉLKY ZATEČENÍ PRO MATERIÁL POM HOSTAFORM®	95
11.1.1	Vstřikovací tlak 4 MPa.....	95
11.1.2	Vstřikovací tlak 6 MPa.....	96
11.1.3	Vstřikovací tlak 8 MPa.....	97
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	98
	ZÁVĚR	100
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	101
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	104
	SEZNAM OBRÁZKŮ	106
	SEZNAM TABULEK.....	109
	SEZNAM PŘÍLOH.....	110

ÚVOD

V minulosti se objevovaly materiálové milníky. A tak jako nastala doba kamenná, bronzová, železná a další, tak by se dalo o dnešní době mluvit jako o době plastů. Historie technických polymerů sahá do období druhé světové války. Velké množství běžných, do té doby používaných materiálů bylo válkou vyčerpáno. Hledaly se syntetické náhrady těchto přírodních materiálů. Pomalu se objevovalo kouzlo polymerních materiálů.

Během následujících let nastal velkým boom těchto materiálů. Využilo se jejich dobrých vlastností jako je nízká hustota, nízká hmotnost, vysoká chemická odolnost, snadná tvarovatelnost, a velmi dobré elektroizolační a tepelně izolační vlastnosti. A díky těmto přednostem se dostávaly do téměř všech oborů lidské činnosti. Dnes jsou v některých odvětvích nenahraditelné i díky své nízké ceně.

Pro jednotlivé využití lze polymerní materiály zpracovávat velkou škálou metod. Počínaje vstřikováním, tvářením, lisováním, lepením, vytlačováním, svařováním atd. Dominantní místo mezi výrobními metodami zaujímá vstřikování. Dnes se touto metodou vyrábí okolo 90 % všech výrobků z plastů. Výhodou vstřikování je snadná automatizace a mechanizace procesu. Tím se vstřikování stává velmi produktivní metodou, kde do samotné výroby není potřeba lidí. Ovšem na vstřikovací stroje a jejich formy jsou kladeny velmi vysoké konstrukční požadavky. Proces vstřikování pracuje v cyklech, ve kterém je možno vyrobit desítky výrobků najednou.

Při vstřikování dochází k přeměně tuhého polymerního materiálu, ve formě granulí (popřípadě prášku či pásků), na taveninu ve vstřikovacím stroji. A tato tavenina je poté vstříknuta do dutiny formy, kde tavenina po vychladnutí dostává tvar této dutiny.

A právě plnění dutiny formy je nejdůležitější částí celého vstřikovacího cyklu. Plnění formy se odehrává ve velmi krátkém čase. V tomto čase musí polymerní tavenina vyplnit všechny místa formy. Proto velmi závisí na tom, aby byly pochopeny všechny zákonitosti zatékavosti polymeru. Hraje tu roli spousta faktorů, jako je tlak v dutině formy, vstřikovací rychlost, drsnost povrchu rozváděcích kanálů a formy, teplota taveniny a formy a reologické vlastnosti vstřikovaného materiálu.

Tato diplomová práce se zabývá vlivem vybraných polymerních materiálů, drsnostech povrchu zkušebních desek vstřikovací formy, vstřikovacího tlaku na zatékavost polymerní taveniny do dutiny formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Slovo polymer pochází z řečtiny a znamená mnoho (poly) částic (mer). Polymery jsou chemické látky obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku. Za normálních teplot jsou v tuhém stavu. Za zvýšené teploty přechází do stavu taveniny schopné téct, což umožňuje udělit polymerní tavenině tvar budoucího výrobku.[1]

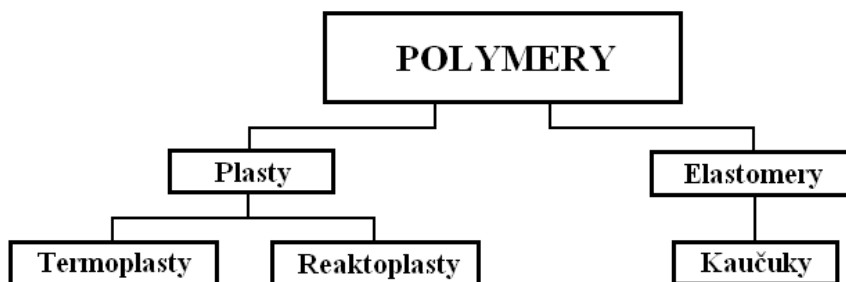
1.1 Rozdělení polymerů

Polymery je možno dělit podle různých hledisek. Podle základních technických vlastností se polymery dělí na:

Eleastomery jsou vysoce elastické polymery, které lze za běžných podmínek, i při zatěžování malou silou, značně deformovat bez porušení. Tyto deformace mají převážně vratný charakter. Nejpočetnější podmnožinou eleastomerů tvoří kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. [1]

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, houževnaté nebo křehké. Zahřáním mohou být taveny. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu opakovatelná, nazýváme je termoplasty. Přechod do tuhého stavu se u nich děje ochlazováním. Pokud je změna neopakovatelná, jedná se o reaktoplasty, které tvrdnou vlivem síťování, obvykle za působení tepla a tlaku. [1]

Čisté polymery nemají obvykle nejvýhodnější vlastnosti, a proto jsou kombinovány s jinými materiály, obvykle pomocí mechanického míchání v pevném nebo roztaveném stavu. Takto jsou vytvářeny směsi, které jsou dodávány ve formě granulí, prášku, past nebo kapalin. Směs je tvořena přidávkem vhodných typů přísad, plniv, výztužných materiálů nebo jiných polymerů. Účelem je zlepšit zpracovatelnost a získat výrobek lepších vlastností.[1]

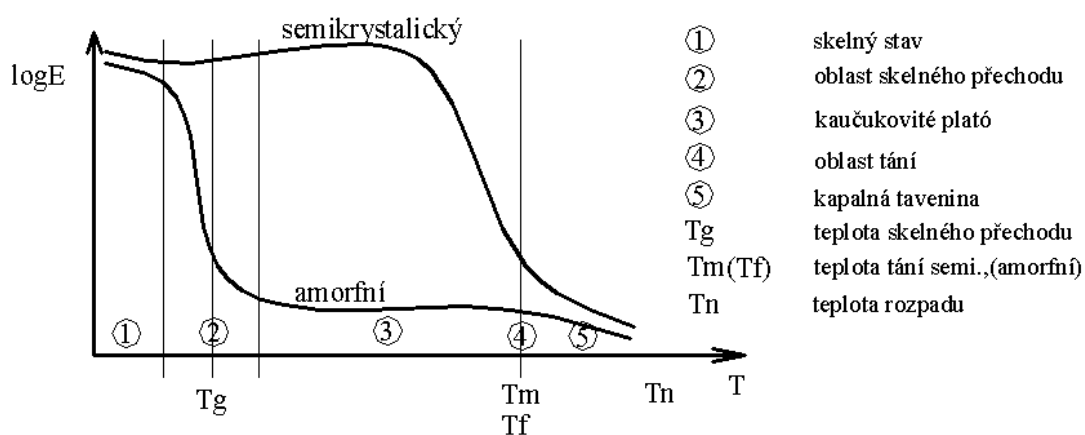


Obr. 1 Rozdělení polymerů

Podle struktury dělíme polymery na:

Amorfní polymery – jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány. Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezční síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru. Mezi amorfní plasty patří např. PS, ABS, PMMA, PC a další. [4]

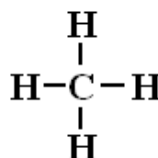
Semikrystalické polymery – kde je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfní uspořádání. Použití plastu tohoto typu je v oblasti nad teplotou T_g , protože mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti nad touto teplotou. Mezi semikrystalické plasty patří např. PE, PP, PA6 a další. [4]



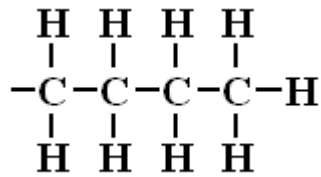
Obr. 2 Vlastnosti termoplastických polymerů

1.2 Struktura polymerů

Za svůj vznik vděčí polymery ojedinělé vlastnosti atomu uhlíku, který je schopen vytvářet ve spojení s vodíkem neomezeně dlouhé řetězce. Základní formou této struktury je nejjednodušší uhlovodík, metan CH_4 : [3]

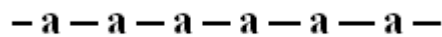


Spojením velkého počtu těchto základních skupin vzniká dlouhý uhlíkový řetězec, který představuje strukturu lineárního polyetylenu: [3]

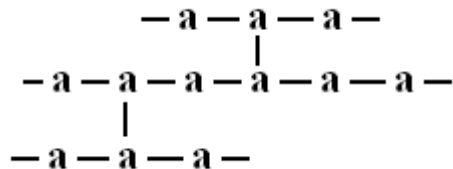


Polymery mohou vytvářet řetězce:

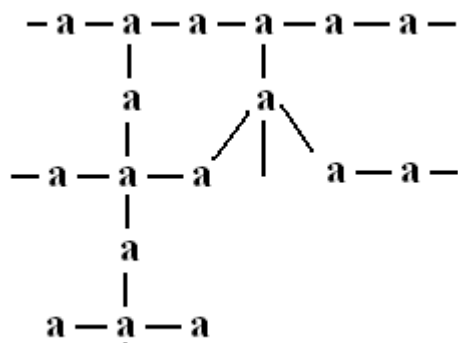
- Lineární:



- Rozvětvené:

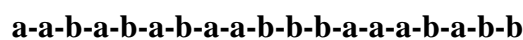


- Zesíťované (trojrozměrné řetězce):

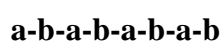


Základní stavební molekuly však nemusejí být vždy téhož druhu. Monomer může kopolymerovat i s jiným monomerem. Základní skupina, označená prve písmenem *a*, je potom kombinována s další skupinou, které jsou označeny jako *b*. Pak vznikají struktury polymerů vyjádřené těmito schémata [3]:

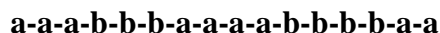
- Nepravidelný (statistický) polymer



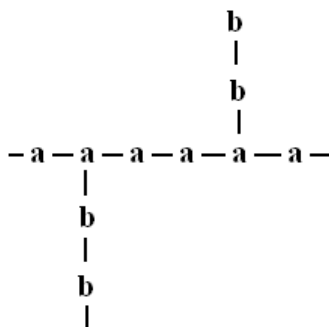
- Pravidelný (alternující) polymer



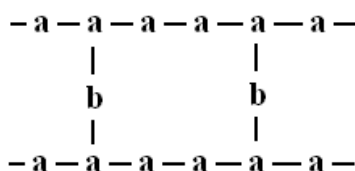
- Sledový polymer



- Roubovaný polymer



- Zesíťovaný polymer



Až dosud byly uváděny přímé vazby mezi atomy – primární chemické vazby. Významnou úlohu však mají také sekundární vazby, tj. vazby mezi jednotlivými řetězci polymerů, ke kterým patří polární vazby včetně vodíkových vazeb a indukovaných dipólů, které se označují jako van der Walsovy síly. U dostatečně velkých molekul mají zásadní vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti polymerů. [3]

Například dlouhé a ohebné řetězce polyetyleny se k sobě vzájemně přibližují a vytvářejí tak pravidelné uspořádání molekul. V takovém uspořádání vzniká tzv. krystalická struktura, která nemusí být vůbec patrná opticky podle vzhledu povrchu. Krystalické uspořádání řetězců snižuje jejich pohybové možnosti a hmota je tím vnitřně vyztužena, takže je mnohem pevnější a houževnatější. Krystalický podíl má také vliv na chování za vyšších teplot. Je příčinou ostrého bodu tání, kdežto molekuly v neuspořádané amorfní struktuře zaručují ohebnost i při nízkých teplotách. Proto se slabé van der Walsovy síly velmi výrazně projevují ve vlastnostech polymeru. Z technické praxe lze uvést jako typický příklad technologie výroby polyetyleny, kde podle podmínek vznikají dva rozdílné typy produktů. Lineární, silně krystalický polyetylen vzniká při nízkotlaké syntéze a méně krystalický polyetylen s rozvětvenou strukturou vzniká při syntéze za vysokých tlaků. [3]

1.3 Základní typy polymerů

1.3.1 Polyamidy

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny –CONH–. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou polyamidy s alifatickými řetězci, na trhu jsou však i typy aromatické. [5]

K jednoduchému označování alifatických polyamidů byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách řetězců: [5]

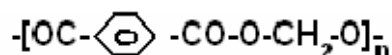
- polyamid 6 je polyamid z kyseliny 6-aminokapronové nebo 6-kaprolaktanu,
- polyamid 66 je polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny adipové,
- polyamid 610 je polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny sebakové.

Vlastnosti PA se mění podle výchozích monomerů, všechny jsou z 30 až 50 % krystalické a neprůhledné, řetězce jsou provázány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami, jejichž množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání a teplotu přechodu. [2]

Kromě výše uvedených polyamidů sem patří také PA11 a PA12.

1.3.2 Polyestery

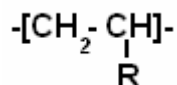
Polyestery představují velkou skupinu polymerů, jejichž charakteristickým znakem je přítomnost esterových vazeb v hlavních řetězcích. Lze je zásadně rozdělit na typy lineární a termoplastické a na typy reaktoplastické, rozvětvené a v konečném stavu aplikace zesíťované. (PET, PBT, Polykarbonáty-PC, Polyesterové pryskyřice-UP) [5]



1.3.3 Polyolefiny

Polyolefiny představují kvantitativně největší skupinu syntetických polymerů, což je způsobeno hlavně snadnou dostupností surovin pro výrobu monomerů a tím, že jde o výrobu poměrně levnou. Polyolefiny jsou tedy cenově nejvýhodnější polymery. Dalším důvodem pro jejich široké rozšíření je dobrá zpracovatelnost nejproduktivnějšími technologickými postupy i velmi dobré a široce využitelné výsledné vlastnosti. Největší význam mají polyetylen (PE) a polypropylen (PP).[5]

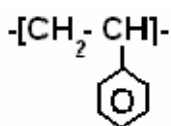
Polyolefiny se vyznačují nízkou hustotou. Hustota je menší než voda, z toho vyplývá, že polyolefiny plavou na vodě.



1.3.4 Styrenové polymery

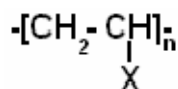
Skupina polystyrénových plastů zaujímá objemem výroby třetí místo na světě za polyolefiny a polvinylchloridem. Do této skupiny patří tyto typy plastů:

- standardní plasty, tj. homopolymery styrenu s vynikající pružností a leskem, ale dosti křehké (PS),
- zpěňované plasty s obsahem nadouvadla, které umožňuje vypěnění materiálu do různých forem pro výrobu lehčených produktů s nízkou hustotou a s výbornými tepelně izolačními vlastnostmi (lehčený PS),
- houževnaté plasty se sníženou křehkostí, ale neprůhledné a s nižším leskem (HIPS),
- kopolymery styrenu s akrylonitrilem nebo dalšími monomery, určené pro aplikace vyžadující lepší odolnost vůči teplu, rozpouštědlům nebo mechanickému namáhání (SAN),
- polymery ABS, tj. houževnaté typy, při jejichž výrobě se vychází z akrylonitrilu, butadienu a styrenu jako monomerů.[5]



1.3.5 Vinylové polymery

Patří zde polymery mající v hlavním řetězci skupinu :



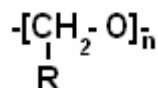
Jsou buď zcela amorfní nebo mírně syndiotaktické s náznakem krystalické struktury. Patří sem PVC, PVAI, PVB.[2]

1.3.6 Akrylové polymery

Polymery a kopolymery kyseliny akrylové a metakrylové a jejich estery, amidy, nitrily i 2-kyanakryláty bývají často označovány jako polyakryláty. Jsou vyráběny jako homopolymery nebo častěji jako nejrůznější kopolymery. Všechny se vyznačují vynikající odolností vůči povětrnosti, stálostí na světle a transparentností. Používají se v závislosti na typu monomeru jako nátěrové hmoty a různé průmyslové pomocné látky, plasty a vlákna. Patří sem PMMA, PAN, PVDF.[5]

1.3.7 Polyacetal

V hlavním řetězci mají vestavěnou skupinu –O–. Z této skupiny jsou průmyslově důležité jen polymery a kopolymery formaldehydu, zvané proto též polyoxymetyleny (POM).[2]



1.3.8 Polyuretany

Pod pojmem polyuretany se rozumí skupina polymerů vznikajících reakcí izokyanátů s alkoholy. [5]

Dělí se na:

- lehčené hmoty
- vlákna a filmy z lineárního PUR
- PUR elastomery
- lepidla
- licí pryskyřice
- PUR nátěrové hmoty
- PUR pojiva

1.3.9 Fenoplasty

Jsou to nejstarší a nejrozšířenější reaktoplasty (pod obchodní značkou bakelity byla jejich průmyslová výroba zahájena v roce 1910). Jedná se o fenolické pryskyřice tzn.

syntetické pryskyřice z fenolů s aldehydy. Obecně se používají jako lisovací hmoty, lepidla, pojiva na dřevo, brzdové materiály a antikoroziční materiály.[2]

V alkalickém prostředí, v přebytku formaldehydu, vznikají rezoly. To jsou nízkomolekulární produkty s vysoce reaktivními metylovými skupinami, jejichž vzájemnou reakcí vzniká zesíťovaný produkt rezit.[6]

Produkty kondenzace prováděné v kyselém prostředí v přebytku fenolu se nazývají novolaky.[6]

1.3.10 Aminoplasty

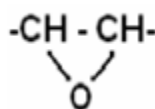
Kondenzáty formaldehydu s látkami obsahující aminové nebo amidové skupiny - močoviny a melamin.[2]

Jsou to:

- močovinoformaldehydové pryskyřice (UF) - používané jako lisovací hmoty lepidla, lehčené hmoty a pojiva pro dřevěné výrobky.[2]
- melaminoformaldehydové pryskyřice (MF) - používané rovněž jako lisovací hmoty, lepidla, pomocné prostředky pro textil a lakařské pryskyřice.[2]

1.3.11 Epoxidové pryskyřice

Jsou to sloučeniny obsahující v řetězci epoxidovou skupinu:



Jsou bezbarvé až nažloutlé. Mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku a dřevo. Dále vynikající izolační vlastnosti a odolnost vůči vodě a chemikáliím.

1.3.12 Elastomery

Elastomery jsou polymery s mimořádně vysokou elastickou deformací. Tato deformace může být až 1000% z jejich původního rozměru. Jsou tedy vysokoelastické a relativně měkké. Mají vysokou odolnost vůči povětrnostním podmínkám, vysokým teplotám a určitým skupinám rozpouštědel. [2]

Mezi elastomery patří celá řada typů kaučuků, jako jsou přírodní, butadienový, polyisopren, chloroprenový kaučuk, butadienstyrenový kaučuk, fluorouhlíkové kaučuky a další.

Teplota T_g se u elastomerů pohybuje od -16 do -50°C a závisí na typu elastomeru. Pokud teplota klesne pod uvedené teploty, elastomer se stává křehkým a při zatížení praská.

Oblast použití elastomerů je velmi široká. Používají se k výrobě obuvi, hadic, pneumatik, sportovních potřeb, dopravních pásů, ochranných prostředků a nátěrů, rukavic, koupacích čepic apod.

2 REOLOGIE POLYMERŮ

Reologie je odvětví fyziky, které se zabývá studiem deformace a toku hmoty. Za deformaci se považuje změna vzdálenosti dvou bodů téhož tělesa. Tečení je pak deformace, která probíhá v čase. Tavenina polymeru se chová viskózně (jako kapalina), ale zároveň také elasticky (jako pružná látka). Reologické chování taveniny polymeru je proto označováno jako viskoelastické. Znalost tokových vlastností a reologického chování tavenin polymerů je velmi důležitá pro:[1]

2.1 Výrobce surovin a jejich zpracovatelé

K zjištění stejnoměrné kvality vstupního materiálu, k řízení zpracovatelského procesu, ke kontrole technologických parametrů (např. v případě zkřehnutí materiálu výrobku v důsledku jeho tepelné degradace při zpracovatelském procesu ve fázi tavení a plastikace vstupního materiálu). [1]

Výrobce strojů a nástrojů

Pro návrh šneků, vstřikovacích trysek, ale také pro výpočet pohonů a uzavíracích sil pro návrh tvarového řešení výstřiku, vtokového systému vstřikovacích forem. [1]

V roce 1929 byla založena v USA Reologická společnost a přijala Herakleitovo heslo „Panta rei“, což znamená „Všechno teče“.[1]

Voda je nepochybně kapalina, protože teče bezprostředně. V evropských katedrálách bylo zaznamenáno, že u okenních tabulí je jejich spodní část silnější než část horní. Znamená to, že sklo skutečně teklo, ale po dobu víc než 100 let. Pro tečení je to skutečně otázkou času.[1]

- relaxační doba pro vodu $\lambda = 10^{-12}$ s
- relaxační doba pro sklo $\lambda = 100$ let
- relaxační doba pro polymerní taveniny $\lambda = 10^{-2} - 10^2$ s

Reiner použil biblický výraz, že „hory tekly před bohem“. DEBORAH-ino číslo je definováno jako:

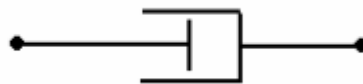
$$De = \frac{\lambda}{\theta} \quad (1)$$

kde λ je časová konstanta a θ je doba pozorování. [1]

2.2 Reologie polymerní taveniny

Vybrán je typický polymer s $\lambda = 1$ s, kdy doba zpracování je velká ($\theta \rightarrow \infty$), tj. $De \rightarrow 0$, materiál se chová jako kapalina. Je-li doba zpracování krátká ($\theta \rightarrow 0$), tj. $De \rightarrow \infty$ a polymer se bude chovat jako tuhá látka. V mnoha postupech zpracování polymerů může průchod hlavou nebo formou trvat $0,1 \div 1$ s a $De = 1 \div 10$. Proto má chování polymerní taveniny charakter jak kapaliny, tak tuhé látky a je nazýváno viskoelastické. Pro popis viskoelastického chování byly vypracovány modely, které je popisují.[1]

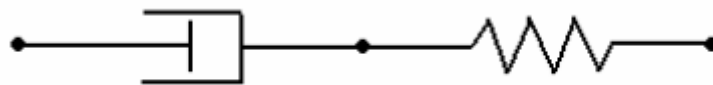
- nejjednodušší viskózní model kapaliny je Newtonský $\dot{\tau} = \mu \cdot \dot{\gamma}$, který může být znázorněn mechanickým analogem.



- nejjednodušší elastický model tuhé látky je Hookův $\tau = G \cdot \gamma$, který může být znázorněn mechanickým analogem.



- vytvořením sériového zapojení Newtonského pístu a Hookovy pružiny vznikne Maxwellův model (1876) tekutosti polymeru.



Rovnice popisující Maxwellův model má tvar:

$$\tau + \lambda \cdot \dot{\tau} = 0 \quad (2)$$

λ představuje čas pro rozložení napětí a nazývá se relaxační doba. Fyzikální význam této veličiny může být lépe pochopen opět odvoláním se na mechanický analog. Pokud vyvodíme náhlé protažení, pružina bude okamžitě reagovat. Ovšem napětí se uvolní postupně (exponenciálně), jak se tlumič začne pohybovat a pohybuje se. Je-li dostatek času, napětí bude nakonec nulové. To platí pro polymerní taveninu namáhanou smykem ve viskozimetru.[1]

2.3 Viskozita polymerní taveniny

Viskozita tavenin je základní tokovou charakteristikou, která určuje jejich odpor proti tečení. Existují látky s viskozitou nezávislou na smykové rychlosti, ty se nazývají newtonské. Velká část látek vykazuje naopak závislost viskozity na smykové rychlosti. U roztoků polymerů a polymerních tavenin klesá viskozita s rostoucí smykovou rychlostí. Takové látky se nazývají pseudoplastické. Na Obr. 3 lze vidět závislost viskozity tavenin polymerů na smykové rychlosti, tzv. tokovou křivku, kterou lze rozdělit do tří částí: [7]

I. oblast maximální newtonské viskozity (Newtonské plató)

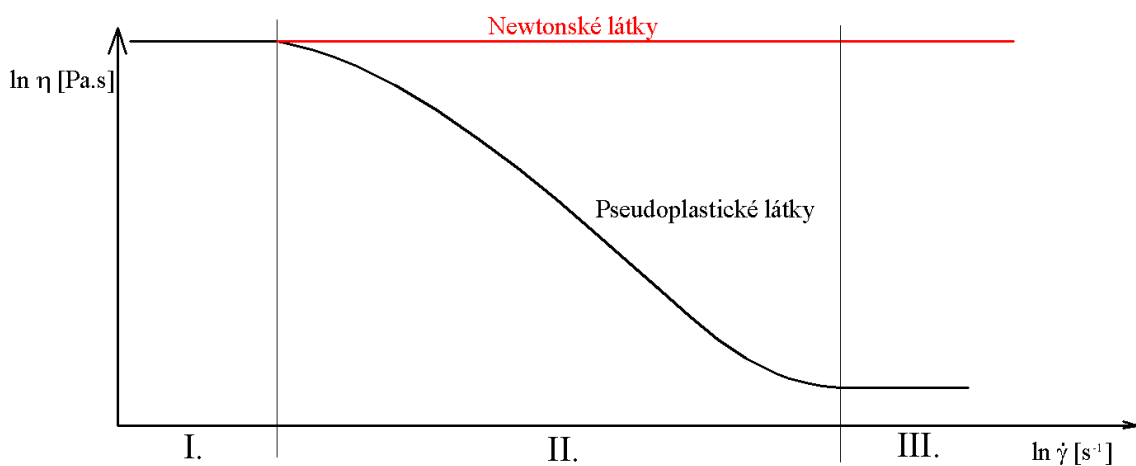
Při nízkých smykových rychlostech (Obr. 3), asi od 10^{-1} do 10^0 s^{-1} lze považovat viskozitu za konstantní, rovnu maximální newtonské viskozitě. Taveninu si lze představit jako volně sbalená klubíčka. Při toku jsou přemísťována jako celek. [1]

II. oblast strukturní viskozity

Při vyšších smykových rychlostech (Obr. 3) dochází k poklesu viskozity a označujeme ji jako zdánlivou, jejíž hodnota závisí na okamžitých hodnotách smykového napětí a smykové rychlosti. Pokles viskozity lze vysvětlit rozbalováním klubíček makromolekul do směru toku. Takto více či méně rozvinuté makromolekuly se pohybují snadněji a to se projevuje poklesem viskozity. [1]

III. oblast nekonečného smyku

Při extrémně vysokých smykových rychlostech (Obr. 3) se viskozita opět stává nezávislou na smykové rychlosti a je označována jako viskozita při nekonečném smyku. Jedná se o případ, kdyby došlo k dokonalému rozbalení makromolekul. [1]

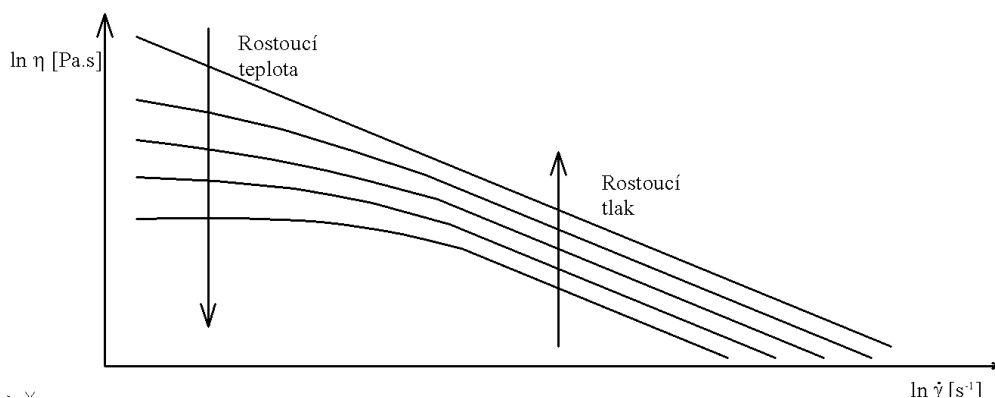


Obr. 3 Závislost smykové viskozity na rychlosti smykové deformace [9]

2.3.1 Vliv teploty a tlaku na smykovou viskozitu

Tak jako zvyšující se smyková rychlost i zvyšující se teplota snižuje hodnotu smykové viskozity polymerních materiálů. Plasty se v roztaveném stavu skládají z dlouhých molekulových řetězců. Páteř těchto řetězců obvykle tvoří uhlíkové atomy. Uhlíkové atomy podél těchto řetězců jsou drženy silnými kovalentními a chemickými vazbami. Tyhle oddělené řetězce jsou drženy při sobě poměrně slabými silami, kterým se říká van der Waalsovy. Jakmile se materiál během procesu zahřeje, primární vazby se oslabí a jejich délky se prodlouží. Při normálním teplotním procesu tyhle oslabené vazby umožní volnější pohyb – tok, aniž by se porušily. Jestliže teplota přesáhne určitou mez, tyhle vazby se přerouší, což zapříčiní degradaci polymeru.[8]

Sekundární vazby se chovají během teplotního procesu odlišně. Teplotním účinkem se značně oslabí a poskytnou malou soudržnost mezi molekulami. Výsledkem je oddělení řetězců jeden od druhého. Na Obr.4 lze vidět vliv teploty a smykové rychlosti na smykovou viskozitu.[8]

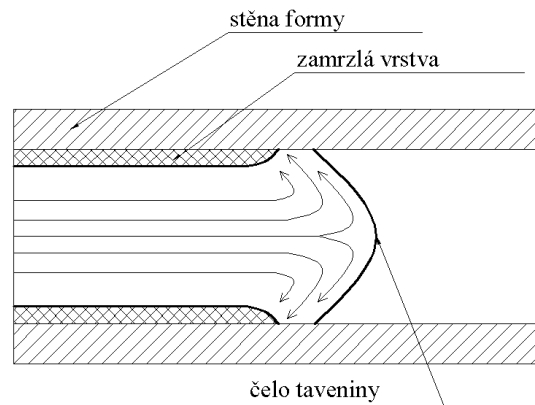


Obr. 4 Závislost smykové viskozity na teplotě a tlaku [9]

2.4 Tok taveniny ve formě

Díky relativně vysoké viskozitě komerčních polymerů lze očekávat, že jejich tok kanály vstřikovací formy bude téměř vždy laminární.[8]

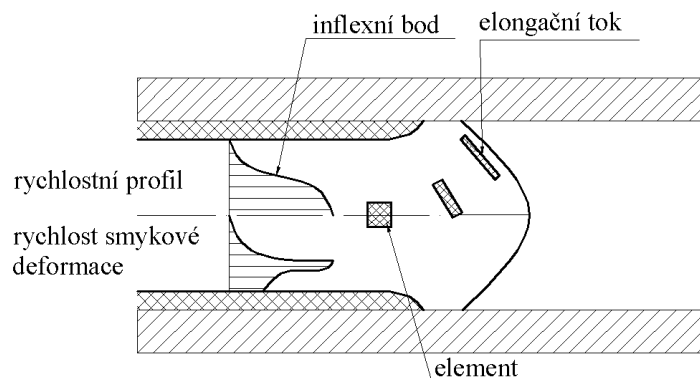
Tento způsob toku materiálu kanálem je přirovnáván k rozvíjejícímu se koberci. Materiál tekoucí středem kanálu je neustále tlačěn k jeho obvodu, kde tuhne a nový materiál tekoucí za ním proteče dál mezi ztuhlými vrstvami dopředu. Jakmile se dostane na samotnou špičku toku je rovněž zatlačen ke stěně, kde zatuhne. Pohyb taveniny na špičce toku se podobá tryskání vody ve fontáně, proto se tomuto toku říká fontánový tok.[8]



Obr. 5 Fontánový tok [9]

2.4.1 Rychlostní profil fontánového toku

Fontánový tok je způsoben absencí skluzu mezi taveninou a stěnou. Povrchová vrstva má vysokou reziduální orientaci makromolekul díky elongačnímu toku s následnou orientací díky smykovému toku.



Obr. 6 Rychlostní profil [9]

Na čele dohází k silnému elongačnímu toku a materiál se přesouvá k chladné stěně a zde je fixován, z toho je patrné, že na stěně je silně orientovaný profil materiálu. Rychlostní profil má zvonovitý charakter. A v místě inflexního bodu je největší rychlost smykové deformace. Rychlost smykové deformace je největší asi v jedné třetině profilu (ne jako u vytlačování na stěně). [9]

2.5 Měření viskozity

Při všech měřeních musí tavenina protékat kanálem definovaného geometrického tvaru. Měří se odpor proti tomuto tečení a tento odpor charakterizuje viskozitu. Pro měření viskozity se používají kapilární a rotační viskozimetry. [7]

2.6 Základní principy měření viskozity

K stanovení viskozity nebo průběhu tokové křivky je třeba zjistit hodnoty smykového napětí a smykové rychlosti. Tyto základní reologické veličiny nejsou přímo měřitelné. K jejich nepřímému měření je třeba zajistit přesnou geometrii měřicího systému, která umožní zjistit potřebné veličiny smykové rychlosti a napětí výpočtem z měřitelných veličin jako síla, kroutící moment, výtoková rychlost,...atd. Pro kvalitativní stanovení tokových vlastností se hodí pouze systémy, které zaručují laminární tok kapaliny [10].

