

Vliv procesních podmínek na jakost povrchu vstřikovaného výrobku

Bc. Miroslav Judas

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Judas**
Osobní číslo: **T16262**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv procesních podmínek na jakost povrchu vstříkovaného výrobku**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Návrh procesních podmínek pro výrobu zkušebních těles.
3. Měření požadovaných parametrů.
4. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vydání. Praha: Vysoká škola chemická, 2006. 280 s. ISBN 80-7080-617-6
2. BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl Vstřikování termoplastů. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
3. Dále dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Řezníček, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 2. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: JUDAS MIROSLAV

Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 22.4.2018.



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 nevydělečně 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 nahlázení 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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

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

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na zkoumání vlivu jakosti povrchu dutiny formy a vlivu technologických parametrů na výslednou jakost povrchu vstříkovaného výrobku. Teoretická část je věnována problematice procesu vstříkování a měření jakosti povrchu. Praktická část se zabývá samotnou výrobou zkušebních těles a s tím související optimalizací technologických parametrů vstříkování pro jednotlivé polymerní materiály. Dále se praktická část zaměřuje na měření a následné vyhodnocení jakosti povrchu pro jednotlivé procesní podmínky.

Klíčová slova: polymery, vstříkování, jakost povrchu

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the study of influence of mold cavity surface quality and technological parameters influence on the final surface quality of the injection product. The theoretical part is devoted to the issue of the injection process and the measurement of surface quality. The practical part deals with the production of test bodies themselves and the related optimization of the technological parameters of the injection molding for individual polymeric materials. The practical part of the thesis is also focused on the measurement and evaluation of surface quality for individual process conditions.

Keywords: polymers, injection molding, surface quality

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při realizaci diplomové práce. Dále bych chtěl rovněž poděkovat panu doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné rady a čas, který mi věnoval při vstřikování zkušebních vzorků.

Tato diplomová práce vznikla za podpory Interní grantové agentury UTB ve Zlíně, projektu č. IGA/FT/2018/12. A také za podpory projektu Regionálního výzkumného centra Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA-Tech) č. CZ.1.05/2.1.00/19.0376 a projektu Podpora udržitelnosti a rozvoje CEBIA-Tech č. MSMT-7778/2014 (LO1303).

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VSTŘIKOVACÍ FORMY	12
1.1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	12
1.1.1 Oceli	12
1.1.2 Slitiny hliníku.....	14
1.1.3 Slitiny mědi	15
1.2 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	15
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	20
2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	20
2.1.1 Plasty	20
2.1.2 Elastomery.....	21
2.2 MAKROMOLEKULÁRNÍ USPOŘÁDÁNÍ POLYMERŮ.....	21
2.3 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ DLE APLIKACE	22
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	23
3.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	23
3.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	24
3.3 PRŮBĚH STAVOVÝCH TERMODYNAMICKÝCH VELIČIN BĚHEM VSTŘIKOVÁNÍ.....	25
3.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	26
3.5 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	27
3.5.1 Vstřikovací jednotka	28
3.5.2 Uzavírací jednotka	29
4 STRUKTURA POVRCHU	30
4.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY STRUKTURY POVRCHU	30
4.2 PARAMETRY PROFILU NEROVNOSTI.....	30
4.3 AMPLITUDOVÉ PARAMETRY	31
4.3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra	31
4.3.2 Celková výška profilu Rt	32
4.3.3 Největší výška profilu Rz.....	32
4.4 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.....	33
4.4.1 Metody dotykové	33
4.4.2 Metody bezdotykové.....	34
5 INTERPRETACE NAMĚŘENÝCH DAT	36
5.1 CHYBA MĚŘENÍ	36
5.1.1 Absolutní chyba měření	36
5.1.2 Relativní chyba měření	36
5.1.3 Systematická chyba	36
5.1.4 Náhodná chyba.....	37
5.2 NEJISTOTA MĚŘENÍ.....	37
5.2.1 Standardní nejistota typu A (u_A).....	37
5.2.2 Standardní nejistota typu B (u_B).....	38
5.2.3 Kombinovaná standardní nejistota (u_C)	38

5.3	STATISTICKÝ SOUBOR	38
5.3.1	Aritmetický průměr	39
5.3.2	Směrodatná odchylka	39
5.3.3	Modus.....	39
5.3.4	Medián.....	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
6	CÍLE PRÁCE	41
7	VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	42
7.1	VSTŘIKOVANÁ TĚLESA	42
7.1.1	Vstřikované materiály	43
7.1.2	Příprava vstřikovaných materiálů	43
7.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	44
7.3	MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU	46
8	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	50
8.1	POLYOXYMETYLEN	50
8.1.1	Porovnání jakosti povrchu v závislosti na oblasti měření	50
8.1.2	Porovnání jakosti povrchu v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku	54
8.2	AKRYLONITRILBUTADIENSTYREN	57
8.2.1	Porovnání jakosti povrchu v závislosti na poloze měření	57
8.2.2	Porovnání jakosti povrchu v závislosti na vstřikovacím tlaku.....	61
8.3	POLYPROPYLEN.....	64
8.3.1	Porovnání jakosti povrchu v závislosti na oblasti měření	64
8.3.2	Porovnání jakosti povrchu v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku	67
8.4	SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ	71
8.4.1	Porovnání jednotlivých materiálů v závislosti na místě měření.....	71
8.4.2	Porovnání jednotlivých materiálů v závislosti na vstřikovacím tlaku	72
9	DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	73
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	83

ÚVOD

Polymerní materiály díky svým vynikajícím vlastnostem, jakými jsou například vysoká chemická odolnost, nízká měrná hmotnost nebo jednoduchá zpracovatelnost, se stále více stávají využívanou alternativou vůči konvenčním materiálům, mezi které patří například dřevo či ocel.

Při zpracování polymerních materiálů je kladen důraz především na kvalitu plastového výrobku, minimalizaci nákladů a optimalizaci výrobního procesu. Mezi nejpoužívanější technologie používané v oblasti zpracování plastů patří bezesporu vstřikování. Je to zejména díky tomu, že se tato technologie vyznačuje možností úplné automatizace výroby, vysokou produktivitou a schopností vyrábět výrobky různých tvarů.

Hlavní součástí optimalizace procesu vstřikování je použití vhodného nástrojového materiálu tvarové dutiny formy a zvolení optimálního polymerního materiálu. Při samotné výrobě vstřikovací formy musí být určena vhodná technologie obrábění, jenž přispěje k dosažení požadovaných estetických a mechanických vlastností výrobku při zachování stanovené drsnosti povrchu. Obecně se dá říci, že v oblasti konstrukce vstřikovacích forem je koncepce výroby nastavená tak, aby u tvarových dutin vstřikovací formy bylo dosaženo, pokud možno, co nejlepší jakosti povrchu. Tato skutečnost vychází ze všeobecného předpokladu, že kvalitnější povrch zajistí lepší podmínky pro tok taveniny. Již předešlé výzkumy však naznačily lepší zatékavost polymerní taveniny u povrchu s horší jakostí povrchu nežli u povrchu leštěného, který se řadí, co se ceny technologie týče, mezi ty vůbec nejnákladnější. Tyto poznatky dávají v praxi velké možnosti optimalizace při procesu výroby vstřikovacích forem a s tím související potenciální významné snížení výrobních nákladů. Při volbě vstřikovaného materiálu, musí být brány v potaz jeho reologické vlastnosti a nadmolekulární struktura, které mají taktéž vliv na budoucí jakost povrchu, vzhled a mechanické vlastnosti vstřikovaného výrobku.

Další důležitou částí optimalizace technologie vstřikování je nastavení procesních parametrů, jakými jsou například doba chlazení a velikost vstřikovacího tlaku či dotlaku. Všechny tyto parametry mají rovněž významný vliv na výsledné mechanické vlastnosti a jakost povrchu vstřikovaného výrobku.

V praxi se proto hledají vhodné kombinace nastavení technologických podmínek pro zvolený polymerní materiál, které zaručí dosažení požadovaných mechanických vlastností a jakosti povrchu, při co možná nejnižších nákladech.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy jsou nákladné nástroje, které se skládají z funkčních a pomocných dílů. Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Forma určená pro vstřikování polymerních materiálů musí plnit následující požadavky:

- *technické*, jenž zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobít požadovaný počet výrobků se stanovenou přesností a kvalitou. Musí taktéž splňovat podmínky snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí.
- *ekonomické*, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů a s ní související vysokou produktivitou práce. Rovněž je zde také požadavek na maximální využití zpracovávaného polymerního materiálu. [10,11]

1.1 Materiály používané při výrobě forem

Při návrhu vstřikovací formy je důležité stanovit materiál, který zaručí požadované vlastnosti formy, její životnost a rovněž požadovanou cenu. Volba materiálu vstřikovací formy závisí na provozních podmínkách výroby, které jsou určené:

- druhem vstřikovaného materiálu,
- procesními podmínkami vstřikování,
- přesností a jakostí výstřiku,
- vstřikovacím strojem.

Při výrobě forem je tedy nutné zvolit takové materiály, které splňují zmíněné provozní podmínky, ale zároveň jsou ekonomicky výhodné. Jedná se zejména o tyto materiály:

- oceli (nástrojové a konstrukční),
- neželezné slitiny kovů (Al, Cu apod.),
- ostatní materiály (např. nevodivé a izolační).

1.1.1 Oceli

Optimální určení druhu oceli na konkrétní komponent vstřikovací formy závisí na funkci, kterou bude daná součást vykonávat. Důležitým předpokladem funkční vhodnosti a požadované životnosti je rovněž správná konstrukce, vhodné zacházení a údržba, způsob výroby a tepelné zpracování použitého materiálu. Od použitých materiálů se požaduje především dostatečná mechanická pevnost a dobrá obrobiteľnosť.

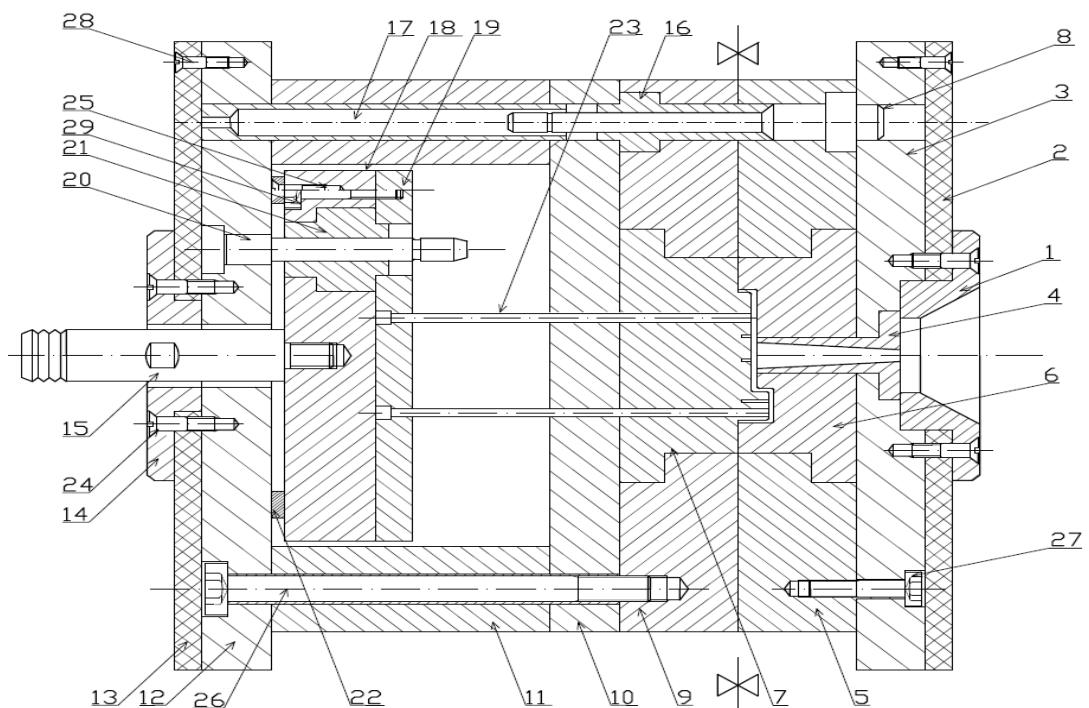
Z hlediska technologie výroby vstřikovacích forem má materiál funkčních dílů zajišťovat požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- vyhovující kalitelností a prokalitelností,
- stálostí rozměrů a minimální deformací při tepelném zpracování,
- zvýšenou odolností proti otěru,
- vhodnými fyzikálními vlastnostmi.

Z velkého výběru jakostí ocelí se pro výrobu forem používají následující:

- konstrukční oceli k použití v přírodním i zušlechtěném stavu,
- oceli uhlíkové k zušlechtování,
- oceli k nitridování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru,
- oceli antikorozi, používané při zpracování plastů, které chemicky ovlivňují ocel,
- oceli martenziticky vytvrditelné s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálostí rozměrů,
- oceli ke snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování. [11]

Na Obr. 1 je zobrazen ilustrační řez vstřikovací formou a v Tab. 1 jsou uvedeny příklady použití ocelí pro jednotlivé komponenty vstřikovací formy.



Obr. 1 Řez vstřikovací formou [22]

Tabulka 1 Doporučené oceli pro jednotlivé části forem [11,12]

Pozice	Díl formy	Materiál	
		ČSN 42 0002	ČSN EN 10027-2
3, 12	Upínací desky	11 500, 11 600	1.0050, 1.0060
10	Opěrné desky	11 600, 12 060	1.0060, 1.0535
18, 19	Vyhazovací desky (kotevní a opěrné)	11 500, 11 600	1.0050, 1.0060
11	Rozpěrné desky	11 500, 11 600	1.0050, 1.0060
22	Dorazy	12 060, 19 550	1.0535, 1.2355
1, 14	Středící kroužky	11 600, 12 060	1.0060, 1.0535
15	Táhlo	11 500, 11 600	1.0050, 1.0060
17	Středící trubky	14 220, 19, 083	1.7131,1.1730
16	Vodící pouzdra	14 220, 19, 083	1.7131,1.1730
8	Vodící čepy	11 600, 19 191	1.0060, 1.1545
4	Vtokové vložky	19 314, 19 552	1.2825,1.2343
6, 7	Tvárníky a tvárnice	19 314, 19 552	1.2825,1.2343
23	Vyhazovače	19 191, 19 421	1.1545, 1.2210

1.1.2 Slitiny hliníku

Formy vyrobené ze slitin hliníku se používají na specifické aplikace. Tyto formy nevynikají takovou pevností a odolností jako oceli, zato mají velkou tepelnou vodivost a jsou odolné vůči korozi.