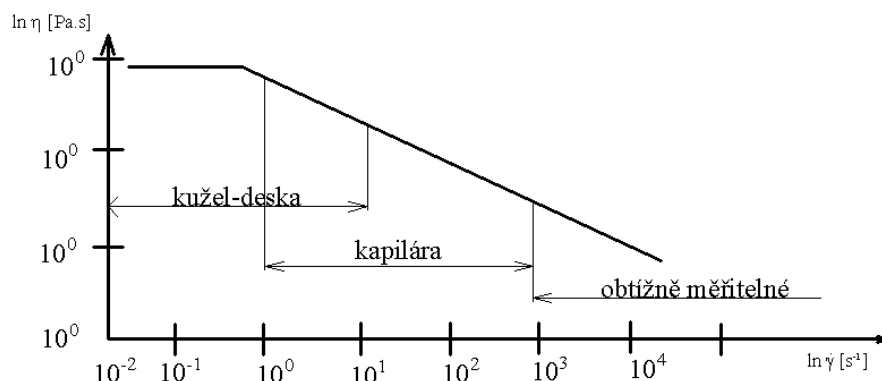
Nejčastěji používané přístroje pro absolutní stanovení viskozity nebo tokových křivek jsou založeny na těchto principech [10]:

- tok kapaliny ve štěrbině mezi rotujícími sousými válci
- tok kapaliny ve štěrbině mezi rotujícím kuželem a deskou
- tok kapaliny kapilárou
- volný pád kuličky kapalinou

Měřicí přístroje založené na jmenovaných principech umožňují stanovit smykové napětí i smykovou rychlost. Mimo tyto přístroje se v průmyslu zpracování a výroby polymerů používají různé měřicí zařízení pro stanovení konzistence i tokového chování, které sice nezaručují přesnou geometrii toku a laminární proudění, ale slouží jako zdroj informací o tokovém chování polymerních materiálů [10].

2.6.1 Oblast použití přístrojů

Při všech měřeních musí tavenina protékat kanálem definovaného geometrického tvaru. Měří se odpor proti tomuto tečení a tento odpor charakterizuje viskozitu. Pro měření viskozity se používají kapilární a rotační viskozimetry.[7]



Obr. 7 Oblast použití viskozimetrů [1]

2.6.2 Rotační viskozimetr válec – válec

Měřená kapalina vyplňuje štěrbinu mezi dvěma sousými válci, z nichž jeden se otáčí úhlovou rychlostí ω ustáleným rotačním pohybem. Na druhý válec se kapalinou přenáší krouticí moment M_t , indikovaný obvykle úhlem zkrutu φ torzního drátu nebo torzní pružiny o známé torzní tuhosti, na které je indikační válec zavěšen [10].

Měří se tedy úhlová rychlost otáčení ω jednoho válce a úhel zkrutu φ druhého válce unášeného kapalinou. V oblasti Hookovského chování torzní pružiny nebo drátu je krouticí moment M_t přímo úměrný úhlu zkrutu φ a lze jej snadno vypočítat při definovaném torzním průřezovém modulu torzního snímacího elementu W_t . Pokud jsou k dispozici tyto přímo měřitelné veličiny a je známa geometrii přístroje, může být vypočítána velikost smykového napětí τ a smykové rychlosti D [10].

- Síla působící na válec se rovná násobku smykového napětí a plochy válce [10]:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot \tau_r \quad (3)$$

$$M_t = F \cdot r \quad (4)$$

$$\tau_r = \frac{M_t}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h} \quad (5)$$

- Výpočet smykové rychlosti γ ve vzdálenosti od osy otáčení r vychází z obecného výrazu pro smykovou rychlost [10]:

$$D = \frac{dv_r}{dr} = \frac{r \cdot d\varpi_r}{dr} \quad (6)$$

- Pro newtonskou kapalinu jsou dosazeny výrazy (5) a (6) do Newtonova zákona a po úpravě:[7]

$$d\varpi_r = \frac{M_t}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot \eta} \cdot \frac{dr}{r^3} \quad (7)$$

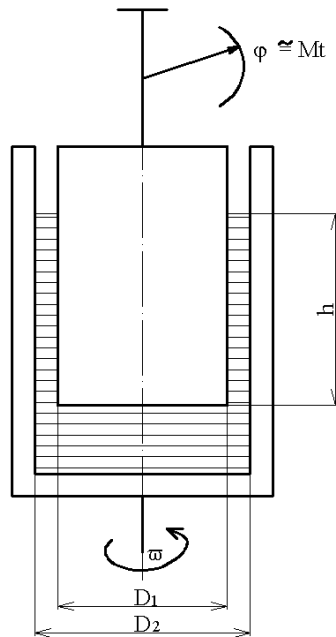
integrací rovnice (7) pro okrajové podmínky

$$r = R_1 \dots \dots \dots \omega = 0$$

$$r = R_2 \dots \dots \dots \omega = \omega$$

získáme vztah, který umožňuje výpočet viskozity z hodnot krouticího momentu a úhlové rychlosti [10]:

$$M_t = \eta \cdot \omega \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot R_1^2 \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \quad (8)$$



Obr. 8 Viskozimetr válec-válec [9]

2.6.3 Rotační viskozimetr kužel – deska

Kruhová deska se otáčí úhlovou rychlostí ω a unáší kapalinu, která vyplňuje prostor mezi kuželem o poloměru R a deskou. Pohyb desky se přenáší viskózní kapalinou a vyvolává krouticí moment M_t na kužel, který je zavěšen na torzním elementu, podobně jako snímací válec u viskozimetru válec – válec. Ze známého úhlu zkrutu φ kužele a známé torzní tuhosti drátu nebo pružiny může být snadno vypočítána hodnota krouticího momentu M_t . Úhel, který svírá kužel s deskou je označen ψ . Z těchto známých veličin může být opět vypočítána viskozita měřené kapaliny[10].

- je-li zvažován kroužek materiálu a poloměru $r \leq R$ a šířce dr , pak síla dF působící na tento elementární kroužek kapaliny je dána součinem smykového napětí τ a plochy kroužku. Síla dF vyvolá krouticí moment $dM_t = dF \cdot r$. pak platí [10]:

$$dF = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \tau_r \cdot dr = \frac{dM_t}{r} \quad (9)$$

integrací rovnice (9) pro okrajové podmínky

$$r = 0 \dots \dots \dots M_t = 0$$

$$r = R \dots \dots \dots M_t = M_t$$

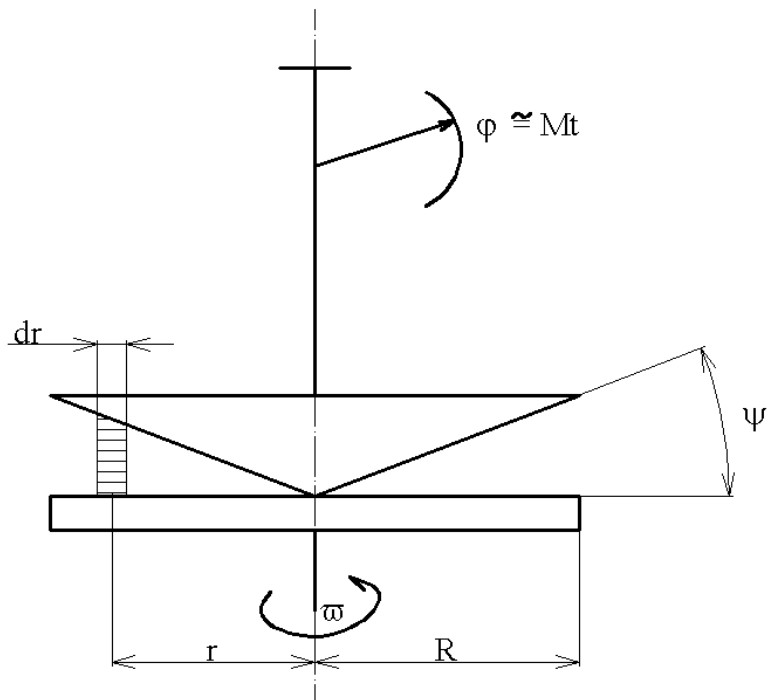
$$\tau_r = \frac{3 \cdot M_t}{2 \cdot \pi \cdot R^3} \quad (10)$$

- smyková deformace $d\gamma_r$ elementárního kroužku kapaliny o výšce y ve vzdálenosti r od osy rotace vyvolaná diferenciální úhlovou rotací $d\theta$ [10]:

$$d\gamma_r = \frac{r \cdot d\theta}{y} = \frac{r \cdot d\theta}{r \cdot \operatorname{tg} \psi} = \frac{r \cdot d\theta}{r \cdot \psi} = \frac{d\theta}{\psi} \quad (11)$$

- zdánlivá viskozita pro všechny typy kapalin je dána:

$$\eta_z = \frac{\tau_r}{D} \quad (12)$$



Obr. 9 Rotační viskozimetr kužel – deska [9]

Hlavní výhodou a důvodem obliby viskozimetru kužel – deska je nezávislost hodnot smykové rychlosti a napětí na vzdálenosti od osy otáčení. Pro malé úhly ψ je smyková rychlost a smykové napětí konstantní v celém objemu štěrbin. Úhel ψ bývá menší než 3° . Z tohoto důvodu je daný typ viskozimetru velmi výhodný pro měření tokových křivek neneutonských kapalin.[10]

2.6.4 Kapilární viskozimetr

Kapilární viskozimetr patří k nejrozšířenějším měřicím přístrojům. Měřicí princip spočívá v průtoku kapaliny působením hydrostatického tlaku vlastní tíhy nebo vnějšího tlaku kapilárou o poloměru R a délce L . Měřitelné veličiny při tomto postupu jsou [10]:

- průtoková rychlost Q
- tlakový spád v kapiláře, daný rozdílem tlaků na vtokové a výtokové straně kapiláry, vztahovaný na jednotkovou délku kapiláry

Vztah mezi smykovým napětím a tlakovým spádem v kapiláře vyplývá z rovnice rovnováhy sil, působící na válec kapaliny o délce L a poloměru r , na jehož čelní plochu působí tlakový rozdíl Δp . Při ustáleném laminárním toku viskózní síla F_V , která se snaží brzdit pohyb myšleného válce, bude stejná jako hnací síla F_p , plynoucí z rozdílu tlaků na protilehlých koncích válce. Proto platí [7]:

$$F_p = \Delta p \cdot \pi \cdot r^2 = \tau_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot L = F_V \quad (13)$$

a tedy

$$\tau_r = \frac{\Delta p \cdot r}{2 \cdot L} \quad (14)$$

Podle rovnice (14) je smykové napětí v kapiláře lineární funkcí vzdálenosti od osy bez ohledu na charakter kapaliny. Smykové napětí dosahuje své maximální hodnoty na stěnách kapiláry. [10]

Smyková deformace ve vzdálenosti r od osy kapiláry pro diferenciální posunutí dx ve směru toku se rovná: [10]

$$\gamma_r = -\frac{dx}{dr} \quad (15)$$

Smyková rychlost pak přechází na výraz pro gradient postupné rychlosti, neboť postupná rychlost toku $v_f = (dx/dt)_r$: [10]

$$D_r = \frac{d\gamma_r}{dt} = -\frac{d^2x}{dt dr} = -\left(\frac{dv}{dr}\right)_r \quad (16)$$

Dosažením obecné rovnice toku pro daný typ kapaliny $D = f(\tau)$ do rovnice (14) za použití rovnice (16) a integrací v mezích $v = 0$ při $r = R$ a $v = v_f$ pro $r = r$ vznikne vztah charakterizující distribuci postupné rychlosti toku v kapiláře [10]:

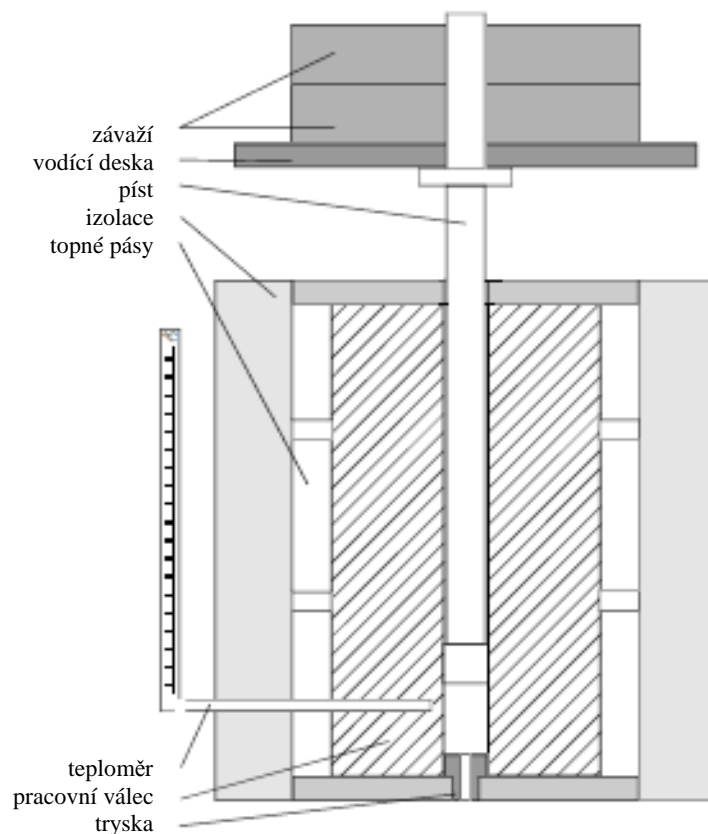
$$-\left(\frac{dv}{dr}\right)_r = \frac{\Delta p \cdot r}{2 \cdot \eta \cdot L} \quad (17)$$

Smykové napětí i smyková rychlost jsou při toku kapilárou závislé na vzdálenosti místa toku od osy kapiláry r . Toková křivka může být však konstruována pouze z hodnot τ a D ze stejného místa kapiláry.[10]

Běžně se měří a srovnávají hodnoty τ a D na stěně kapiláry, tedy ve vzdálenosti od osy $r = R$. Tyto hodnoty se označují indexem w , jako τ_w a D_w . Platí:[10]

$$\tau_w = \frac{\Delta p \cdot R}{2 \cdot L} \quad (18)$$

$$D_w = \frac{\Delta p \cdot R}{2 \cdot \eta \cdot L} \quad (19)$$



Obr. 10 Kapilární viskozimetr

2.7 Index toku taveniny

Zpracovatelské technologie plastů jsou založeny na tváření polymeru při teplotách dostatečně nad T_g , tedy ve stavu taveniny.[10]

Index toku taveniny (MFI) udává množství taveniny v gramech (MFR) nebo cm^3 (MVR), které proteče tryskou definovaných rozměrů vytlačovacího plastometru za 10 minut, při předepsaných podmínkách zkoušky (teplotě, zatížení).

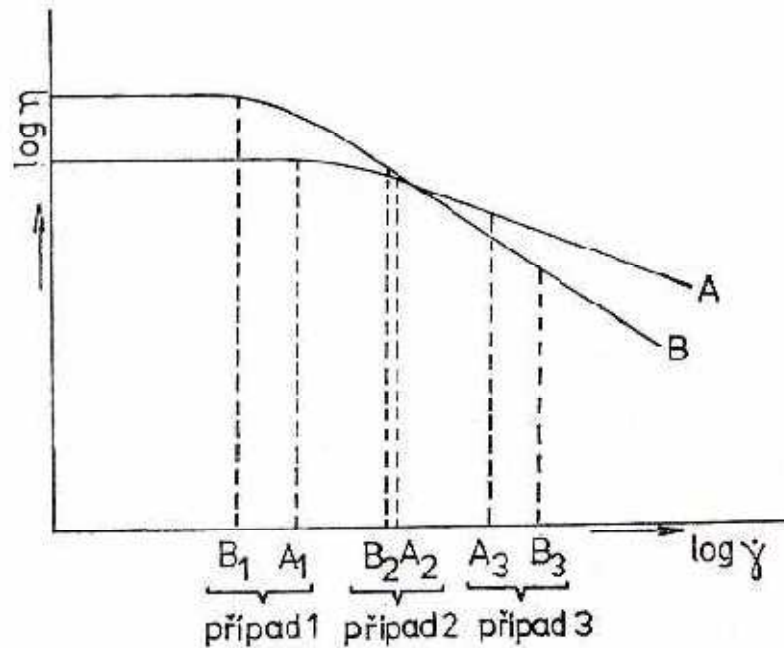
- MFR ($\text{g}/10\text{min}$) hmotnostní index toku taveniny (melt mass-flow rate)
- MVR ($\text{cm}^3/10\text{min}$) objemový index toku taveniny (melt volume-flow rate)

Jedná se o technologickou zkoušku vhodnou k posuzování použití daného materiálu k výrobě dílce daného konstrukčního řešení. MFR a MVR závisí na smykové rychlosti. Smykové rychlosti jsou při této zkoušce mnohem nižší než při běžných výrobních podmínkách. Hodnoty získané touto metodou pro různé termoplasty ne vždy korespondují s chováním těchto materiálů během jejich skutečného používání. [11]

Index toku taveniny je obecně vhodný pro:

- hodnocení stejnoměrné kvality materiálu
- porovnání plněných a neplněných materiálů
- hodnocení kvality výrobního procesu [1]

Je třeba poznamenat, že takto stanovená hodnota představuje vlastně jen jeden bod na tokové křivce. Charakterizuje tedy jen měřený materiál pro dané poměry. Změněné poměry se mohou u materiálů se stejným indexem toku taveniny projevit různě, neboť tímtož bodem může procházet více tokových křivek. Na Obr. 11 lze vidět 2 materiály (A, B) se stejným indexem toku taveniny, ale různými tokovými křivkami. [7,12]



Obr. 11 Porovnání tokových křivek pro dva materiály se stejným ITT [7]

případ 1 – zatížení, při němž materiál A teče lépe než B

případ 2 – zatížení, při němž tečou oba materiály stejně

případ 3 – zatížení, při němž materiál B teče lépe než A

2.8 Spirálová zkouška zabíhavosti polymeru

Roztavený polymer je na vstřikovacím stroji vstřikován při definovaných technologických podmínkách do formy, jejíž dutina má tvar ploché Archimédovy spirály (Obr. 12) teoreticky nekonečné délky.



Obr. 12 Archimédova spirála

Při hodnocení zatékavosti polymerů se volí takové podmínky, aby se dutina nezaplnila v celé délce. Měřítkem zatékavosti je délka spirály. Tato ryze technologická zkouška umožňuje hodnotit tokové chování tavenin polymeru za podmínek, které jsou prakticky shodné s podmínkami při vlastním zpracování. Dává také možnost prověřit vliv měnících se technologických parametrů, popř. aditivních prvků na změnu zatékavosti zkoumaného polymeru, nebo také vliv druhu vkládané textilie (hybridní technologie vstřikování) na zatékavost polymeru. [1]

3 ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM

Nejběžnější výrobní metodou je třískové obrábění, kterého lze použít pro výrobu 80% forem. Způsob obrábění se volí podle tvaru a rozměru obráběných ploch, podle předepsané přesnosti a drsnosti, podle obrobitelnosti materiálu a sériovosti výroby. [13]

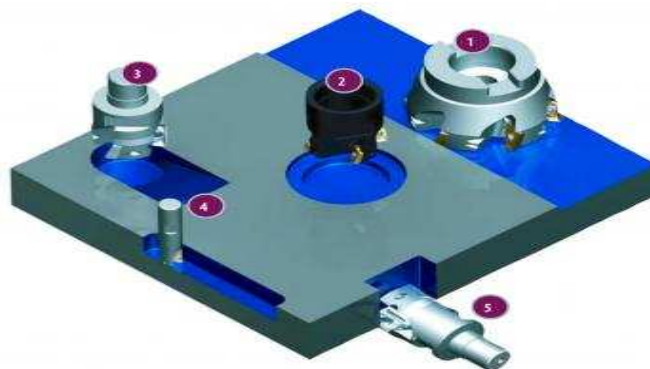
3.1 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceré CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky.[14]

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozliší frézování válcové (frézování obvodem) a frézování čelní (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé způsoby, jako frézování okružní a planetové. [14]

Podle nástrojového materiálu břitů se rozliší frézy z rychlořezné oceli a slinutých karbidů. Stále častěji se užívá u fréz řezné keramiky, kubického nitridu bóru a diamantu. Frézy z rychlořezné oceli se zhotovují z kovaného nebo válcovaného materiálu, nebo se lijí metodou vytavitelného modelu. Nejčastěji se používá ocel 19 802, 19824, 19 830, 19 856. Na lité frézy se používá ocel 19 824.[14]

Rychlořeznými frézami se dosahuje běžné drsnosti $R_a = 6,3$ až $12 \mu\text{m}$, při malé hloubce řezu a malém posuvu jsou nejmenší drsnosti $R_a = 1,6$ až $3,2 \mu\text{m}$. Obrábí-li se však frézami se slinutým karbidem, mají frézované povrchy nejčastěji drsnost $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$. Jakostním frézováním jednonožovou frézovací hlavou lze pak dosáhnout povrchu s drsností $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$, ve speciálních případech i drsnosti menší než $0,8 \mu\text{m}$. [15]



Obr. 13 Druhy frézování [17]

1 – čelní frézování; 2 – cirkulární zapichování; 3 – šikmé zapichování;

4 – obvodové frézování; 5 – frézování drážek

3.2 Abrazivní metody obrábění

Abrazivní metody obrábění jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu a představují nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí, u kterých jsou požadovány vysoké parametry přesnosti obroběných ploch.[14]

K uvedeným metodám patří zejména broušení, honování, lapování a superfinišování.[14]

Tab. 1 Dosahované parametry přesnosti obroběných ploch pro abrazivní metody obrábění [14]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů		Drsnost plochy	
		IT		Ra [μm]	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační plochy	Broušení				
	hrubování	10	9 až 11	1,6	0,8 až 3,2
	dokončování	5	5 až 6	0,4	0,2 až 0,6
	jemné	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4
	Lapování				
	normální	4	3 až 4	0,1	0,05 až 0,2
	jemné	2	1 až 2	0,05	0,012 až 0,05
	Superfinišování				
dokončovací	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4	
jemné	3	2 až 4	0,1	0,025 až 0,1	
Vnitřní rotační plochy	Vnitřní broušení				
	hrubování	9	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
	Honování				

	hrubování	7	6 až 8	0,4	0,2 až 0,8
	dokončování	6	5 až 7	0,2	0,1 až 0,2
	jemné	4	3 až 5	0,1	0,05 až 0,1
	Lapování				
	dokončování	4	3 až 5	0,2	0,01 až 0,4
Rovinné plochy	jemné	3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05
	Broušení				
	hrubování	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
	Lapování				
	dokončování	4	3 až 5	0,2	0,1 až 0,4
	jemné	3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05

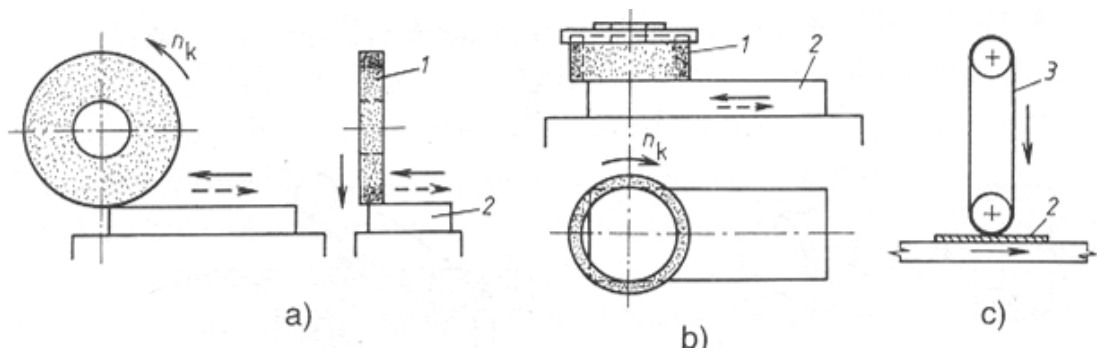
3.2.1 Broušení

Broušení se používá zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů a tvarů a jakost povrchu. Dále se broušení uplatňuje při obrábění materiálů, které není možné jinými obráběcími metodami obrobit, nebo je brousící metoda hospodárnější než jiné. S rozvojem výkonných brousících nástrojů a nástrojů se význam broušení rozšiřuje z původní oblasti dokončovacích operací také na produkční obrábění.[14]

Od jiných způsobů obrábění se práce brousícího kotouče liší schopností tzv. samoostření. Tato vlastnost brousícího kotouče souvisí s poměrně málo pevným zakotvením brousícího zrna ve vazbě kotouče. V důsledku zvýšení řezných sil na otupených zrnech se tato vylomí a jejich funkci přebírají zrna neotupená.[14]

Brousící proces se uskutečňuje při vysokých řezných rychlostech 30 - 100 m.s⁻¹ a při malých průřezech třísky 10⁻³ - 10⁻⁵ mm². [14]

Rovinné broušení:



Obr. 14 Rovinné broušení [14]

a) obvodem kotouče; b) čelem kotouče; c) brousícím pásem

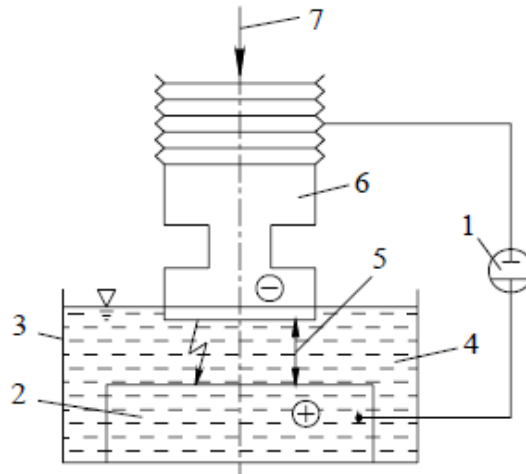
3.2.2 Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které se jakost obrobených povrchů zvyšuje řezným účinkem jemného brusiva. Honováním se dokončují hydraulické, pneumatické a brzdové válce, bubny, pouzdra, ložiska vřeten apod. Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další materiály.[14]

3.3 Elektroerozivní obrábění

Je to elektrotepelný proces, u kterého se dosahuje úběr materiálu elektrickými výboji mezi katodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a anodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) ponořený do tekutého dielektrika, což je většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem. Základem úběru je elektroeroze. Vlivem vysoké koncentrace energie $10^5 - 10^7 \text{ W}\cdot\text{mm}^{-2}$ materiál taje a odpařuje se.

Lze opracovávat pouze elektricky vodivé materiály.



Obr. 15 Princip elektroerozivního obrábění [14]

1 – generátor; 2 – obrobek; 3 – pracovní vana; 4 – pracovní kapalina;

5 – pracovní mezera; 6 – nástrojová elektroda; 7 – posuv nástrojové elektrody

Oddělení materiálu probíhá tak, že stejnosměrný proud je dodáván do pracovního okruhu v pulzech, které mají čtvercový průběh. Přitom každý pulz vytváří jiskru. Narušení materiálu nastává v místech vzniku výboje mezi obrobkem a elektrodou. Když je elektroda vzdálena od obrobku, má napětí obvykle hodnotu 100 V. Když se elektroda přiblíží k obrobku, nastane ionizace oddělující kapaliny. Když nastane výboj, napětí klesne na nižší hodnotu. To se stane při vzdálenosti elektrod 0,01 - 0,4 mm.[14]

Podle druhu použité elektroeroze se v praxi uplatňují způsoby:

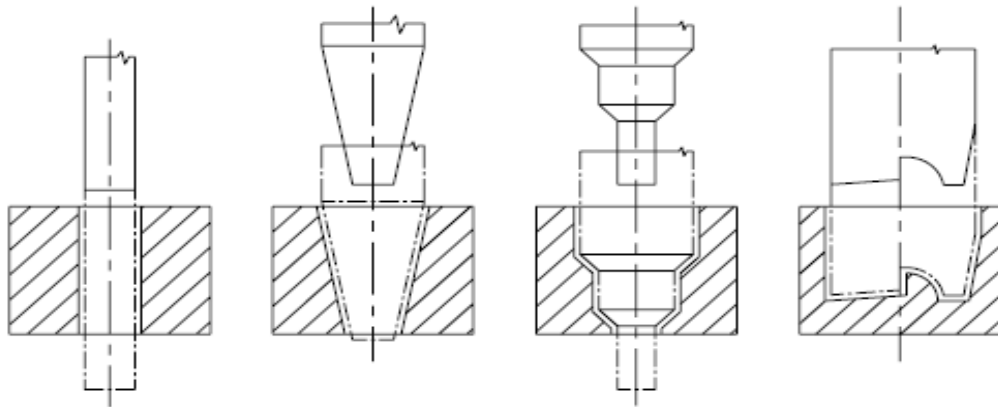
- elektrojiskrový – využívající erozivních účinků elektrické jiskry v dielektriku bez dotyku elektrod,
- elektrokontaktní – s tepelnými účinky elektrických oblouků a s využitím mechanických účinků tření,
- anodomechanické – s použitím účinků elektrochemických a současně s využíváním tepelných účinků elektrického proudu. Odebírání materiálu se děje erozí, chemický účinek je pouze ve vytváření nevodivé pasivační vrstvy.[16]

3.3.1 Elektrojiskrové obrábění

Elektrojiskrové obrábění je založeno na plynulém oddělování miniaturních třísek v důsledku vzniku elektrické jiskry, která nataví případně vypaří třísku, která se dále dopravuje (případně ochlazuje) dielektrikem. Postupné odebírání materiálu (třísky) se

vymezuje pomalým přímočarým posuvem elektrody (nástroje) do obráběné plochy. Tato technologie umožňuje vyrábět:[16]

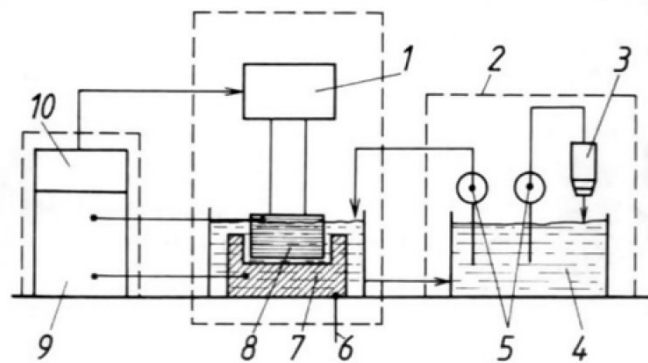
- průchozí díry (trysky, zvlákňovací hubice, střížnice, úzké štěrby),
- varové otvory,
- dutiny (kovací zápustky, formy, razidla apod.),
- řezat a vyřezávat tvary.