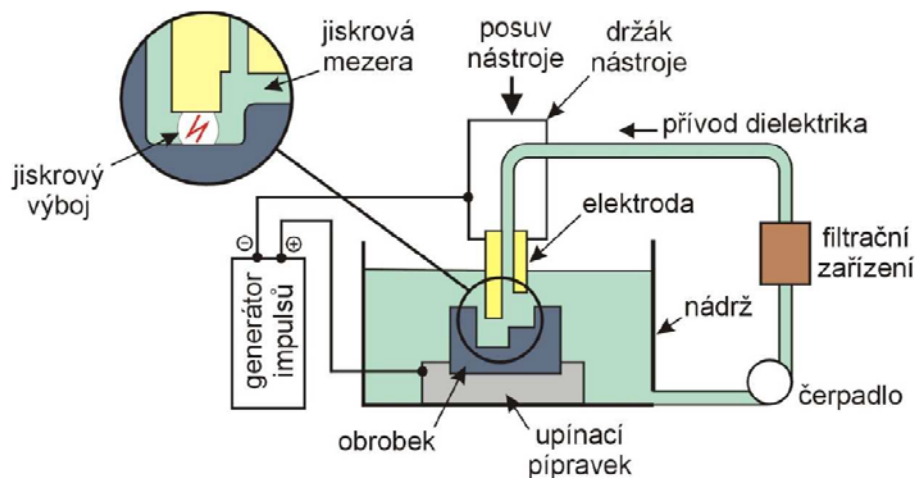
Tyto formy se využívají např. při vstřikování strukturních pěn, kde je vyžadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi a dalším látkám, které vznikají při vstřikování plastů s nadouvadlem. Při vstřikování se používají nižší tlaky (až 10x menší oproti ocelovým formám) a proto u těchto forem není vyžadována tak velká pevnost. [11]

1.1.3 Slitiny mědi

Dalším materiálem, který lze použít při výrobě forem jsou slitiny mědi. Hlavní výhodou těchto slitin je jejich velká tepelná vodivost (4x vyšší oproti ocelím). Čas chlazení u ocelových forem tvoří výraznou část vstřikovacího cyklu (přibližně 70 %). Využitím slitin mědi můžeme dosáhnout dvaceti až padesáti procentní zkrácení času chlazení, čímž se výrazně sníží doba celkového vstřikovacího cyklu, což se samozřejmě pozitivně projeví na ceně vstřikovaného produktu. Výhodnější procesní časy rovněž zlepšují kvalitu struktury vstřikovaného materiálu, čímž dosáhneme lepší jakosti povrchu i přesnější geometrie tvaru výrobku. Nevýhodou použití měděných slitin je jejich horší opracovatelnost elektroerozivními metodami. Slitiny mědi se používají pro chladicí trny tenkých tvárníků, ale i na tvarové vložky. Dále se také využívají na vyhazovací kolíky, vytáčet matice a šrouby, vodící a středící pouzdra, různá vedení atd. [11]

1.2 Elektroerozivní obrábění vstřikovacích forem

Elektroerozivní obrábění je nekonvenční způsob obrábění, které zahrnuje celou řadu metod. Všechny metody pracují na základě jednoho fyzikálního principu, kterým je úběr materiálu vyvolaný periodicky se opakujícími elektrickými, resp. obloukovými výboji mezi nástrojem a obrobkem (viz Obr. 2). Nástroj i obrobek musí být ponořeny v dielektrické kapalině, která je charakteristická vysokým elektrickým odporem (např. petrolej). Dále mezi nástrojem a obrobkem musí vytvořena tzv. jiskrová mezera (0,01 až 0,50 mm). Další důležitou podmínkou je, aby obráběný materiál byl elektricky vodivý. [13]



Obr. 2 Princip elektroerozivního obrábění [14]

Celkový proces úběru materiálu se skládá ze střídajících se impulzních výbojů, které jsou rozloženy po celé aktivní ploše nástroje. Při jednotlivých výbojích jsou vypařováním a tavením odstraněny velmi malé částice, které jsou z obráběné oblasti odplaveny pomocí dielektrické kapaliny. Při použití elektrického oblouku se dosahuje teploty 3600 až 4000 °C po dobu 0,1 ms až 0,1 s, kdežto při využití jiskrového výboje se dosahuje teploty až 10000 °C po dobu 0,01 ms až 0,10 ms. Na základě fyzikálních podmínek úběru materiálu se elektroerozivní obrábění dělí na:

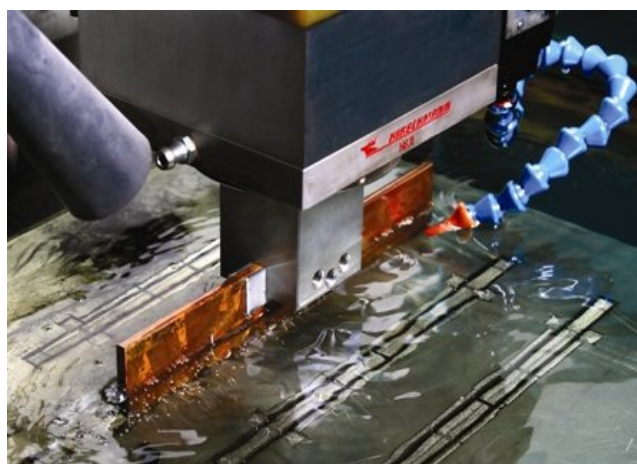
- Elektrojiskrové obrábění,
- Elektrokotáční obrábění,
- Anodomechanické obrábění. [13]

Elektrojiskrové obrábění

Elektrojiskrové obrábění označované také jako EDM (Electrical Discharge Machining) je nejvíce využívaný způsob elektroerozivního obrábění. Elektrojiskrové obrábění lze rozdělit dle použitého nástroje na elektrojiskrové hloubení a elektrojiskrové řezání.

Elektrojiskrové hloubení

Nástrojová elektroda se při elektrojiskrovém hloubení automaticky posouvá proti obrobku, přičemž řídicí systém musí udržovat konstantní velikost jiskrové mezery (0,01 až 0,5 mm). U tvarově složitějších ploch lze uplatnit stroje s CNC řízením, díky kterým lze pohybovat elektrodami po předem definovaných drahách. Produktivita obrábění a jakost povrchu obrobku závisí na tvaru a frekvenci výbojů, dielektrické kapalině, materiálu obrobku a nástroje, případně na parametrech elektrického proudu. Na Obr. 3 je znázorněno využití elektrojiskrového hloubení při obrábění tvarové části dutiny formy. [13,16]



Obr. 3 Elektrojiskrové hloubení [15]

Výhody:

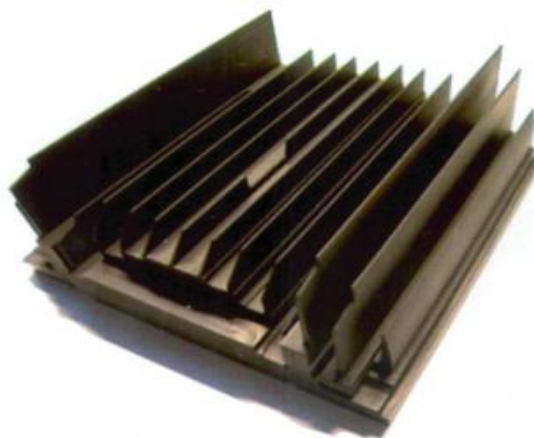
- možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti,
- na hranách výrobku nezůstávají otřepy,
- automatizace výrobního procesu,
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení,
- vzniká menší odpad než při konvenčním mechanickém obrábění,
- velký rozsah pracovních parametrů umožňující vyrábět povrchy různých jakostí.

Nevýhody:

- nutnost ponoření obrobku do dielektrika,
- nelze spolehlivě určit výslednou jakost povrchu (mnoho působících faktorů),
- nepřímá úměra mezi produktivitou obrábění a jakostí povrchu. [13]

Nástrojové elektrody

Nástrojové elektrody jsou důležité jak z hlediska technického (určují přesnost rozměrů, výkon obrábění a jakost obrobené plochy), tak i z pohledu ekonomického (jejich výroba činí až 50 % celkových výrobních nákladů). Materiál elektrody musí mít samozřejmě vysokou elektrickou vodivost, dobrou obrobiteľnost, vysoký bod tavení a dostatečnou pevnost. Mezi metody používané při výrobě nástrojových elektrod patří lisování, obrábění, lití, prášková metalurgie a galvanoplastika. Volba materiálu nástrojové elektrody záleží na materiálu obráběné součásti, použitém stroji a relativním objemovém opotřebování nástrojové elektrody. Nástrojové elektrody jsou vyráběny nejčastěji z grafitu, dále se používají měděné elektrody, slitina wolframu a stříbra, slitina chromu a mědi, anebo také kombinace mědi a grafitu. [13,16]



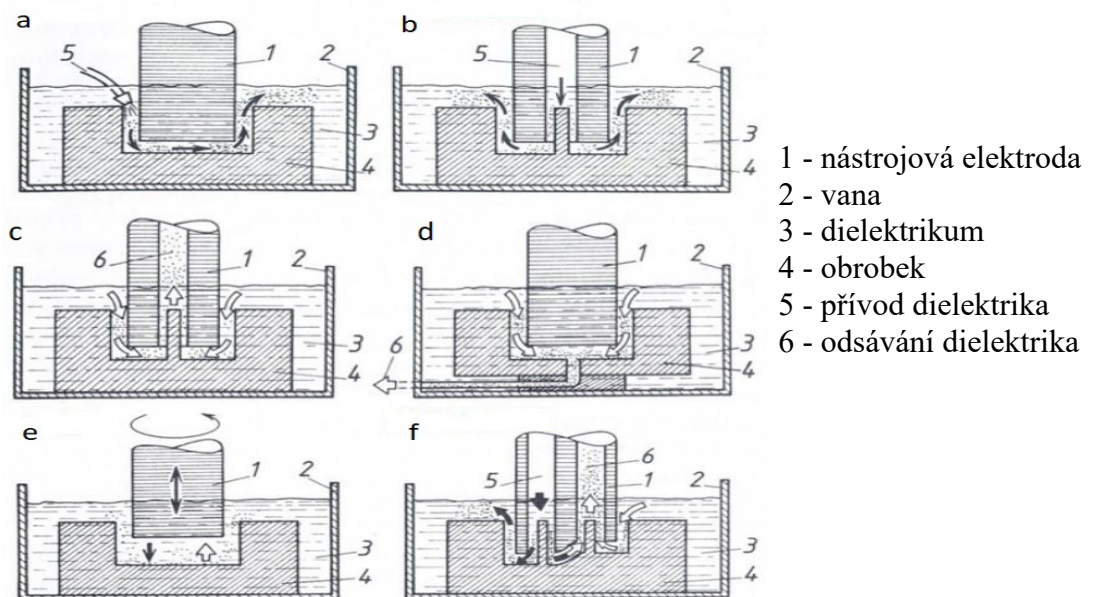
Obr. 4 Grafitová elektroda [16]

Dielektrikum

Hlavní funkcí dielektrika je odplavení mikročástic obráběného materiálu, které se nacházejí v jiskrové mezeře. Jako dielektrika se používají: petrolej, strojní a transformátorový olej, destilovaná nebo deionizovaná voda a speciální dielektrika dodávaná výrobcí strojů. [16]

Přívod dielektrické kapaliny mezi obrobek a nástrojovou elektrodu (tzv. vyplachování) je možné uskutečnit následujícími způsoby (viz Obr. 5):

- vnější vyplachování – nejčastěji se používá při obrábění dutin o větší hloubce,
- pulzní vyplachování – charakterizováno přerušením procesu elektroerozivního obrábění na 0,15 až 10 s, přičemž současně dochází k oddálení nástrojové elektrody od obrobku o 0,02 až 10 mm, díky tomu se zvětší jiskrová mezera a dosáhne se tak dokonalého vypláchnutí. Tento způsob je výhodný při výrobě hlubokých dutin a lze jej na moderních CNC systémech naprogramovat,
- vnitřní tlakové vyplachování – dielektrikum je přiváděno otvorem v nástrojové elektrodě přímo do pracovního prostoru,
- vyplachování odsáváním – odsávání dielektrika dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku. Hlavní nevýhodou je velmi malá tvarová přesnost obráběné dutiny,
- kombinované vyplachování – kombinace vnitřního tlakového vyplachování a odsáváním. Dosaženo přesných tvarů obráběné dutiny. [16]

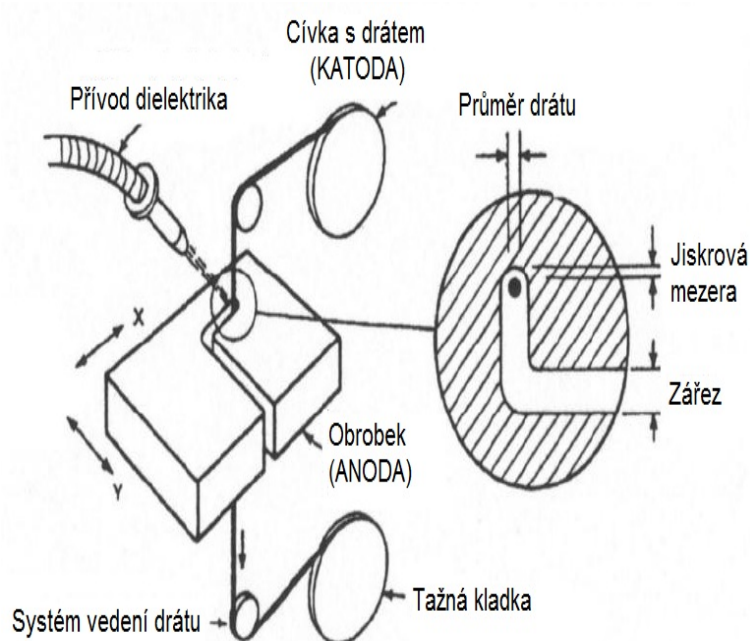


Obr. 5 Způsoby vyplachování dielektrika [16]

a) vnější, b) tlakové vnitřní, c), d) odsáváním, e) pulzní, f) kombinace

Elektrojiskrové řezání

Technologie elektrojiskrového řezání je specifická minimální šířkou řezu, který může být veden po libovolné dráze. Nástrojem je tenký drát, který se za pomoci speciálního zařízení odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu (viz Obr. 6). Aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení je drát odvíjen pomocí speciálního navíjecího mechanismu. Dráty se vyrábějí z mědi a jejich slitin. Nejčastěji se dráty vyrábějí z mosazi a v současné době se také využívá povlakování drátů např. zinkem. Průměr drátů se pohybuje v rozmezí od 0,03 až do 0,35 mm.



Obr. 6 Elektrojiskrové řezání [18]

Touto metodou lze řezat materiály o velmi vysoké tvrdosti a pevnosti (slinuté karbidy, slitiny titanu atd.). Při použití vhodného řídicího systému lze obrábět i velmi složité tvary, jelikož některé systémy umožňují naklonění nástrojové elektrody ke svislé ose v rozsahu $\pm 30^\circ$. Přesnost řezání je dána přesností stroje a CNC řízení, přesností vedení a napnutí drátu, kvalitou přívodu a čištění dielektrika, a také stabilitou nastavených parametrů. V praxi lze dosáhnout drsnosti obrobeneho povrchu $R_a 0,2 \mu\text{m}$. Tato metoda se například využívá při výrobě děr pro kolíkové vyhazovače. [13,16]

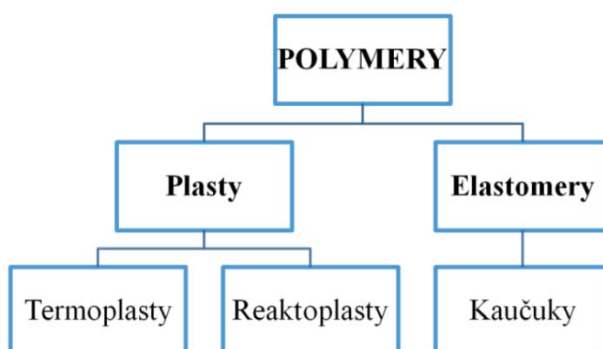
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, často dusíku, chloru a jiných prvků. V makromolekule polymeru se jako článek v řetězu mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka (monomer).

Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar podle předpokládaného použití. Vlastnosti polymerů závisí na jejich fázovém stavu, molekulové hmotnosti a chemickém složení. [1]

2.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery dělíme do dvou základních skupin, jak můžeme vidět na Obr. 7. První skupinu zastupují plasty a druhou skupinu tvoří elastomery. [1]



Obr. 7 Rozdělení polymerů

2.1.1 Plasty

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a tvarovatelnými. Plasty obsahují také přísady, které slouží k modifikaci jejich vlastností. Jsou to zejména plniva, stabilizátory a změkčovadla. [1,3]

Termoplasty jsou materiály, které při zahřívání přechází do plastického stavu a lze je tvářet. Do oblasti taveniny přechází zahřátím nad teplotou tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze termoplasty opakovaně tepelně zpracovávat. Jedná se o nejpoužívanější materiály v plastikářském průmyslu. [4,6]

Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Během zahřívání, případně pomocí síťovacích činidel nebo záření, dochází k chemické změně k tzv. vytvrzování (prostorové zesíťování struktury). Jedná se o nevratný proces, po kterém vytvrzené materiály nelze roztavit ani rozpustit a dalším zahřátím dojde k degradaci materiálu. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou odolností, tvrdostí, tuhostí a tepelnou odolností. Oproti termoplastům je jejich recyklace velmi náročná. [4,6]

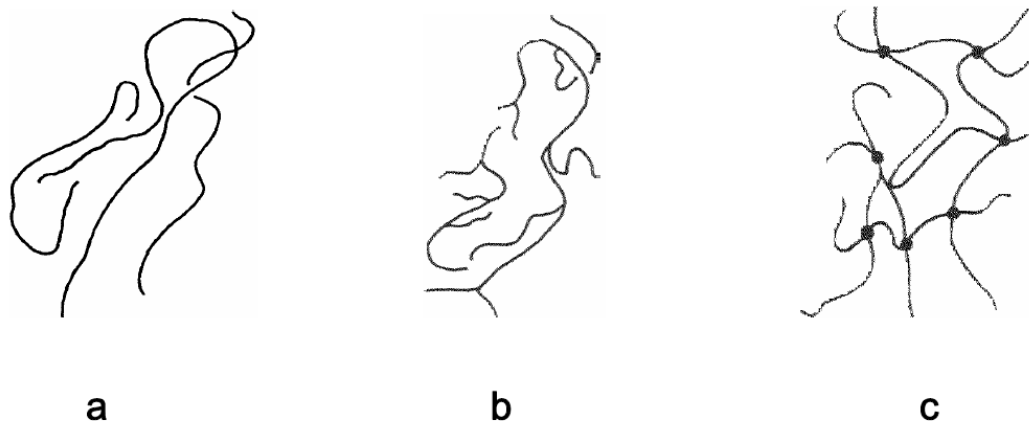
2.1.2 Elastomery

Elastomer je, jak název napovídá, vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Nejpočetnější podmnožinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. [1]

2.2 Makromolekulární uspořádání polymerů

Polymery jsou tvořeny makromolekulami, složenými z jednotlivých opakujících se dílců (monomerů). Podle jejich seřazení dělíme polymery na:

- *Lineární polymery* skládající se z jednotlivých monomerů, které jsou seřazeny vedle sebe a vytváří řetězec.
- *Rozvětvené polymery*, které obsahují hlavní řetězec, na kterém jsou navázány boční větve.
- *Síťované polymery* obsahující příčné vazby, které spojují sousední řetězce.