Obr. 16 Příklady výrobků vyráběných elektrojiskrovou metodou [16]

Elektrojiskrové obrábění vnitřních ploch se provádí standardním postupem tak, že tvar nástrojové elektrody je negativním tvarem obráběné plochy. Výrazné zlepšení možností elektrojiskrového obrábění bylo dosaženo zavedením tzv. vychylovačů elektrod, které umožní vychylování elektrod do všech směrů. Toto přídatné zařízení umožňuje zhotovení složitějších tvarů pomocí jednoduchých elektrod, snižuje spotřebu elektrod korekcí jejich úbytku.[14]

Materiál nástrojové elektrody musí být elektricky a tepelně dobře vodivý. Typické materiály elektrody jsou měď, wolfram, grafit. Elektrody se vyrábějí třískovým způsobem, kování, lisování apod. Elektrody se v průběhu pracovního provozu opotřebovávají, proto se musí obnovovat anebo se používají vždy nové. [13]



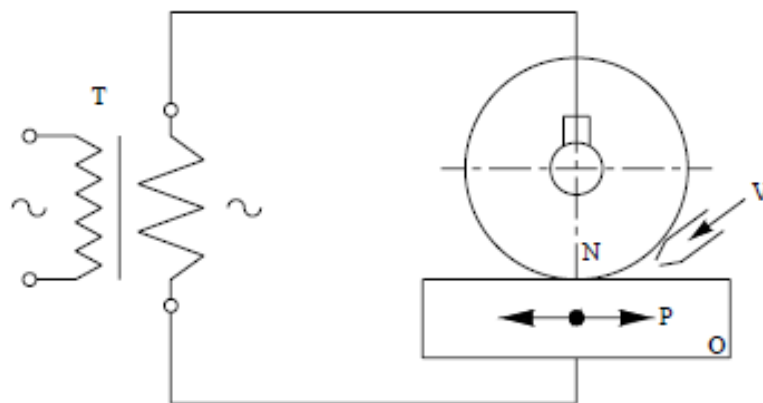
Obr. 17 Hloubení dutin forem

1 – pracovní hlava; 2 – filtrační zařízení; 3 – filtr; 4 – dielektrikum; 5 – čerpadlo; 6 – pracovní stůl; 7 – obrobek; 8 – nástrojová elektroda; 9 – generátor; 10 – CNC řídicí systém

3.3.2 Elektrokotaktní obrábění

Hlavním znakem této elektroerozivní metody obrábění je, že mezi elektrodou a obrobkem dochází při obrábění ke kontaktu. Tento kontakt může být nepřetržitý (elektrofrikční pily, elektrofrikční soustruhy) nebo intervalový, sloužící pouze k vytvoření obloukového výboje. Bez dotyku elektrody (nástroje) a obrobku se proces elektrokotaktního obrábění neuskuteční. [16]

Použití elektrokotaktní metody obrábění je nejvýhodnější použít pro hrubovací práce a řezání těžko obrobitelných materiálů. [16]



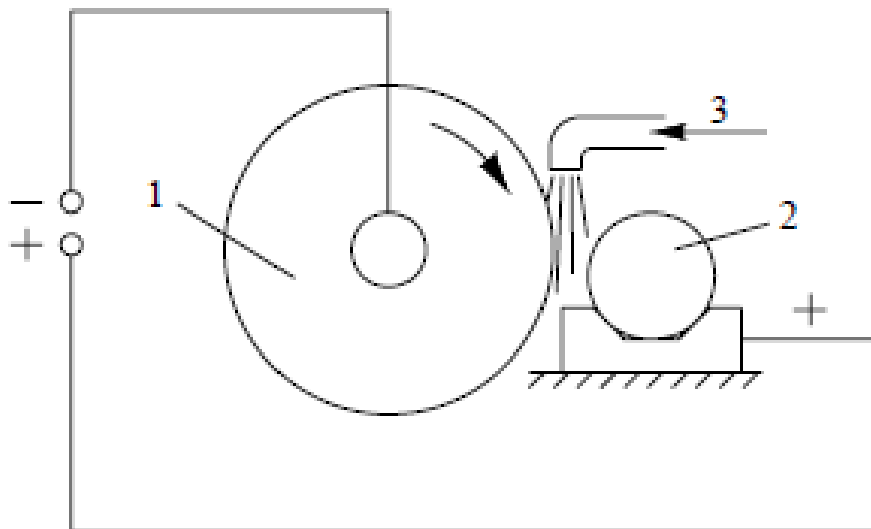
Obr. 18 Princip zařízení pro elektrokotaktní obrábění [16]

T – transformátor; N – nástroj; O – obrobek; V – přívod stlačeného vzduchu nebo vody pro hlazení; P – posuv obrobku

3.3.3 Anodomechanické obrábění

Z hlediska odebrání materiálu je anodomechanické obrábění na rozhraní elektroerozivního a elektrochemického obrábění. Zařazení do té které skupiny závisí zejména na energetických parametrech. Při použití vyšších napětí a větších proudových hodnot dochází k úběru materiálu elektrotermickým účinkem (elektroerozivní metoda), při použití nižších hodnot dochází k úběru elektrochemickým účinkem (elektrochemická metoda). [14]

Proces probíhá při vysokých teplotách, přičemž roztavený kov je z místa obrábění odstraňován otáčejícím se nástrojem. Pracovní prostor je zaplaven kapalinou, která plní funkci izolátoru s chladícím účinkem. Výboj nastává v místě, kde nástroj svým otáčivým pohybem naruší izolační vrstvu (Obr. 19).[14]



Obr. 19 Principiální schéma anodomechanického obrábění [14]

1 – nástroj; 2 – obrobek; 3 – přívod pracovní kapaliny

4 KVALITA OBROBENÉHO POVRCHU

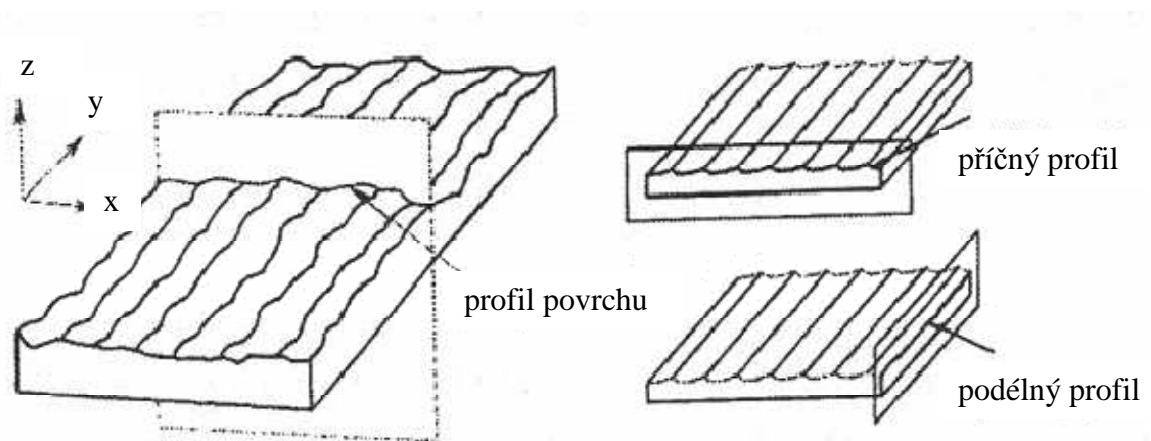
Pod pojmem kvalita povrchu při obrábění se rozumí:

- drsnost povrchu
- fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchové vrstvy (např. tvrdost, zpevnění)
- fyzikálně-chemický stav povrchu

Stav povrchu je závislý na procesu obrábění, na použitém nástroji a stupni opotřebení břitu a také na statické a dynamické tuhosti celého systému, to znamená stroje, obrobku, nástroje a upínání. [19]

Nerovnosti na povrchu technických ploch jsou prostorově uspořádány a vytvářejí trojrozměrný útvar. Protože trojrozměrné hodnocení nerovnosti je obtížné, byla vyvinuta a je všeobecně aplikována metoda hodnocení nerovností povrchu profilu zobrazeného v rovině řezu, obvykle vedeného kolmo k hodnocenému povrchu.

Z profilu povrchu se pomocí přístrojů odvodí profil drsnosti (R-profil), profil vlnitosti (W-profil) a profil základního profilu (P-profil). Profil drsnosti je pak základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti povrchu (složka s nejmenší roztečí nerovností), tzv. R – parametrů. [20, 21]



Obr. 20 Příčný a podélný profil povrchu

4.1 Drsnost povrchu

Drsností povrchu nazýváme souhrn jemných nerovností (výstupků a prohlubní), které vznikají při každém zpracovávání materiálu. Na obrobeném povrchu to jsou nejčastěji poměrně pravidelně a směrově uspořádané stopy (rýhy) zanechávané řezným nástrojem. U některých způsobů obrábění, např. soustružení, frézování, hoblování není

drsnost povrchu stejná ve všech směrech. Proto rozlišujeme drsnost příčnou, tj. drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb a drsnost podélnou, tj. drsnost ve směru řezného pohybu. [22]

Pro účely měření a vyhodnocování struktury povrchu byla zvolena profilová metoda hodnocení, kdy profil povrchu vzniká jako průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinnou vedenou kolmo k tomuto povrchu. Profil povrchu je základním zdrojem informací pro posuzování struktury povrchu. [20]

4.1.1 Měření drsnosti povrchu

K měření drsnosti povrchu jsou používány optické a mechanické přístroje, které reprodukuje mikogeometrické nerovnosti povrchu zvětšeným obrazem křivky profilu. Novější profilometry udávají většinou přímo i číselné hodnoty určitých veličin, které jsou stanoveny normami jako ukazatele průměrné drsnosti. [16]

Stupeň drsnosti plochy se určuje buď porovnáním, nebo změřením profilu, který vznikne vhodně vedeným rovinným řezem přístroji založenými na optických nebo elektrických principech. Při určování stupně drsnosti porovnáváním, srovnává se obrobená plocha s plochou, jejíž stupeň drsnosti je znám nebo se speciálními vzorky uspořádanými do vzorkovnice. Porovnává se buď přímo okem a hmatem nebo se použije mikroskopu. Optimální výsledky dává hodnocení nehtem.[22]

- Kvalitativní metody

Při kvalitativním posuzování se drsnost povrchu určuje porovnáním kontrolovaného povrchu se vzorovými plochami (Obr. 21) zrakem a hmatem, popřípadě lupami nebo komparačními mikroskopy. Spolehlivost posuzování podle vzorových ploch je omezena rozlišovací schopností lidských smyslů, popřípadě fyzikálními vlastnostmi pomůcek (mikroskopů).[7]



Obr. 21 Vzorkovnice drsnosti povrchu

- Kvantitativní metody

Při nepřímém kvantitativním měření se porovnává kontrolovaná plocha se vzorovou plochou komparačními přístroji, které jsou založeny na různých fyzikálních principech. Patří sem mechanické, pneumatické, elektrické a fotoelektrické komparátory. [7]

4.1.2 Povrch forem

U vyráběných dílů forem je dána přesnost a jakost povrchu výrobním výkresem a technologickým postupem. Jednotlivé výrobní způsoby umožňují dosáhnout jen určitých hodnot drsnosti povrchu (vyjádřených v R_a , Tab. 2). Při znalosti hodnot požadovaných výkresem a dosažitelných výrobním způsobem, je pak už snadné stanovit výrobní technologie i s příslušným výrobním zařízením. Mezi drsností opracování a přesností je vzájemná vazba, jak ukazuje tab. 3.[23]

Tab. 2 Drsnost povrchu – Informativní přehled hodnot drsnosti povrchu [23]

Způsob výroby		Dosažitelná drsnost R_a [μm]
Frézování		1,6 až 12,5
Vrtání		1,6 až 12,5
Vystružování		0,8 až 3,2
Zahlubování		0,8 až 6,3
Vyvrtávání		0,4 až 6,3
Broušení	čelní	0,4 až 3,2

	obvodové	0,1 až 3,2
Elektrojiskrové obrábění		1,6 až 3,2
Honování		0,1 až 0,8
Lapování		0,05 až 0,4
Superfinišování		0,05 až 0,2

Tab. 3 Optimální drsnost povrchu pro různé stupně přesnosti obrábění

Způsob obrábění		Stupeň přesnosti IT								
		4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frézování	čelní a válcovou frézou							3,2	3,2	6,3-12,5
	drážek						3,2	6,3	6,3-12,5	
Vrtání v přípravku									12,5	12,5
Vystružování					0,8	0,8	1,6		3,2	
Vyvrtávání					1,6	1,6	3,2			
Broušení	na plocho obvod			0,4	0,4	0,4-0,8				
	na plocho čelní				0,4	0,4	0,4-0,8			
Honování			0,1							
Lapování		0,05	0,1							

5 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby plastových dílů. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. V průběhu vstřikování je roztavený plast ve vstřikovacím stroji dopravován do dutiny formy a tam ochlazen ve tvaru vyráběné součásti. [4]

Vstřikování je diskontinuální (cyklická) technologie, která se používá především pro výrobu výrobků velmi přesných a složitých tvarů. Výrobky vznikající touto metodou jsou nazývány výstřiky. Technologie vstřikování plastů je velmi složitý tepelně-mechanický proces tváření, na kterém se podílí:

- původní (výchozí) materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást
- výrobní cyklus se vstřikovacím strojem a ostatním zařízením, umožňujícím přípravu taveniny a její dopravu do formy za daných podmínek
- forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny

Veškeré tyto faktory ovlivňují užité vlastnosti a kvalitu výstřiku. Samotná výroba vstřikováním probíhá nadávkováním a plastikací polymeru ve vstřikovacím stroji, jeho dopravu za teploty a tlaku do dutiny formy. Po ochlazení se již vyjme z formy hotový výrobek. Vstřikování má několik dalších výhod. Například pečlivé navržení formy může eliminovat další opracování. Vtokové zbytky lze v případě termoplastů rozebrat a znovu zpracovat, čímž se ztráty polymerů zmenšují na minimum. Vstřikovací cyklus je relativně rychlý a lze jej dalekosáhle automatizovat. [4]

Vstřikováním lze zpracovat jak termoplasty, tak i reaktoplasty a kaučukové směsi. Zatím co v prvním případě je interval pro tváření teoreticky neomezený, v dalších dvou případech je tento interval omezen v důsledku probíhajícího síťování. Čím je teplota tváření vyšší, tím je tvářecí interval kratší. [9]

Hlavní rozdíl mezi vstřikováním termoplastů a reaktoplastů je v teplotě. U termoplastů dochází po vstříknutí k chlazení výstřiku ve formě na vyhazovací teplotu. Na druhou stranu u reaktoplastů po vstříknutí dochází k ohřevu formy, aby bylo dosaženo zesíťování polymeru.

5.1 Vstřikovací cyklus

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. [24]



Obr. 22 Vstřikovací cyklus termoplastů

5.1.1 Plastikace

Účelem plastikace je roztavit granulovaný (případně práškový) materiál, homogenizovat ho a připravit pro vstříknutí do formy. Plastikace se provádí v tavicí komoře stroje, v němž je otočně a posuvně uložen plastikační šnek. Prívod tepla k roztavení granulátu se děje asi z jedné třetiny elektrickým topením tavicí komory a asi ze dvou třetin třením hmoty při hnětení šnekem. [26]

Při plastikaci se šnek otáčí a současně posouvá vzad, granulát padající z násypky mezi závity šneku se přitom dopravuje směrem k trysce, taví se, hněte, mísí, homogenizuje, komprimuje a shromažďuje se v prostoru před čelem šneku uvnitř komory. [26]

5.1.2 Vstříknutí taveniny

Účelem této části vstříkovací fáze je dokonale naplnit tvarovou dutinu formy taveninou pod tlakem 50 až 200 MPa, podle viskozity taveniny, členitosti a tloušťky stěn výstříku. Při vstříkování se šnek neotáčí, ale posune se hydraulicky vpřed a jako píst vytlačí taveninu z válce skrz trysku do formy. [26]

Jakmile je forma naplněna, nastává stlačování taveniny. Tlak ve formě i v hydraulickém obvodu prudce stoupne a vstříkovací rychlost náhle poklesne. V tom okamžiku tlak dosahuje maximální hodnoty, vzniká tlaková špička, která převyšuje nastavenou hodnotu tlaku. Jestliže má stroj nedostatečnou uzavírací sílu nebo je malá tuhost formy, může dojít k nepatrnému otevření či prohnutí, tzv. dýchnutí formy. To se projeví v kolísání hmotnosti výstříku, popř. vznikem otřepu. [7]

Při zaplňování dutiny formy nedochází ke skluzu taveniny po stěně, ale dochází k valení taveniny. Tento laminární tok je také označován jako fontánový tok (Obr. 5). [1]

5.1.3 Dotlak

Účelem dotlaku je po ukončení vstříku dotlačovat další taveninu do formy a nahrazovat tak úbytek objemu způsobený smršťováním materiálu během chladnutí, aby ve výstříku nevznikaly staženiny nebo povrchové propadliny. Dotlak má trvat tak dlouho, dokud neztuhne ústí vtoku, jímž se dotlačuje tavenina do formy. Dotlak má velký vliv na strukturu výrobku a časově se překrývá s fází chladnutí výstříku ve formě. [26]

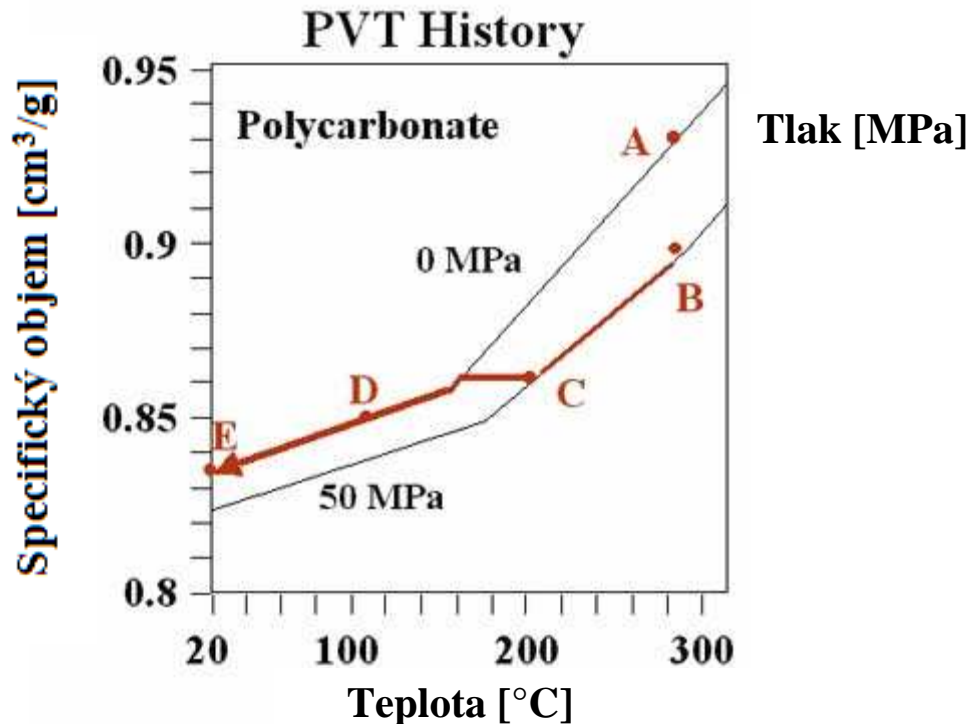
5.1.4 Ochlazování výstříku ve formě

Chlazení výstříku ve formě je složitý proces. Probíhá již během vstříkování, ale zejména souběžně s dotlačováním. Je ovlivněno především tvarem výstříku a tloušťkou stěn, teplotou taveniny, vstříkovací rychlostí, průběhem dotlaku, teplotou formy a konstrukcí chlazení formy. Doba chlazení výstříku určuje v podstatě délku vstříkovacího cyklu, a tím i hospodárnost zpracování. [19]

5.1.5 Průběh vstříkování v PVT diagramu

Diagram p-v-T (tlak - měrný objem - teplota) ukazuje vzájemnou závislost tří hlavních stavových veličin u daného typu polymeru (Obr. 24). Tento diagram se u nejpokročilejších moderních strojů používá k řízení vstříkovacího procesu. Pro vysvětlení

průběhu procesu vstřikování v diagramu p-v-T a z toho plynoucích závěrů pro vlastnosti výstřiků je používán diagram polystyrenu jako běžného amorfního termoplastu. Diagramy semikrystalických termoplastů jsou složitější. Pro jednoduchost se uvažuje rovnovážný diagram, tak jak odpovídá pomalému ochlazení. Při rychlém ochlazení, jaké se vyskytuje při vstřikování termoplastů, jsou křivky diagramu poněkud posunuty. Posunutí je závislé na rychlosti ochlazení. [26]



Obr. 23 Diagram p-v-T pro plnění formy [27]

A-B – objemové plnění; B-C – komprese (dotlak);

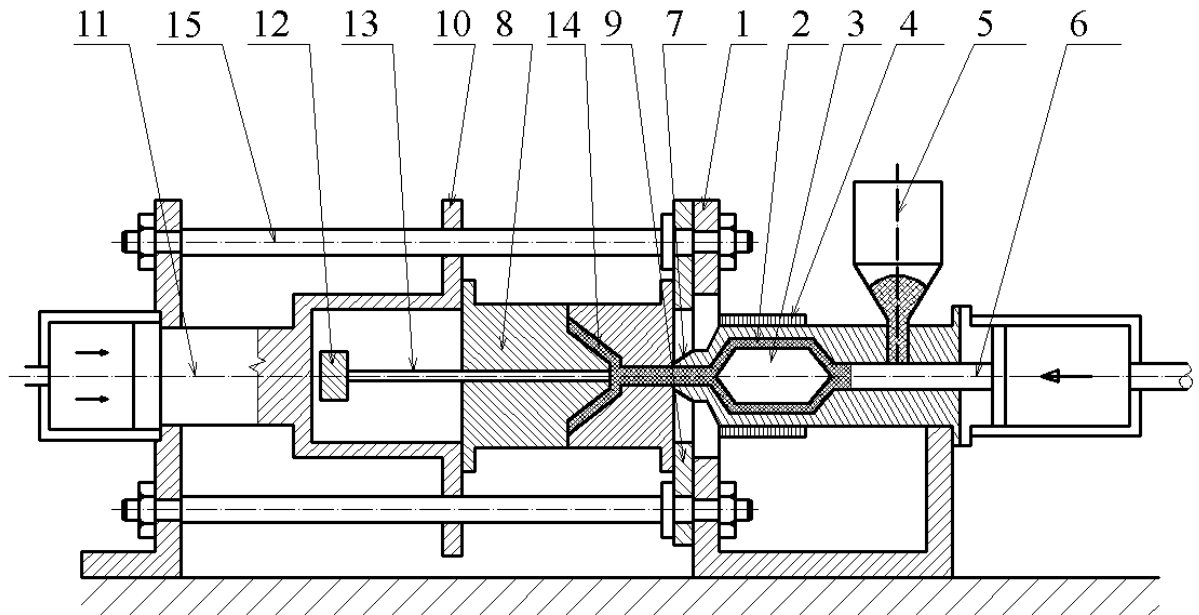
C-D – chlazení; D-E – vyhození a chlazení mimo formu

5.1.6 Vliv technologických podmínek na vlastnosti výstřiku

Vlastnosti výstřiku (smrštění, orientace, rozměrová přesnost, kroucení, mechanické vlastnosti apod.) výrazně závisejí na podmínkách vstřikovacího procesu. Jde o složitý komplex jednotlivých zpracovatelských parametrů, který je dnes intenzivně studován. Podrobná znalost těchto vztahů je nutná především u krystalických polymerů (polyamidů, polyformaldehydů, polybutylentereftalátů atd.), které jsou používány pro přípravu technických výstřiků s velkými požadavky na výrobní tolerance. [27]

5.2 Vstřikovací stroj

Na vstřikovacích strojích se dají zpracovávat plasty i kaučukové směsi. Na vstřikovacích strojích lze vyrábět i výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikované výrobky nacházejí využití v domácnostech, ve spotřebním průmyslu, strojírenském, automobilovém průmyslu, elektrotechnice a elektronice i optice. [28]



Obr. 24 Vstřikovací stroj [28]

1- rám stroje; 2 – tavící komora; 3 – torpédo; 4 – topení; 5 – násypka; 6 – vstřikovací píst;
7 – vstřikovací tryska; 8 – vstřikovací forma; 9 – upínací desky; 10 – vedení;
11 – hydraulický píst; 12 – doraz vyhazovače; 13 – vyhazovač; 14 – výstřik; 15 – nosný sloup

Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [24]

Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje. [4]

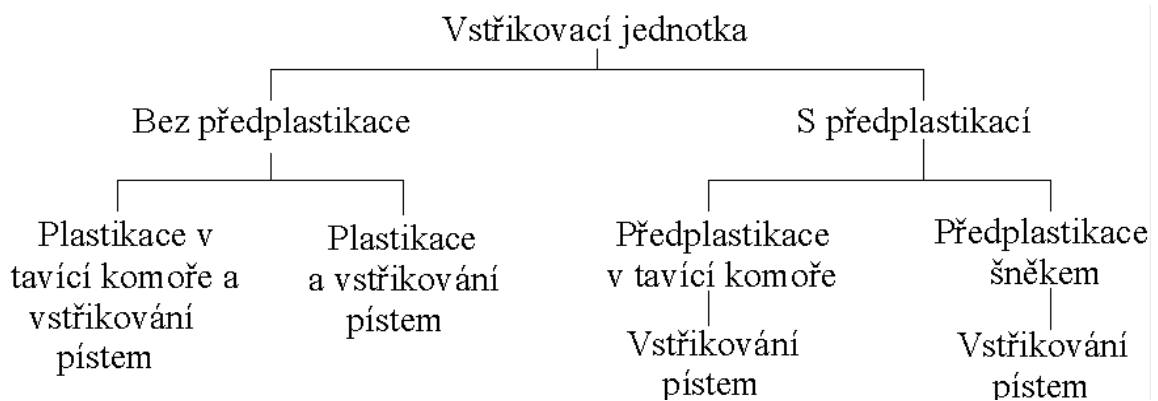
5.2.1 Vstřikovací jednotka

Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovacím množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejšími cykly výroby. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80 %. [4]

Vstřikovací jednotka pracuje tak, že do tavného válce je dopravován zpracováváný plast z násypky pohybem šneku. Plast je posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Současně ho odtlačuje do zadní polohy. [4]

Topení tavné komory je nejčastěji rozděleno do tří pásem (vstupní, střední a pásmo u trysky). Tryska má zvláštní samostatné topení. Část tepelné energie vznikne disipací v materiálu. [4]

Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. Kulové zakončení trysky zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Jejich souosost, menší průměr otvoru a menší poloměr trysky než je u sedla vtokové vložky jsou podmínkou správné funkce. [4]



Obr. 25 Rozdělení vstřikovacích jednotek podle způsobu plastikace [29]

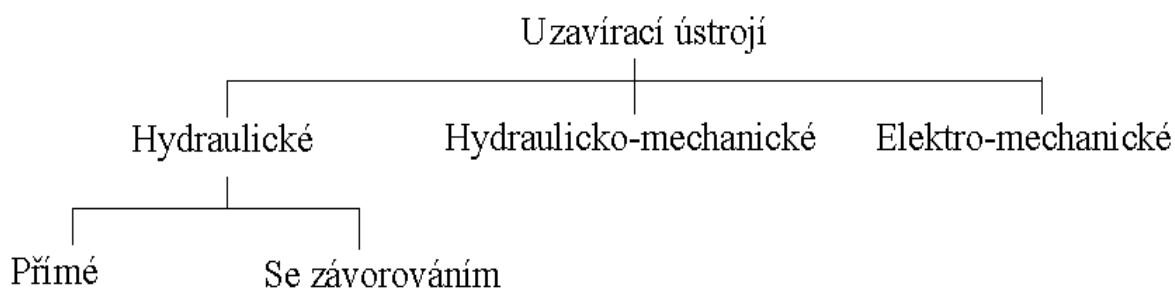
5.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá formu, zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Potřebná uzavírací síla je přímo závislá na průmětu plochy výstřiku

do dělicí roviny a na velikosti vstřikovacího tlaku. Na těsnost formy má současně vliv tuhost uzavíracího ústrojí. [4]

Hlavní části uzavírací jednotky:

- upínací deska pevná,
- upínací deska posuvná,
- vodící sloupy,
- uzavírací ústrojí. [5]



Obr. 26 Rozdělení uzavíracích ústrojí [29]

5.2.3 Ovládání a regulace vstřikovacího stroje

Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiků. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. [4]

Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). Alternativní volba a úprava programu se pak může snadno uskutečnit za pomoci barevné obrazovky. Na přesnosti a jakosti výstřiků má řízení stroje rozhodující vliv. Tím, že určuje a dodržuje přesnost:

- tavení výše i doby vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry určují především přesnost a toleranci výstřiků,
- nastavením doby a výšky teploty taveniny, její homogenizací jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti výstřiků.

Vedle stroje a plastu ovlivňuje tyto hodnoty i forma, její teplota a doba chlazení. [4]

Nejnovější koncepce vstřikovacích strojů se v současnosti neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo obvyklé textové formy nastavování technologických parametrů se využívá nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Pracovní cyklus sestavený do potřebných programových sekvencí je pak snadno kontrolovatelný a případně upravitelný. Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). [4]

Snahou je, aby vstřikovací proces probíhal automaticky, tedy aby celý pracovní cyklus probíhal bez zásahu člověka. [7]

5.3 Vstřikovací forma

Vstřikovací formy se řeší vždy s ohledem na technologický projekt příslušného výstřiku. Při řešení třeba vzít v úvahu především druh vstřikovaného materiálu a velikost výrobní série. Dále je třeba přihlídnout k možnostem navrhovaného výrobního zařízení a k požadavkům na kvalitu výrobků i produktivity práce. V závislosti na velikosti série se posuzuje stupeň mechanizace forem, aby případné dokončovací operace podstatně neovlivnily ekonomii výroby. [30]

Různorodost požadavků způsobuje, že vstřikovací formy se používají v mnoha různých typech. Zpravidla se však vždy může nalézt provedení a kombinace jejich hlavních částí, které představují tvářecí části, vtokový systém, temperanční nebo topný systém, vyhazovací zařízení pro výstřiky a vtokový zbytek a posléze vodící a upínací elementy. Pro rozlišování typu forem existují různá hlediska.[30]

Podle počtu dutin rozlišujeme formy jednonásobné a vícenásobné.

Podle typu vstřikovacího stroje jsou pak formy s osou vtoku kolmou k dělicí rovině nebo s osou vtoku v dělicí rovině.

Uspořádání vtoku člení formy na jednoduché s plným, komůrkovým a zúženým ústím vtoku. Tyto formy označujeme také jako dvoudeskové. Jako třídeskové se označují formy s odtrhovacím vtokem.

Další skupinu tvoří formy pro bezezbytkové vstřikování s izolovanými nebo vyhřívanými vtokovými kanály.

Tvar, velikost a členitost výstřiku ovlivňuje složitost celkového řešení formy podle konstrukce lze formy rozdělit na jednoduché, čelist'ové, s výsuvnými jádry a se zakládacími šablonami, dále formy vyšroubovací, etážové, atd.[30]

5.3.1 Materiály na výrobu forem

Forma musí zajistit opakovanou, věrnou a mnohonásobnou reprodukci výrobku. Proto jsou na ni kladeny velké požadavky co do pevnosti, houževnatosti, stability, životnosti a dobré tepelné vodivosti. Povrch otisku musí být lesklý, tvrdý, bez kazů, nesmí podléhat korozi agresivních látek, které obsahuje vstříkovaná směs. Všechny tyto požadavky a nároky musí splňovat navržený materiál, jeho zušlechťení a konečná povrchová úprava. [13]

Pro výrobu forem se používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí i rozměrů. Z toho se dále dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitečných vlastností.

Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al, ...),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé, ...). [23]

Oceli jsou nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. Účelné konstrukce, vhodné vložkování, celková dimenze jednotlivých dílů, tepelné zpracování i způsob zacházení s formou, to vše má vliv na kvalitu forem. [23]

Ale i ostatním druhům materiálů je třeba věnovat pozornost. Některé jejich fyzikální i ostatní vlastnosti (tepelně vodivé, izolační, ...) je předurčují pro speciální použití na některé díly forem. Bylo by obtížné se bez nich obejít. [23]

5.4 Konstrukce forem pro termoplasty

Návrh vstříkovací formy vychází zásadně z technologického postupu (projektu), jehož součástí je výkres výstřiku a technické podmínky. Výkres výstřiku obsahuje nejen rozměrové, případně i směrové tolerance, ale jsou na něm vyznačeny technologické úkosy,

místa ústí vtoku, stopy po vyhazovačích nebo i místa studeného spoje. Dále jsou vyznačena místa náročné povrchové úpravy (vzhledově náročné plochy), místa a druh označení výrobků, znak výrobce, případně vyznačení jakosti podle hodnocení státní zkušebny a časový údaj o výrobě (obvykle rok a čtvrtletí).[30]

5.4.1 Rám formy

Rám formy představuje technologický celek. Pod tímto pojmem se rozumí sestavení vzájemně spojených desek formy, vodících prvků, středících elementů a funkčních otvorů. Spojený celek tvoří základ pro vstřikování plastů. V jeho dutině dostává polymer svůj finální tvar. V deskách formy jsou vytvořeny tvarové dutiny, vtoková soustava. Rám formy doplněný o další důležité části poté tvoří kompletní formu. Rám formy musí umožnit také snadné upevnění na vstřikovací stroj a být jednoduše přemístitelný. Musí také nezbytně obsahovat vhodné přípojky pro zapojení temperace, vyhazovacích mechanismů a připojení elektroinstalace.

5.4.2 Vtokový systém

Vtokový systém plní funkci rozvodu taveniny a přívodu taveniny do dutiny formy. Pokud je použito studeného rozvodného systému, tak zatuhlý materiál v těchto kanálech se vyhazuje z formy společně s výstřikem a nazývá se vtokový zbytek (bývá až 50 % materiálu). Tento zbytek může být následně recyklován a použit při jiných plastikářských aplikacích. Cílem je tento zbytek co nejvíce minimalizovat. Proto se používají horké rozvodné systémy, kdy je tento zbytek snížen, anebo zcela vymizí. Vtokový systém musí být vytvořen tak aby dutina formy byla plněna co možná nejstejněměrněji a v co nejkratším čase.