Obr. 8 Struktura polymerů [1]

a) lineární; b) rozvětvená; c) zesíťovaná

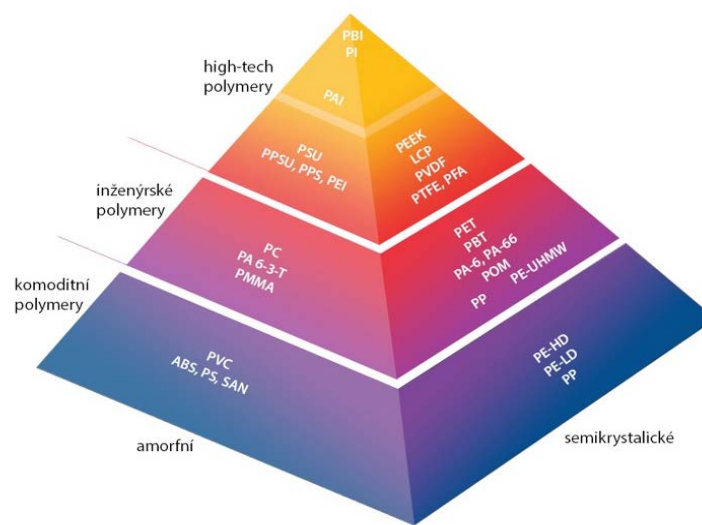
2.3 Rozdělení polymerů dle aplikace

Polymerní materiály můžeme dle použití v praxi rozdělit do následujících skupin:

Komoditní polymery, které jsou nejvíce rozšířené, vyráběny ve velkých objemech (PP, PS).

Konstrukční (inženýrské) polymery, které jsou schopné vydržet konstrukční namáhání, mají vysokou pevnost, tuhost a houževnatost (PA, POM, ABS).

High-tech polymery mající vlastnosti konstrukčních polymerů, vysokou chemickou odolnost a jsou odolné i při vysokých teplotách.



Obr. 9 Rozdělení polymerů dle aplikace [4]

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

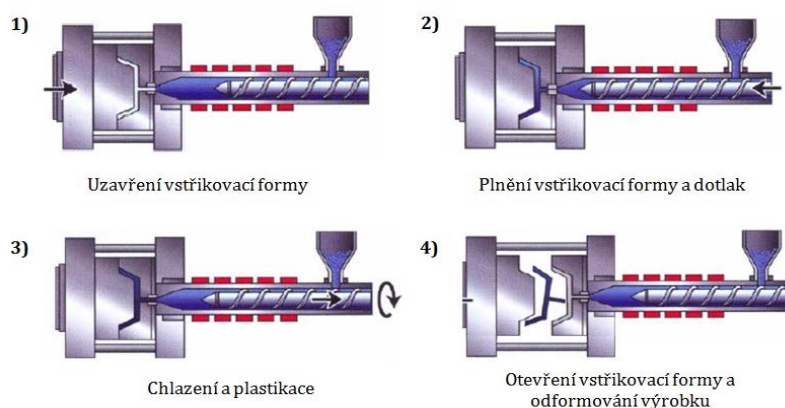
Vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, v menší míře se vstřikují i reaktoplasty a v posledních letech se začíná rozvíjet i vstřikování elastomerů. Podstata technologie vstřikování je založena na cyklickém opakování jednotlivých částí výrobního procesu, které jsou podrobněji popsány v dalších kapitolách.

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter koncového výrobku (krabičky, vaničky apod.), anebo jsou to polotovary a díly pro další kompletaci samotného výrobního celku (nárazníky, světlomety atd.).

Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností fyzikálních a mechanických vlastností. Další výhodou této technologie je možnost výroby geometricky složitého výrobku v jednom automatizovaném procesu. Mezi hlavní nevýhody technologie vstřikování patří zejména velmi vysoké pořizovací náklady na nákup vstřikovacích strojů a forem, a také velikost strojního vybavení ve vztahu k velikosti dílu. Technologie vstřikování je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu, kde je předpoklad rychlé návratnosti vynaložených investic. [7,8,19]

3.1 Princip vstřikování

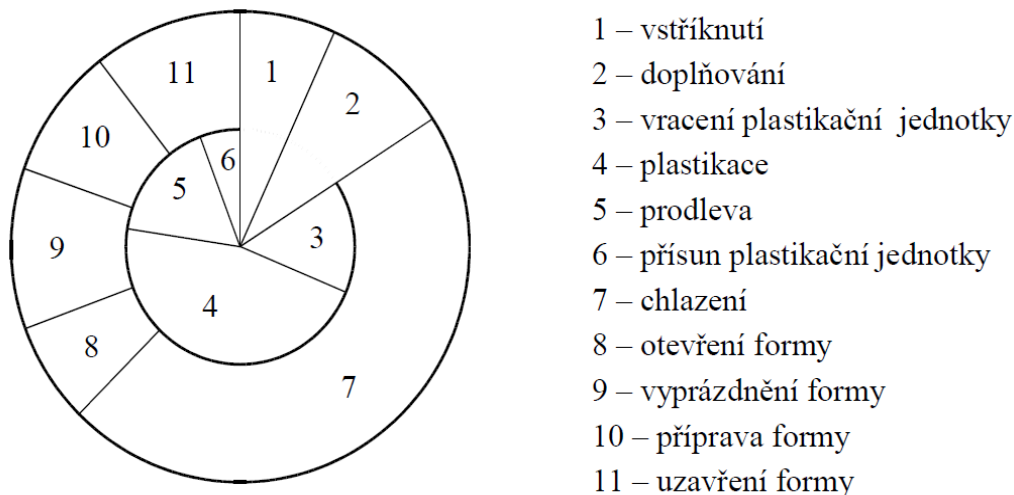
Princip vstřikování (Obr. 10) je založen na cyklickém opakování následujících operací: Plast (nejčastěji granulát) je nasypán do násypky vstřikovacího stroje, z níž je odebírán do jeho pracovní části, kde účinkem tepla a tření vzniká tavenina. Tavenina je poté vstřikována do dutiny formy, která má tvar budoucího výrobku. Následuje dotlak a chlazení. Po ochlazení výrobku se forma v dělicí rovině otevře a výrobek se odformuje.



Obr. 10 Princip vstřikování [20]

3.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus, znázorněný na Obr. 11, charakterizuje procesy, které se dějí ve vstřikovací formě a úkony, jenž probíhají v plastikační jednotce vstřikovacího stroje.



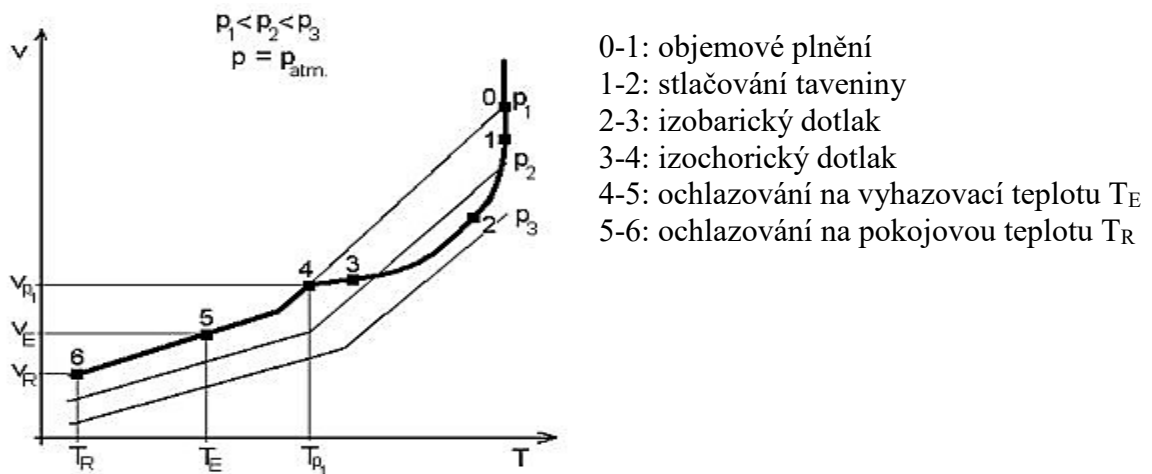
- 1 – vstříknutí
- 2 – doplňování
- 3 – vracení plastikační jednotky
- 4 – plastikace
- 5 – prodleva
- 6 – přísun plastikační jednotky
- 7 – chlazení
- 8 – otevření formy
- 9 – vyprázdnění formy
- 10 – příprava formy
- 11 – uzavření formy

Obr. 11 Průběh vstřikovacího cyklu [10]

V první fázi se materiál dávkuje z násypky vstřikovacího stroje do plastikační jednotky, kde se převádí do plastikovaného stavu. Po přísunutí plastikační jednotky k formě a dosednutí vstřikovací trysky na vtokovou vložku, se tavenina pod tlakem přesune z plastikační jednotky do vtokového systému a následně do dutiny formy. Na vstřikovací fázi navazuje fáze dotlaku. Dotlak má částečně kompenzovat vliv smrštění polymeru, dále zabraňovat unikání materiálu z dutiny formy a lze jím rovněž ovlivnit i zbytkové pnutí ve výstřiku. Dotlakem je možné působit až do zatuhnutí materiálu ve vtokovém systému. V další fázi následuje chlazení výstřiku. Doba chlazení závisí na teplotě formy a na rozměrech vstřikovaného výrobku, zejména pak na jeho tloušťce. Čím je tloušťka výstřiku větší a teplota formy vyšší, tím delší je doba chlazení. Obecně platí, že proces chlazení zaujímá největší část z celého vstřikovacího cyklu. Po zatuhnutí výrobku se forma v dělicí rovině otevře a dojde k vyhození výrobku. Vyhození výrobku probíhá většinou automaticky pomocí vyhazovačů nebo stírací desky. Během chlazení a vyjmutí výrobku se v plastikační jednotce připravuje nová dávka roztaveného materiálu, tak aby vstřikovací stroj mohl po uzavření formy zahájit další vstřikovací cyklus. Vstřikovací cyklus může být také doplněn o další fáze, které se věnují přípravě dutiny formy na další vstřikovací cyklus (např. čištění dutiny formy). [22]

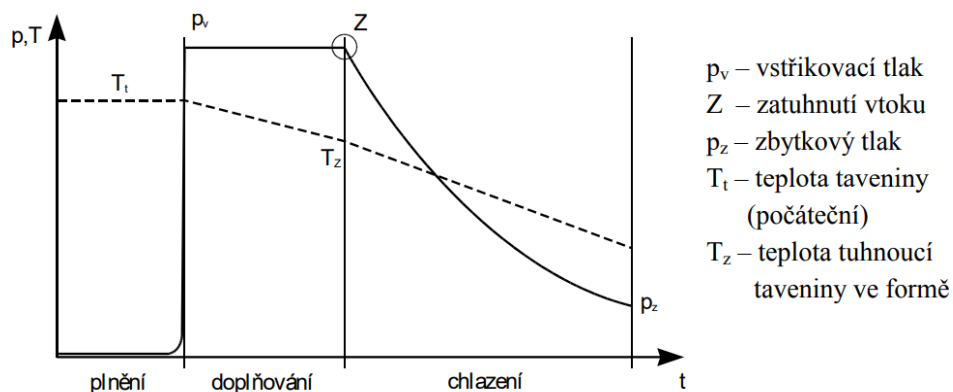
3.3 Průběh stavových termodynamických veličin během vstřikování

Vstřikovací cyklus můžeme také popsat pomocí stavových termodynamických veličin, tj. tlaku p , měrného objemu v a teploty materiálu T (viz p v T diagram znázorněný na Obr. 12). Pomocí tohoto diagramu můžeme určit přibližné změny měrného objemu při změně teploty a pro definovaný tlak. Tento diagram se u nejmodernějších vstřikovacích strojů používá k řízení vstřikovacího procesu, jelikož definuje průběh dotlaku s ohledem na požadovanou přesnost výrobku. [8,17]



Obr. 12 Vstřikovací cyklus v p v T diagramu [17]

Průběh stavových veličin je v různých místech výstřiku odlišný. Tato skutečnost je dána tvarem výrobku, tloušťkou jeho stěn, vstřikovacím tlakem, velikostí dotlaku, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny, teplotou formy a rovněž vstřikovaným plastem. Změny stavových veličin přímo určují vznik struktury a mají vliv na rozměry a hmotnost vstřikovaného výrobku. [8]



Obr. 13 Průběh teploty a tlaku v dutině formy [17]

3.4 Faktory ovlivňující kvalitu vstřikovaného výrobku

Kvalita vstřikovaných dílů a jejich mechanické a fyzikální vlastnosti jsou ovlivněny mnoha parametry. Tyto parametry nepůsobí samostatně, ale vždy se navzájem ovlivňují.

Na kvalitu výstřiku a jeho fyzikální a mechanické vlastnosti mají vliv následující parametry:

a) Konstrukce vstřikovaného výrobku

- velikost výrobku,
- tloušťka stěny,
- velikost rádiusů,
- hmotnost výrobku.

b) Charakteristické hodnoty polymeru

- reologické – viskozita taveniny jako funkce teploty, času a tlaku, dále stlačitelnost a zatékavost,
- granulometrické – tvar granulí, obsah maziva, sypaný objem,
- tepelné – tepelná vodivost, teplota tání, měrné teplo, teplota krystalizace.

c) Faktory určené konstrukcí formy

- tvar dutiny formy (tloušťka stěny),
- vtokové ústí a jeho umístění,
- členitost formy,
- násobnost formy,
- konstrukce vyhazování,
- konstrukce odvodušnění,
- kvalita povrchu vstřikovací formy,
- průřezy vtokových a rozváděcích kanálů.

d) Technologické parametry

- vstřikovací tlak – ovlivňuje rychlost plnění, uzavírací sílu, velikost smrštění, vnitřní pnutí apod.,
- teplota formy – ovlivňuje tekutost plastu, dobu chlazení, rychlost plnění, povrch výrobku, dotlak, smrštění atd.,
- teplota taveniny – má vliv na tokové chování plastu, dobu chlazení, smrštění a vstřikovací tlak,
- velikost a doba trvání dotlaku – ovlivňuje smrštění, vnitřní pnutí a rozměry výrobku. [8,22]

3.5 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je jeden z hlavních komponentů technologie vstřikování. Od vstřikovacího stroje se vyžaduje, aby svými parametry a dokonalým řízením dosáhl výroby výstřiků o požadované jakosti. Vstřikovací stroje je možné dělit podle následujících parametrů:

- Dle pracovního členu v tavicí komoře vstřikovací jednotky – pístové, diskové a šnekové vstřikovací stroje.
- V případě, že jsou použity šnekové vstřikovací stroje, tak se tyto stroje dělí podle počtu šneků – jednošnekové nebo vícešnekové.
- Podle typu zpracovávaného materiálu – vstřikovací stroje na zpracování termoplastů, reaktoplastů nebo kaučukových směsí.
- Dle pohonu (zajišťující posuvy vstřikovací a uzavírací jednotky) – hydraulické nebo elektrické vstřikovací stroje, případně hybridní vstřikovací stroje, které kombinují výhody obou typů pohonů.
- Dle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky – horizontálně nebo vertikálně orientované vstřikovací stroje.
- Dle použití předplastikace ve vstřikovací jednotce – vstřikovací stroje bez předplastikace a s předplastikací.
- Podle počtu vodících tyčí uzavírací jednotky – bez vodících tyčí (bezploupkové), se dvěma vodícími tyčemi nebo se čtyřmi vodícími tyčemi.
- Dle maximální síly, kterou je uzavírací jednotka schopna vyvinout – malé vstřikolisy (do 50 tun), střední vstřikovací stroje (50-500 tun) a velké vstřikovací stroje (nad 500 tun). [1,22]

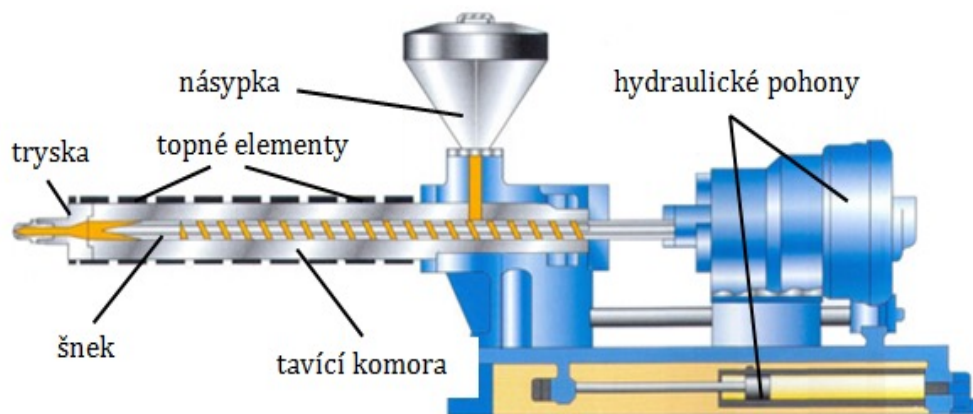
V současné době se většinou využívají hydraulické, respektive hydraulicko-mechanické vstřikovací stroje. Tyto stroje jsou většinou plně automatické. Samotná konstrukce vstřikovacího stroje je charakterizována dle:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládací a řídicí jednotky. [10]

3.5.1 Vstřikovací jednotka

Hlavní funkcí vstřikovací jednotky určené pro termoplasty je převedení polymeru, který je v tuhém stavu, do stavu viskózní taveniny a následný přesun do tvarové dutiny vstřikovací formy. Vstřikovací jednotka, která je zobrazena na Obr. 14 pracuje tak, že se do prostoru pracovního válce dopraví z násypky zpracovávaný plast, kde pomocí otáčejícího se šneku je materiál přesouván ze vstupního pásma, přes pásmo přechodové až do pásma výstupního. Při přechodu přes tyto pásma dochází účinkem tepla a disipace k homogenizaci a plastikaci zpracovávaného materiálu.

Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která slouží jako spojovací element mezi vstřikovací jednotkou a formou. Kulové zakončení trysky zajišťuje optimální dosednutí do sedla vtokové vložky. U vstřikovací jednotky musí být zajištěna souosost trysky a vtokové vložky a rovněž průměr trysky musí být menší než průměr sedla vtokové vložky. [10,23]



Obr. 14 Vstřikovací jednotka [23]

Výkon vstřikovací jednotky je charakterizován zejména dvěma parametry, kterými jsou vstřikovací kapacita a plastikační kapacita.

Vstřikovací kapacita

Vstřikovací kapacita je maximální objem taveniny, který je možné na daném stroji vystříknout během jednoho pracovního zdvihu. Jinými slovy jde o maximální objem tavné komory, který je omezen čelem šneku v jeho krajních polohách. Vstřikovací kapacita je nejčastěji udávána v cm^3 a jedná se o jednu z nejdůležitějších charakteristik vstřikovacího stroje. Maximální vstřikovací množství by nemělo překročit 90 % kapacity vstřikovací jednotky, protože je nutná materiálová rezerva, kterou lze kompenzovat úbytek materiálu způsobeným smrštěním. Za optimální množství materiálu se považuje 80 % kapacity vstřikovací jednotky. [10,23]

Plastikační kapacita

Plastikační kapacita vstřikovacího stroje udává maximální množství taveniny, kterou je vstřikovací stroj schopen převést do taveniny vyhovující kvality za 1 hodinu. Udávaná hodnota má spíše orientační charakter, a proto bývá využívána pouze jako přibližný údaj, který slouží pro výpočet orientačního času potřebného pro plastikaci daného množství materiálu. Kromě otáček šneku a jeho geometrií, je tato hodnota ovlivněna typem zpracovávaného polymeru a působící teplotou. [5,23]

3.5.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje uzavření a otevření formy během procesu vstřikování. Při uzavření formy musí uzavírací jednotka vyvinout takovou sílu, aby při vstřikování nedošlo k otevření formy v dělicí rovině. Velikost uzavírací síly se stanovuje na základě velikosti vstřikovacího tlaku a plochy dutiny a vtoků v dělicí rovině. Uzavírací síla je vyvozena buďto mechanicky (mechanické zapříčení formy v potřebné poloze) nebo hydraulicky (síla je vyvozena hydraulickým pístem), případně kombinací obou zmíněných systémů. Dle pohonu, který zajišťuje posuvy uzavírací desky, se uzavírací jednotky dělí na elektrické nebo hydraulické. Uzavírací jednotka se skládá z vodících sloupků, z pevné a pohyblivé upínací desky a z uzavíracího mechanismu, který má různá provedení. [10]

Vstřikovací a uzavírací jednotky zaujímají vůči sobě určitou polohu. Nejčastější uspořádání je horizontální poloha mezi vstřikovací a uzavírací jednotkou (vstřikování probíhá kolmo do dělicí roviny). Existují ale i další možnosti uspořádání, které jsou naznačeny na Obr. 15.



Obr. 15 Vzájemné polohy mezi vstřikovací a uzavírací jednotkou [21]

4 STRUKTURA POVRCHU

Strukturu povrchu můžeme popsat jako parametr, který se skládá z náhodných a opakovaných odchylek skutečného povrchu od povrchu ideálního, kterého ale nelze v reálných podmínkách nikdy dosáhnout. Kvalita povrchu je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňující funkční vlastnosti, spolehlivost a trvanlivost výrobku. [2,33]

4.1 Základní parametry struktury povrchu

Tvar

Charakterizuje obecný tvar povrchu při vyloučení vlnitosti a drsnosti. Tvarové úchytky povrchu mohou být způsobeny špatnou přímostí vodících ploch, nedostatečnou tuhostí nebo teplem vzniklým během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obráběné plochy. [29]

Vlnitost

Vlnitost je část textury povrchu, na které je vytvořena drsnost. Vlnitost povrchu může být způsobena chvěním, zpevněním materiálu nebo deformací obrobku. Obecně je spíše způsobena strojem např. nevyvážeností brousícího kotouče apod. [29]

Drsnost

Jako drsnost povrchu označujeme nepravidelnosti, které jsou zapříčiněny vzájemným působením mezi nástrojem a obrobkem. Drsnost povrchu je také ovlivněna mechanismem tvoření třísky. [29]

4.2 Parametry profilu nerovnosti

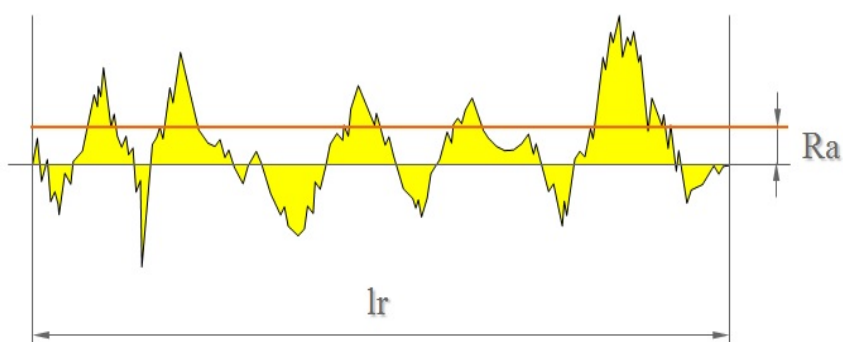
Parametry profilu nerovnosti se dělí do následujících skupin:

- Amplitudové neboli výškové parametry – určeny pouze velikostí vrcholů, prohlubní nebo jejich kombinacemi. (např. parametr drsnosti Ra),
- Frekvenční parametry – tyto parametry se zkoumají pouze v podélném směru a určují se pouze při roztečích nepravidelností podél plochy (např. Rsm – průměrná šířka prvků profilu),
- Hybridní parametry – kombinují parametry amplitudové a rozteče (př. střední vlnová délka). [25,29]

4.3 Amplitudové parametry

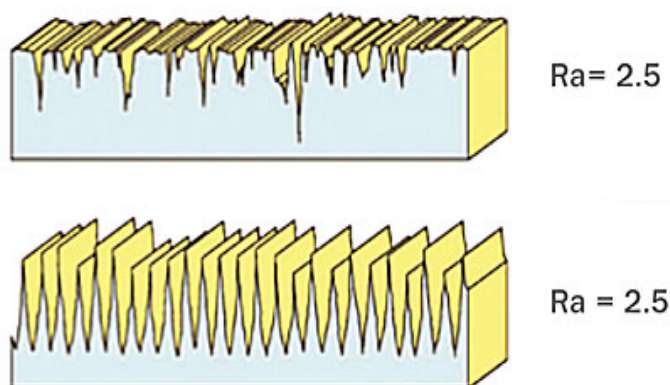
4.3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a

Je to aritmetický průměr absolutních hodnot úchylek v rozsahu základní délky (l_r). Jedná se o hlavní výškový parametr drsnosti povrchu, a také jeden z nejvyužívanějších parametrů pro hodnocení kvality povrchu. Parametr R_a je vhodný pro řízení nebo pro regulaci výrobního procesu. Změní-li se hodnota R_a , je to zpravidla způsobeno změnou podmínek vykonávaného procesu (rychlost nebo posuvy při obrábění). [25,29]



Obr. 16 Parametr drsnosti R_a [24]

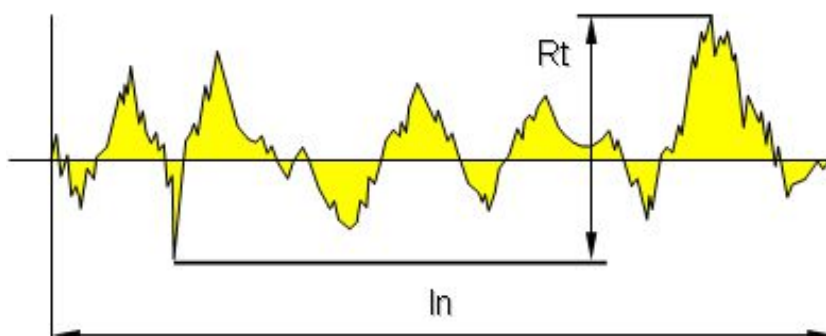
Hlavním nedostatkem tohoto parametru je jeho náchylnost na vychýlené hodnoty. Pokud se na povrchu vyskytují velké výstupky či prohlubně, tak dojde pouze k jejich zprůměrování a výsledná hodnota parametru R_a nebude odpovídající jejich velikosti a profilu (viz Obr 17). [26,33]



Obr. 17 Nevýhoda parametru drsnosti R_a [26]

4.3.2 Celková výška profilu R_t

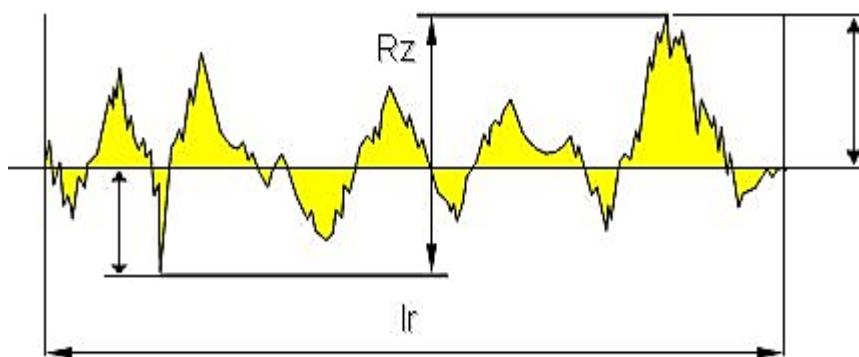
Celková výška profilu R_t je součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnížší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky (l_n), jak je naznačeno na Obr. 18. Tento parametr je významný u vysoce namáhaných součástí, kde velké hodnoty vzdáleností mezi výstupky a prohlubněmi představují oblasti náchylné k poškození povrchu trhlinami. Hodnotu parametru ovlivňují jednotlivé výstupky i jednotlivé rýhy vyskytující se na povrchu. Proto tento parametr může mít velmi nestálou a proměnlivou hodnotu. [25,29]



Obr. 18 Celková výška profilu R_t [27]

4.3.3 Největší výška profilu R_z

Je definována jako součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnížší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (l_r). Hodnota parametru je oproti hodnotě parametru R_t stálejší, jelikož není tak náchylná na rušivé vlivy, které se mohou vyskytnout na povrchu (rýhy, otřepy nebo prach). [25,29]



Obr. 19 Největší výška profilu R_z [27]

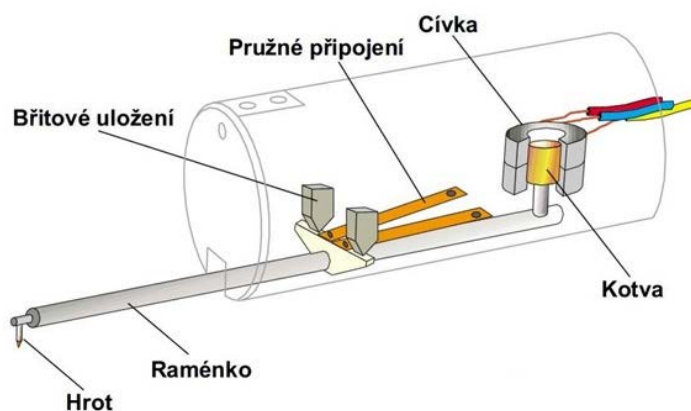
4.4 Měření drsnosti povrchu

Ze širokého spektra metod pro praktické měření drsnosti povrchu se nejčastěji využívají metody dotykové a metody bezdotykové.

4.4.1 Metody dotykové

Měřicí přístroj zkoumá povrch snímacím hrotem a získává úchytky charakterizující profil povrchu. Dále tyto parametry vypočítává a zaznamenává. Měřicí přístroj umožňuje rovněž přenos naměřených dat do PC (pomocí USB nebo COM rozhraní) pro jejich další analýzu. [24]

Princip metody zabezpečuje dotykový profilometr, jehož schéma můžeme vidět na Obr. 20. Dotykový profilometr se skládá z mechanické a elektronické části. Vertikální pohyb hrotu při přechodu nerovností měřené plochy je indukčním měřidlem transformován na elektrický signál. Tento signál je poté zpracováván a následně interpretován jako číselná hodnota zvoleného parametru drsnosti povrchu, případně jako grafický záznam profilu nerovností zkoumaného povrchu. Pro tento způsob snímání je charakteristická malá měřicí síla (síla přitlačující hrot k povrchu), což snižuje nebezpečí poškození měřeného povrchu. Ve strojírenském průmyslu má kontaktní metoda oproti bezkontaktní velkou výhodu, která spočívá ve větší toleranci vůči znečištění povrchu. [12,24]



Obr. 20 Schéma indukčního snímače [24]

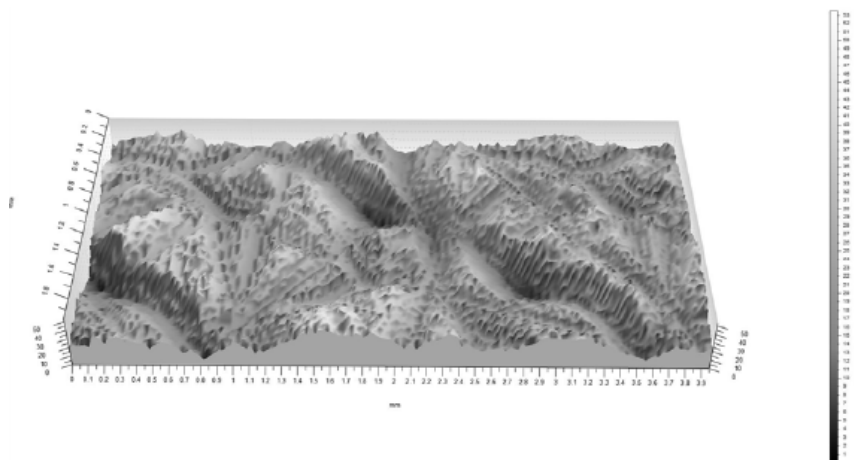
Správnost výsledků měření ovlivňuje:

- poloměr zaoblení snímacího hrotu,
- vrcholový úhel snímacího hrotu,
- měřicí síla,
- rychlost změny měřicí síly. [24]

4.4.2 Metody bezdotykové

Hlavními přednostmi bezdotykových metod snímání drsnosti povrchu jsou především rychlost měření, přesnost a možnost měření na citlivých materiálech. Tyto metody se nejčastěji využívají zejména v laboratorní a vědecké praxi.

Některé bezdotykové přístroje nám umožňují vytvořit 3D model zkoumaného povrchu. Díky vytvoření prostorového modelu povrchu (Obr. 21) můžeme analyzovat různé vady povrchu, jakými jsou např. škrábance, praskliny apod., což nám umožňuje komplexnější zhodnocení dané struktury. [31, 32]



Obr. 21 3D model měřeného povrchu [33]

Nejčastěji se využívají snímače CLA (CLI) nebo snímače laserové. Hlavní rozdíl u těchto snímačů je v jejich rozlišitelnosti. Zatímco CLI snímače (Obr. 22) pracují s rozlišitelností v řádu μm , tak u laserových snímačů je rozlišitelnost o řád menší. [24]



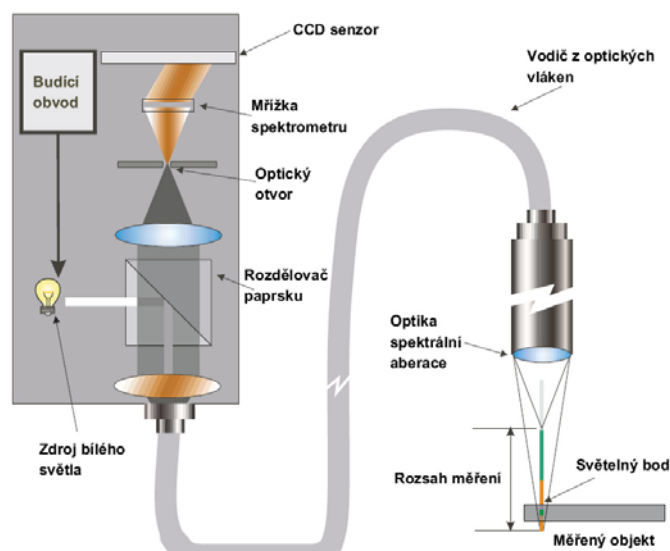
Obr. 22 CLI snímač

Základní rozdíl mezi kontaktním a bezkontaktním způsobem měření drsnosti je šířka pásma dat. Mnoho optických metod měření pracuje na principu zaostření bodu na kontrolovaném povrchu. Zkoumaná struktura povrchu je odvozena z „průměrného“ signálu získaného z plochy zaostřeného bodu, jehož velikost se pohybuje v řádech mikrometrů. Výsledným efektem je tzv. uhlazení povrchu, jenž má za následek zmenšení šířky pásma dat pro zpracování.

Při použití bezkontaktních měřících přístrojů dochází k tzv. ztrátě dat. Tento problém nastává zejména při měření na hranách zkoumaného povrchu nebo v oblastech rychlých a náhlých změn tvaru profilu povrchu. V těchto měřených místech se nemusí světelný paprsek optimálně odrážet zpět do detektoru a tím pádem nemusí být tyto hodnoty zaznamenány. Ztráta dat může být rovněž způsobena velmi vysokou nebo naopak nízkou odrazivostí měřeného povrchu. Dalším problémovým místem jsou oblasti převýšení povrchů. Software, kterým je snímač vybaven tato data většinou vyloučí použitím interpolace okolních dat, což se samozřejmě negativně projeví na integritě výsledků měření. [28]

CLA snímač

Princip CLA snímače lze popsat podle Obr. 23 následovně. Bílé světlo je rozkládáno a optikou směřováno na zkoumaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu dojde k zaostření jen určité vlnové délky. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr poté vychýlí světlo na maticový senzor, kde je každému bodu přiřazena prostorová poloha, jenž je následně počítačově zpracována a vyhodnocena. [24]



Obr. 23 Schéma CLA snímače [24]

5 INTERPRETACE NAMĚŘENÝCH DAT

5.1 Chyba měření

Chyba měření je rozdíl mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny. Chyba měření má složku systematickou a náhodnou. [29]

5.1.1 Absolutní chyba měření

Absolutní chyba měření je rozdíl mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny. [29]

$$\Delta = x_m - x_p \quad (1)$$

Kde:

x_m – změřená hodnota veličiny,

x_p – (konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny.

5.1.2 Relativní chyba měření

Protože v praxi není možné pravou hodnotu měřené veličiny získat, nahrazuje se tzv. konvenčně pravou hodnotou, která se blíží pravé hodnotě s dostatečnou přesností. Konvenčně pravá hodnota se získá pomocí metod měření, které jsou řádově až 10x přesnější. Relativní chyba měření je podíl chyby měření (absolutní) a pravé hodnoty měřené veličiny. Tato chyba měření lze rovněž vyjádřit v procentech. [29]

$$\Delta_r = \frac{x_m - x_p}{x_p} \quad (2)$$

5.1.3 Systematická chyba

Systematická chyba jednosměrně zkresluje výsledek měření a je způsobena:

- Metodou měření (chyba metody),
- Kvalitou přístrojů (přístrojová chyba),
- Kvalitou měření (chyba metrologa).

Je definována jako rozdíl mezi střední hodnotou, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny. [29]

Systematické chyby se projeví při porovnání daného měření s měřením provedeným jinou metodou, jinými přístroji, nebo jinými osobami. Je-li chyba zjištěna odstraní se odpovídající korekcí. [29]

5.1.4 Náhodná chyba

Náhodná chyba je chyba měnící se náhodným způsobem při opakovaných měřeních téže veličiny za stejných podmínek. Náhodná chyba je definována rozdílem mezi výsledkem a střední hodnotou, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže veličiny, při splnění podmínek opakovatelnosti. [29]

Náhodná chyba je dána nekontrolovanými vnějšími vlivy (teplota, tlak apod.) a vnitřními jevy (materiálové charakteristiky). Nestejnost výsledků měření interpretujeme jako důsledek přítomnosti náhodných chyb a metody teorie pravděpodobnosti nám umožní tuto skutečnost kvantifikovat. Tuto chybu nelze zcela eliminovat. Lze ji pouze zmenšovat opakovaným měřením. [29]

5.2 Nejistota měření

Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině. [30]

5.2.1 Standardní nejistota typu A (u_A)

Je způsobena náhodnými chybami a její příčiny jsou všeobecně neznámé. Stanovuje se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Tato nejistota se stoupajícím počtem opakovaných měření se zmenšuje. [30]

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{(n-1) \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{s}{n}} \quad (3)$$

Kde:

n – počet měření,

x_i – naměřená hodnota,

s – směrodatná odchylka,

\bar{x} – aritmetický průměr.

5.2.2 Standardní nejistota typu B (u_B)

Tato nejistota je zapříčiněna známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Stanovuje se na základě vektorového součtu chyby měřidla u_{B1} a chyby metrologa u_{B2} . Chyba měřidla je dána typem měřidla a jeho rozlišitelností, kdežto chyba metrologa je dána kvalifikací, zkušenostmi a odhadem metrologa. [30]

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \quad (4)$$

5.2.3 Kombinovaná standardní nejistota (u_C)

Získá se vektorovým součtem standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B. [30]

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5)$$

5.3 Statistický soubor

Statistický soubor je souhrn statistických jednotek, u kterých se vyskytují stejné statistické znaky. Existují dva druhy statistických souborů:

Základní soubor

Soubor všech statistických jednotek, u kterých zjišťujeme hodnoty určitých proměnných. Má rozsah N a parametry:

μ - střední hodnota,

σ – směrodatná odchylka,

σ^2 – rozptyl. [29]

Výběrový soubor

Obsahuje jen některé vybrané hodnoty základního souboru. Má rozsah n a parametry:

\bar{x} – aritmetický průměr (odhad střední hodnoty základního souboru),

s – směrodatná odchylka (odhad směrodatné odchylky základního souboru),

s^2 – rozptyl (odhad rozptylu základního souboru). [29]

5.3.1 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je definován jako odhad střední hodnoty základního souboru. Vyjadřuje míru centrální tendence (střed) a vypočítá se jako podíl součtu hodnot náhodné proměnné x_i a celkového počtu hodnot n . [29]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

5.3.2 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka vyjadřuje o kolik se hodnota průměrně liší od odhadu aritmetického průměru. [29]

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

5.3.3 Modus

Modus je nejčastěji se vyskytující hodnota v daném souboru a značí se \hat{x} .

5.3.4 Medián

Medián je definován tak, že polovina hodnot leží pod a polovina nad mediánem. V souborech o sudém počtu členů je většinou za medián považována ta hodnota, která se vyskytuje v půli intervalu mezi dvěma prostředními hodnotami. Pokud je ve zkoumaném souboru lichý počet členů, tak medián je přímo hodnota prostředního členu. Medián oproti aritmetickému průměru není ovlivněn odlehlými hodnotami. Medián označujeme \tilde{x} . [29]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je zkoumání vlivu procesních podmínek vstřikování na výslednou jakost povrchu zkušebních vzorků. Konkrétně budou použity rozdílné tvarové desky vstřikovací formy a z technologických parametrů vstřikování budou provedeny variace vstřikovacího tlaku.

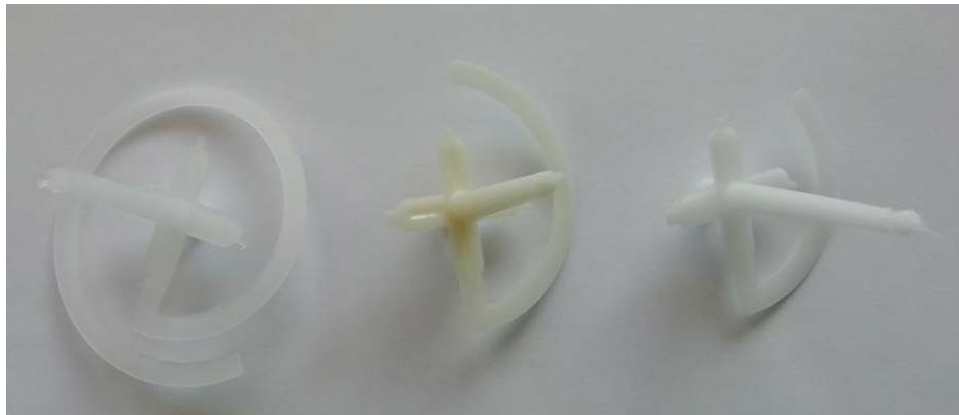
Celkově budou vstřikovány 3 materiály (POM, ABS a PP). U všech použitých materiálů budou pro jednotlivé procesní podmínky naměřeny parametry drsnosti Rz, Ra a Rt, u kterých budou posléze sledovány následující závislosti a porovnání:

- Porovnání rozdílných jakostí povrchu dutiny formy
- Jak se jednotlivé drsnosti liší v závislosti na vzdálenosti od vtoku
- Jak se jakost povrchu mění při použití rozdílných vstřikovacích tlaků
- Srovnání drsnosti povrchu mezi jednotlivými materiály

7 VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES

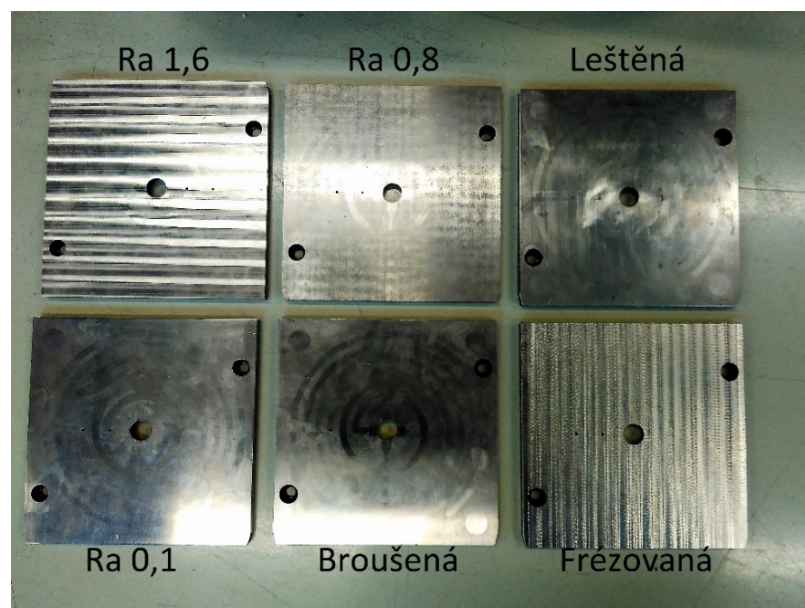
7.1 Vstřikovaná tělesa

Vstřikovaná tělesa mají tvar spirály (Obr. 24), jejíž konečná délka může dosahovat až 2000 mm.



Obr. 24 Vstřikovaná tělesa (PP, ABS, POM)

Při procesu vstřikování byly měněny jednotlivé tvarové desky a byly provedeny variace vstřikovacího tlaku. Celkem bylo použito 8 tvarových desek vyrobených různými výrobními technologiemi, a tedy i s rozdílnými drsnostmi povrchu. Příklady použitých tvarových desek jsou znázorněny na Obr. 25. Pro jednotlivé procesní podmínky bylo vždy vyrobeno 10 zkušebních těles.



Obr. 25 Příklady tvarových desek

7.1.1 Vstřikované materiály

Pro vstřikování zkušebních těles byly vybrány 3 materiály, které se běžně používají v praxi při vstřikování různých výrobků. Konkrétně byly zvoleny tyto materiály: PP BJ380MO, ABS HF-0660IW a POM FM090. Vybrané materiálové vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 2 Vybrané vlastnosti vstřikovaných materiálů [34,35,36]

Materiál	Výrobce	Hustota [kg/m ³]	Napětí na mezi kluzu [MPa]	ITT	
				Podmínky [°C/kg]	Hodnota [g/10 min]
PP	Borealis	906	25	230/2,16	80
ABS	Starex	1040	44	200/5	3,2
POM	Formocon	1410	61	190/2,16	9

7.1.2 Příprava vstřikovaných materiálů

Před samotným procesem vstřikování byly materiály ABS a POM vysušeny. Oba materiály byly sušeny po dobu 3 hodin při teplotě 80 °C. Při sušení byla využita sušárna Arburg Thermoloft 100-2, jenž je zobrazena na Obr. 26.



Obr. 26 Sušárna Arburg Thermoloft 100-2

7.2 Vstřikovací stroj

Zkušební tělesa byla vstřikována na vstřikovacím stroji ARBURG Allrounder 470C-1500-400G, který je zobrazen na Obr. 27.



Obr. 27 ARBURG Allrounder 470 C

Jednotlivé technologické parametry použitého vstřikovacího stroje jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3 Vybrané parametry vstřikovacího stroje ARBURG Allrounder 470C [9]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Uzavírací jednotka		
Uzavírací síla	1500	kN
Rozměry mezi vodícími sloupy	470x470	mm
Rozměry upínacích desek	650x650	mm
Vstřikovací jednotka		
Průměr šneku	40	mm
Maximální dráha šneku	160	mm
Maximální vstřikovací tlak	200	MPa
Maximální vstřikovací objem	201	cm ³
Maximální hodinový výkon (PS)	29	kg/h

Technologické parametry vstřikování

Nastavení procesních parametrů vstřikování pro použité polymerní materiály jsou uvedeny v následujících tabulkách. Při vstřikování ABS byla hodnota nejnižšího vstřikovacího tlaku zvýšena z 20 MPa na 25 MPa z důvodů nedostatečného zatečení materiálu.

Tabulka 4 Technologické podmínky vstřikování

Parametr	Hodnota	Jednotka
Vstřikovací rychlost	70	mm.s ⁻¹
Dráha dávkování	10, 13, 17	mm
Dráha přepnutí	7	mm
Doba chlazení	20	s
Uzavírací síla	1200	kN
Vstřikovací tlak	20,25,50,80	MPa
Dotlak	16,20,40,64	MPa
Doba cyklu	29	s
Doba dotlaku	1	s

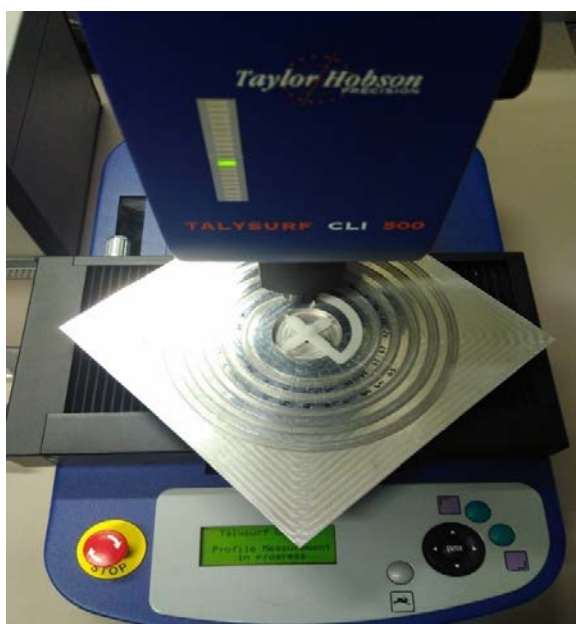
Nastavení teplotních parametrů bylo stanoveno na základě údajů uvedených v materiálovém listu.