5.4.3 Vtokové ústí

Je to část vtokové soustavy, která ústí přímo do tvarové dutiny formy. Má zaručit pokud možno nejmenší ztrátu vstřikovacího tlaku. [13]

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a tím i vytváření povrchových defektů. [4]

V závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologii vstřikování se vtokové ústí volí co nejmenšího průřezu. Velikost zúženého průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu

formy a také ještě umožnit případné působení dotlaku. Délka zúženého ústí se volí co nejkratší. Jeho spodní hranice je však omezena pevností materiálu formy. [4]

5.4.4 Dutina formy

Dutina formy určuje tvar výstřiku a také se od ní na výstřik odráží výsledný povrch výstřiku. Je dána tvarem, rozměry a opracováním.

Zhotoví se podle požadavku na povrch vyráběné součásti, protože ten je obrazem povrchu dutiny formy. Povrch se vyrábí jako: [4]

- matný – technologicky nejjednodušší. Běžně je výchozí plochou po elektroerozivním obrábění. Může se však vyrobit i jinými technologiemi (ruční úpravou, otryskáváním apod.). Podle požadované jakosti se obvykle stanoví i způsob jejího dokončení. [4]
- lesklý – vyžaduje poměrně nákladnou a náročnou operaci. Forma musí být vyrobena z kvalitní oceli a také technologie vstřikování musí být na vysoké úrovni. Dutina se leští různými mechanickými pomůckami nebo elektrickými jednotkami s rotačním, přímočarým i planetovým pohybem, za pomoci správného brusného tělíška nebo brusné pasty. Stupeň lesku je třeba definovat (zrcadlový, vysoký lesk,...). [4] Často je také potřeba některá místa doleštit ručně což je velmi pracné a nákladné.
- dezénovaný - Nachází stále větší uplatnění. Nemá pouze estetický význam, ale zakrývá i některé drobné povrchové vady na výstřiku apod. Dezénovat se mohou všechny plochy rovinné i zakřivené, které jsou přístupné. Pro výběr vzorů jsou k dispozici vzorové destičky od různých technologií, podle kterých se dezén vyrábí. [4]

5.4.5 Vyhazovací systém

Po ochlazení výstřiku ve formě následuje otevření formy a vyhození výstřiku z dutiny formy. K tomuto slouží vyhazovací kolíky, stírací desky, stlačený vzduch, případně kombinace uvedených prvků. [30]

Rozhodujícím faktorem pro volbu vyhazovacího systému je velikost potřebné vyhazovací síly. Tato síla závisí: [30]

- na smrštění výstřiku ve formě
- na adhezi plastu k líci formy

- na podtlaku vznikajícím při vyhazování
- na pružných deformacích formy

STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení vlivu jakosti povrchu a technologického parametru na zatečení polymerů do dutiny zkušební formy. Bude sledován vliv jakosti povrchu sedmi různých zkušebních desek a změny velikosti vstřikovacího tlaku pro šest zvolených materiálů.

Měření budou prováděna na speciální vstřikovací formě používané pouze pro měření zatékavosti. Součástí této formy je sedm výměnných zkušebních desek s rozdílnou jakostí povrchu, což umožní zhodnocení vlivu jakosti povrchu na zatékavost polymeru v dutině formy.

Vliv jakosti povrchu a vstřikovacího tlaku bude vyhodnocen a porovnán pomocí změřených délek zatečení.

Jednotlivá měření budou provedena opakovaně a získané hodnoty budou statisticky vyhodnoceny.

Bude porovnána shoda skutečného vstřikování se simulací v programu Autodesk Moldflow Insight.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro účely měření byly použity termoplastické polymery od různých výrobců (DOW, Slovnaft, Ticona, Basell, Synthos,...). Materiály byly vybírány tak, aby se od sebe lišily svými vlastnostmi. A mohly tak být výsledky měření více objektivní.

6.1 Polypropylen (PP)

Termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů. Patří mezi nejběžnější polymery v mnoha odvětvích potravinářského a textilního průmyslu. Vstřikovaný polypropylen byl od firmy Slovnaft, která ho prodává pod obchodním názvem Tatren HM 50 46.



Obr. 27 Granulát – PP Tatren HM 50 46

Tab. 4 Typické vlastnosti pro PP Tatren HM 50 46 [31]

Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu na mezi kluzu	ISO 527-1,2	37	MPa
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1,2	1950	MPa
Rázová houževnatost IZOD (vrubová)	ISO 180/1A	2,8	kJ/m^2
HDT (0,45 MPa)	ISO 75-1,2	113	$^{\circ}\text{C}$
Tvrdość Rockwell	ISO 2039/2	105	R škála
Hustota	ISO 1183	905	kg/m^3

6.2 Polystyren (PS)

Polystyren je jedním z nejrozšířenějších tepelně zpracovávaným termoplastem. Polystyren je poměrně tvrdý, ale křehký plast, který dobře odolává kyselinám a zásadám. Při stárnutí křehne a vytvářejí se v něm trhliny. Neodolává organickým rozpouštědlům, zejména benzínu, aldehydům a ketonům. Je citlivý vůči UV záření a málo odolný vůči teplotě (jen asi do 70 °C). Vstříkovaný polystyren byl od firmy Synthos Kralupy, která ho prodává pod obchodním názvem Krasten 154.



Obr. 28 Granulát – PS Krasten 154

Tab. 5 Typické vlastnosti pro PS Krasten 154 [32]

Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu při přetržení	ISO 527-2/1A/5	45	MPa
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-2/1A/1	3100	MPa
Rázová houževnatost IZOD	ISO 179/1eU	10	kJ/m ²
HDT (0,45 MPa)	ISO 306/B50	82	°C
Tvrdość vtiskem kuličky	ISO 2039-1	150	N/mm ²
Hustota	ISO 1183	1050	kg/m ³

6.3 Polyoxymetylen (POM)

POM je vysoce krystalický termoplast s vysokou pevností a tuhostí, jakož i s dobrými kluznými vlastnostmi a odolností proti opotřebení, s malou absorpcí vlhkosti. Dobrá rozměrová stabilita a zvláště dobrá únavová pevnost, jakož i vynikající obrobiteľnosť činí z polyoxymetyleny mnohostranně použitelný konstrukční materiál i pro komplexní stavební díly. Vyhovuje vysokým požadavkům na kvalitu povrchových ploch. Vstříkovaný polyoxymetylen byl od firmy Ticona, která ho prodává pod obchodním názvem Hostaform C 13021.



Obr. 29 Granulát POM – Hostaform C 13021

Tab. 6 Typické vlastnosti pro POM Hostaform C 13021 [33]

Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu při přetržení	ISO 527-2/1A/5	65	MPa
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-2/1A	2900	MPa
Rázová houževnatost Charpy (vrubová)	ISO 179/1eU	6,5	kJ/m ²
Teplota tání	ISO 306/B50	166	°C
Tvrdość dle Brinela	ISO 2039	170	N/mm ²
Hustota	interní test	1200	kg/m ³

6.4 Vysokohustotní polyetylen (HDPE)

Je odolný vůči kyselinám i zásadám, použitelný do teploty kolem 80°C. Vyrábí se z něj smršťitelné folie, roury, ozubená kola, ložiska, textilní vlákna, nejrůznější hračky, sáčky a elektrotechnické izolace. Vstříkovaný polyetylen s vysokou hustotou byl od firmy DOW, která ho prodává pod označením HDPE 25055E.



Obr. 30 Granulát – HDPE 25055E

Tab. 7 Typické vlastnosti pro HDPE 25055E [34]

Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu na mezi kluzu	ASTM D638	25	MPa
Modul pružnosti v tahu	ASTM D790	870	MPa
Rázová houževnatost Charpy	ASTM D1822	55	kJ/m ²
Teplota tání	ISO 306/A	124	°C
Tvrdość Shore	ISO 868	65	Shore D
Hustota	ASTM D792	953	kg/m ³

6.5 Polypropylen s 40 % mastku (PP + 40% mastek)

Termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů. Patří mezi nejběžnější polymery v mnoha odvětvích potravinářského a textilního průmyslu. Přídavek mastku zvyšuje u homopolymeru průtok, zvyšuje tuhost, snižuje zápach. Používá se obvykle pro automobilové klimatizační jednotky. Vstřikovaný polypropylen byl od firmy Basell, která ho prodává pod obchodním názvem Hostacom M4 U05.



Obr. 31 Granulát – PP M4 U05 Hostacom

Tab. 8 Typické vlastnosti pro PP M4 U05 Hostacom [35]

Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu na mezi kluzu	ISO 527-1,-2	32	MPa
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1,-2	4300	MPa
Rázová houževnatost Charpy	ISO 179	25	kJ/m^2
Teplota tání	ISO 306	100	$^{\circ}\text{C}$
Tvrdoost otisk kuličky	ISO 2039-1	100	MPa
Hustota	ISO 1183	1210	kg/m^3

6.6 Polykarbonát + akrylonitril butadien styren (PC+ABS)

Kombinuje výborné vlastnosti materiálů PC a ABS. PC má dobrou tepelnou odolnost, odolnost proti nárazu a dobré optické vlastnosti. Patří proto mezi komoditní plasty. Materiály ABS jsou založeny na bázi termoplastických pryskyřic, mají výborné elastické vlastnosti, jsou odolné vůči dynamickému namáhání a mají velmi dobrou opracovatelnost. Barevná a fyzikálně-chemická stálost nastává při teplotách $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vstříkovaný PC+ABS byl od firmy LPM.



Obr. 32 Granulát – PC+ABS-blend

Tab. 9 Typické vlastnosti pro PC+ABS-blend [36]

Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Pevnost v tahu na mezi kluzu	ISO 527	52	MPa
Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2200	MPa
Vrubová houževnatost IZOD	ISO 180/1A	48	kJ/m^2
Teplota tání	ISO 11 357	130	$^{\circ}\text{C}$
Tvrdość dle Brinella	ISO 2039-1	90	MPa
Hustota	ISO 1183	1130	kg/m^3

7 MĚŘENÍ INDEXU TOKU TAVENINY

Měření indexu toku taveniny bylo prováděno dle normy ČSN EN ISO 1133. Název normy, Plasty – stanovení hmotnostního (MFR) a objemového (MVR) indexu toku taveniny termoplastů. Tato norma specifikuje metodu měření, specifické teploty pro materiály a použitá zatížení. Měření indexu toku taveniny bylo provedeno pro srovnání použitých materiálů. A také porovnání vlivu indexu toku taveniny a následné délky zatečení při vstřikování zkušebních tělísek.

7.1 Použitá zařízení

Pro měření indexu toku taveniny daných materiálů byl použit výtlačný plastometr Kayeness LMI 4001 od firmy Dynisco. Schéma tohoto plastometru je znázorněno výše (Obr. 10). Součástí plastometru jsou i kalibrované závaží. Použity byly závaží 1,2 kg a 2,16 kg.



Obr. 33 Výtlačný plastometr Kayeness

Tab. 10 Technické parametry plastometru Kayeness [37]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Čistá hmotnost	15	kg
Rozměr (ŠxHxV)	350 x 300x 570	mm
Příkon	400	W
Max. teplotní rozsah topení	425 ($\pm 0,1$)	$^{\circ}\text{C}$
Objem zkušebního tělesa	8 ÷ 12	cm^3
Normovaná hmotnost	0,1 ÷ 21,6	kg
Rozsah měření		
- viskozita	0,01 ÷ 1 000 000	Pa.s
- rychlost stříhu	0,0001 ÷ 10	s

Tab. 11 Parametry pro stanovení MFR

	PP+40% mastek	PC+ABS	PS	PP	POM	HDPE
Teplota válce [$^{\circ}\text{C}$]	240	280	240	240	220	230
Závaží [kg]	2,16	2,16	2,16	1,2	2,16	2,16
Interval odřezávání vzorků [s]	5	5	5	5	5	5

Pro stanovení hmotnosti odřezků byly použity digitální váhy od firmy HELAGO s typovým označením AND GF-200 EC (Obr. 34). Označení EC je pro váhy metrologicky ověřitelné. Na této váze byly váženy i hmotnosti granulátu, který byl vsypáván do válce plastometru. Hmotnost této jedné dávky byla 8g.



Obr. 34 Digitální váhy AND GF-200 EC [38]

Tab. 12 Technické parametry digitální váhy GF-200 EC[38]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Kapacita	0,2 ÷ 210	g
Vnější rozměry	210(Š) x 317(H) x 85(V)	mm
Rozměr misky	128 x 128	mm
Dílek	0,001	g
Přesnost	0,001	g
Čistá hmotnost	3 800	g

7.2 Naměřené a vypočtené hodnoty

Tab. 13 Hmotnosti vzorků jednotlivých materiálů v gramech

materiál Čísl. odřezku	PP+40% mastek	PC+ABS	PS	PP	POM	HDPE
1	0,122	0,128	0,168	0,215	0,222	0,384
2	0,127	0,123	0,184	0,212	0,226	0,356
3	0,122	0,132	0,151	0,216	0,220	0,352
4	0,107	0,123	0,180	0,207	0,235	0,351
5	0,125	0,128	0,165	0,223	0,208	0,342
6	0,128	0,120	0,159	0,220	0,220	0,345
7	0,119	0,126	0,165	0,225	0,216	0,384
8	0,113	0,129	0,171	0,212	0,221	0,352
9	0,115	0,124	0,171	0,215	0,214	0,319
10	0,108	0,120	0,135	0,212	0,209	0,365
11	0,122	0,134	0,178	0,203	0,217	0,340
12	0,120	0,117	0,177	0,222	0,220	0,360
13	0,118	0,129	0,157	0,215	0,230	0,357
14	0,113	0,125	0,139	0,213	0,227	0,370
15	0,119	0,127	0,168	0,215	0,219	0,360
16	0,118	0,120	0,156	0,214	0,210	0,337
17	0,121	0,123	0,169	0,220	0,227	0,368
18	0,119	0,122	0,158	0,199	0,227	0,363
19	0,117	0,129	0,164	0,202	0,218	0,360
20	0,113	0,126	0,179	0,210	0,219	0,358
21	0,119	0,127	0,161	0,225	0,232	0,379
22	0,122	0,124	0,150	0,211	0,228	0,339
23	0,125	0,131	0,167	0,224	0,210	0,352
24	0,116	0,130	0,163	0,220	0,213	0,348
Průměr	0,119	0,126	0,164	0,215	0,220	0,356
Rozptyl	0,0000251	0,0000166	0,0001328	0,0000474	0,0000519	0,0002110
Směr. odchylka	0,005	0,004	0,011	0,007	0,007	0,014

Stanovení hmotnostního indexu toku taveniny (MFR) v g/10min:[39]

$$MFR = \frac{t_{ref} \cdot m}{t} \quad (20)$$

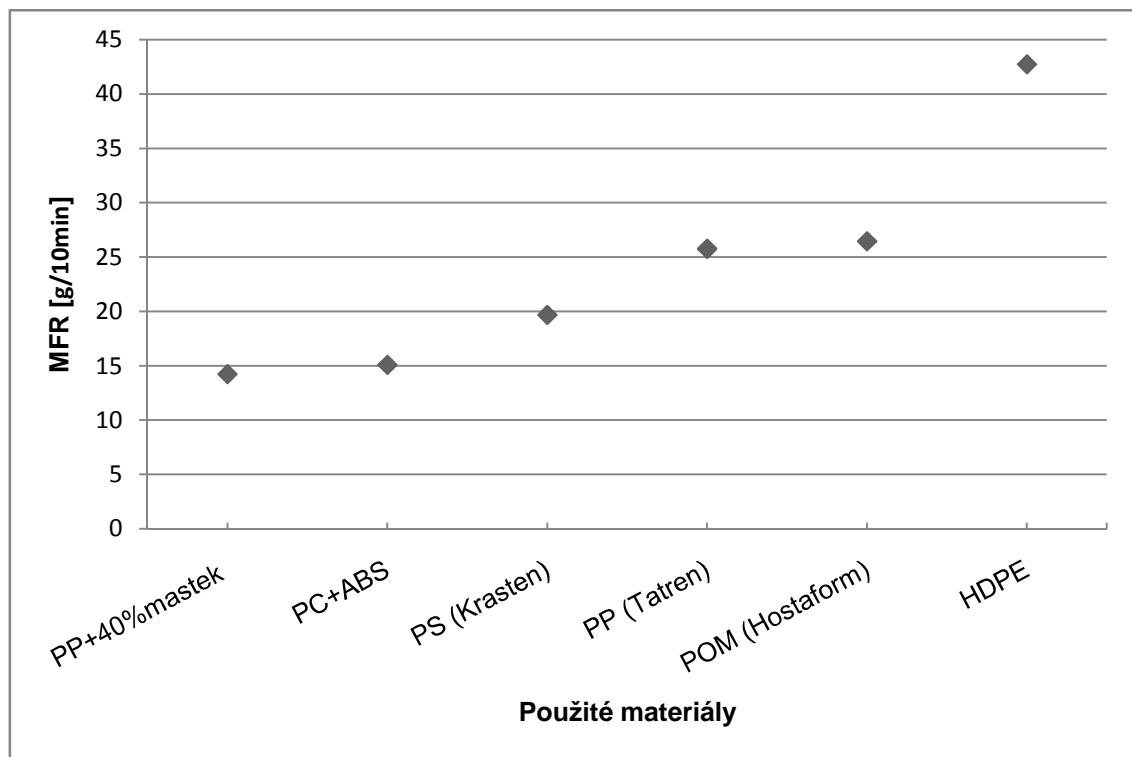
kde: - t_{ref} - ... referenční čas [s] (10 min = 600s)

- m - ... průměrná hodnota pramenů [g]

- t - ... časové intervaly odřezávání [s]

Tab. 14 Vypočítané hodnoty MFR pro použité materiály

	PP+40% mastek	PC+ABS	PS	PP	POM	HDPE
MFR [g/10min]	14,2	15,1	25,8	25,8	26,4	42,7



Obr. 35 Grafické srovnání MFR použitých materiálů

8 ZKUŠEBNÍ DESKY

Cílem práce nebylo měření drsnosti kovů, tudíž jsou hodnoty drsností převzaty z předchozích měření těchto desek, které byly měřeny bezkontaktní metodou. Drsnosti povrchů byly měřeny na přístroji Talysurf CLI 500, což je 3D systém měření struktury povrchu od firmy Taylor Hobson.

8.1 Jakost povrchu zkušebních desek

Ke zvětšení a obrazovému zdokumentování povrchu zkušebních desek byla použita mikrokmera ProScope HR od firmy ProScope CSI (Obr.36).

ProScope HR je vybaven zobrazovacím zařízením 1,3 Mp. Používá rozlišení 1280x1024 pro pořízení fotografií s velkou rozlišovací schopností. Zařízení je propojeno s počítačem pomocí USB kabelu. [41]

K přístroji je připojeno i příslušenství, které obsahuje sadu objektivů pro různá zvětšení. Pro účely snímání povrchu byla zvolena čočka se zvětšením 100x. Tato mikrokamera ovládá i automatické doostřování obrazu.

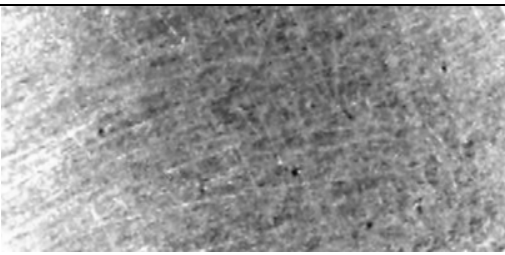
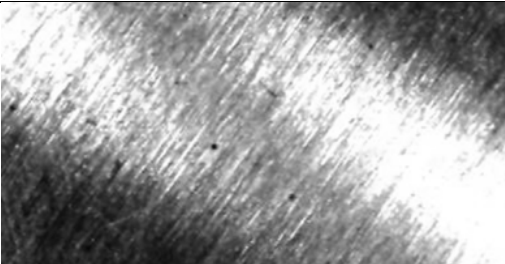
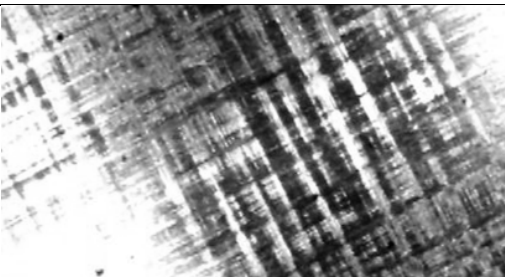
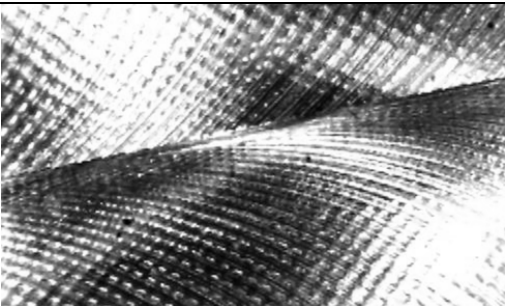


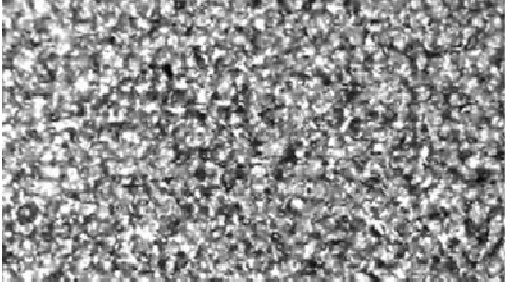
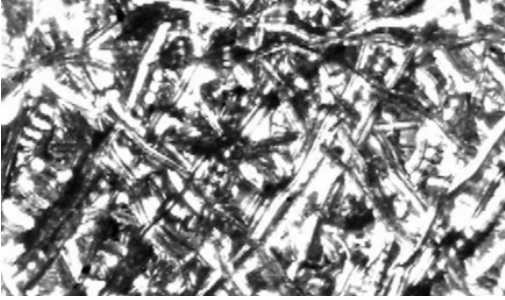
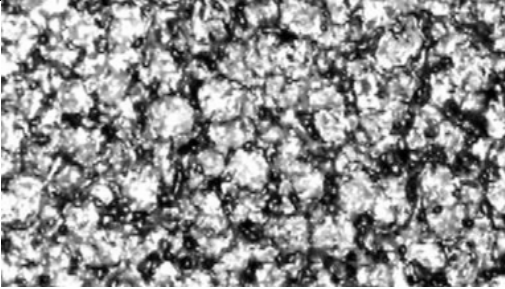
Obr. 36 Přenosný mikroskop ProScope HR

Tab. 15 Technické parametry přístroje ProScope HR

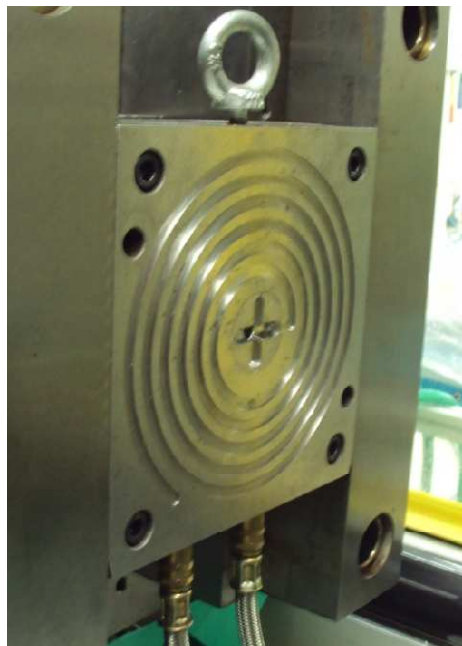
Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozměry	152 (délka) x 45 (šířka)	mm
Váha	200	g
Spotřeba energie	400	mA
Pracovní teplota	5 ÷ 40	°C
Rozhraní	USB	-
Rozlišení snímku	1280x1024 (SXGA)	pixels

Tab. 16 Povrchy zkušebních desek pro vstřikování termoplastů

Foto povrchu zkušební desky	Způsob opracování	Jakost povrchu
	Leštěná	$R_a = 0,10 \mu\text{m}$
	Broušená jemná	$R_a = 0,45 \mu\text{m}$
	Broušená hrubá	$R_a = 0,80 \mu\text{m}$
	Frézovaná jemná	$R_a = 1,60 \mu\text{m}$

	Dezén jemný (elektroerozivní obrábění)	$R_a = 4,36 \mu\text{m}$
	Frézovaná hrubá	$R_a = 5,00 \mu\text{m}$
	Dezén hrubý (elektroerozivní obrábění)	$R_a = 12,74 \mu\text{m}$

Tvarová deska formy měla tvar spirály (Obr. 37), z výstřiku lze snadno změřit délku zatečení a tak i porovnat jednotlivé procesní parametry a vliv drsnosti povrchu.



Obr. 37 Tvarová deska

9 VSTŘIKOVÁNÍ VZORKŮ

Příprava zkušebních vzorků byla prováděna na vstřikovacím stroji v dílnách Fakulty technologické v budově U5. Pro každou desku a tlak bylo vystříknuto třicet vzorků, u kterých se změřila délka zatečení, a výsledky se statisticky vyhodnotily.

9.1 Vstřikovací stroj

Vstřikování zkušebních vzorků bylo prováděno na vstřikovacím stroji Arburg 420 C Allrounder 1000 – 350 (Obr. 38). Tento stroj vyrábí německá firma Arburg.



Obr. 38 Arburg 420 C Allrounder 100-350 [40]

Tab. 17 Parametry vstřikovacího stroje [40]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozměry L x B x H	4300 x 1635 x 2080	mm
Čistá váha	3700	kg
Průměr šneku	40	mm
Poměr L/D	20	-
Vstřikovací tlak (max.)	212	MPa
Uzavírací síla	1000	kN
Olejová náplň	235	l
Maximální vstřikovaný objem	182	cm ³

Minimální výška formy	250	mm
Rozteč vodičích sloupů	420 x 420	mm
Velikost upínacích desek	570 x 570	mm

Přídavným zařízením, které bylo použito je sušárna Thermolift (Obr.39) od stejného výrobce jako vstříkovací stroj, tedy Arburg. Sušárna je vybavena hadicí s koncovkou, kterou je možno upevnit místo klasické násypky vstříkovacího stroje. A díky proudění vzduchu je tak přímo sušený materiál dopravován do vstříkovacího stroje, aniž by byl vystaven okolnímu, vlhkému, ovzduší. Sušárna byla použita pouze u materiálů, které bylo nutné před zpracováním vysušit.



Obr. 39 Sušárna Thermolift [40]

Tab. 18 Parametry sušení materiálů

Parametr Materiál	Teplota [°C]	Doba sušení [hod]
POM Hostaform C 13021	100	4
PC + ABS-blend	80	4

9.2 Technologické parametry vstřikování

Pro měření délky zatečení jednotlivých materiálů byly nastaveny následující parametry vstřikovacího cyklu, které jsou zapsány v Tab. 17.

Tab. 19 Parametry vstřikovacího cyklu

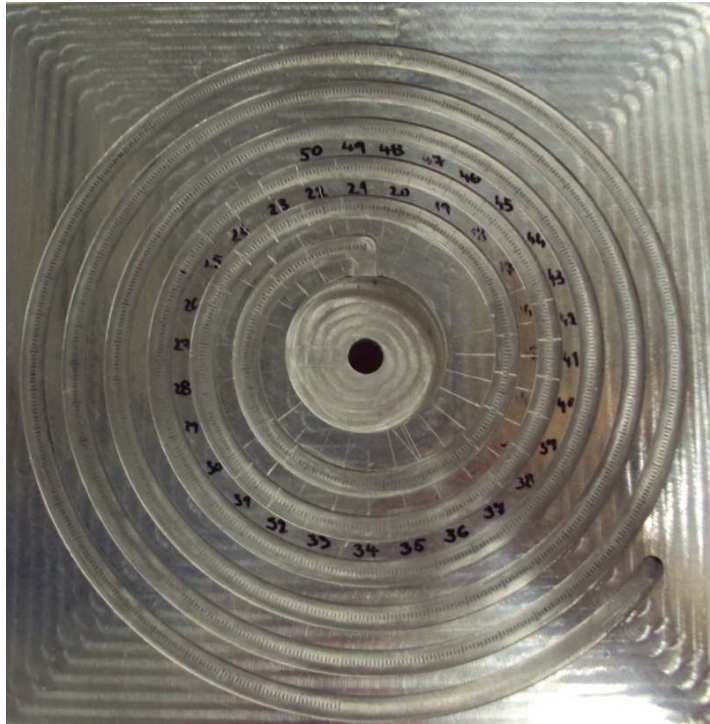
Parametr	Hodnota
Vstřikovací rychlost	60 mm.s ⁻¹
Vtokové ústí	6 mm
Vstřikovací tlak (hydraulický)	4; 6; 8 MPa
Dotlak	80% vstřikovacího tlaku (3,2; 4,8; 6,4 MPa)
Zkušební deska	leštěná, broušená jemná, broušená hrubá, frézovaná jemná, dezén jemný, frézovaná hrubá, dezén hrubý

Tab. 20 Nastavení teplot vstřikovacího stroje pro jednotlivé materiály

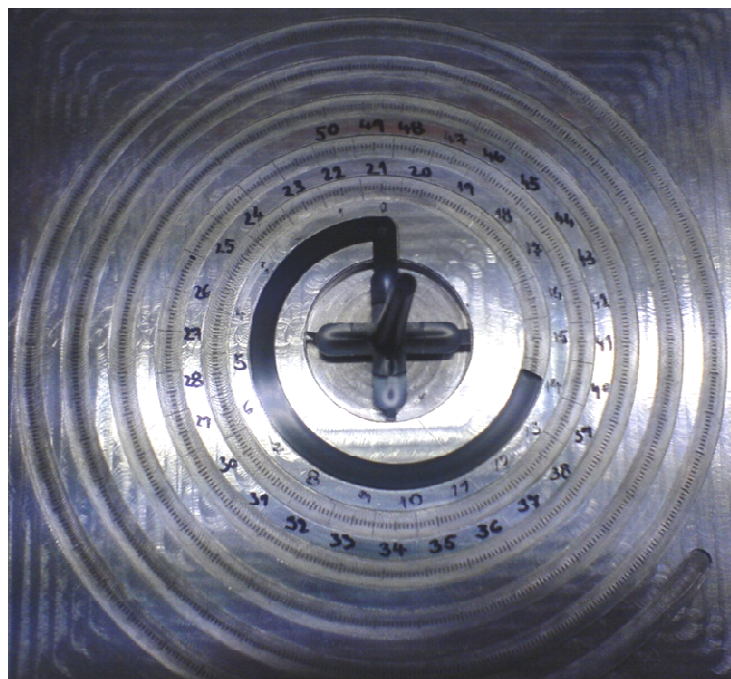
Parametr Materiál	Tavenina [°C]	Topná pásma [°C]				Pod násypkou [°C]	Forma [°C]	Doba chlazení [s]
PP [Tatren]	240	230	220	210	200	40	30	20
PP+40% mastek [Hostacom M4]	240	230	220	210	200	40	30	20
PC+ABS	280	270	260	250	235	40	80	15
PS [Krasten]	240	230	220	210	200	40	40	20
POM [Hostaform]	220	210	200	190	180	40	100	25
HDPE	230	220	215	210	180	40	30	15

10 VYHODNOCENÍ DÉLKY ZATEČENÍ

Jednotlivá měření délek zatečení se prováděla na hliníkovém frézovaném přípravku (Obr. 40). Výstřik byl do přípravku umístěn (Obr. 41) a ze stupnice byla odečtena příslušná délka tělíska s přesností 1 mm.



Obr. 40 Přípravek na měření délky zatečení



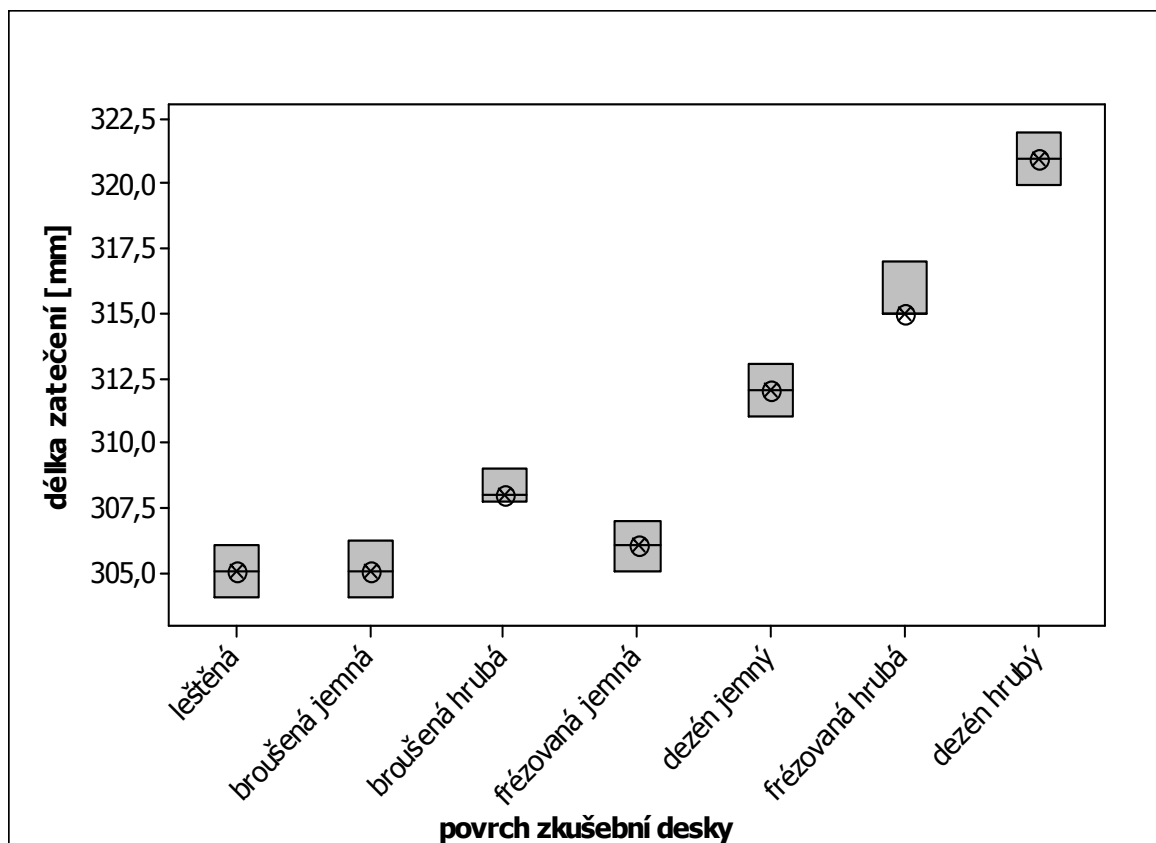
Obr. 41 Výstřik umístěný v přípravku

Statistické vyhodnocení délek zatečení bylo prováděno v programu Minitab 15.