Tabulka 5 Nastavení teplot pro uvedené materiály

Materiál	Teplotní pásmo 1 [°C]	Teplotní pásmo 2 [°C]	Teplotní pásmo 3 [°C]	Teplotní pásmo 4 [°C]	Tryska [°C]	Teplota formy [°C]
PP	200	200	205	210	215	30
ABS	190	195	200	200	205	60
POM	180	180	185	190	190	80

7.3 Měření jakosti povrchu

Při měření jakosti povrchu jednotlivých zkušebních těles byl využit bezkontaktní optický přístroj Talysurf CLI 500 a příslušný software od společnosti Taylor Hobson. Pro zajištění optimální polohy jednotlivých zkoumaných spirál, byl při měření využit přípravek pro měření délky zkušebních těles, jenž je zobrazen na Obr. 28.



Obr. 28 Talysurf CLI 500

Základní parametry přístroje jsou uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6 Základní parametry drsnoměru Talysurf CLI 500 [12]

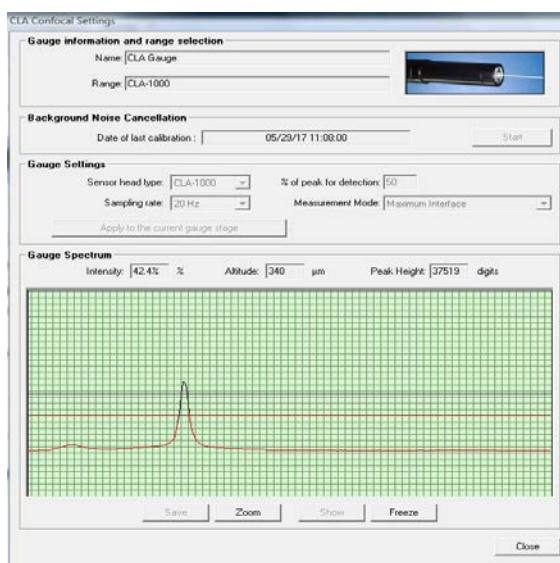
Prostor měření D x H x V [mm]	50 x 50 x 50
Délka posuvu na osách X – Y – Z [mm]	50
Rozměry D x H x V [mm]	500 x 310 x 450
Osové rozlišení [μm]	0,5
Nosnost [kg]	10
Hmotnost [kg]	55
Maximální rychlost polohování [mm/s]	30
Maximální rozlišitelnost [nm]	1
Maximální přípustná chyba měření [nm]	10

Měření samotných spirál bylo rozděleno do tří oblastí (počátek, střed a konec). V případě spirály z ABS, jenž byla vstřikována při velikosti vstřikovacího tlaku 25 MPa, byly měřené oblasti redukovány do dvou míst, aby se jednotlivá měření mezi sebou nepřekrývala a nedošlo tak k negativnímu ovlivnění měření. Vyznačení oblastí měření je uvedeno na Obr. 29. Při měření byla snaha upravit polohu spirály tak, aby paprsek z měřícího přístroje dopadl, pokud možno tečně na zkoumanou oblast zkušební vzorku.



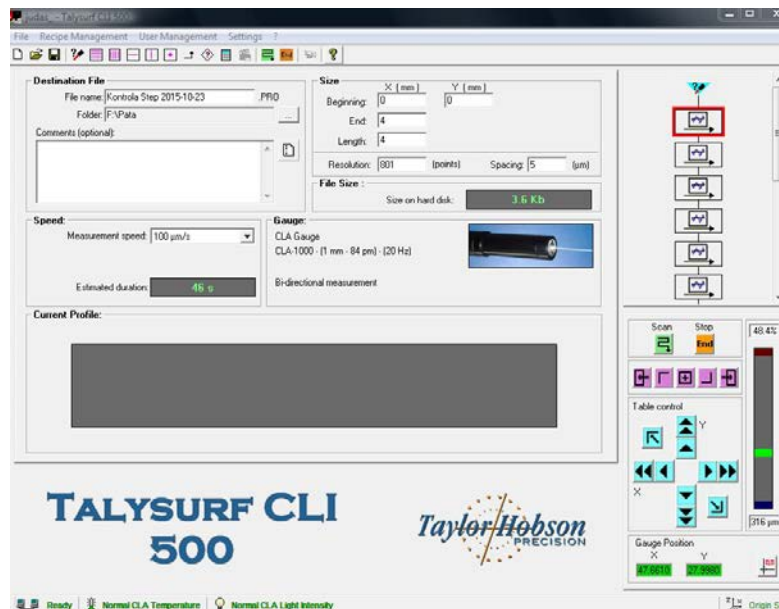
Obr. 29 Oblasti měření

Před samotným měřením drsnosti povrchu musela být optimalizována odrazivost měřícího paprsku, jenž by procentuálně měla být větší než 40 %. Zobrazení intenzity odrazivosti paprsku u přístroje Talysurf CLI 500 je znázorněno na následujícím obrázku.



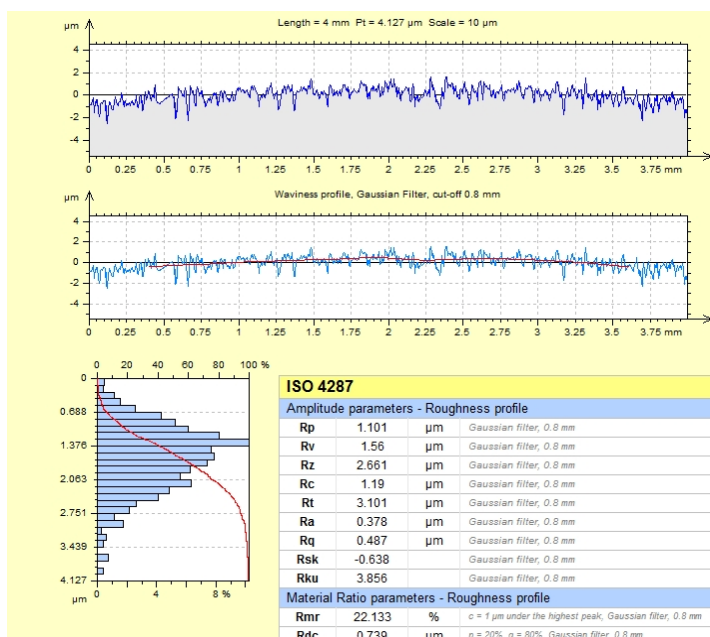
Obr. 30 Odrazivost měřícího paprsku

Na každé snímané spirále bylo provedeno deset náhodných měření. Měření probíhalo na ploše 4x4 mm a rychlost měření byla nastavena na 100 $\mu\text{m/s}$. Nastavení parametrů měření je zobrazeno na Obr. 31.



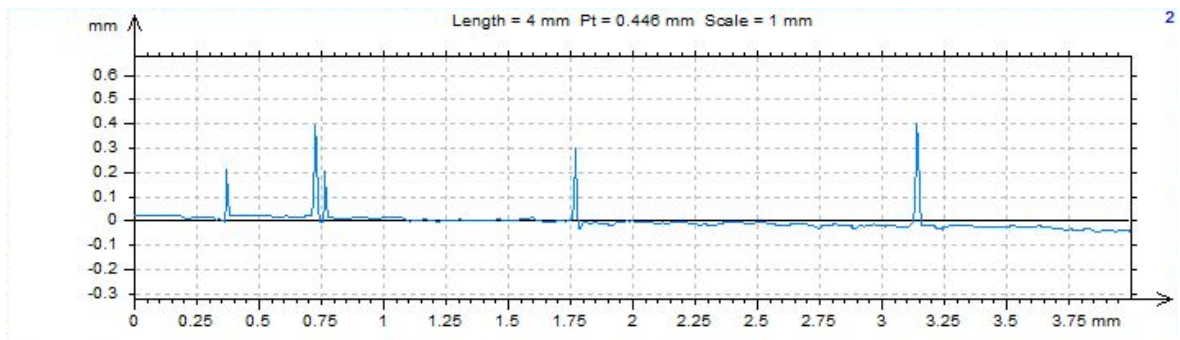
Obr. 31 Nastavení parametrů měření drsnosti

Po dokončení měření na zvolené ploše a optimalizaci v příslušném softwaru byly pro další statistické zpracování vybrány parametry drsnosti Ra, Rt a Rz. Výsledek měření je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 32 Výsledek měření

Při měření jakosti povrchu vstřikovaných spirál, byly vyřazeny vzorky s jemným a hrubým dezénem z důvodů obtížné měřitelnosti povrchu při použitém měřicím zařízení. Na Obr. 33 je zobrazen nasnímaný povrch s jemným dezénem, ze kterého je patrné, že se na tomto měřeném povrchu vyskytuje větší množství peaků, jenž negativně ovlivňují celkové měření a díky kterým nejsme schopni stanovit skutečnou drsnost povrchu.



Obr. 33 Výsledek měření jemného dezénu

8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V následujících kapitolách budou u všech zkoumaných materiálů porovnány průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra v závislosti na oblasti měření a také v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku. V závěrečné části budou vzájemně srovnány jakosti povrchu mezi jednotlivými vstřikovanými materiály.

8.1 Polyoxymetylen

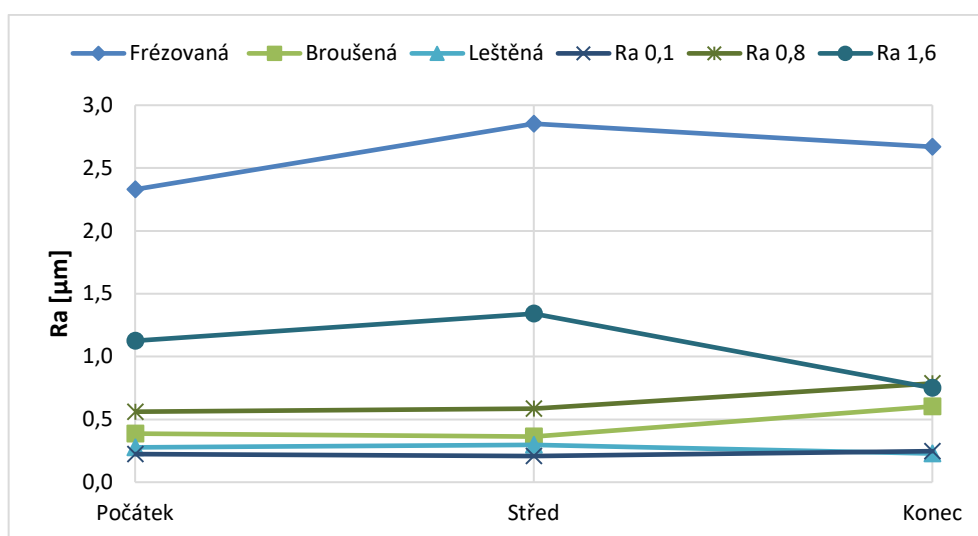
Tato část bude zaměřena na porovnání jakosti povrchu polyoxymetyleny (POM). V následující tabulce jsou uvedeny délky měřených spirál pro použité vstřikovací tlaky.

Tabulka 7 Délky zkušebních vzorků

Vstřikovací tlak	Délka spirály [mm]		
	20 MPa	50 MPa	80 MPa
Deska leštěná	25	60	81
Deska broušená	25	61	81
Deska Ra 0,1	26	60	79
Deska Ra 0,8	26	60	81
Deska Ra 1,6	25	61	81
Deska frézovaná	26	60	82

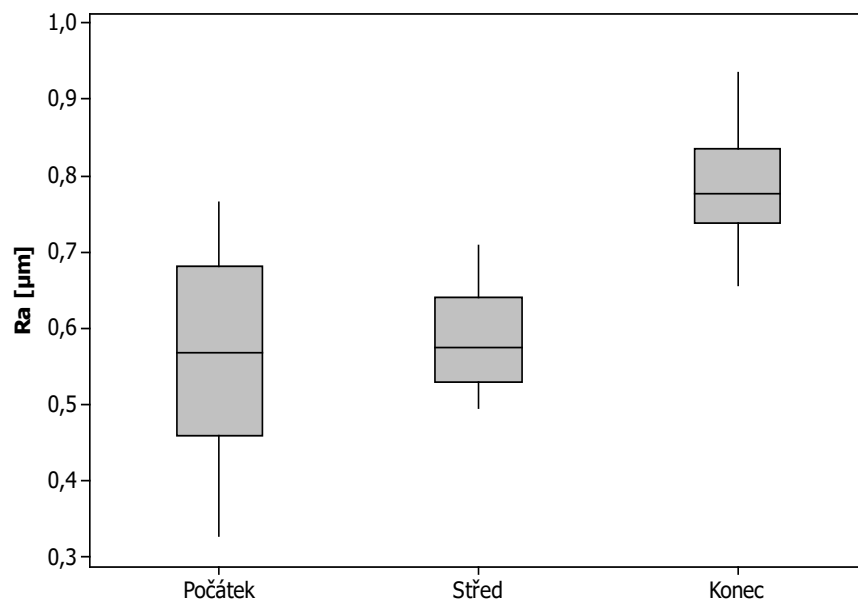
8.1.1 Porovnání jakosti povrchu v závislosti na oblasti měření

Vstřikovací tlak 20 MPa



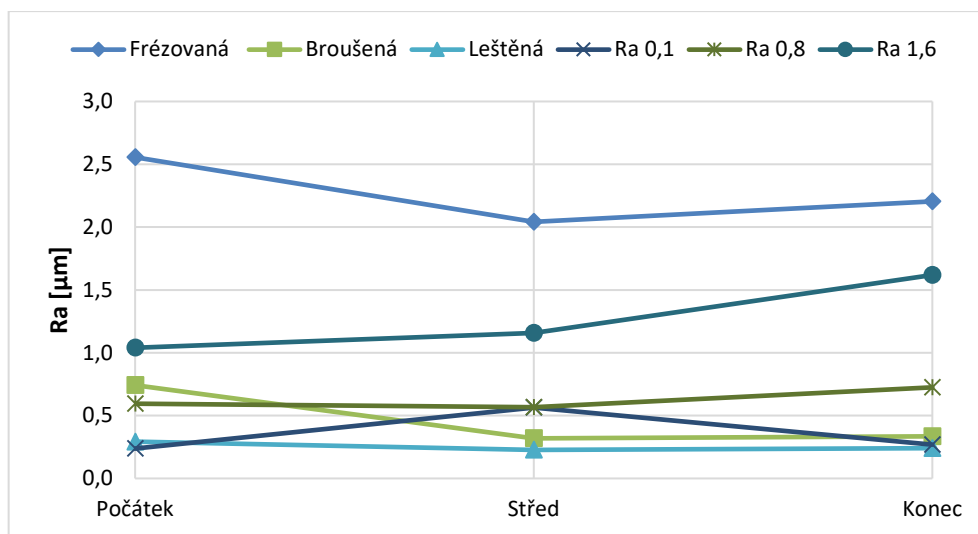
Obr. 34 Drsnost Ra v závislosti na pozici měření pro vstřikovací tlak 20 MPa

Při porovnání parametru drsnosti R_a v závislosti na oblasti měření (viz Obr. 34) můžeme u poloviny zkušebních těles pozorovat trend, který značí, že se zvětšující se vzdáleností místa měření od vtoku se hodnota drsnosti zvětšuje. Například při vstřikování spirál s broušenou deskou byla v počáteční poloze měření průměrná hodnota parametru drsnosti R_a rovna $0,387 \mu\text{m}$ a v koncové oblasti dosáhla průměrná hodnota drsnosti $0,603 \mu\text{m}$. Výjimku tvoří spirály vyrobené s použitím desek s označením $R_a 1,6$ a leštěná, kde nejlepší kvalita povrchu byla zjištěna v koncové oblasti měření. U zkušebních vzorků vstřikovaných za použití zkušební desky s označením $R_a 0,1$, byly naopak nejmenší hodnoty drsnosti naměřeny v prostřední zkoumané oblasti.