10.1 Vyhodnocení PP Tatren HM 50 46

Desky v níže uvedených grafech byly vzestupně seřazeny podle drsnosti povrchu. Seřazeny byly od nejjemnější desky Ra 0,10 μm (leštěná) až po nejdrsňější Ra 12,74 μm (dezén hrubý). Protože výsledky měly u všech vstřikovacích tlaků stejný průběh, byl jeden tlak zvolen jako zástupce daného vstřikovaného materiálu. Pro materiál PP Tatren HM 50 46 jsem jako zástupce zvolil tlak 8 MPa. Byl zvolen, protože rostoucí tendence zde byla dobře patrná. Níže (Obr. 43) byly ve 3D grafu znázorněny všechny délky zatečení v závislosti na povrchu zkušební desky a vstřikovacím tlaku.

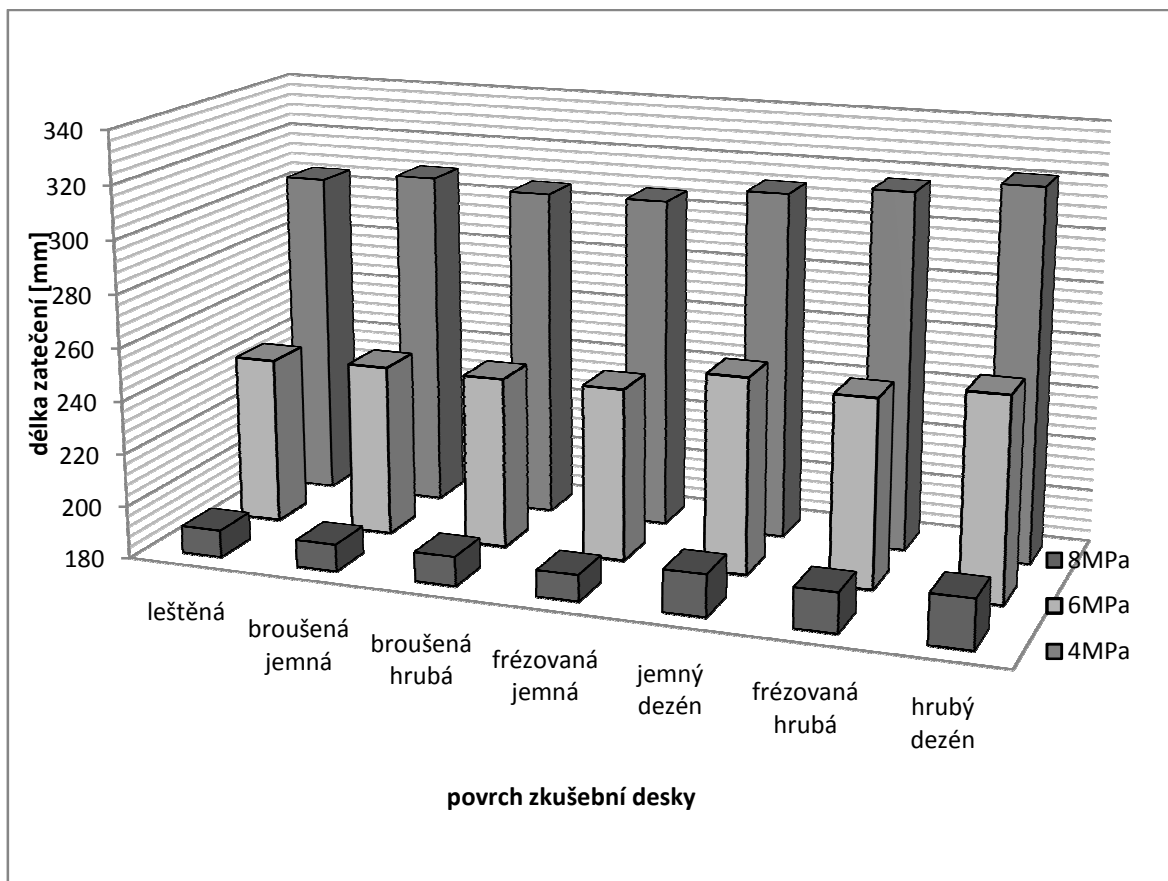
10.1.1 PP Tatren HM 50 46 vstřikovací tlak 8 MPa



Obr. 42 Graf délky zatečení – PP Tatren HM 50 46 (8MPa)

Diskuse výsledků:

Jak je patrné z grafu (Obr. 42), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity a to u jemné frézované desky, která má oproti broušené hrubé, která má nižší drsnost kratší délku zatečení.



Obr. 43 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PP Tatren HM 50 46

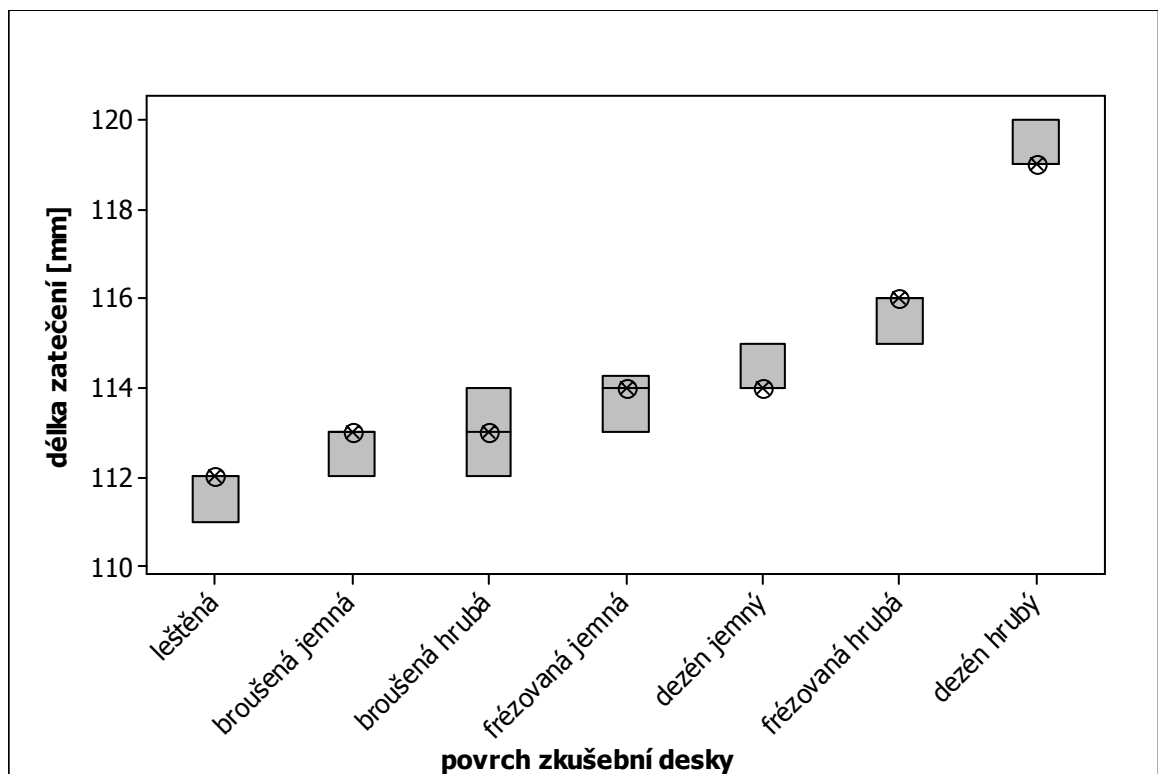
Diskuse výsledků 3D graf:

Jak je patrné z grafu (Obr. 43), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity, ale celková tendence u všech vstřikovacích tlaků je, že délka zatečení roste s drsností povrchu. Tento nárůst není nijak značný, ale je patrný.

10.2 Vyhodnocení PS Krasten 154

Desky v níže uvedených grafech byly vzestupně seřazeny podle drsnosti povrchu. Seřazeny byly od nejjemnější desky Ra 0,10 μm (leštěná) až po nejdrsnější Ra 12,74 μm (dezén hrubý). Protože výsledky měly u všech vstřikovacích tlaků stejný průběh, byl jeden tlak zvolen jako zástupce daného vstřikovaného materiálu. Pro materiál PS Krasten 154 jsem jako zástupce zvolil tlak 4 MPa. Byl zvolen, protože rostoucí tendence zde byla dobře patrná. Níže (Obr. 45) byly ve 3D grafu znázorněny všechny délky zatečení v závislosti na povrchu zkušební desky a vstřikovacím tlaku.

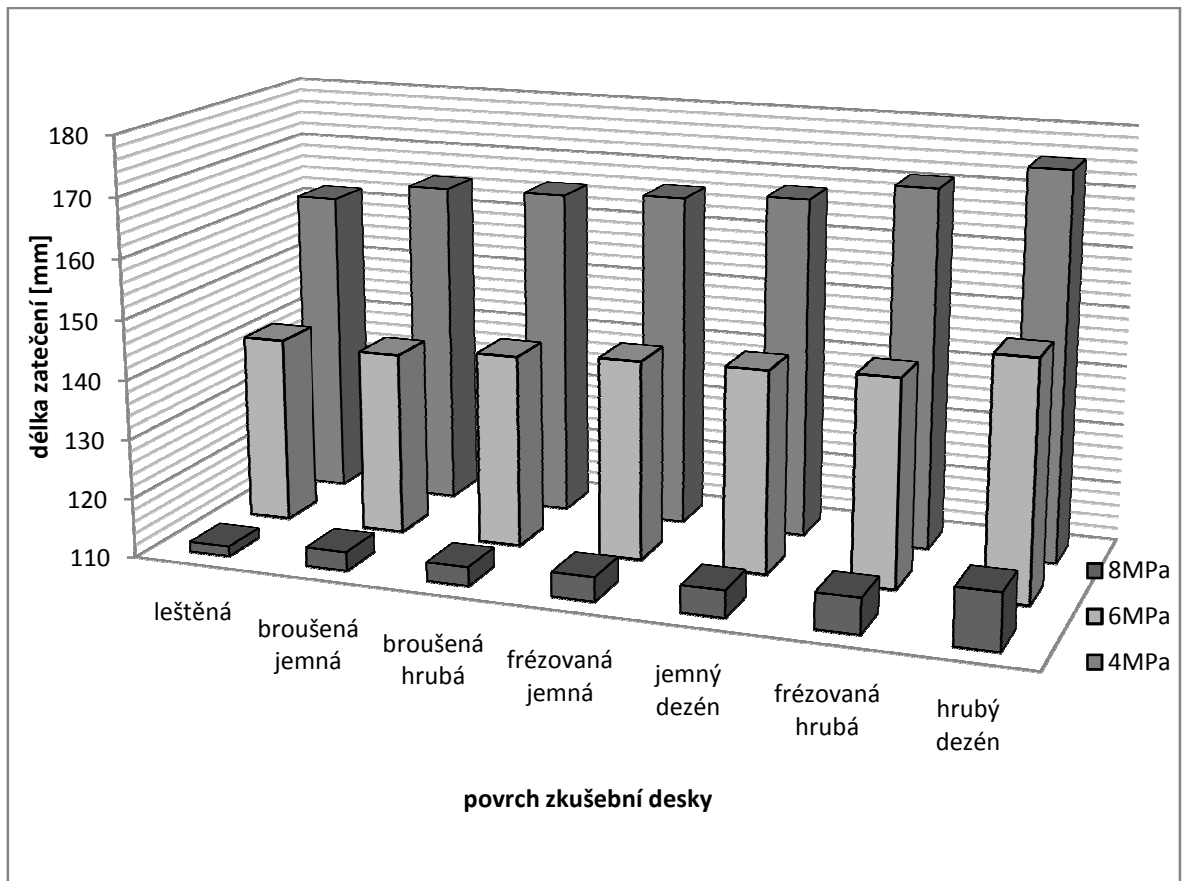
10.2.1 PS Krasten 154 vstřikovací tlak 4 MPa



Obr. 44 Graf délky zatečení – PS Krasten 154 (4MPa)

Diskuse výsledků:

Jak je patrné z grafu (Obr. 44), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Tato rostoucí tendence je patrná u každé zkušební desky, čím je větší drsnost povrchu tím je větší délka zatečení.



Obr. 45 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PS Krasten 154

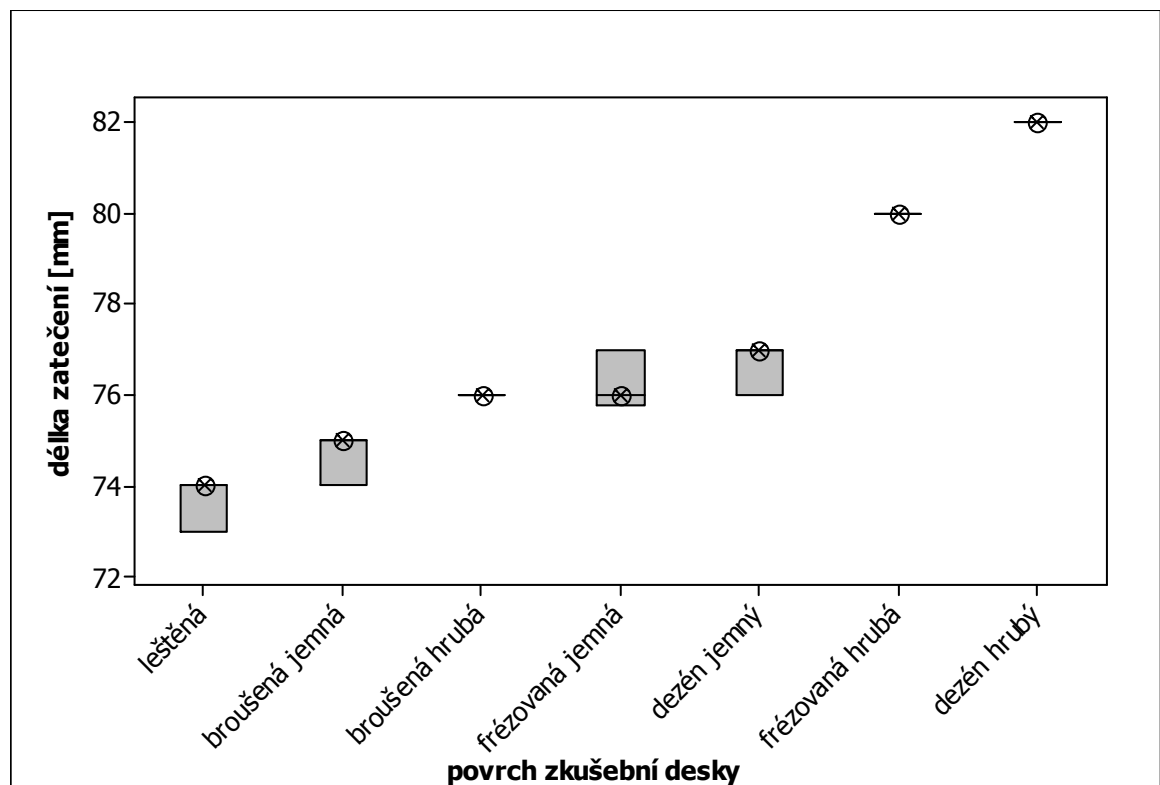
Diskuse výsledků 3D graf:

Jak je patrné z grafu (Obr. 45), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity, ale celková tendence u všech vstřikovacích tlaků je, že délka zatečení roste s drsností povrchu. Tento nárůst není nijak značný, ale je patrný.

10.3 Vyhodnocení POM Hostaform C 13021

Desky v níže uvedených grafech byly vzestupně seřazeny podle drsnosti povrchu. Seřazeny byly od nejjemnější desky Ra 0,10 μm (leštěná) až po nejdrsňější Ra 12,74 μm (dezén hrubý). Protože výsledky měly u všech vstřikovacích tlaků stejný průběh, byl jeden tlak zvolen jako zástupce daného vstřikovaného materiálu. Pro materiál POM Hostaform C 13021 jsem jako zástupce zvolil tlak 4 MPa. Byl zvolen, protože rostoucí tendence zde byla dobře patrná. Níže (Obr. 47) byly ve 3D grafu znázorněny všechny délky zatečení v závislosti na povrchu zkušební desky a vstřikovacím tlaku.

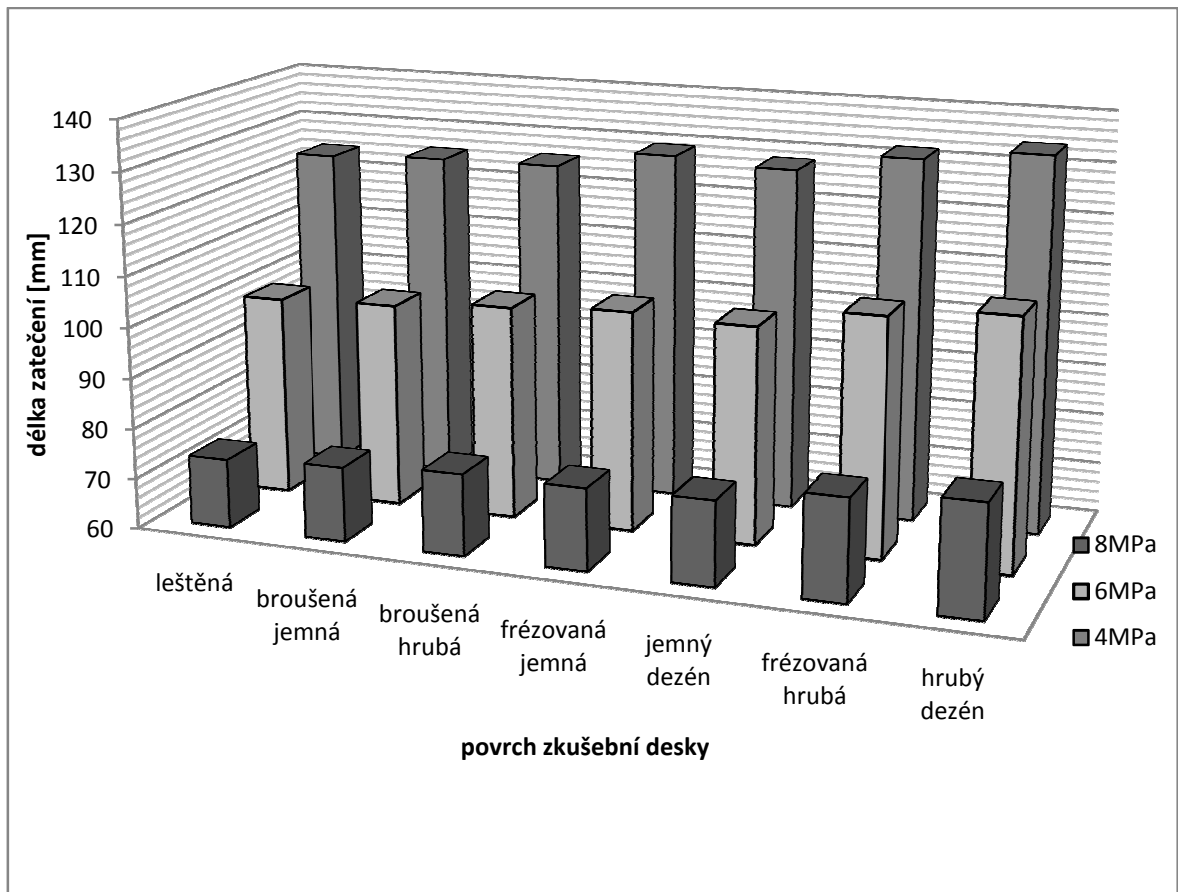
10.3.1 POM Hostaform C 13021 vstřikovací tlak 4 MPa



Obr. 46 Graf délky zatečení – POM Hostaform C 13021(4MPa)

Diskuse výsledků:

Jak je patrné z grafu (Obr. 46), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Tato rostoucí tendence je patrná u každé zkušební desky, čím je větší drsnost povrchu tím je větší délka zatečení.



Obr. 47 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - POM Hostaform C 13021

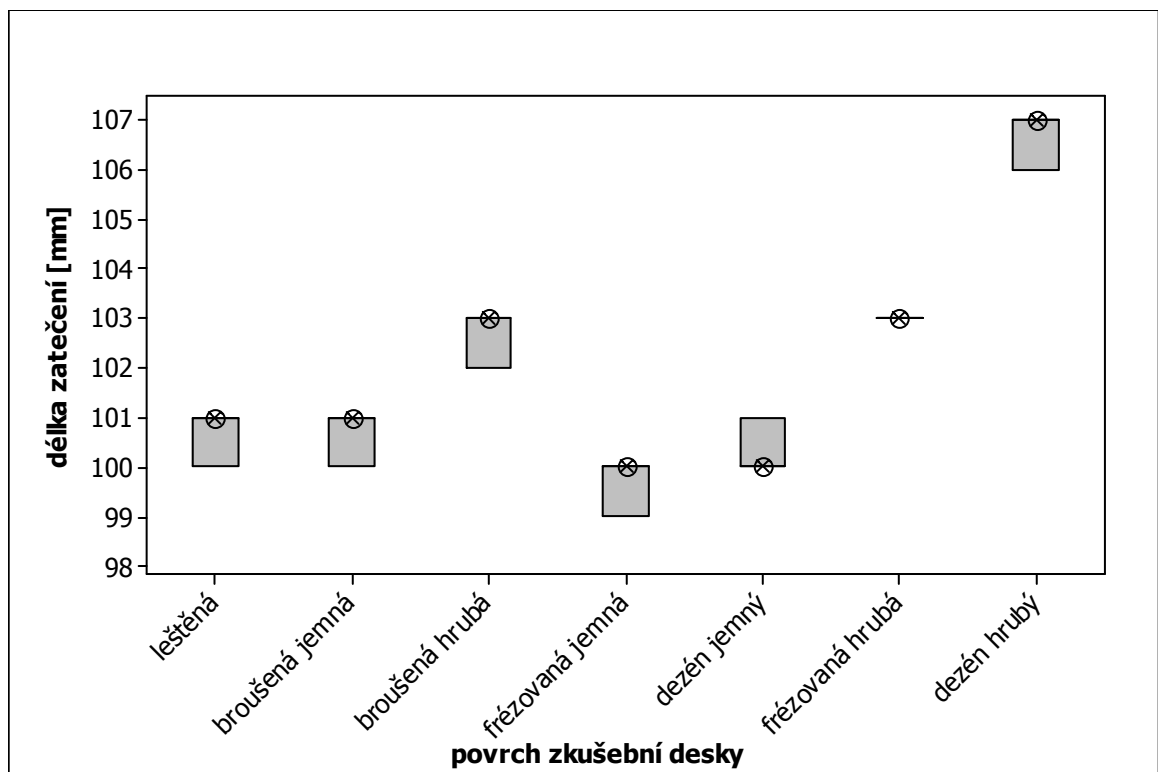
Diskuse výsledků 3D graf:

Jak je patrné z grafu (Obr. 47), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity, ale celková tendence u všech vstřikovacích tlaků je, že délka zatečení roste s drsností povrchu. Tento nárůst není nijak značný, ale je patrný.

10.4 Vyhodnocení HDPE 25055E

Desky v níže uvedených grafech byly vzestupně seřazeny podle drsnosti povrchu. Seřazeny byly od nejjemnější desky Ra 0,10 μm (leštěná) až po nejdrsnejší Ra 12,74 μm (dezén hrubý). Protože výsledky měly u všech vstřikovacích tlaků stejný průběh, byl jeden tlak zvolen jako zástupce daného vstřikovaného materiálu. Pro materiál HDPE 25055E jsem jako zástupce zvolil tlak 4 MPa. Byl zvolen, protože rostoucí tendence zde byla dobře patrná. Níže (Obr. 49) byly ve 3D grafu znázorněny všechny délky zatečení v závislosti na povrchu zkušební desky a vstřikovacím tlaku.

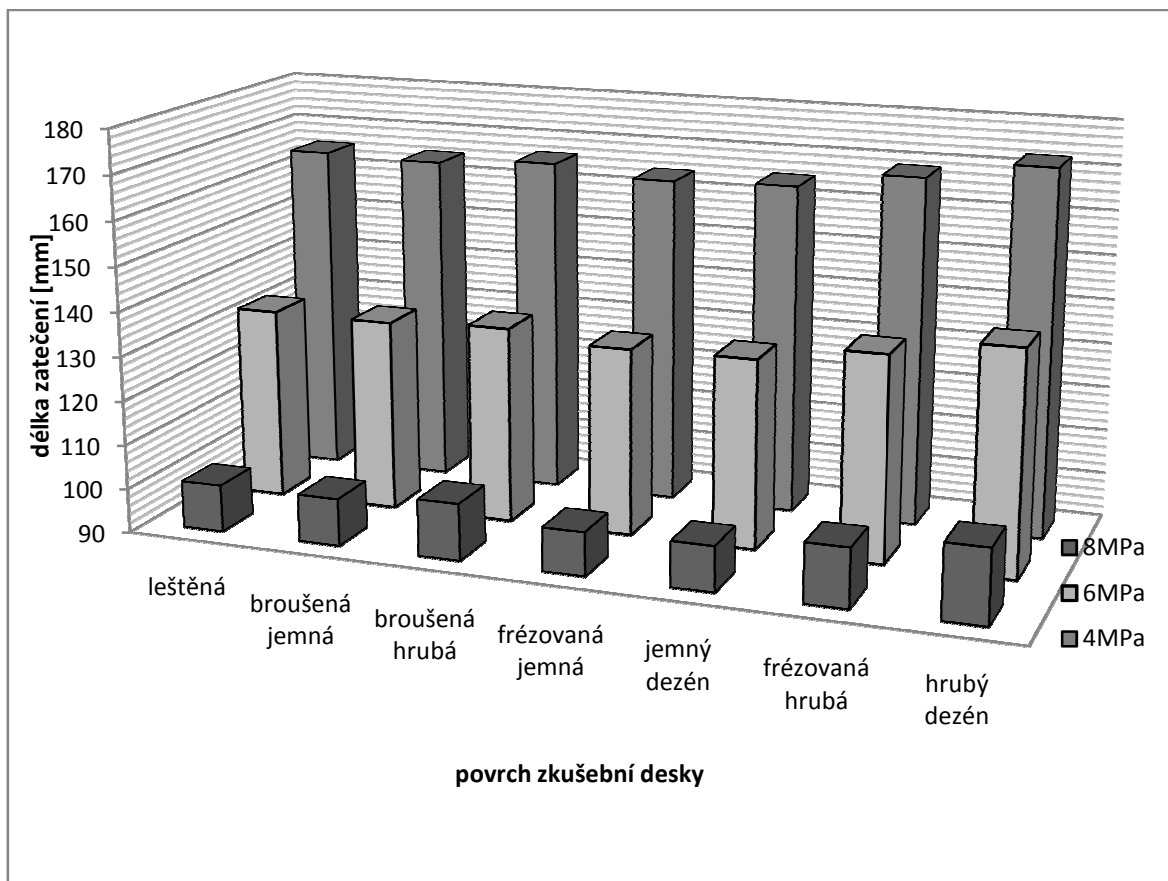
10.4.1 HDPE 25055E vstřikovací tlak 4 MPa



Obr. 48 Graf délky zatečení – HDPE 25055E (4MPa)

Diskuse výsledků:

Jak je patrné z grafu (Obr. 48), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytuje se zde určitá nelinearita a to u desek frézované jemné a desky s jemným dezénem, které mají oproti broušené hrubé desce, která má nižší drsnost kratší délku zatečení.



Obr. 49 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovací tlak - HDPE 25055E

Diskuse výsledků 3D graf:

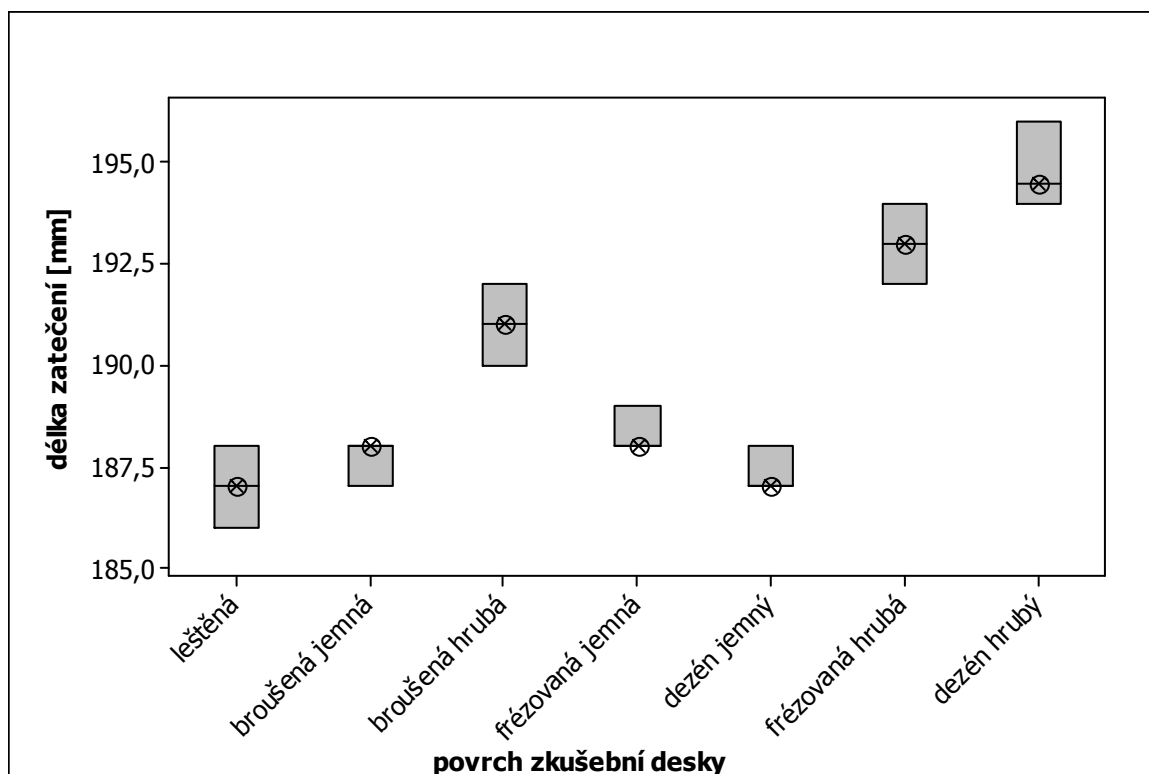
Jak je patrné z grafu (Obr. 49), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity, ale celková tendence u všech vstřikovacích tlaků je, že délka zatečení roste s drsností povrchu. Tento nárůst není nijak značný, ale je patrný. Nejvíce z rostoucí tendence u všech tlaků vybočuje rozmezí mezi broušenou hrubou deskou a frézovanou jemnou deskou. Po broušenou hrubou desku je rostoucí tendence, potom je patrný pokles délky zatečení na frézované jemné desce, ale tendence je od ní opět rostoucí.

10.5 Vyhodnocení PP Hostacom M4 U05 (40% mastek)

Desky v níže uvedených grafech byly vzestupně seřazeny podle drsnosti povrchu. Seřazeny byly od nejjemnější desky Ra 0,10 μm (leštěná) až po nejdrsnější Ra 12,74 μm (dezén hrubý). Protože výsledky měly u všech vstřikovacích tlaků stejný průběh, byl jeden tlak zvolen jako zástupce daného vstřikovaného materiálu. Pro materiál HDPE 25055E

jsem jako zástupce zvolil tlak 8 MPa. Byl zvolen, protože rostoucí tendence zde byla dobře patrná. Níže (Obr. 51) byly ve 3D grafu znázorněny všechny délky zatečení v závislosti na povrchu zkušební desky a vstřikovacím tlaku.

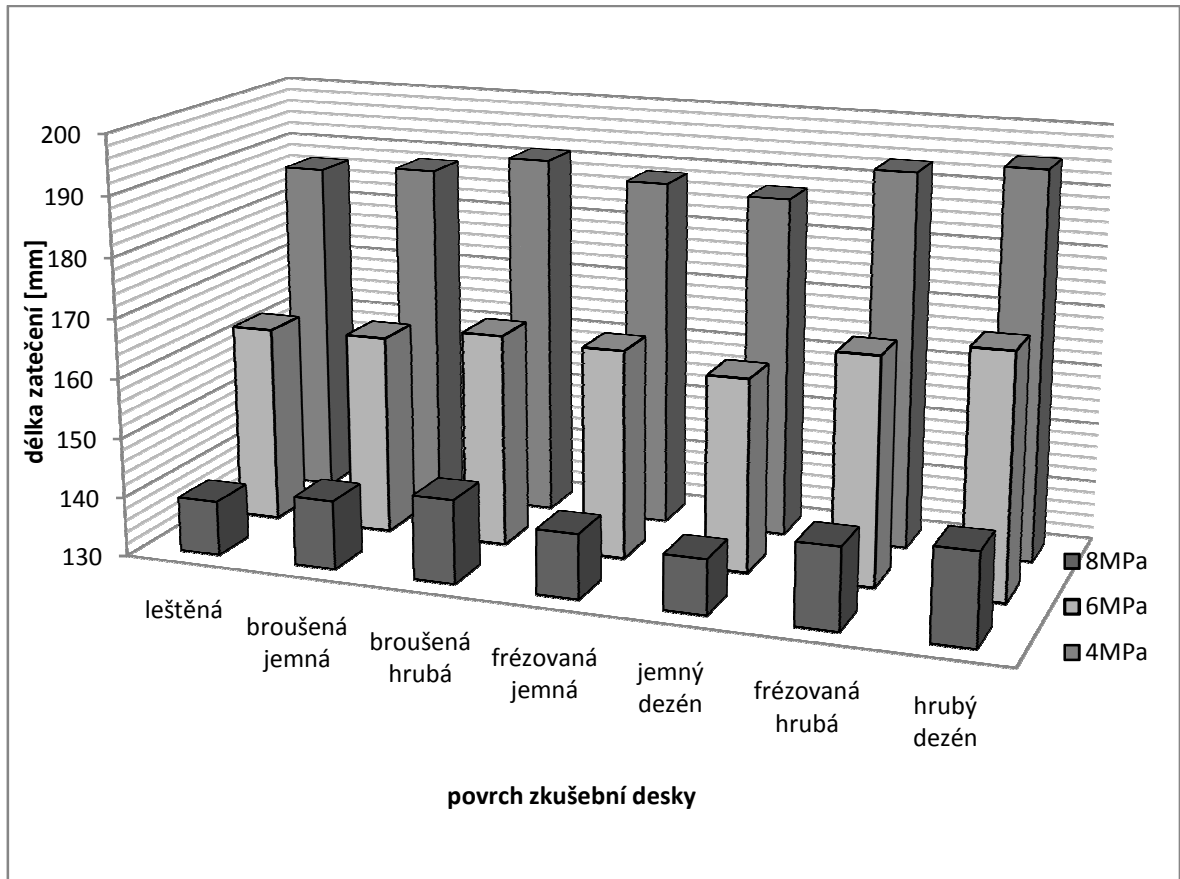
10.5.1 PP Hostacom M4 U05 vstřikovací tlak 8 MPa



Obr. 50 Graf délky zatečení – PP Hostacom M4 U05 (8MPa)

Diskuse výsledků:

Jak je patrné z grafu (Obr. 50), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytuje se zde určitá nelinearita a to u desek frézované jemné a desky s jemným dezénem, které mají oproti broušené hrubé desce, která má nižší drsnost kratší délku zatečení.



Obr. 51 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PP Hostacom M4 U05

Diskuse výsledků 3D graf:

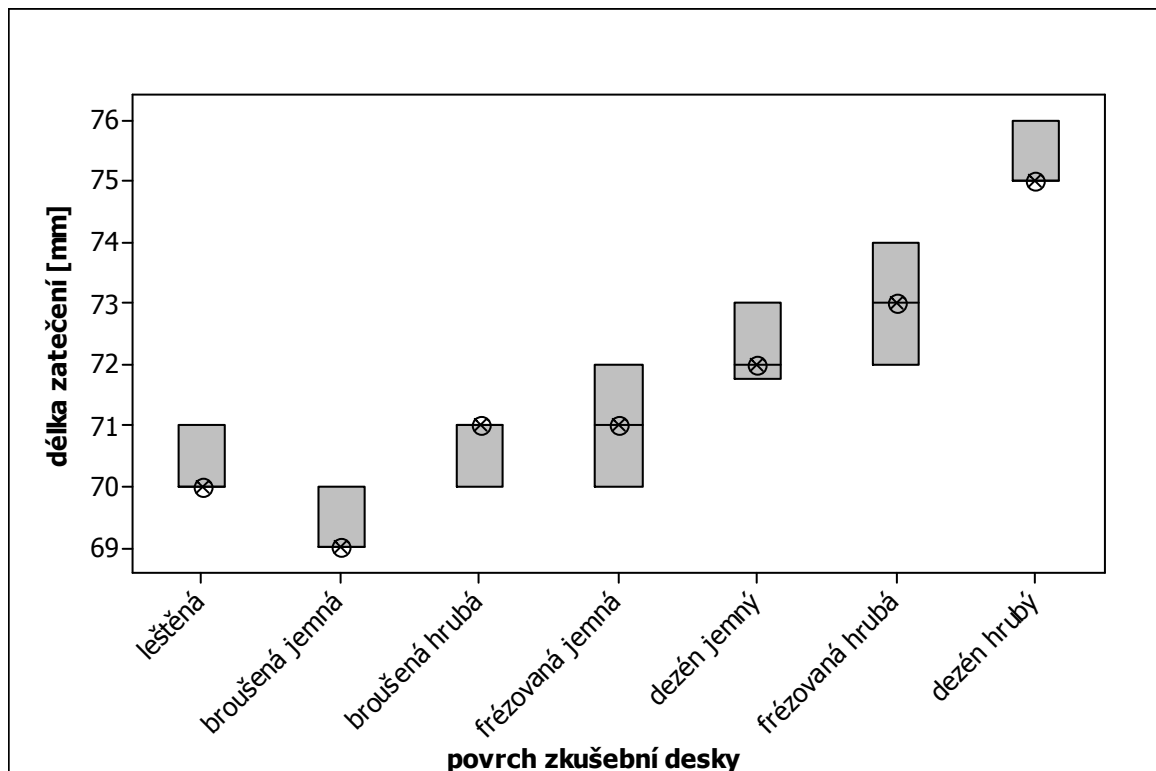
Jak je patrné z grafu (Obr. 51), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity, ale celková tendence u všech vstřikovacích tlaků je, že délka zatečení roste s drsností povrchu. Tento nárůst není nijak značný, ale je patrný. Nejvíce z rostoucí tendence u všech tlaků vybočuje rozmezí mezi broušenou hrubou deskou a frézovanou jemnou deskou. Po broušenou hrubou desku je rostoucí tendence, potom je patrný pokles délky zatečení na frézované jemné desce a jemném dezénu, ale tendence je od jemného dezénu opět rostoucí.

10.6 Vyhodnocení PC + ABS – blend

Desky v níže uvedených grafech byly vzestupně seřazeny podle drsnosti povrchu. Seřazeny byly od nejjemnější desky Ra 0,10 μm (leštěná) až po nejdrsnější Ra 12,74 μm (dezén hrubý). Protože výsledky měly u všech vstřikovacích tlaků stejný průběh, byl jeden

tlak zvolen jako zástupce daného vstřikovaného materiálu. Pro materiál PC + ABS - blend jsem jako zástupce zvolil tlak 4 MPa. Byl zvolen, protože rostoucí tendence zde byla dobře patrná. Níže (Obr. 53) byly ve 3D grafu znázorněny všechny délky zatečení v závislosti na povrchu zkušební desky a vstřikovacím tlaku.

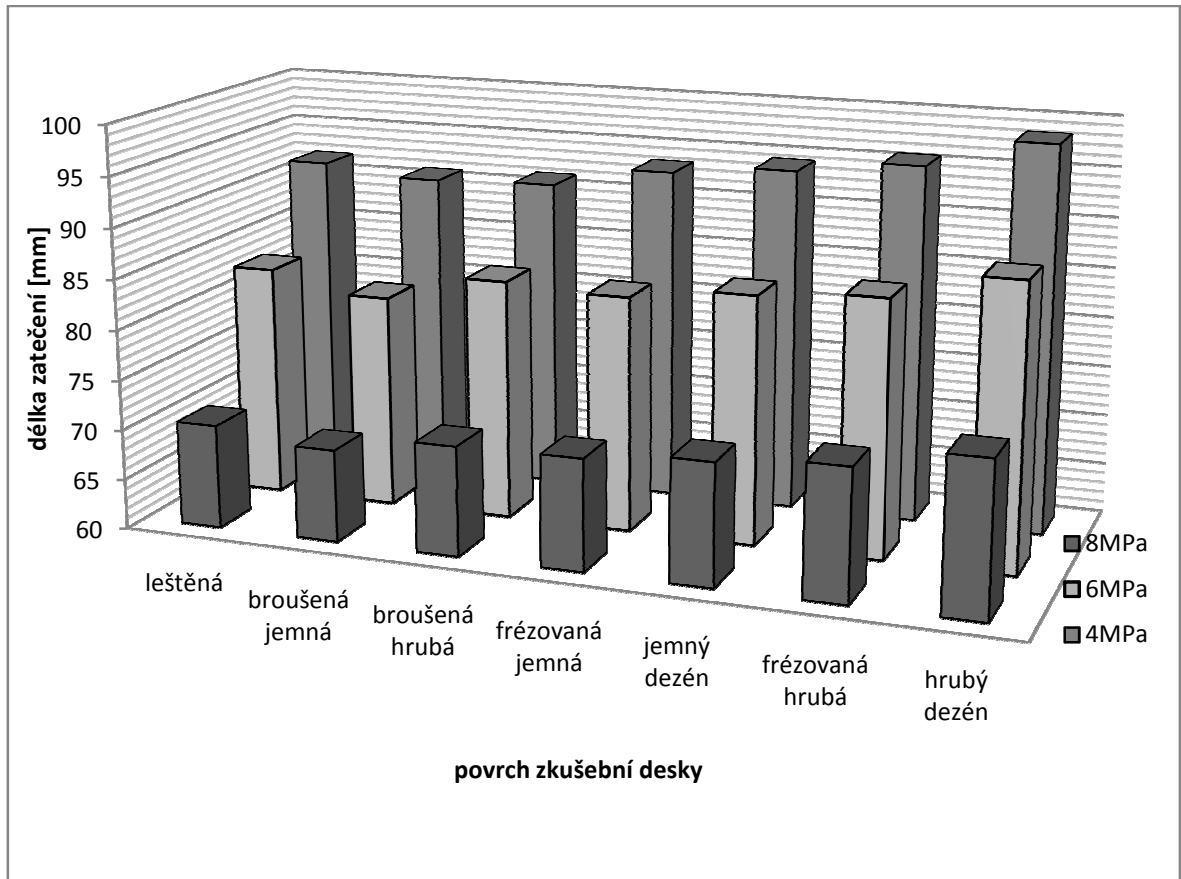
10.6.1 PC + ABS vstřikovací tlak 4 MPa



Obr. 52 Graf délky zatečení – PC + ABS (4MPa)

Diskuse výsledků:

Jak je patrné z grafu (Obr. 52), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Z rostoucí tendence vybočuje pouze leštěná deska, která má větší délku zatečení i když její povrch má nižší drsnost než broušená jemná deska.

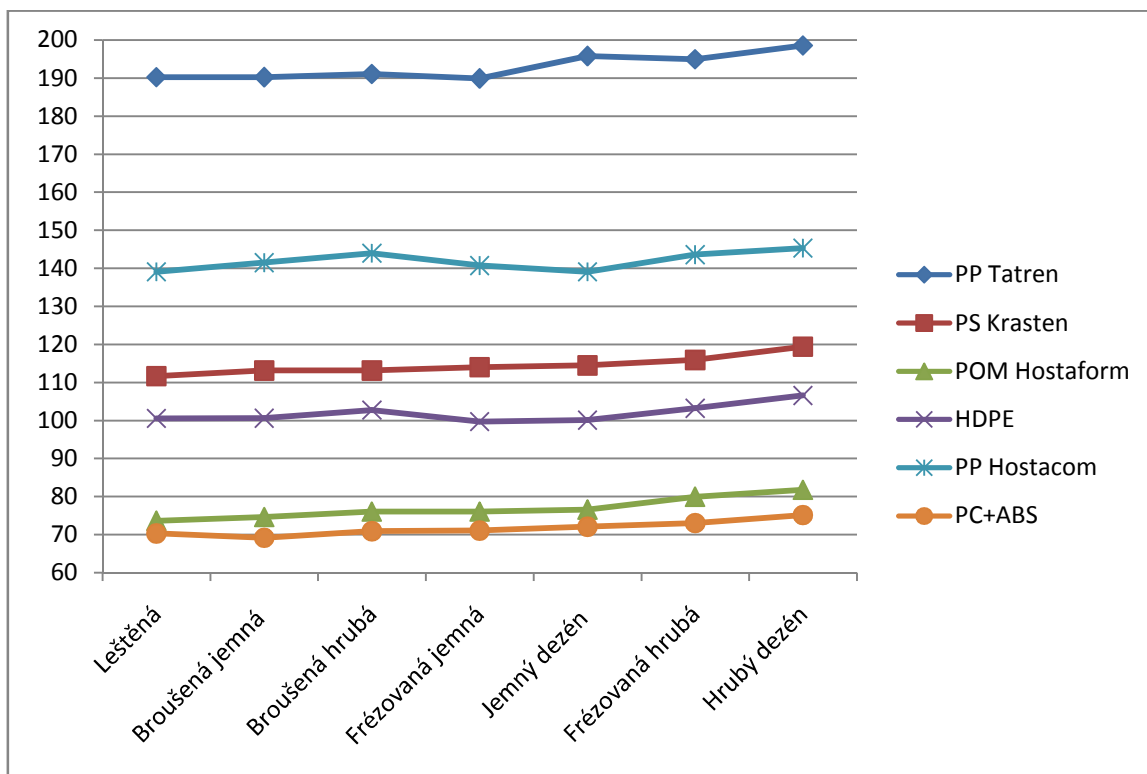


Obr. 53 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovací tlak
- PC + ABS - blend

Diskuse výsledků 3D graf:

Jak je patrné z grafu (Obr. 53), délka zatečení roste s drsností povrchu zkušební desky. Vyskytují se zde určité nelinearity, ale celková tendence u všech vstřikovacích tlaků je, že délka zatečení roste s drsností povrchu. Tento nárůst není nijak značný, ale je patrný. Z rostoucí tendence vybočuje leštěná zkušební deska, která má větší délku zatečení u všech vstřikovacích tlaků.

10.7 Srovnání materiálů



Obr. 54 Srovnání délek zatečení jednotlivých testovaných materiálů

Tab. 21 Srovnání průměrných délek zatečení materiálů na zkušebních deskách

Deska \ Materiál	PP Tatren	PS Krasten	POM Hostaform	HDPE	PP Hostacom	PC+ABS
Leštěná	190,2	111,6	73,6	100,6	139,1	70,3
Broušená jemná	190,2	113,1	74,7	100,6	141,5	69,2
Broušená hrubá	191,0	113,1	76,1	102,7	144,0	70,9
Frézovaná jemná	189,8	114,0	76,1	99,7	140,7	71,1
Jemný dezén	195,7	114,5	76,5	100,1	139,1	72,1
Frézovaná hrubá	194,9	115,9	79,9	103,2	143,6	73,0
Hrubý dezén	198,5	119,4	81,8	106,6	145,3	75,2

11 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT SE SIMULACÍ

Pro srovnání naměřených dat a simulací v programu Autodesk Moldflow Insight (dále jen AMI), byl vybrán materiál POM Hostaform C 13021 od firmy Ticona. Tento materiál byl vybrán, protože v materiálové databázi programu AMI se nachází přesně tento typ materiálu od stejného výrobce, takže výsledky mohly být hodnověrně porovnány.

V programu Catia V5R18 byla vymodelována spirála podle rozměrů tvarové desky formy. Tento model byl poté převeden do formátu *.stl a byl nahrán do programu AMI. Poté byly vytvořeny v Catia V5R18 trajektorie temperačních kanálů. Ty byly převedeny na formát *.igs a následně vloženy do programu AMI.

Pro všechny vložené součásti byla vytvořena síť (2,5D dual domain) a ta následně upravena, aby byly výsledky co nejpřesnější.

V programu AMI byly nastaveny parametry temperačních kanálů jako průtok média (voda) a teplota temperačního média (Tab. 20). Dále byl zvolen materiál (POM Hostaform C 13021), zvolen byl i vstřikovací stroj (Arburg 420 C Allrounder 1000 – 350), shodný se strojem v dílnách, na kterém bylo prováděno vstřikování zkušebních tělísek. Byly nastaveny teploty taveniny, vstřikovací rychlost, vstřikovací tlak, doba cyklu, dotlak, atd.

Všechny nastavené parametry se shodují s nastavením přímo na vstřikovacím stroji při vstřikování skutečných zkušebních tělísek.

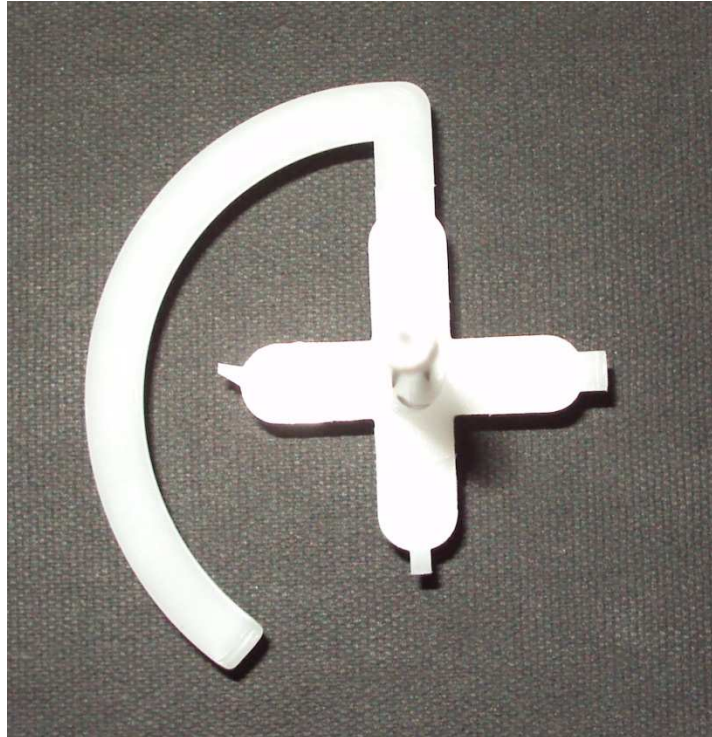
Výsledky jsou pouze pro leštěný povrch (R_a 0,1 μm) zkušební desky, protože program AMI nedovoluje měnit nastavení drsnosti povrchu. Je nastaven právě na leštěný povrch. Byly provedeny 3 simulace a to pro hydraulický vstřikovací tlak 4, 6 a 8 MPa.

Tab. 22 Parametry vstřikovacího cyklu

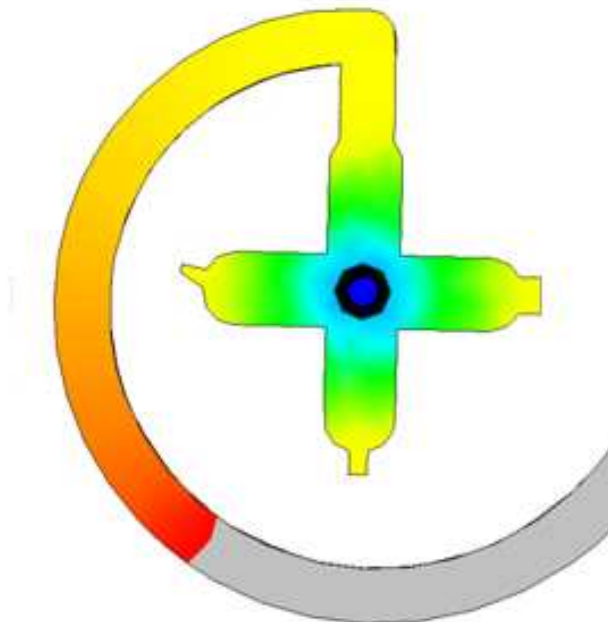
Parametr	Hodnota
Vstřikovací rychlost	60 mm.s ⁻¹
Vtokové ústí	6 mm
Vstřikovací tlak (hydraulický)	4; 6; 8 MPa
Dotlak	80% vstřikovacího tlaku (3,2; 4,8; 6,4 MPa)
Zkušební deska	leštěná

11.1 Grafické srovnání délky zatečení pro materiál POM Hostaform

11.1.1 Vstřikovací tlak 4 MPa

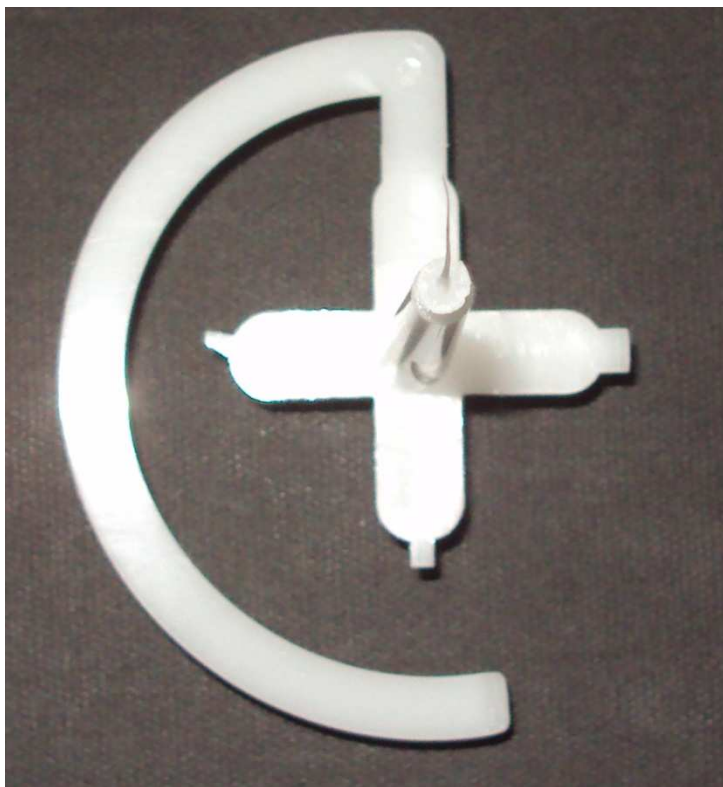


Obr. 55 Reálné zkušební tělísko- 4MPa

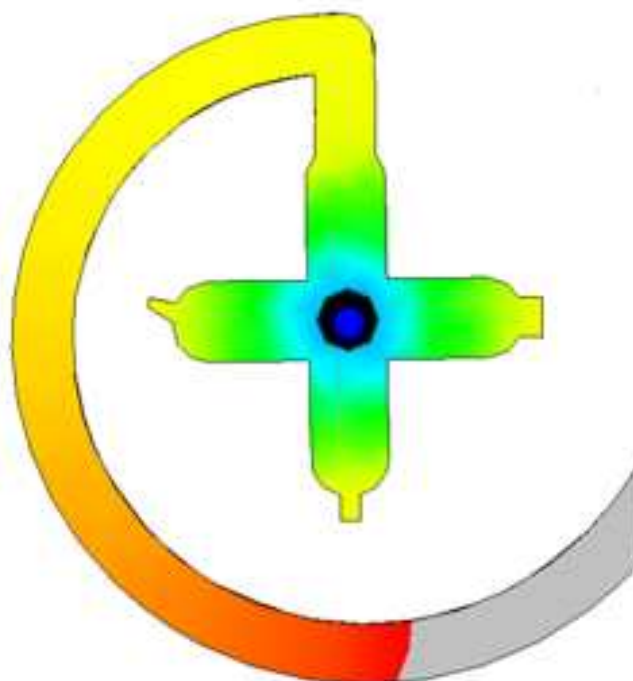


Obr. 56 Simulace zkušebního tělíska – 4MPa

11.1.2 Vstříkovací tlak 6 MPa

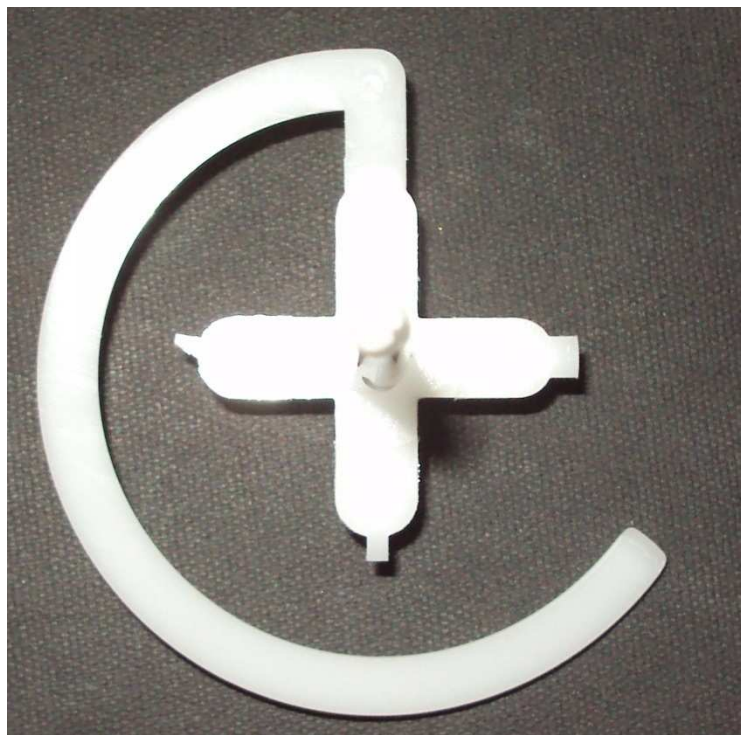


Obr. 57 Reálné zkušební tělísko- 6MPa

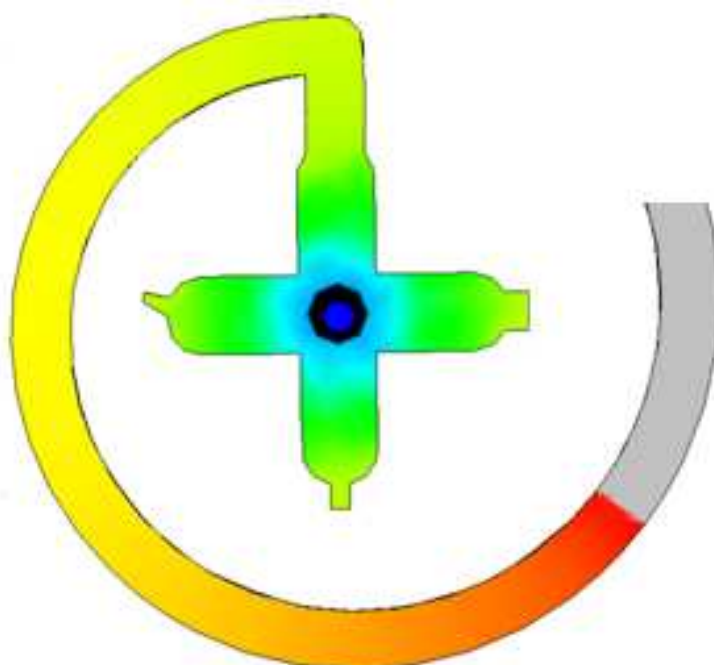


Obr. 58 Simulace zkušebního tělíška – 6MPa

11.1.3 Vstříkovací tlak 8 MPa



Obr. 59 Reálné zkušební tělísko- 8MPa



Obr. 60 Simulace zkušebního tělíska – 8MPa

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit vliv technologických parametrů, vstřikovacího tlaku, drsnosti povrchu a vstřikovaného materiálu na plnění dutiny vstřikovací formy taveninou.

Měření byla prováděna na laboratorní formě tvaru spirály pro snadné změření délky zatečení. Forma umožňovala měnit drsnosti povrchu tvarové zkušební desky její snadnou výměnou. Zkušební desky byly použity v opracování leštěná, broušená jemná, broušená hrubá, frézovaná jemná, dezén jemný, frézovaná hrubá, dezén hrubý (R_a od 0,10 μm do 12,74 μm). Tyto povrchy se běžně používají v technické praxi.

Bylo vybráno šest materiálů, u kterých byl předem změřen index toku taveniny. Byly vybrány takové termoplastické materiály, které se běžně používají v praxi a se kterými se i často pracuje v dílnách Fakulty technologické.

Po nastavení příslušných hodnot vstřikovacího cyklu na vstřikovacím stroji a vytemperování všech teplotních pásem šneku i vytemperování formy byly vystříknuty zkušební tělíska (spirály). Každý materiál se vstřikoval na výše zmíněných sedmi deskách, kdy na každé desce byly použity tři vstřikovací tlaky. Ostatní parametry byly konstantní. Pro jednotlivá nastavení bylo vystříknuto vždy třicet tělísek. Na těliscích byla změřena délka zatečení. Délka spirály byla odrazem plnění dutiny formy v závislosti na jakosti povrchu a vstřikovacího tlaku.

Na základě všech provedených měření a zpracování získaných dat byly zjištěny následující skutečnosti:

1. vstřikovací tlak má zásadní vliv na délku zatečení. S rostoucím vstřikovacím tlakem roste i délka zatečení (zvyšuje se plnění dutiny formy). Jak je patrné (Obr. 43; 45; 47; 49; 51; 53) rozdíl mezi délkami zatečení je jednoznačný a projevil se u všech šesti materiálů. Toto odpovídá předpokladům a získané výsledky předpoklady potvrdily,
2. také je z měření patrné, že délka zatečení je více či méně závislá na drsnosti povrchu. Až na drobné odchylky u některých materiálů, roste délka zatečení se zvyšující se drsností povrchu zkušební desky. Tento růst délky zatečení s rostoucí drsností byl pozorován u všech vstřikovacích tlaků a všech použitých materiálů. Z těchto naměřených výsledků lze vyvodit, že povrchy dutin formy a rozvodných kanálů nemusejí být broušeny či leštěny a ušetří se tak náklady s touto úpravou

spojené. Samozřejmě jsou tyto operace nutné, pokud je povrch přímo definován. Leštění je také výhodné z hlediska delší životnosti formy, nedochází tolik k abrazivnímu opotřebení povrchu. Leštěné povrchy jsou snáze odformovatelné,

3. vstřikovaný materiál a jeho vlastnosti mají vliv na délku zatečení. Viskozita materiálu má vliv na zatékavost, nižší viskozita má za následek větší délku zatečení,
4. jak je patrné ze simulací (Obr. 55 ÷ 60), tak délka zatečení při skutečném vstřikování je téměř shodná s délkou zatečení při provedení simulace v programu Autodesk Moldflow Insight. Rozdíly v délce zatečení reálného tělíska a simulace je více patrná při vyšším vstřikovacím tlaku. Z toho vyplývá, že simulace v programu AMI je dosti přesná a dá se bezpečně používat pro simulace vstřikování. Pouze s omezením, že povrch dutiny formy je leštěný.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo posoudit vliv kvality povrchu dutiny vstřikovací formy na délku zatečení jednotlivých termoplastických polymerů, které jsou běžně používané v praxi. Sledován byl nejen vliv jakosti povrchu, ale také vstřikovacího tlaku a použitého vstřikovaného materiálu.

Získané výsledky z provedených měření naznačují, že kvalita povrchu dutiny formy má jistý vliv na délku zatečení. Z naměřených hodnot je patrné, že s rostoucí drsností povrchu roste i délka zatečení. Tento nárůst délky není nijak značný, ale je patrný. Z toho vyplývá, že by povrch dutiny formy nemusel být bezpodmínečně broušen či leštěn. A výsledky budou totožné či dokonce lepší. Pokud by si zákazník přímo nepřál leštěný povrch, anebo by tento povrch nebyl nutný k odformování výstřiku nemusela by se dutina formy upravovat leštěním. Ušetřily by se tím nemalé náklady s procesem leštění spojené a v neposlední řadě by se ušetřil čas na tuto dokončovací operaci, která je většinou prováděna ručně a je tedy časově náročná.