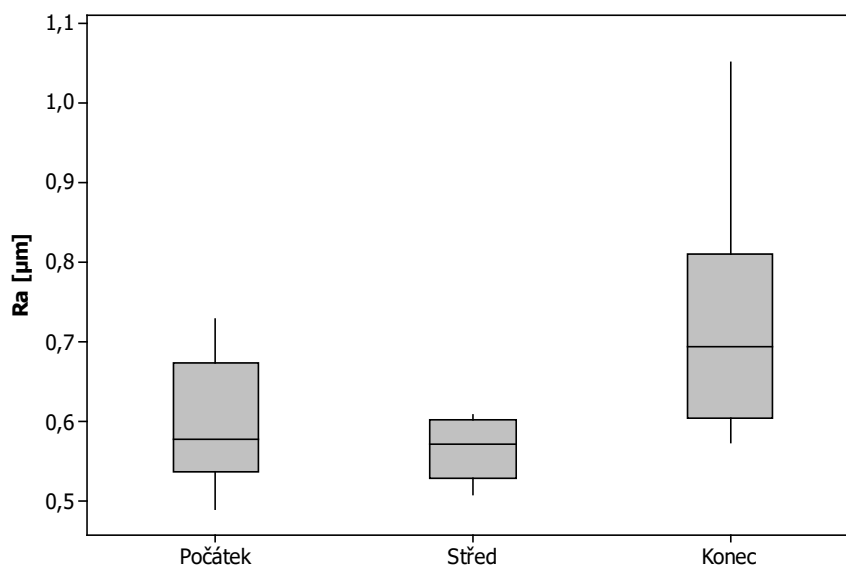
Obr. 35 Srovnání drsnosti $R_a 0,8$ pro vstřikovací tlak 20 MPa

Na základě výsledků měření uvedených v boxplotovém grafu pro porovnání drsností zkušebních vzorků v závislosti na pozici měření (Obr. 35), můžeme konstatovat, že se zvětšující se vzdáleností od toku klesá jakost zkoumaného povrchu. Z grafu také vyplývá, že v koncové oblasti měření došlo k výraznému nárůstu parametru drsnosti R_a .

Vstřikovací tlak 50 MPa

Obr. 36 Drsnost Ra v závislosti na pozici měření pro vstřikovací tlak 50 MPa

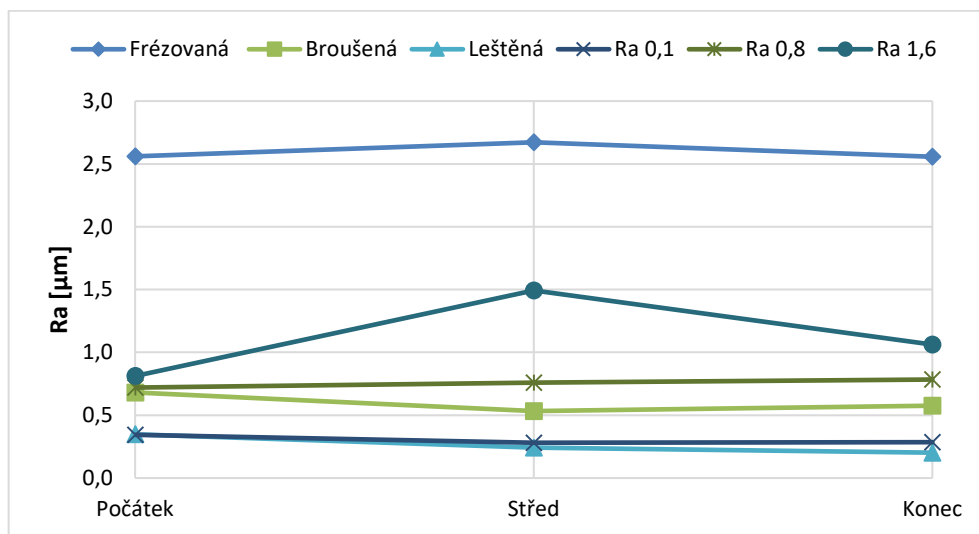
Z grafického srovnání, znázorněného na Obr. 36, můžeme vidět, že při použití tvarových desek s označením frézovaná, broušená, leštěná a Ra 0,8, byly nejmenší drsnosti povrchu naměřeny v prostřední oblasti měření. Kdežto u spirál vstřikovaných s deskami s označením Ra 1,6 a Ra 0,1 byl povrch nejkvalitnější v nejmenší vzdálenosti od vtoku.



Obr. 37 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 50 MPa

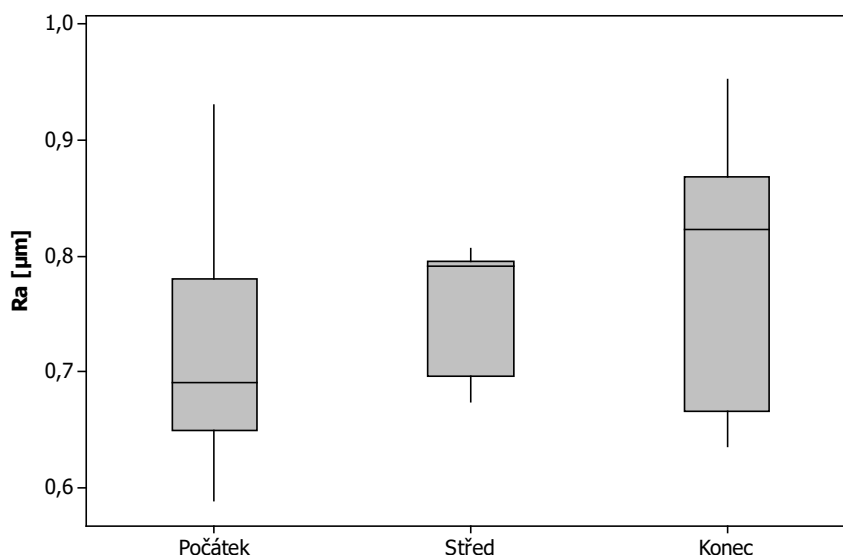
Z Obr. 37 je patrné, že nejvyšší naměřená drsnost byla dosažena v nejvzdálenějším místě od vtoku, kde došlo k výraznějšímu zhoršení kvality povrchu oproti počáteční a prostřední oblasti měření. Ze srovnání je také zřejmé, že rozdíly mezi průměrnými hodnotami drsností v počáteční a prostřední poloze měření nebyly výrazné.

Vstřikovací tlak 80 MPa



Obr. 38 Drsnost R_a v závislosti na pozici měření pro vstřikovací tlak 80 MPa

Obdobně jako v předchozích případech není při srovnání všech zkušebních vzorků (uvedených na Obr. 38) viditelná jednoznačná závislost poukazující na vzestupnou či sestupnou kvalitu povrchu v závislosti na místě měření. Například u vzorků s broušeným povrchem a povrchem označeným jako Ra 0,1 byly nejmenší hodnoty drsnosti zjištěny v prostřední části měření. Naopak u těles s frézovaným a leštěným povrchem byla nejlepší jakost naměřena v koncové oblasti měření.

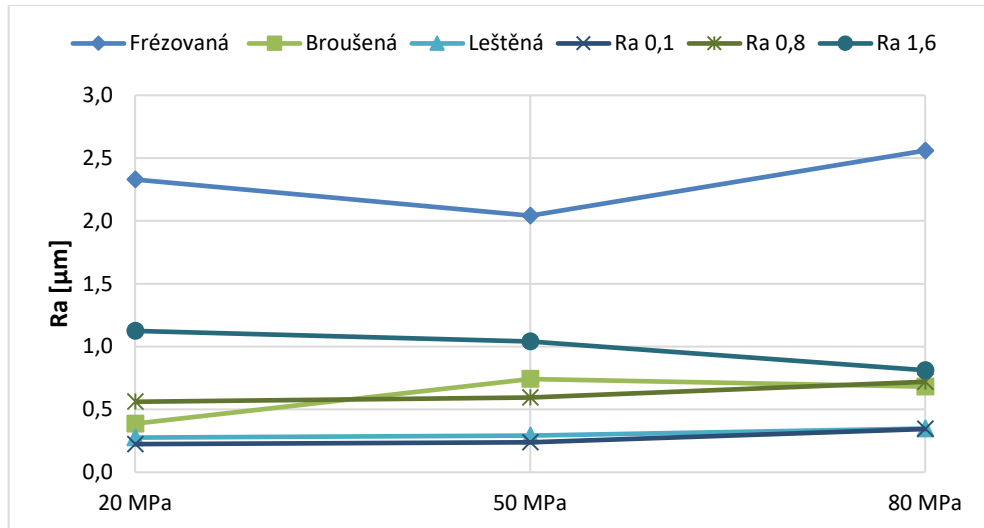


Obr. 39 Porovnání drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 80 MPa

Z Obr. 39, jenž srovnává velikosti drsnosti povrchu v závislosti na pozici měření, můžeme pozorovat trend, který říká, že čím se zkoumaný povrch vzdaluje od místa vtoku, tím se jeho kvalita povrchu zhoršuje.

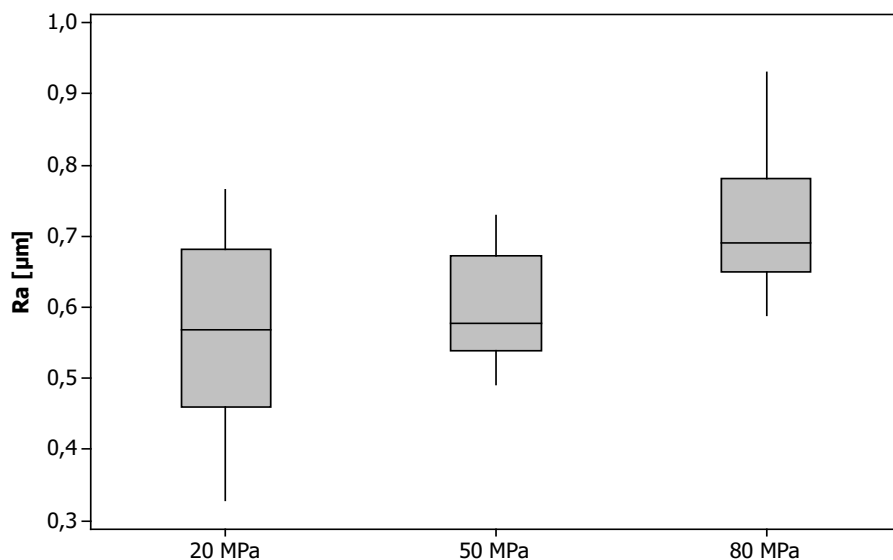
8.1.2 Porovnání jakosti povrchu v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku

Počáteční oblast měření



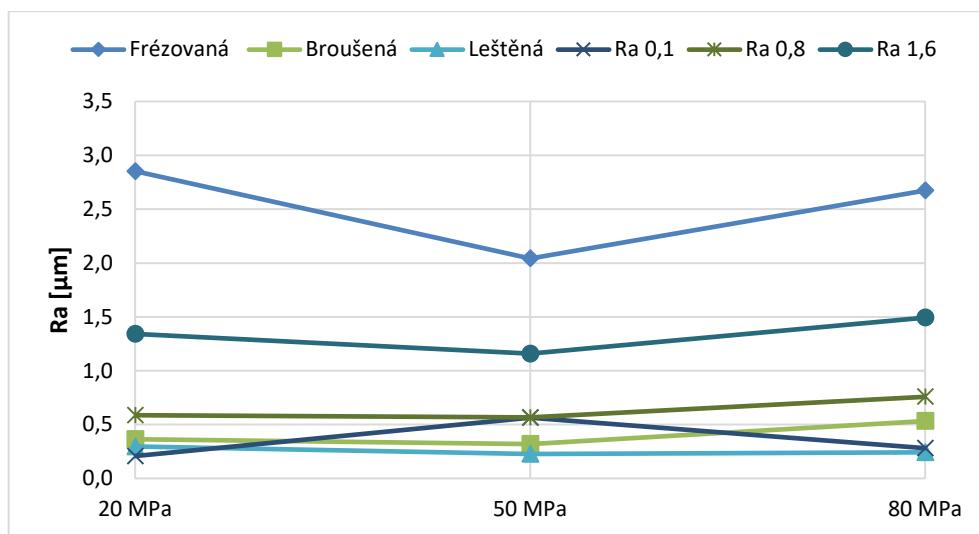
Obr. 40 Drsnost Ra v počáteční oblasti měření

Při porovnání parametru drsnosti Ra v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku (Obr. 40) můžeme konstatovat, že ve většině případů byly při nejvyšším vstřikovacím tlaku dosažené hodnoty drsnosti největší. Toto tvrzení dokládají například spirály vyrobené při použití tvarové desky s označením Ra 0,1, kde drsnost Ra byla při vstřikovacím tlaku 20 MPa rovna 0,224 μm a při vstřikování tlakem 80 MPa dosáhla hodnota drsnosti velikosti 0,344 μm .



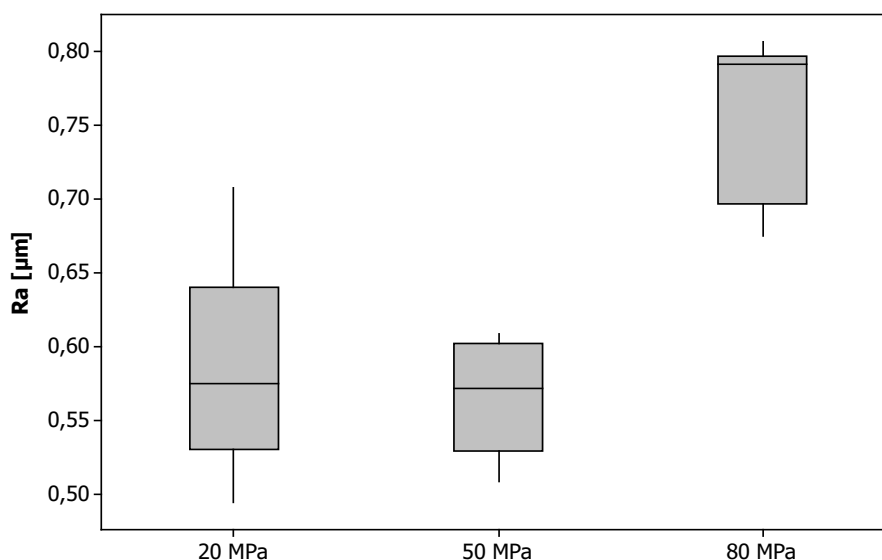
Obr. 41 Porovnání drsnosti Ra 0,8 pro počáteční oblast

Z Obr. 41, který znázorňuje detailní porovnání měřeného vzorku s povrchem označeným jako Ra 0,8, můžeme pozorovat klesající kvalitu povrchu při zvětšujícím se tlaku.

Prostřední oblast měření

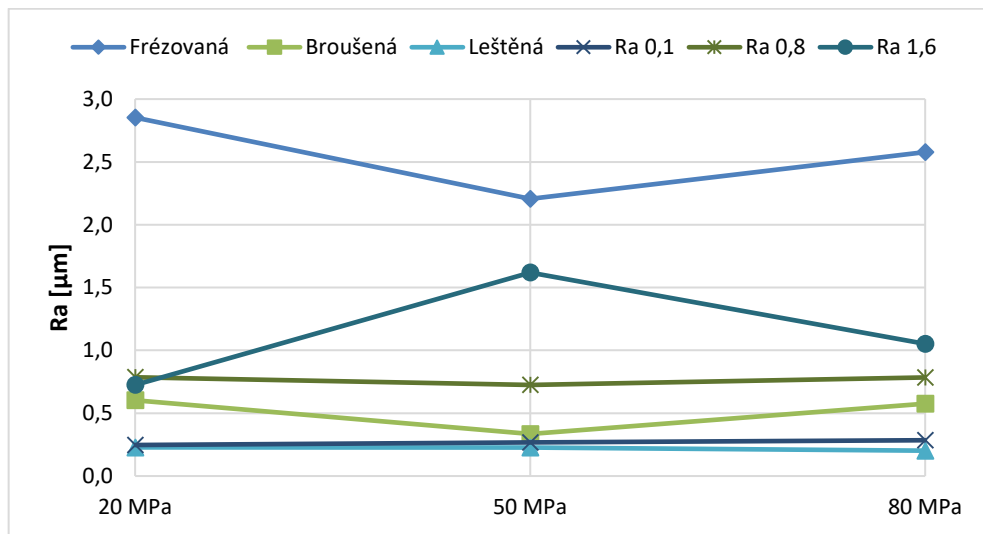
Obr. 42 Srovnání drsnosti v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku

Srovnání jednotlivých vstřikovacích tlaků v prostřední oblasti měření (viz Obr. 42) naznačuje, že nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra byly zjištěny při vstřikovacím tlaku 50 MPa. Tento fakt pouze rozporují spirály vstřikované za použití zkušební desky Ra 0,1, kde nejlepší kvalita povrchu byla naměřena u nejmenšího vstřikovacího tlaku.