Výsledky jsou na první pohled překvapující v tom směru, že tavenina na drsnějším povrchu lépe teče. Tento jev by mohl být zapříčiněn několika faktory:

1. na drsnějším povrchu dochází k většímu tření mezi taveninou a povrchem zkušební desky a tím by v důsledku disipace mohlo vznikat přídatné teplo, které zapříčiní pomalejší chladnutí taveniny a tím i větší délku zatečení,
2. naopak to může být dáno tím, že drsnější desky mají větší styčnou plochu mezi taveninou a povrchem zkušební desky. Díky tomu se tenká vrstva taveniny na povrchu zkušební desky rychleji zchladí a tak vznikne díky zatuhlému polymeru izolační vrstva a materiál, který teče uprostřed, si uchovává vyšší teplotu a díky tomu může dále zatéct.

Vzhledem k těmto zjištěním by bylo přínosné v obdobných měřeních dále pokračovat. Doporučil bych zaměřit se na použitý vstřikovaný materiál, jeho přísady, recyklát apod. Popřípadě se věnovat různým nastavením vstřikovacího cyklu jako je vstřikovací rychlost, teplota taveniny a formy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŇAS, M., VLČEK, J.: *Aplikovaná reologie*, Zlín, UTB-Academia centrum, 2001, ISBN 80-7318-039-1
- [2] OBADAL, M.: *Konstrukční materiály*, Zlín, UTB, 2005
- [3] PECH, J.: *Výroba plastů*, Praha SNTL, 1961, ISBN 04-624-77
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I.díl - Vstřikování termoplastů*. 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 134s.
- [5] MLEZIVA, J.: *Polymery*, Praha, Sobotáles, 1993, ISBN 80-901570-4-1
- [6] PROKOPOVÁ, I.: *Makromolekulární chemie*, Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007, ISBN 978-80-7080-622-3
- [7] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*, Praha, SNTL 1989
- [8] BEAUMONT, J.P.: *Successful Injection molding*, Munchen, Hansen, 2002, ISBN 3- 446-19433-9
- [9] ZATLOUKAL, M.: *Aplikovaná reologie*, přednášky T7ARL
- [10] SCHATZ, M., VONDRÁČEK, P.: *Zkoušení polymerů*, Praha, SNTL, 1979
- [11] ČSN EN ISO 1133
- [12] TOMIS, F.: *Gumárenská a plastikářská technologie, zpracovatelské procesy*, Brno, VUT 1987, ISBN 55-552-87
- [13] RŮŽIČKA, K., POSPÍŠIL, L.: *Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I.*, Gottwaldov, VÚGPT 1979
- [14] KOČMAN, K., PROKOP, J.: *Technologie obrábění*, 2. vydání, Brno, VUT 2005, ISBN 80-214-3068-0
- [15] ČERNOCH, S.: *Strojně technická příručka*, Praha, SNTL 1968
- [16] LUKOVICS, I.: *Konstrukční materiály a technologie*, Brno, VUT 1992, ISBN 80-214-0399-3

- [17] KURDELOVÁ, L. *Průmyslové spektrum* [online]. 2009 [cit. 2010-11-19].
Nástrojové systémy pro optimalizaci systému frézování. Dostupné z WWW:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/nastrojove-systemy-pro-optimalizaci-procesu-frezovani>>.
- [18] BARCAL, J., *Nekonvenční metody obrábění*, 1. vydání, Praha, Ediční středisko ČVUT, 1989, Č.P. 6523
- [19] SANDVIK, C.,: *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*, přeložil Kudela Miroslav, Praha, Scientia 1997, ISBN 91-97 22 99-4-6
- [20] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F.: *Základy konstruování*, Brno, Akademické nakladatelství CERM 2003, ISBN 80-7204-306-4
- [21] ČERNÝ, F.; TRMAL, J.; MARŠÁLEK, J.: *Brusky a broušení*. Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970
- [22] LUKOVICS, I.: *Technické kreslení*, Brno, VUT 1988
- [23] BOBČÍK, L. a kol.: *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*, Brno, UNIPLAST 1999
- [24] LENFELD, P. *Technologie II.-Vstřikování plastů*, TU v Liberci, 2006
- [25] TOMIS, F., *Základy gumárenské a plastikářské technologie*, Brno, VUT 1980
- [26] KOLOUCH, J.: *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*, Praha, SNTL 1986, ISBN 04-247-86
- [27] KUTA, A., *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*, Praha, VŠCHT 1999, ISBN 80-7080-367-3
- [28] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J., *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*, Brno, VUT 1990, ISBN 80-214-0213-X
- [29] TOMIS, F., RULÍK, F.: *Gumárenské a plastikářské stroje II*, Brno, VUT 1981, ISBN 05-105-81
- [30] TOMIS, F., HELŠTÝN, J., *Formy a přípravky*, 2. vydání, Brno, VUT 1985
- [31] *Slovnaft.sk* [online]. 2010 [cit. 2011-04-19]. Vlastnosti PP Tatren. Dostupné z WWW: www.slovnaft.sk/repository/501913
- [32] *Kaucuk.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-04-19]. Vlastnosti PS Krasten. Dostupné z WWW: www.kaucuk.cz/docs/KRASTEN-GPPSwww.pdf

- [33] *Ticona.com* [online]. 2010 [cit. 2011-04-19]. Product data POM Hostaform® C 13021. Dostupné z WWW: <http://tools.ticona.com/tools/mcbasei/product-tools.php?sPolymer=POM&sProduct=HOSTAFORM>
- [34] *Dow.com* [online]. 2006 [cit. 2011-04-19]. Technical information HDPE 25055E. Dostupné z WWW: <http://catalog.ides.com/DocSelect.aspx?I=70673&E=49382&DOC=DOWTDS&DS=123&DK=STD&DC=en>
- [35] *Lyondellbasell.com* [online]. 2010 [cit. 2011-04-19]. Product Description Hostacom M4 U05 102943. Dostupné z WWW: <http://www.alastian.com/portal/binary/com.vignette.vps.basell.productgrade.ProductGradeFileDisplay?id=11a23f0eb9474210VgnVCM1000004d41a8c0RCRD&type=iso>
- [36] *Lpm.cz* [online]. 2008 [cit. 2011-04-22]. Datový list polykarbonát + ABS-blend. Dostupné z WWW: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2271&lng=1>
- [37] *DYNISCO : Kayeness polymer test system*. Heilbron (Germany) : Dynisco plastics, 1997. 53 s. BA4000D
- [38] *Helago-cz.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Obecné informace GF-200 EC - Váha přesná. Dostupné z WWW: <http://www.helago-cz.cz/product/gf-200-ec-presna-vaha/>
- [39] ČSN EN ISO 1133. *Plasty – stanovení hmotnostního (MFR) a objemového (MVR) indexu toku taveniny termoplastů*. [s.l.] : Český normalizační institut, 2000. 15 s. ICS 83 080 20
- [40] *Arburg.com* [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z WWW: <http://arburg.com/com/COM/en/index.jsp>
- [41] *Bodelin : ProScope HR* [online]. 2011 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <http://www.bodelin.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Význam zkratky.
PP		Polypropylen
ABS		Akrylonitrilbutadienstyren
PC		Polykarbonát
POM		Polyoxymetylén
PS		Polystyren
De	[-]	Debořino číslo
λ	[s]	Relaxační doba
θ	[s]	Doba zpracování
Tg	[°C]	Teplota skelného přechodu
Tm (Tf)	[°C]	Teplota tání semikrystalické (amorfní)
Tn	[°C]	Teplota rozpadu
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
$\dot{\gamma}$	[1/s]	Rychlost smykové deformace
τ	[MPa]	Smykové napětí
η	[Pa.s]	Smyková viskozita
F	[N]	Síla
Mt	[N.m]	Kroutící moment
φ	[rad]	Úhel zkrutu
Wt	$[\pi d^3 / 16]$	Torzním průřezový modul
r	[mm]	Poloměr otáčení
ω	[rad/s]	Úhlová rychlost
ψ	[°]	Úhel mezi kuželem a deskou
Q	$[m^3 / s]$	Průtoková rychlost

p	[MPa]	Tlak
F_v	[N]	Viskózní síla
F_p	[N]	Hnací síla
L	[mm]	Délka kapiláry, délka šneku
π	[-]	Ludolfovo číslo
τ_w	[MPa]	Napětí na stěně kapiláry
D_w	[1/s]	Rychlost deformace na stěně kapiláry
R_a	[μm]	Střední aritmetická úchylka povrchu
ITT	[g/10min]	Index toku taveniny
MFR	[g/10min]	Hmotnostní index toku taveniny
MVR	[g/10min]	Objemový index toku taveniny
D	[mm]	Průměr šneku
m	[g]	Průměrná hodnota hmoty pramenů
t_{ref}	[s]	Referenční čas
t	[s]	Časový interval odřezávání vzorků
IQR	[-]	Interkvartilové rozpětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělené polymerů	13
Obr. 2 Vlastnosti termoplastických polymerů	14
Obr. 3 Závislost smykové viskozity na rychlosti smykové deformace [9].....	24
Obr. 4 Závislost smykové viskozity na teplotě a tlaku [9]	25
Obr. 5 Fontánový tok [9]	26
Obr. 6 Rychlostní profil [9]	26
Obr. 7 Oblast použití viskozimetrů [1]	27
Obr. 8 Viskozimetr válec-válec [9].....	29
Obr. 9 Rotační viskozimetr kužel – deska [9]	30
Obr. 10 Kapilární viskozimetr	32
Obr. 11 Porovnání tokových křivek pro dva materiály se stejným ITT [7].....	34
Obr. 12 Archimédova spirála.....	34
Obr. 13 Druhy frézování [17]	36
Obr. 14 Rovinné broušení [14]	39
Obr. 15 Princip elektroerozivního obrábění [14].....	40
Obr. 16 Příklady výrobků vyráběných elektrojiskrovou metodou [16].....	41
Obr. 17 Hloubení dutin forem.....	42
Obr. 18 Princip zařízení pro elektrokontaktní obrábění [16].....	42
Obr. 19 Principiální schéma anodomechanického obrábění [14]	43
Obr. 20 Příčný a podélný profil povrchu	44
Obr. 21 Vzorkovnice drsnosti povrchu	46
Obr. 22 Vstřikovací cyklus termoplastů	49
Obr. 23 Diagram p-v-T pro plnění formy [27]	51
Obr. 24 Vstřikovací stroj [28].....	52
Obr. 25 Rozdělení vstřikovacích jednotek podle způsobu plastikace [29].....	53
Obr. 26 Rozdělení uzavíracích ústrojí [29].....	54
Obr. 27 Granulát – PP Tatren HM 50 46.....	63
Obr. 28 Granulát – PS Krasten 154	64
Obr. 29 Granulát POM – Hostaform C 13021	65
Obr. 30 Granulát – HDPE 25055E	66
Obr. 31 Granulát – PP M4 U05 Hostacom	67
Obr. 32 Granulát – PC+ABS-blend	68

Obr. 33 Výtlačný plastometr Kayeness	69
Obr. 34 Digitální váhy AND GF-200 EC [38]	71
Obr. 35 Grafické srovnání MFR použitých materiálů	73
Obr. 36 Přenosný mikroskop ProScope HR	74
Obr. 37 Tvarová deska.....	76
Obr. 38 Arburg 420 C Allrounder 100-350 [40]	77
Obr. 39 Sušárna Thermolift [40].....	78
Obr. 40 Přípravek na měření délky zatečení.....	80
Obr. 41 Výstřik umístěný v přípravku	80
Obr. 42 Graf délky zatečení – PP Tatren HM 50 46 (8MPa)	81
Obr. 43 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PP Tatren HM 50 46.....	82
Obr. 44 Graf délky zatečení – PS Krasten 154 (4MPa).....	83
Obr. 45 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PS Krasten 154	84
Obr. 46 Graf délky zatečení – POM Hostaform C 13021(4MPa)	85
Obr. 47 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - POM Hostaform C 13021.....	86
Obr. 48 Graf délky zatečení – HDPE 25055E (4MPa).....	87
Obr. 49 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - HDPE 25055E	88
Obr. 50 Graf délky zatečení – PP Hostacom M4 U05 (8MPa).....	89
Obr. 51 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PP Hostacom M4 U05	90
Obr. 52 Graf délky zatečení – PC + ABS (4MPa).....	91
Obr. 53 3D graf délky zatečení v závislosti na drsnosti zkušební desky a vstřikovacím tlaku - PC + ABS - blend	92
Obr. 54 Srovnání délek zatečení jednotlivých testovaných materiálů.....	93
Obr. 55 Reálné zkušební tělísko- 4MPa	95
Obr. 56 Simulace zkušební tělísko – 4MPa	95
Obr. 57 Reálné zkušební tělísko- 6MPa	96
Obr. 58 Simulace zkušební tělísko – 6MPa	96
Obr. 59 Reálné zkušební tělísko- 8MPa	97

Obr. 60 Simulace zkušebního tělíska – 8MPa97

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Dosahované parametry přesnosti obrobených ploch pro abrazivní metody obrábění [14].....	37
Tab. 2 Drsnost povrchu – Informativní přehled hodnot	46
Tab. 3 Optimální drsnost povrchu pro různé stupně přesnosti obrábění	47
Tab. 4 Typické vlastnosti pro PP Tatren HM 50 46 [31]	63
Tab. 5 Typické vlastnosti pro PS Krasten 154 [32].....	64
Tab. 6 Typické vlastnosti pro POM Hostaform C 13021 [33]	65
Tab. 7 Typické vlastnosti pro HDPE 25055E [34].....	66
Tab. 8 Typické vlastnosti pro PP M4 U05 Hostacom [35].....	67
Tab. 9 Typické vlastnosti pro PC+ABS-blend [36].....	68
Tab. 10 Technické parametry plastometru Kayeness [37]	70
Tab. 11 Parametry pro stanovení MFR.....	70
Tab. 12 Technické parametry digitální váhy GF-200 EC[38]	71
Tab. 13 Hmotnosti vzorků jednotlivých materiálů v gramech	72
Tab. 14 Vypočítané hodnoty MFR pro použité materiály	73
Tab. 15 Technické parametry přístroje ProScope HR	75
Tab. 16 Povrchy zkušebních desek pro vstřikování termoplastů.....	75
Tab. 17 Parametry vstřikovacího stroje [40]	77
Tab. 18 Parametry sušení materiálů.....	79
Tab. 19 Parametry vstřikovacího cyklu	79
Tab. 20 Nastavení teplot vstřikovacího stroje pro jednotlivé materiály	79
Tab. 21 Srovnání průměrných délek zatečení materiálů na zkušebních deskách.....	93
Tab. 22 Parametry vstřikovacího cyklu	94

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA P1: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PP Tatren HM 50 46
- PŘÍLOHA P2: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PS Krasten 154
- PŘÍLOHA P3: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro POM Hostaform C 13021
- PŘÍLOHA P4: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro HDPE 25055E
- PŘÍLOHA P5: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PP Hostacom M4 U05
- PŘÍLOHA P6: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PC + ABS

(Přílohy jsou součástí elektronické podoby diplomové práce v PDF na přiloženém CD).

**PŘÍLOHA P I: TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT A STATISTIKA
PRO PP TATREN HM 50 46**

leštěná

broušená jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	191	243	306
2	190	244	306
3	191	243	305
4	188	241	305
5	192	241	306
6	191	244	304
7	190	244	304
8	188	243	304
9	192	244	304
10	191	244	304
11	190	242	304
12	189	244	304
13	191	245	304
14	189	242	306
15	189	243	305
16	191	244	306
17	190	244	305
18	188	244	306
19	190	243	305
20	191	244	306
21	189	244	305
22	191	244	304
23	192	244	305
24	191	244	305
25	189	243	304
26	191	243	305
27	192	242	306
28	190	244	304
29	191	244	305
30	189	243	305
X	190,233	243,367	304,900
s ²	1,446	0,899	0,623
s	1,202	0,948	0,790
v	0,006	0,004	0,003

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	190	245	305
2	190	244	306
3	193	246	304
4	193	244	307
5	190	245	306
6	191	245	306
7	191	245	305
8	192	245	304
9	189	246	304
10	192	244	304
11	193	244	304
12	189	246	304
13	192	244	307
14	193	245	305
15	191	243	307
16	189	244	305
17	193	245	308
18	191	245	305
19	194	245	308
20	190	245	305
21	191	244	304
22	190	245	304
23	192	246	307
24	190	244	305
25	191	244	305
26	190	246	306
27	191	245	305
28	189	245	307
29	191	246	305
30	190	244	306
X	191,033	244,800	305,433
s ²	1,899	0,627	1,512
s	1,378	0,792	1,230
v	0,007	0,003	0,004

broušená hrubá

frézovaná jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	190	245	310
2	191	244	311
3	192	246	308
4	191	245	308
5	189	245	309
6	191	244	308
7	191	243	308
8	189	245	308
9	191	244	307
10	188	245	307
11	190	245	311
12	191	245	307
13	190	245	307
14	188	246	308
15	191	245	309
16	189	246	307
17	191	245	311
18	189	245	310
19	188	246	308
20	191	244	309
21	190	244	308
22	191	244	311
23	190	244	308
24	190	245	307
25	192	245	307
26	191	245	309
27	190	246	308
28	189	245	308
29	190	246	309
30	191	245	308
X	190,167	244,900	308,467
s ²	1,206	0,557	1,649
s	1,098	0,746	1,284
v	0,006	0,003	0,004

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	190	245	305
2	190	246	305
3	188	246	306
4	190	245	303
5	187	245	304
6	190	245	303
7	190	245	305
8	191	246	306
9	188	244	306
10	191	245	306
11	188	245	305
12	191	245	307
13	190	244	308
14	190	245	307
15	188	246	309
16	191	246	308
17	191	245	308
18	190	245	305
19	191	246	306
20	191	245	305
21	187	245	305
22	191	246	305
23	190	246	305
24	190	245	306
25	189	245	306
26	191	246	305
27	190	246	308
28	191	245	305
29	189	246	306
30	191	245	307
X	189,833	245,300	305,833
s ²	1,539	0,343	2,006
s	1,241	0,586	1,416
v	0,007	0,002	0,005

dezén jemný

frézovaná hrubá

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	197	257	313
2	196	255	315
3	195	247	313
4	195	255	313
5	196	253	312
6	194	254	312
7	198	255	311
8	196	251	311
9	197	253	311
10	194	254	311
11	196	253	311
12	197	252	313
13	195	254	312
14	194	249	313
15	194	256	312
16	195	255	311
17	196	255	311
18	197	256	311
19	196	255	311
20	197	255	310
21	195	255	311
22	194	254	314
23	198	255	311
24	196	256	312
25	197	256	312
26	198	254	312
27	194	253	313
28	196	257	312
29	195	254	311
30	194	257	312
X	195,733	254,167	311,900
s ²	1,662	4,739	1,157
s	1,289	2,177	1,075
v	0,007	0,009	0,003

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	197	252	316
2	197	251	317
3	195	251	316
4	196	251	315
5	194	249	317
6	194	251	315
7	196	252	315
8	195	252	314
9	193	252	317
10	196	251	314
11	193	252	315
12	195	251	315
13	194	251	315
14	193	251	315
15	195	252	317
16	194	251	317
17	194	250	317
18	195	251	318
19	196	251	318
20	196	251	315
21	194	250	316
22	195	251	314
23	195	251	316
24	194	251	315
25	194	250	316
26	196	251	315
27	195	252	314
28	194	251	317
29	196	250	315
30	196	251	315
X	194,900	251,033	315,700
s ²	1,223	0,499	1,343
s	1,106	0,706	1,159
v	0,006	0,003	0,004

dezén hrubý

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	197	258	320
2	198	256	320
3	198	257	322
4	197	256	320
5	197	257	319
6	197	257	321
7	199	256	321
8	197	256	321
9	199	257	320
10	198	256	321
11	200	258	322
12	199	256	319
13	197	256	322
14	198	256	322
15	199	256	319
16	197	255	320
17	197	256	322
18	200	255	321
19	198	256	321
20	198	257	322
21	200	256	320
22	198	258	322
23	199	257	320
24	199	258	319
25	200	258	321
26	200	257	321
27	200	258	320
28	200	257	322
29	200	256	320
30	200	257	321
X	198,533	256,633	320,700
s ²	1,382	0,766	1,010
s	1,176	0,875	1,005

Statistika délek zatečení PP Tatren 4MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	190,23	0,223	1,22	188,00	189,00	190,50	191,00
broušená jemná	190,17	0,204	1,12	188,00	189,00	190,00	191,00
broušená hrubá	191,03	0,256	1,40	189,00	190,00	191,00	192,00
frézovaná jemná	189,83	0,230	1,26	187,00	189,00	190,00	191,00
dezén jemný	195,73	0,239	1,31	194,00	194,75	196,00	197,00
frézovaná hrubá	194,90	0,205	1,12	193,00	194,00	195,00	196,00
dezén hrubý	198,53	0,218	1,20	197,00	197,00	198,50	200,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	192,00	2,00	-0,36	-0,85
broušená jemná	192,00	2,00	-0,51	-0,51
broušená hrubá	194,00	2,00	0,34	-0,77
frézovaná jemná	191,00	2,00	-0,99	-0,07
dezén jemný	198,00	2,25	0,14	-1,05
frézovaná hrubá	197,00	2,00	0,05	-0,80
dezén hrubý	200,00	3,00	-0,02	-1,54

Statistika délek zatečení PP Tatren 6 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	243,37	0,176	0,964	241,00	243,00	244,00	244,00
broušená jemná	244,90	0,139	0,759	243,00	244,00	245,00	245,00
broušená hrubá	244,80	0,147	0,805	243,00	244,00	245,00	245,00
frézovaná jemná	245,30	0,109	0,596	244,00	245,00	245,00	246,00
dezén jemný	254,17	0,404	2,21	247,00	253,00	255,00	255,25
frézovaná hrubá	251,03	0,131	0,718	249,00	251,00	251,00	251,25
dezén hrubý	256,63	0,162	0,890	255,00	256,00	256,50	257,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	245,00	1,00	-1,08	0,74
broušená jemná	246,00	1,00	-0,33	0,04
broušená hrubá	246,00	1,00	-0,03	-0,61
frézovaná jemná	246,00	1,00	-0,19	-0,48
dezén jemný	257,00	2,25	-1,55	3,23
frézovaná hrubá	252,00	0,250	-0,65	1,08
dezén hrubý	258,00	1,00	0,20	-0,81

Statistika délek zatečení PP Tatren 8 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	304,90	0,147	0,803	304,00	304,00	305,00	306,00
broušená jemná	305,43	0,228	1,25	304,00	304,00	305,00	306,25
broušená hrubá	308,47	0,238	1,31	307,00	307,75	308,00	309,00
frézovaná jemná	305,83	0,263	1,44	303,00	305,00	306,00	307,00
dezén jemný	311,90	0,200	1,09	310,00	311,00	312,00	313,00
frézovaná hrubá	315,70	0,215	1,18	314,00	315,00	315,00	317,00
dezén hrubý	320,70	0,187	1,02	319,00	320,00	321,00	322,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	306,00	2,00	0,19	-1,41
broušená jemná	308,00	2,25	0,56	-0,71
broušená hrubá	311,00	1,25	0,82	-0,29
frézovaná jemná	309,00	2,00	0,24	0,01
dezén jemný	315,00	2,00	0,89	0,85
frézovaná hrubá	318,00	2,00	0,36	-0,87
dezén hrubý	322,00	2,00	-0,17	-1,06

PŘÍLOHA P2: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PS Krasten 154

leštěná

broušená jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	109	142	160
2	109	141	161
3	111	142	163
4	111	143	160
5	111	140	160
6	112	142	161
7	112	142	161
8	112	141	160
9	112	143	160
10	113	140	164
11	112	140	160
12	111	140	160
13	112	140	160
14	111	141	164
15	112	140	164
16	111	143	161
17	111	142	161
18	112	144	162
19	112	142	162
20	112	141	163
21	112	139	164
22	111	141	163
23	112	140	163
24	113	142	164
25	113	142	161
26	113	141	162
27	112	141	164
28	112	142	161
29	111	141	162
30	112	143	163
X	111,633	141,367	161,800
s ²	0,899	1,366	2,227
s	0,948	1,169	1,492
v	0,008	0,008	0,009

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	114	143	164
2	114	143	165
3	113	144	164
4	115	142	166
5	113	142	166
6	113	143	165
7	112	141	166
8	112	141	165
9	111	142	165
10	114	144	165
11	112	141	166
12	114	142	165
13	114	144	165
14	114	144	164
15	113	143	167
16	112	142	165
17	113	143	165
18	113	143	166
19	114	143	165
20	114	142	166
21	114	141	165
22	113	143	167
23	114	141	165
24	114	141	165
25	112	140	166
26	113	143	164
27	113	142	165
28	112	143	164
29	113	142	166
30	112	142	165
X	113,133	142,333	165,233
s ²	0,849	1,089	0,646
s	0,921	1,043	0,803
v	0,008	0,007	0,005

broušená hrubá

frézovaná jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	116	140	165
2	116	140	166
3	115	141	166
4	116	141	167
5	114	141	165
6	114	142	165
7	113	142	164
8	113	141	164
9	112	141	165
10	113	140	165
11	113	142	164
12	113	140	163
13	113	139	165
14	112	140	165
15	113	141	164
16	113	141	165
17	111	141	165
18	114	140	164
19	113	140	165
20	114	142	165
21	113	141	166
22	112	140	165
23	112	141	165
24	112	140	166
25	112	141	165
26	112	140	164
27	113	142	165
28	112	141	165
29	113	140	165
30	112	141	165
X	113,133	140,733	164,933
s ²	1,582	0,596	0,596
s	1,258	0,772	0,772
v	0,011	0,005	0,005

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	116	145	166
2	116	147	166
3	116	143	167
4	116	143	166
5	114	145	166
6	114	144	167
7	113	142	166
8	113	144	167
9	113	143	167
10	114	145	166
11	112	143	166
12	114	142	166
13	113	143	166
14	114	142	165
15	113	143	166
16	114	144	167
17	114	145	164
18	114	143	166
19	114	143	165
20	115	143	167
21	114	142	166
22	115	143	165
23	114	143	166
24	115	143	167
25	113	142	166
26	114	143	166
27	114	143	167
28	113	145	167
29	114	145	167
30	113	143	166
X	114,033	143,467	166,167
s ²	1,032	1,382	0,539
s	1,016	1,176	0,734
v	0,009	0,008	0,004

dežén jemný

frézovaná hrubá

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	113	143	169
2	113	144	168
3	114	144	167
4	114	143	167
5	114	144	167
6	114	146	168
7	115	145	166
8	115	145	166
9	115	145	166
10	116	146	165
11	115	143	167
12	115	144	167
13	115	143	168
14	115	142	170
15	116	144	167
16	114	143	168
17	115	144	167
18	116	144	169
19	114	143	167
20	115	145	168
21	113	144	168
22	114	144	167
23	114	143	168
24	114	143	167
25	114	144	168
26	114	146	167
27	114	143	166
28	115	144	169
29	114	143	167
30	115	144	168
X	114,467	143,933	167,400
s ²	0,649	0,996	1,107
s	0,806	0,998	1,052
v	0,007	0,007	0,006

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	118	144	171
2	118	144	170
3	117	144	171
4	115	143	170
5	116	143	170
6	115	145	170
7	115	145	169
8	115	144	170
9	116	145	169
10	116	145	169
11	116	145	169
12	116	145	170
13	116	146	171
14	116	145	171
15	116	143	171
16	116	144	170
17	115	145	171
18	117	145	171
19	116	146	172
20	116	145	171
21	116	144	171
22	116	144	171
23	116	146	172
24	115	145	171
25	116	146	172
26	116	145	170
27	115	145	171
28	115	146	171
29	116	145	171
30	115	144	172
X	115,900	144,700	170,600
s ²	0,623	0,743	0,773
s	0,790	0,862	0,879
v	0,007	0,006	0,005

dezén hrubý

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	122	150	174
2	121	149	175
3	121	149	175
4	119	149	175
5	119	149	175
6	120	149	175
7	120	148	175
8	119	148	175
9	120	149	175
10	119	148	176
11	120	151	176
12	119	150	175
13	119	151	176
14	119	150	176
15	119	151	175
16	119	150	176
17	119	151	174
18	119	151	174
19	119	150	175
20	119	151	174
21	118	150	175
22	119	149	174
23	119	150	174
24	119	150	175
25	120	151	175
26	119	149	174
27	120	150	175
28	119	150	176
29	119	151	175
30	119	150	174
X	119,400	149,800	174,933
s ²	0,640	0,893	0,462
s	0,800	0,945	0,680
v	0,007	0,006	0,004

Statistika délek zatečení PS Krasten 4 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	111,63	0,176	0,964	109,00	111,00	112,00	112,00
broušená jemná	112,83	0,145	0,791	111,00	112,00	113,00	113,00
broušená hrubá	113,33	0,221	1,21	111,00	112,00	113,00	114,00
frézovaná jemná	114,03	0,189	1,03	112,00	113,00	114,00	114,25
dezén jemný	114,47	0,150	0,819	113,00	114,00	114,00	115,00
frézovaná hrubá	115,90	0,147	0,803	115,00	115,00	116,00	116,00
dezén hrubý	119,40	0,149	0,814	118,00	119,00	119,00	120,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	113,00	1,00	-1,15	2,15
broušená jemná	114,00	1,00	-0,13	-0,44
broušená hrubá	116,00	2,00	0,42	-0,00
frézovaná jemná	116,00	1,25	0,53	-0,04
dezén jemný	116,00	1,00	0,11	-0,33
frézovaná hrubá	118,00	1,00	1,04	1,53
dezén hrubý	122,00	1,00	1,58	2,85

Statistika délek zatečení PS Krasten 6 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	141,37	0,217	1,19	139,00	140,00	141,00	142,00
broušená jemná	140,73	0,143	0,785	139,00	140,00	141,00	141,00
broušená hrubá	142,33	0,194	1,06	140,00	141,75	142,00	143,00
frézovaná jemná	143,47	0,218	1,20	142,00	143,00	143,00	144,25
dezén jemný	143,93	0,185	1,01	142,00	143,00	144,00	144,25
frézovaná hrubá	144,70	0,160	0,877	143,00	144,00	145,00	145,00
dezén hrubý	149,80	0,176	0,961	148,00	149,00	150,00	151,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	144,00	2,00	0,14	-0,49
broušená jemná	142,00	1,00	0,07	-0,53
broušená hrubá	144,00	1,25	-0,18	-0,61
frézovaná jemná	147,00	1,25	1,06	1,08
dezén jemný	146,00	1,25	0,56	-0,08
frézovaná hrubá	146,00	1,00	-0,34	-0,37
dezén hrubý	151,00	2,00	-0,32	-0,79

Statistika délek zatečení PS Krasten 8 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	161,80	0,277	1,52	160,00	160,00	161,50	163,00
broušená jemná	164,93	0,143	0,785	163,00	164,75	165,00	165,00
broušená hrubá	165,23	0,149	0,817	164,00	165,00	165,00	166,00
frézovaná jemná	166,17	0,136	0,747	164,00	166,00	166,00	167,00
dezén jemný	167,40	0,195	1,07	165,00	167,00	167,00	168,00
frézovaná hrubá	170,60	0,163	0,894	169,00	170,00	171,00	171,00
dezén hrubý	174,93	0,126	0,691	174,00	174,00	175,00	175,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	164,00	3,00	0,24	-1,44
broušená jemná	167,00	0,250	0,12	1,35
broušená hrubá	167,00	1,00	0,34	-0,12
frézovaná jemná	167,00	1,00	-0,82	1,09
dezén jemný	170,00	1,00	0,19	0,40
frézovaná hrubá	172,00	1,00	-0,32	-0,49
dezén hrubý	176,00	1,00	0,09	-0,77

**PŘÍLOHA P3: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro POM
Hostaform C 13021**

leštěná

broušená jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹				vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa	6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]		l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	73	99	124	1	76	102	124
2	73	99	124	2	76	102	124
3	74	100	125	3	76	102	125
4	74	100	125	4	76	102	124
5	74	99	125	5	76	102	124
6	74	99	125	6	76	102	124
7	74	100	124	7	76	102	125
8	74	99	124	8	76	102	125
9	74	99	124	9	76	102	125
10	74	100	123	10	76	102	125
11	73	99	124	11	76	101	125
12	73	99	124	12	76	102	126
13	74	100	124	13	76	102	126
14	73	100	124	14	76	101	126
15	74	100	125	15	76	102	126
16	73	100	124	16	76	102	126
17	73	100	124	17	76	102	126
18	74	99	124	18	76	102	126
19	74	100	124	19	76	103	126
20	73	100	125	20	76	103	126
21	74	100	124	21	76	103	126
22	74	100	124	22	76	103	126
23	73	99	125	23	76	102	126
24	73	99	125	24	76	103	126
25	74	101	124	25	76	102	125
26	74	100	124	26	76	102	126
27	74	100	125	27	76	102	126
28	74	100	125	28	77	102	126
29	73	100	125	29	77	103	126
30	73	100	124	30	76	102	126
X	73,600	99,667	124,333	X	76,067	102,133	125,433
s ²	0,240	0,289	0,289	s ²	0,062	0,249	0,579
s	0,490	0,537	0,537	s	0,249	0,499	0,761
v	0,007	0,005	0,004	v	0,003	0,005	0,006

broušená hrubá

frézovaná jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹				vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa	6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]		l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	75	100	124	1	75	103	129
2	75	100	124	2	75	103	129
3	75	100	124	3	75	103	128
4	75	100	125	4	76	104	129
5	75	100	125	5	75	103	129
6	74	101	125	6	75	104	129
7	74	101	125	7	76	103	129
8	75	101	125	8	77	103	129
9	75	100	125	9	76	103	129
10	74	100	125	10	76	103	129
11	75	100	125	11	76	104	129
12	74	100	125	12	75	103	129
13	74	101	125	13	76	104	130
14	75	101	126	14	77	104	129
15	75	101	126	15	76	103	129
16	75	100	125	16	76	104	129
17	74	101	126	17	75	103	129
18	75	100	126	18	76	103	129
19	74	101	125	19	77	103	129
20	75	100	125	20	77	104	129
21	75	100	125	21	77	104	129
22	75	101	126	22	77	103	129
23	75	101	126	23	76	104	129
24	74	100	125	24	77	103	129
25	75	100	126	25	76	103	129
26	75	101	126	26	77	103	129
27	74	100	126	27	76	104	129
28	74	101	126	28	76	103	130
29	75	100	125	29	77	104	129
30	75	101	125	30	77	104	129
X	74,667	100,433	125,233	X	76,100	103,400	129,033
s ²	0,222	0,246	0,379	s ²	0,557	0,240	0,099
s	0,471	0,496	0,616	s	0,746	0,490	0,314
v	0,006	0,005	0,005	v	0,010	0,005	0,002

dežén jemný

frézovaná hrubá

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	76	102	127
2	77	103	128
3	77	104	128
4	77	103	127
5	77	104	128
6	77	103	128
7	77	102	128
8	77	102	128
9	77	103	128
10	76	103	128
11	76	103	128
12	77	103	128
13	76	103	127
14	76	102	128
15	76	103	128
16	77	102	127
17	77	103	128
18	77	103	128
19	76	102	128
20	77	103	128
21	75	103	128
22	76	103	128
23	76	102	127
24	77	103	128
25	77	103	129
26	77	103	128
27	76	102	127
28	76	102	128
29	77	103	128
30	76	103	128
X	76,533	102,767	127,833
s ²	0,316	0,312	0,206
s	0,562	0,559	0,453
v	0,007	0,005	0,004

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	80	107	131
2	80	107	131
3	80	107	131
4	80	107	130
5	80	107	131
6	80	107	131
7	80	107	131
8	80	107	131
9	80	107	131
10	80	107	130
11	79	107	130
12	80	107	133
13	79	107	132
14	80	107	132
15	80	106	132
16	80	107	132
17	80	106	132
18	80	107	132
19	80	107	133
20	80	107	132
21	80	107	132
22	80	107	132
23	80	107	131
24	80	107	132
25	80	107	132
26	79	106	132
27	80	107	132
28	80	107	132
29	80	107	131
30	80	107	132
X	79,900	106,900	131,533
s ²	0,090	0,090	0,582
s	0,300	0,300	0,763
v	0,004	0,003	0,006

dezén hrubý

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	82	109	133
2	82	109	132
3	82	109	133
4	82	109	132
5	81	109	134
6	82	109	133
7	81	109	132
8	82	109	134
9	81	109	133
10	81	109	134
11	82	108	135
12	82	109	134
13	82	109	134
14	82	109	134
15	82	109	135
16	81	109	134
17	82	109	134
18	82	109	135
19	82	109	134
20	82	109	134
21	82	109	134
22	82	110	134
23	82	110	135
24	81	109	134
25	82	109	134
26	82	109	134
27	82	109	134
28	82	109	135
29	82	109	134
30	82	109	134
X	81,800	109,033	133,833
s ²	0,160	0,099	0,672
s	0,400	0,314	0,820
v	0,005	0,003	0,006

Statistika délek zatečení POM Hostaform 4 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	73,600	0,0910	0,498	73,000	73,000	74,000	74,000
broušená jemná	74,700	0,0977	0,535	74,000	74,000	75,000	75,000
broušená hrubá	76,033	0,0584	0,320	75,000	76,000	76,000	76,000
frézovaná jemná	76,100	0,139	0,759	75,000	75,750	76,000	77,000
dezén jemný	76,533	0,104	0,571	75,000	76,000	77,000	77,000
frézovaná hrubá	79,900	0,0557	0,305	79,000	80,000	80,000	80,000
dezén hrubý	81,800	0,0743	0,407	81,000	82,000	82,000	82,000

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	74,000	1,000	-0,43	-1,95
broušená jemná	76,000	1,000	-0,17	-0,54
broušená hrubá	77,000	0,0000	0,79	8,36
frézovaná jemná	77,000	1,250	-0,17	-1,19
dezén jemný	77,000	1,000	-0,73	-0,43
frézovaná hrubá	80,000	0,0000	-2,81	6,31
dezén hrubý	82,000	0,0000	-1,58	0,53

Statistika délek zatečení POM Hostaform 6 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	99,667	0,0998	0,547	99,000	99,000	100,000	100,000
broušená jemná	100,43	0,0920	0,504	100,00	100,00	100,00	101,00
broušená hrubá	102,13	0,0926	0,507	101,00	102,00	102,00	102,00
frézovaná jemná	103,40	0,0910	0,498	103,00	103,00	103,00	104,00
dezén jemný	102,77	0,104	0,568	102,00	102,00	103,00	103,00
frézovaná hrubá	106,90	0,0557	0,305	106,00	107,00	107,00	107,00
dezén hrubý	109,03	0,0584	0,320	108,00	109,00	109,00	109,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	101,000	1,000	-0,05	-0,70
broušená jemná	101,00	1,00	0,28	-2,06
broušená hrubá	103,00	0,0000	0,27	0,94
frézovaná jemná	104,00	1,00	0,43	-1,95
dezén jemný	104,00	1,00	-0,01	-0,17
frézovaná hrubá	107,00	0,0000	-2,81	6,31
dezén hrubý	110,00	0,0000	0,79	8,36

Statistika délek zatečení POM Hostaform 8 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	124,33	0,0998	0,547	123,00	124,00	124,00	125,00
broušená jemná	125,23	0,114	0,626	124,00	125,00	125,00	126,00
broušená hrubá	125,43	0,141	0,774	124,00	125,00	126,00	126,00
frézovaná jemná	129,03	0,0584	0,320	128,00	129,00	129,00	129,00
dezén jemný	127,83	0,0842	0,461	127,00	128,00	128,00	128,00
frézovaná hrubá	131,53	0,142	0,776	130,00	131,00	132,00	132,00
dezén hrubý	133,83	0,152	0,834	132,00	133,75	134,00	134,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	125,00	1,00	0,05	-0,70
broušená jemná	126,00	1,00	-0,20	-0,45
broušená hrubá	126,00	1,00	-0,96	-0,59
frézovaná jemná	130,00	0,0000	0,79	8,36
dezén jemný	129,00	0,0000	-0,67	1,13
frézovaná hrubá	133,00	1,00	-0,36	-0,14
dezén hrubý	135,00	0,250	-0,81	0,62

PŘÍLOHA P4: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro HDPE 25055E

leštěná

broušená jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	101	133	164
2	101	133	165
3	100	133	164
4	101	135	164
5	101	134	164
6	101	133	164
7	101	133	164
8	100	133	164
9	101	133	164
10	101	133	164
11	101	133	165
12	101	134	164
13	101	133	165
14	101	133	165
15	101	133	166
16	100	133	165
17	100	133	165
18	100	134	166
19	100	133	166
20	101	134	166
21	100	134	166
22	100	133	166
23	100	133	165
24	101	133	166
25	100	132	165
26	100	133	166
27	100	134	165
28	101	133	166
29	101	133	166
30	100	133	165
X	100,567	133,233	165,000
s ²	0,246	0,312	0,667
s	0,496	0,559	0,816
v	0,005	0,004	0,005

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	103	134	166
2	103	134	165
3	104	135	166
4	103	134	166
5	102	135	165
6	103	134	166
7	103	134	165
8	102	134	166
9	103	134	166
10	103	134	167
11	103	134	167
12	102	134	166
13	103	135	166
14	103	134	166
15	102	135	166
16	103	135	166
17	103	134	166
18	103	134	166
19	102	134	166
20	103	134	166
21	102	135	166
22	103	133	166
23	102	134	166
24	103	135	166
25	103	134	166
26	102	134	166
27	103	134	166
28	102	134	165
29	103	135	166
30	103	134	167
X	102,733	134,233	165,967
s ²	0,262	0,246	0,232
s	0,512	0,496	0,482
v	0,005	0,004	0,003

broušená hrubá

frézovaná jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	100	134	164
2	100	134	165
3	100	133	164
4	101	134	164
5	101	133	164
6	100	133	163
7	101	133	164
8	101	133	164
9	100	133	164
10	100	132	165
11	100	133	164
12	100	132	165
13	101	132	165
14	100	133	165
15	101	132	165
16	101	133	165
17	100	133	165
18	100	134	165
19	101	134	165
20	101	133	164
21	101	134	165
22	101	133	165
23	101	134	164
24	101	133	165
25	101	134	164
26	101	132	165
27	101	133	165
28	101	133	164
29	100	133	164
30	101	133	164
X	100,600	133,100	164,467
s ²	0,240	0,423	0,316
s	0,490	0,651	0,562
v	0,005	0,005	0,003

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	100	133	164
2	100	133	164
3	100	132	164
4	100	133	164
5	100	133	163
6	100	132	164
7	100	132	164
8	99	133	164
9	99	132	164
10	99	133	165
11	99	133	164
12	99	132	164
13	99	132	164
14	100	132	165
15	100	132	164
16	100	132	164
17	99	132	164
18	100	132	165
19	100	132	164
20	100	132	164
21	100	131	164
22	100	132	163
23	100	132	163
24	100	132	163
25	100	131	163
26	100	131	163
27	99	132	164
28	100	131	164
29	100	132	163
30	100	132	163
X	99,733	132,100	163,833
s ²	0,196	0,357	0,339
s	0,442	0,597	0,582
v	0,004	0,005	0,004

dezén jemný

frézovaná hrubá

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	99	133	165
2	99	132	164
3	100	134	165
4	99	133	165
5	100	133	165
6	101	132	166
7	100	133	165
8	100	133	164
9	99	132	164
10	100	132	165
11	100	132	164
12	100	132	164
13	101	132	165
14	99	133	165
15	100	132	164
16	100	132	164
17	99	132	164
18	100	133	164
19	100	132	164
20	101	132	165
21	101	132	164
22	100	133	164
23	100	132	163
24	101	133	165
25	100	132	165
26	101	133	165
27	100	132	164
28	101	132	165
29	101	133	165
30	101	133	165
X	100,100	132,467	164,533
s ²	0,490	0,316	0,382
s	0,700	0,562	0,618
v	0,007	0,004	0,004

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	104	136	168
2	103	136	168
3	104	136	168
4	104	136	169
5	103	136	168
6	103	137	168
7	104	136	168
8	103	137	169
9	103	136	169
10	103	137	168
11	103	136	169
12	103	137	169
13	103	137	168
14	103	136	169
15	103	136	168
16	103	136	168
17	103	136	168
18	103	136	169
19	103	136	168
20	104	136	168
21	103	136	168
22	103	136	169
23	103	136	168
24	103	136	168
25	104	136	169
26	103	136	168
27	103	136	168
28	103	136	169
29	103	136	168
30	103	137	168
X	103,200	136,200	168,333
s ²	0,160	0,160	0,222
s	0,400	0,400	0,471
v	0,004	0,003	0,003

dezén hrubý

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	107	141	172
2	107	140	173
3	107	141	172
4	107	140	172
5	107	141	171
6	107	140	172
7	107	140	171
8	107	140	172
9	107	140	172
10	106	140	172
11	106	140	171
12	107	140	172
13	106	140	172
14	106	140	172
15	106	140	172
16	107	140	172
17	106	140	172
18	107	140	172
19	106	140	173
20	107	141	173
21	106	140	174
22	106	140	174
23	106	140	173
24	106	140	172
25	107	140	173
26	107	141	173
27	107	140	173
28	106	140	173
29	106	140	172
30	107	140	173
X	106,567	140,167	172,333
s ²	0,246	0,139	0,556
s	0,496	0,373	0,745
v	0,005	0,003	0,004

Statistika délek zatečení HDPE 4 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	100,57	0,0920	0,504	100,00	100,00	101,00	101,00
broušená jemná	100,60	0,0910	0,498	100,00	100,00	101,00	101,00
broušená hrubá	102,73	0,0951	0,521	102,00	102,00	103,00	103,00
frézovaná jemná	99,733	0,0821	0,450	99,000	99,000	100,000	100,000
dezén jemný	100,10	0,130	0,712	99,00	100,00	100,00	101,00
frézovaná hrubá	103,20	0,0743	0,407	103,00	103,00	103,00	103,00
dezén hrubý	106,57	0,0920	0,504	106,00	106,00	107,00	107,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	101,00	1,00	-0,28	-2,06
broušená jemná	101,00	1,00	-0,43	-1,95
broušená hrubá	104,00	1,00	-0,30	-0,29
frézovaná jemná	100,000	1,000	-1,11	-0,82
dezén jemný	101,00	1,00	-0,15	-0,91
frézovaná hrubá	104,00	0,0000	1,58	0,53
dezén hrubý	107,00	1,00	-0,28	-2,06

Statistika délek zatečení HDPE 6 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	133,23	0,104	0,568	132,00	133,00	133,00	133,25
broušená jemná	133,10	0,121	0,662	132,00	133,00	133,00	134,00
broušená hrubá	134,23	0,0920	0,504	133,00	134,00	134,00	135,00
frézovaná jemná	132,10	0,111	0,607	131,00	132,00	132,00	132,25
dezén jemný	132,47	0,104	0,571	132,00	132,00	132,00	133,00
frézovaná hrubá	136,20	0,0743	0,407	136,00	136,00	136,00	136,00
dezén hrubý	140,17	0,0692	0,379	140,00	140,00	140,00	140,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	135,00	0,250	1,22	2,43
broušená jemná	134,00	1,00	-0,11	-0,56
broušená hrubá	135,00	1,00	0,42	0,04
frézovaná jemná	133,00	0,250	-0,04	-0,08
dezén jemný	134,00	1,00	0,73	-0,43
frézovaná hrubá	137,00	0,0000	1,58	0,53
dezén hrubý	141,00	0,0000	1,88	1,66

Statistika délek zatečení HDPE 8 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	165,00	0,152	0,830	164,00	164,00	165,00	166,00
broušená jemná	164,47	0,104	0,571	163,00	164,00	164,50	165,00
broušená hrubá	165,97	0,0895	0,490	165,00	166,00	166,00	166,00
frézovaná jemná	163,83	0,108	0,592	163,00	163,00	164,00	164,00
dezén jemný	164,53	0,115	0,629	163,00	164,00	165,00	165,00
frézovaná hrubá	168,33	0,0875	0,479	168,00	168,00	168,00	169,00
dezén hrubý	172,33	0,138	0,758	171,00	172,00	172,00	173,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	166,00	2,00	0,00	-1,55
broušená jemná	165,00	1,00	-0,46	-0,75
broušená hrubá	167,00	0,0000	-0,09	1,74
frézovaná jemná	165,00	1,00	0,04	-0,08
dezén jemný	166,00	1,00	-0,13	-0,10
frézovaná hrubá	169,00	1,00	0,74	-1,55
dezén hrubý	174,00	1,00	0,36	0,12

**PŘÍLOHA P5: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PP
Hostacom M4 U05**

leštěná

broušená jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	139	163	187
2	139	162	186
3	139	164	187
4	138	163	186
5	137	163	186
6	139	163	186
7	139	162	186
8	139	162	188
9	139	162	188
10	138	163	188
11	139	162	187
12	139	164	188
13	139	163	186
14	139	162	188
15	139	163	187
16	139	164	187
17	139	165	185
18	140	163	186
19	141	164	186
20	140	163	186
21	138	163	186
22	139	164	186
23	139	162	187
24	140	164	188
25	141	162	186
26	140	163	187
27	140	163	187
28	138	164	188
29	139	164	187
30	139	163	188
X	139,100	163,067	186,800
s ²	0,690	0,662	0,760
s	0,831	0,814	0,872
v	0,006	0,005	0,005

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	144	166	190
2	143	166	191
3	142	167	189
4	143	164	190
5	144	166	190
6	142	165	191
7	143	166	190
8	145	166	189
9	145	164	191
10	146	166	190
11	146	165	192
12	145	167	190
13	145	166	191
14	143	166	191
15	144	166	190
16	145	166	191
17	144	165	193
18	144	167	191
19	144	166	191
20	144	165	192
21	143	166	192
22	143	164	192
23	144	166	191
24	143	165	192
25	145	164	190
26	144	166	192
27	145	166	193
28	144	166	192
29	143	165	190
30	144	166	192
X	143,967	165,633	190,967
s ²	1,032	0,699	1,099
s	1,016	0,836	1,048
v	0,007	0,005	0,005

broušená hrubá

frézovaná jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	139	164	187
2	139	164	188
3	139	163	187
4	141	164	187
5	139	165	187
6	140	164	188
7	140	163	187
8	142	163	188
9	140	163	188
10	142	162	188
11	142	163	188
12	141	164	189
13	143	163	188
14	141	163	189
15	141	163	189
16	144	162	189
17	141	163	188
18	141	163	187
19	143	163	188
20	144	164	187
21	142	165	188
22	141	164	188
23	143	163	189
24	142	164	187
25	144	164	188
26	143	165	188
27	141	163	189
28	143	163	188
29	142	163	188
30	141	163	187
X	141,467	163,433	187,900
s ²	2,182	0,579	0,490
s	1,477	0,761	0,700
v	0,010	0,005	0,004

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	141	166	188
2	141	166	187
3	141	167	188
4	141	166	188
5	142	167	188
6	141	165	188
7	140	165	189
8	139	163	188
9	140	163	188
10	141	165	189
11	141	165	188
12	140	164	189
13	140	165	189
14	140	165	189
15	140	164	189
16	140	166	188
17	141	164	188
18	140	164	188
19	140	165	188
20	141	165	190
21	141	165	189
22	141	165	190
23	141	165	189
24	141	165	188
25	142	165	188
26	141	165	188
27	141	165	188
28	142	165	188
29	141	165	189
30	141	165	188
X	140,733	165,000	188,400
s ²	0,462	0,800	0,440
s	0,680	0,894	0,663
v	0,005	0,005	0,004

dezén jemný

frézovaná hrubá

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	139	162	187
2	138	161	186
3	139	162	187
4	138	162	187
5	139	163	188
6	139	163	186
7	139	162	187
8	139	162	187
9	140	162	188
10	140	163	187
11	139	163	187
12	140	163	188
13	139	163	188
14	139	161	187
15	139	162	187
16	140	162	188
17	139	162	186
18	138	161	187
19	139	163	188
20	138	162	187
21	140	163	186
22	140	163	186
23	139	161	187
24	139	162	189
25	139	162	187
26	140	163	188
27	139	163	188
28	138	163	187
29	139	163	188
30	140	162	188
X	139,100	162,300	187,233
s ²	0,423	0,477	0,579
s	0,651	0,690	0,761
v	0,005	0,004	0,004

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	143	169	193
2	143	169	193
3	142	170	194
4	143	169	192
5	143	170	193
6	143	169	192
7	143	170	193
8	143	170	193
9	144	169	192
10	144	167	193
11	143	167	192
12	144	166	192
13	143	167	192
14	143	166	192
15	144	167	194
16	144	166	193
17	145	168	192
18	144	167	193
19	144	167	192
20	144	167	193
21	143	167	194
22	144	168	194
23	144	167	194
24	143	168	194
25	144	168	194
26	144	168	194
27	144	168	193
28	144	168	193
29	144	169	194
30	144	168	193
X	143,567	167,967	193,000
s ²	0,379	1,432	0,600
s	0,616	1,197	0,775
v	0,004	0,007	0,004

dezén hrubý

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	145	171	194
2	146	171	195
3	145	170	196
4	146	170	194
5	145	172	195
6	145	170	197
7	144	171	195
8	145	170	194
9	145	169	194
10	144	170	194
11	145	169	194
12	145	169	194
13	146	169	195
14	146	170	193
15	146	171	194
16	146	169	197
17	146	171	194
18	145	170	194
19	146	171	194
20	145	171	194
21	145	171	195
22	146	171	195
23	145	171	196
24	145	171	196
25	146	172	196
26	145	172	196
27	145	171	196
28	145	171	194
29	145	172	195
30	146	171	194
X	145,300	170,567	194,800
s ²	0,343	0,846	1,027
s	0,586	0,920	1,013
v	0,004	0,005	0,005

Statistika délek zatečení PP Hostacom 4 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	139,10	0,154	0,845	137,00	139,00	139,00	139,25
broušená jemná	141,47	0,274	1,50	139,00	140,75	141,00	143,00
broušená hrubá	143,97	0,189	1,03	142,00	143,00	144,00	145,00
frézovaná jemná	140,73	0,126	0,691	139,00	140,00	141,00	141,00
dezén jemný	139,10	0,121	0,662	138,00	139,00	139,00	140,00
frézovaná hrubá	143,57	0,114	0,626	142,00	143,00	144,00	144,00
dezén hrubý	145,30	0,109	0,596	144,00	145,00	145,00	146,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	141,00	0,250	0,17	1,21
broušená jemná	144,00	2,25	-0,03	-0,72
broušená hrubá	146,00	2,00	0,07	-0,40
frézovaná jemná	142,00	1,00	-0,26	0,27
dezén jemný	140,00	1,00	-0,11	-0,56
frézovaná hrubá	145,00	1,00	-0,27	-0,01
dezén hrubý	146,00	1,00	-0,19	-0,48

Statistika délek zatečení PP Hostacom 4 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	163,07	0,151	0,828	162,00	162,00	163,00	164,00
broušená jemná	163,43	0,141	0,774	162,00	163,00	163,00	164,00
broušená hrubá	165,63	0,155	0,850	164,00	165,00	166,00	166,00
frézovaná jemná	165,00	0,166	0,910	163,00	165,00	165,00	165,00
dezén jemný	162,30	0,128	0,702	161,00	162,00	162,00	163,00
frézovaná hrubá	167,97	0,222	1,22	166,00	167,00	168,00	169,00
dezén hrubý	170,57	0,171	0,935	169,00	170,00	171,00	171,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	165,00	2,00	0,26	-0,59
broušená jemná	165,00	1,00	0,48	-0,02
broušená hrubá	167,00	1,00	-0,63	-0,07
frézovaná jemná	167,00	0,000	0,00	1,12
dezén jemný	163,00	1,00	-0,50	-0,78
frézovaná hrubá	170,00	2,00	0,19	-0,86
dezén hrubý	172,00	1,00	-0,34	-0,66

Statistika délek zatečení PP Hostacom 4MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	186,80	0,162	0,887	185,00	186,00	187,00	188,00
broušená jemná	187,90	0,130	0,712	187,00	187,00	188,00	188,00
broušená hrubá	190,97	0,195	1,07	189,00	190,00	191,00	192,00
frézovaná jemná	188,40	0,123	0,675	187,00	188,00	188,00	189,00
dezén jemný	187,23	0,141	0,774	186,00	187,00	187,00	188,00
frézovaná hrubá	193,00	0,144	0,788	192,00	192,00	193,00	194,00
dezén hrubý	194,80	0,188	1,03	193,00	194,00	194,50	196,00

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	188,00	2,00	0,10	-1,14
broušená jemná	189,00	1,00	0,15	-0,91
broušená hrubá	193,00	2,00	0,07	-0,68
frézovaná jemná	190,00	1,00	0,75	0,47
dezén jemný	189,00	1,00	0,04	-0,40
frézovaná hrubá	194,00	2,00	-0,00	-1,36
dezén hrubý	197,00	2,00	0,63	-0,50

PŘÍLOHA P6: Tabulky naměřených hodnot a statistika pro PC + ABS

leštěná

broušená jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	70	84	91
2	70	83	91
3	70	83	92
4	71	83	92
5	71	84	91
6	71	84	91
7	71	83	93
8	71	81	93
9	70	83	91
10	70	82	92
11	71	82	91
12	71	83	91
13	72	83	92
14	70	82	93
15	71	84	93
16	71	84	92
17	72	83	91
18	71	84	93
19	69	83	92
20	70	84	93
21	70	83	91
22	69	83	91
23	69	82	92
24	69	83	92
25	70	84	91
26	71	84	93
27	70	83	91
28	71	83	92
29	69	83	91
30	69	84	92
X	70,333	83,133	91,800
s ²	0,756	0,582	0,627
s	0,869	0,763	0,792
v	0,012	0,009	0,009

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	70	83	91
2	70	83	92
3	71	85	91
4	70	84	92
5	70	84	91
6	72	84	91
7	71	85	91
8	71	85	92
9	71	84	91
10	71	84	92
11	71	83	92
12	70	85	92
13	73	84	92
14	72	84	92
15	70	83	91
16	70	83	92
17	71	83	90
18	71	84	91
19	71	84	91
20	72	83	91
21	70	84	89
22	71	85	90
23	73	85	91
24	72	84	91
25	71	83	92
26	70	83	91
27	70	85	91
28	70	84	90
29	71	84	91
30	71	84	91
X	70,900	83,933	91,167
s ²	0,757	0,529	0,539
s	0,870	0,727	0,734
v	0,012	0,009	0,008

broušená hrubá

frézovaná jemná

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	70	81	91
2	69	80	91
3	69	81	90
4	69	80	90
5	70	80	90
6	69	81	89
7	69	82	89
8	69	82	90
9	68	81	92
10	68	82	89
11	68	81	89
12	69	81	90
13	69	81	92
14	69	81	90
15	69	82	92
16	69	80	91
17	69	81	91
18	70	81	93
19	69	82	92
20	69	82	92
21	69	81	91
22	69	82	91
23	69	81	91
24	70	82	91
25	70	82	92
26	70	81	92
27	69	82	91
28	70	81	91
29	69	82	91
30	70	81	91
X	69,167	81,233	90,833
s ²	0,339	0,446	1,072
s	0,582	0,667	1,035
v	0,008	0,008	0,011

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	70	85	93
2	70	84	93
3	70	83	93
4	70	83	94
5	71	83	93
6	70	84	93
7	71	83	93
8	72	84	93
9	71	83	92
10	72	82	94
11	72	83	93
12	71	83	94
13	72	83	92
14	71	84	93
15	72	85	93
16	73	83	93
17	72	84	94
18	72	83	94
19	72	84	93
20	71	85	93
21	70	84	93
22	72	83	94
23	71	83	94
24	71	82	94
25	71	83	93
26	70	82	93
27	69	84	93
28	70	83	94
29	71	84	93
30	72	84	94
X	71,067	83,433	93,267
s ²	0,862	0,646	0,329
s	0,929	0,803	0,573
v	0,013	0,010	0,006

dezén jemný

frézovaná hrubá

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	73	84	95
2	72	84	95
3	71	84	95
4	73	84	95
5	73	84	95
6	72	84	94
7	73	83	95
8	73	84	94
9	73	84	94
10	72	83	93
11	73	84	94
12	71	85	93
13	72	85	94
14	71	86	93
15	73	85	94
16	73	86	94
17	71	87	93
18	72	85	95
19	73	85	94
20	72	84	94
21	72	85	94
22	73	86	94
23	72	85	94
24	72	84	95
25	70	84	95
26	70	86	94
27	73	85	95
28	72	86	94
29	71	85	94
30	72	84	95
X	72,100	84,667	94,233
s ²	0,823	0,889	0,446
s	0,907	0,943	0,667
v	0,013	0,011	0,007

vstřikovací rychlost: 60 mm.s ⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _z [mm]	l _z [mm]	l _z [mm]
1	74	86	95
2	73	86	95
3	74	86	96
4	74	85	95
5	75	85	95
6	73	86	96
7	74	85	95
8	72	87	95
9	73	86	94
10	73	88	95
11	73	87	95
12	73	86	95
13	74	86	96
14	72	86	95
15	73	85	96
16	72	86	95
17	73	85	94
18	72	85	97
19	73	84	96
20	72	85	96
21	74	85	96
22	73	85	96
23	73	85	96
24	73	85	96
25	72	84	96
26	73	84	96
27	74	85	95
28	73	86	97
29	72	85	96
30	72	85	96
X	73,033	85,467	95,533
s ²	0,632	0,782	0,516
s	0,795	0,884	0,718
v	0,011	0,010	0,008

dezén hrubý

vstřikovací rychlost: 60 mm.s⁻¹			
6	p = 4 MPa	p = 6 MPa	p = 8 MPa
	l _Z [mm]	l _Z [mm]	l _Z [mm]
1	76	88	99
2	76	88	98
3	76	88	99
4	76	89	98
5	76	88	97
6	75	89	98
7	76	89	98
8	74	88	99
9	75	88	100
10	75	87	99
11	75	88	98
12	76	89	99
13	75	88	99
14	74	88	98
15	75	88	98
16	74	89	98
17	75	87	98
18	76	88	98
19	74	89	98
20	75	89	98
21	75	89	98
22	74	88	98
23	76	89	98
24	75	88	99
25	75	88	99
26	75	87	98
27	75	87	100
28	76	89	99
29	75	88	98
30	75	88	99
X	75,167	88,200	98,433
s ²	0,472	0,427	0,446
s	0,687	0,653	0,667
v	0,009	0,007	0,007

Statistika délek zatečení PC+ ABS 4 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	70,333	0,161	0,884	69,000	70,000	70,000	71,000
broušená jemná	69,167	0,108	0,592	68,000	69,000	69,000	70,000
broušená hrubá	70,900	0,162	0,885	70,000	70,000	71,000	71,000
frézovaná jemná	71,067	0,172	0,944	69,000	70,000	71,000	72,000
dezén jemný	72,100	0,168	0,923	70,000	71,750	72,000	73,000
frézovaná hrubá	73,033	0,148	0,809	72,000	72,000	73,000	74,000
dezén hrubý	75,167	0,128	0,699	74,000	75,000	75,000	76,000

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	72,000	1,000	-0,10	-0,78
broušená jemná	70,000	1,000	-0,04	-0,08
broušená hrubá	73,000	1,000	0,85	0,26
frézovaná jemná	73,000	2,000	-0,14	-0,66
dezén jemný	73,000	1,250	-0,77	-0,17
frézovaná hrubá	75,000	2,000	0,36	-0,34
dezén hrubý	76,000	1,000	-0,24	-0,83

Statistika délek zatečení PC+ABS 6 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	83,133	0,142	0,776	81,000	83,000	83,000	84,000
broušená jemná	81,233	0,124	0,679	80,000	81,000	81,000	82,000
broušená hrubá	83,933	0,135	0,740	83,000	83,000	84,000	84,250
frézovaná jemná	83,433	0,149	0,817	82,000	83,000	83,000	84,000
dezén jemný	84,667	0,175	0,959	83,000	84,000	84,500	85,000
frézovaná hrubá	85,467	0,164	0,900	84,000	85,000	85,000	86,000
dezén hrubý	88,200	0,121	0,664	87,000	88,000	88,000	89,000

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	84,000	1,000	-0,72	0,52
broušená jemná	82,000	1,000	-0,32	-0,72
broušená hrubá	85,000	1,250	0,11	-1,09
frézovaná jemná	85,000	1,000	0,23	-0,27
dezén jemný	87,000	1,000	0,49	-0,15
frézovaná hrubá	88,000	1,000	0,72	1,04
dezén hrubý	89,000	1,000	-0,24	-0,63

Statistika délek zatečení PC + ABS 8 MPa:

Parametr	Průměr	SE Mean	S.Odch.	Minimum	Q1	Median	Q3
leštěná	91,800	0,147	0,805	91,000	91,000	92,000	92,250
broušená jemná	90,833	0,192	1,053	89,000	90,000	91,000	92,000
broušená hrubá	91,167	0,136	0,747	89,000	91,000	91,000	92,000
frézovaná jemná	93,267	0,106	0,583	92,000	93,000	93,000	94,000
dezén jemný	94,233	0,124	0,679	93,000	94,000	94,000	95,000
frézovaná hrubá	95,533	0,133	0,730	94,000	95,000	96,000	96,000
dezén hrubý	98,433	0,124	0,679	97,000	98,000	98,000	99,000

Parametr	Maximum	IQR	Šikmost	Strmost
leštěná	93,000	1,250	0,39	-1,33
broušená jemná	93,000	2,000	-0,21	-0,47
broušená hrubá	92,000	1,000	-0,82	1,09
frézovaná jemná	94,000	1,000	-0,09	-0,36
dezén jemný	95,000	1,000	-0,32	-0,72
frézovaná hrubá	97,000	1,000	-0,12	-0,06
dezén hrubý	100,000	1,000	0,61	0,24