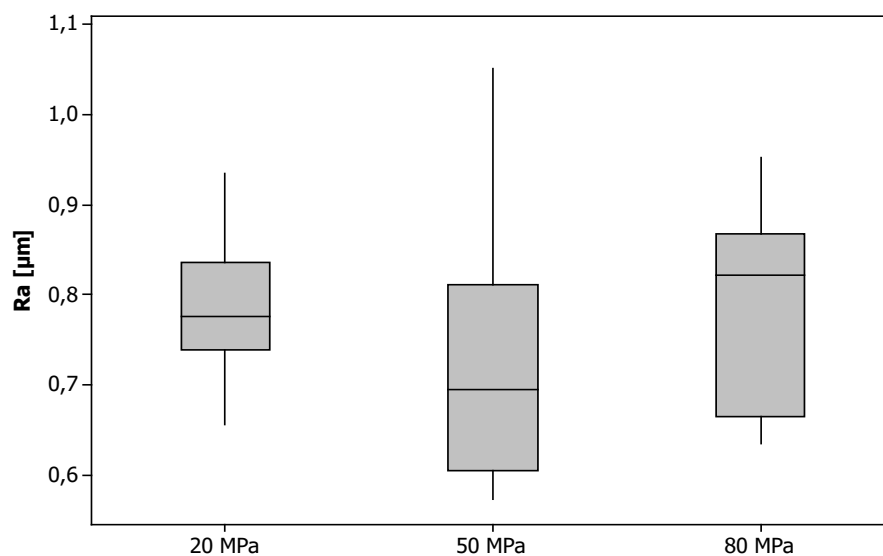
Obr. 43 Porovnání drsnosti Ra 0,8 pro použité vstřikovací tlaky

Z Obr. 43, jenž porovnává drsnosti v závislosti na použitých vstřikovacích tlacích je zřejmé, že při vstřikování tlakem 80 MPa došlo k výraznému nárůstu průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra. Při srovnání tlaků 20 MPa a 50 MPa se jednotlivé průměrné drsnosti mezi sebou významně nelišily.

Koncová oblast měření

Obr. 44 Porovnání drsnosti Ra v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku

Při porovnání vlivu velikosti vstřikovacího tlaku na kvalitu povrchu zkušebních těles pro koncovou oblast měření (Obr. 44) nebyl prokázán jednoznačný trend, jenž by naznačoval u všech měřených vzorků obdobný vliv vstřikovacího tlaku na jakost povrchu. Významnější rozdíly v kvalitě povrchu byly zjištěny u spirál s dezénem označeným jako Ra 1,6, kde při vstřikování tlakem 50 MPa došlo k výraznému nárůstu drsnosti. Naopak u měřených vzorků s broušeným a s frézovaným povrchem bylo u vstřikovacího tlaku 50 MPa zjištěno výrazné zlepšení kvality povrchu.



Obr. 45 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro jednotlivé vstřikovací tlaky

Z Obr. 45 můžeme konstatovat, že nejmenší hodnota drsnosti byla dosažena při vstřikovacím tlaku 50 MPa a největší při tlaku 80 MPa. Rozdíly naměřených drsností však nebyly výrazné.

8.2 Akrylonitrilbutadienstyren

V této části bude práce zaměřena na porovnání jakosti povrchu akrylonitrilbutadienstyrenu (ABS). Z důvodů nedostatečného zatečení zkušebních vzorků, byl počáteční vstřikovací tlak navýšen z 20 MPa na 25 MPa. V následující tabulce jsou uvedeny délky zkušebních těles pro použité vstřikovací tlaky.

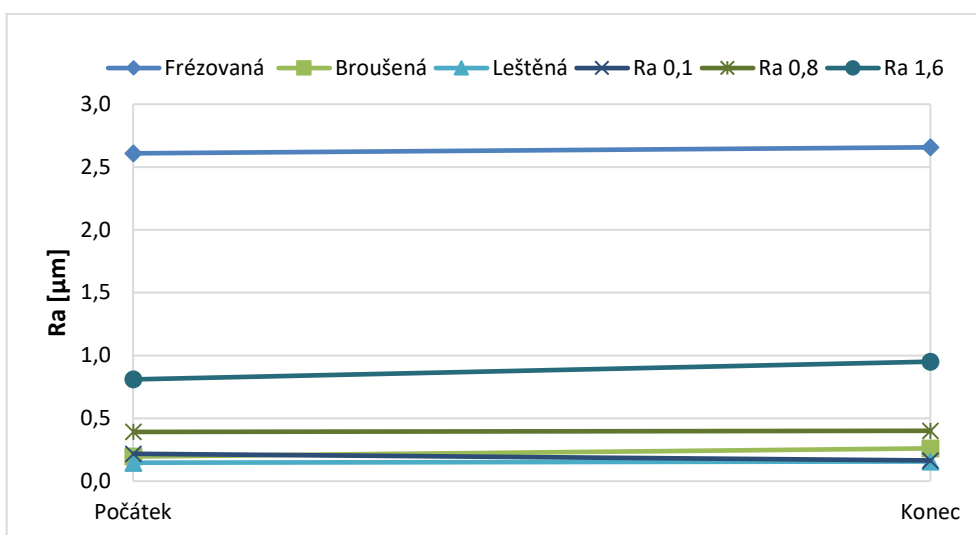
Tabulka 8 Délky vstřikovaných spirál

Vstřikovací tlak	Délka spirály [mm]		
	25 MPa	50 MPa	80 MPa
Deska leštěná	25	60	81
Deska broušená	25	61	81
Deska Ra 0,1	26	60	79
Deska Ra 0,8	26	60	81
Deska Ra 1,6	25	61	81
Deska frézovaná	26	60	82

8.2.1 Porovnání jakosti povrchu v závislosti na poloze měření

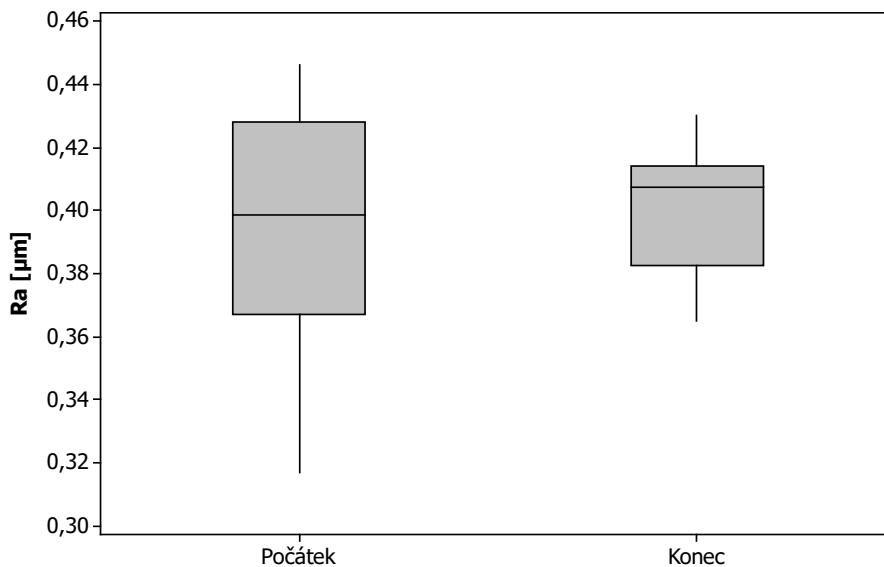
Vstřikovací tlak: 25 MPa

Vzhledem k tomu, že nebyla u zkušebních těles vstřikovaných tlakem 25 MPa zkoumána prostřední oblast měření, z důvodu nedostatečné velikosti zkušební vzorku, bylo porovnání jednotlivých vzorků redukováno na počáteční a koncovou oblast měření.



Obr. 46 Porovnání drsnosti v závislosti na vzdálenosti od vstupu

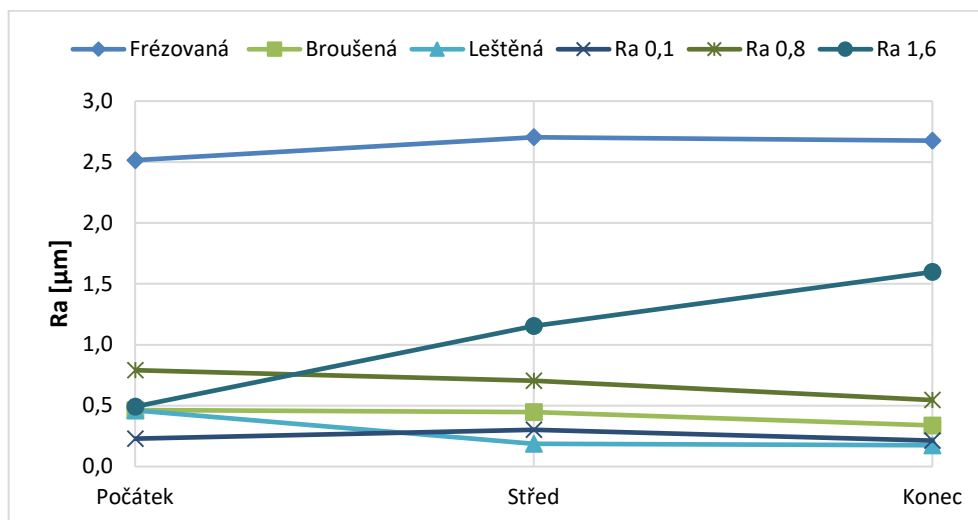
Z Obr. 46 je patrná obecná závislost, která prokazuje, že výsledky ve většině měřených zkušebních vzorků dosahují vyšších hodnot drsnosti v konečné oblasti měření oproti hodnotám v počáteční oblasti. Tento fakt je nejvýraznější u zkoumaných vzorků, které byly vyrobeny při použití zkušební desky s označením Ra 1,6. Jen u spirál vstříkovaných při využití zkušební desky s označením Ra 0,1 je zmíněný trend opačný.



Obr. 47 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro uvedené oblasti měření

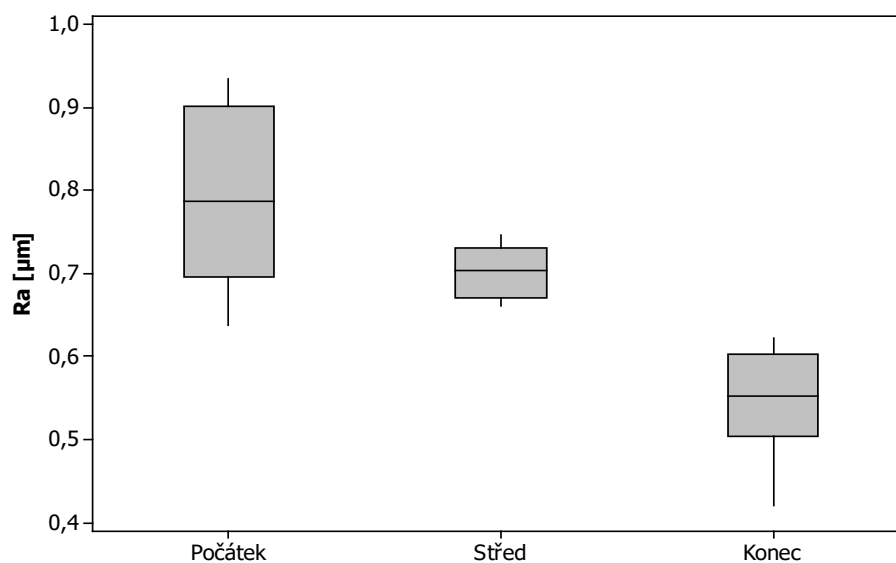
Při porovnání zkušebních vzorků označených jako Ra 0,8 (Obr. 47), je zřejmé, že kvalita povrchu je horší ve větší vzdálenosti od toku. Tento rozdíl však není v daném případě až tak výrazný. V počáteční oblasti činila průměrná hodnota drsnosti $0,392 \mu\text{m}$ a v koncové oblasti měření dosáhla průměrná hodnota drsnosti velikosti $0,402 \mu\text{m}$. Tento nepatrný rozdíl mohl být způsoben samotnou velikostí měřené spirály, kdy oblasti měření byly těsně vedle sebe.

Vstřikovací tlak: 50 MPa



Obr. 48 Srovnání drsností pro vstřikovací tlak 50 MPa

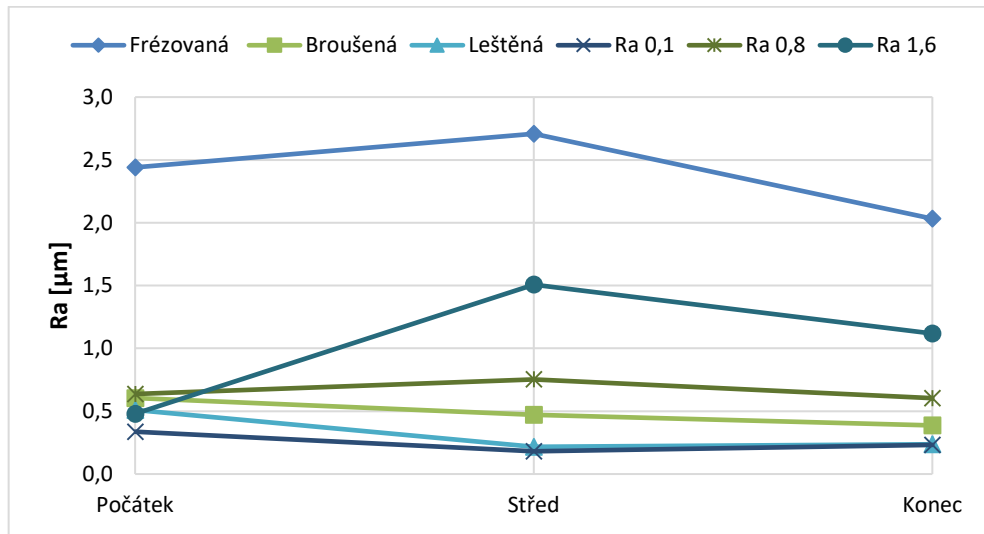
Z grafického porovnání znázorněného na Obr. 48 vyplívá, že v případě srovnání jednotlivých oblastí měření zkoumaných zkušebních vzorků vyrobených při vstřikovacím tlaku 50 MPa, nelze jednoznačně určit, ve kterém místě jsou hodnoty drsností povrchu nejmenší. U spirál vyrobených tvarovými deskami s označením Ra 0,8 a broušená byl nejkvalitnější povrch naměřen v koncové oblasti. Naopak u zkušebních těles vstřikovaných s deskou frézovanou a deskami s označením Ra 1,6 a Ra 0,1 bylo dosaženo nejmenších hodnot drsností v nejmenší vzdálenosti od vtoku.



Obr. 49 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na oblasti měření

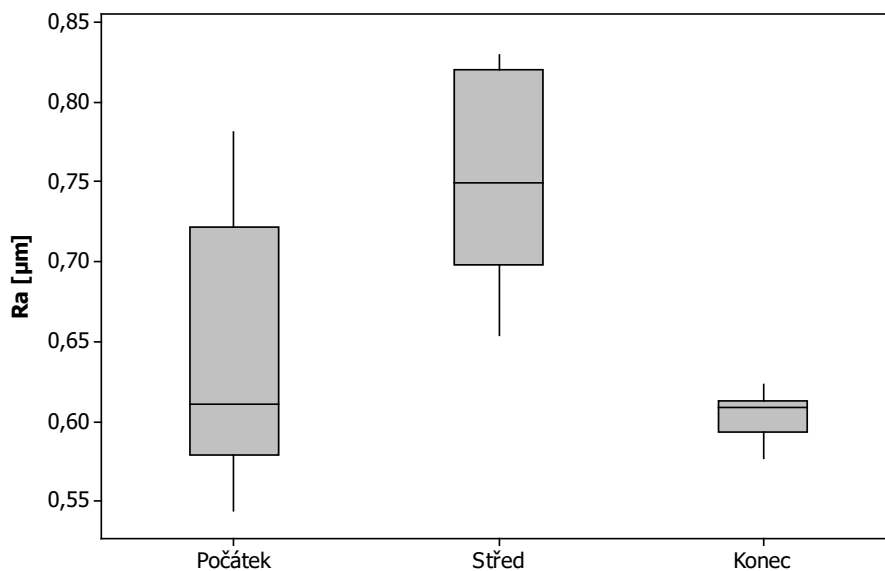
Na základě Obr. 49 můžeme pozorovat jednoznačný trend, z něhož vyplívá, že se vzdálenější polohou měření od místa vtoku, klesá hodnota parametru drsnosti Ra.

Vstřikovací tlak: 80 MPa



Obr. 50 Porovnání drsností v závislosti na místě měření

Na Obr. 50 můžeme vidět nejvýraznější trend u zkušebních vzorků vyrobených za použití desky Ra 1,6, kde byl nejkvalitnější povrch zjištěn v nejmenší vzdálenosti od místa vtoku, a kde při zvětšující se vzdálenosti místa měření došlo k výraznému nárůstu drsnosti. V případě leštěného povrchu a povrchu s označením Ra 0,1 byly nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra naměřeny v prostřední části měření. Naopak u frézovaného a broušeného povrchu byly nejmenší hodnoty drsnosti zjištěny v nejvzdálenějším místě od vtoku.

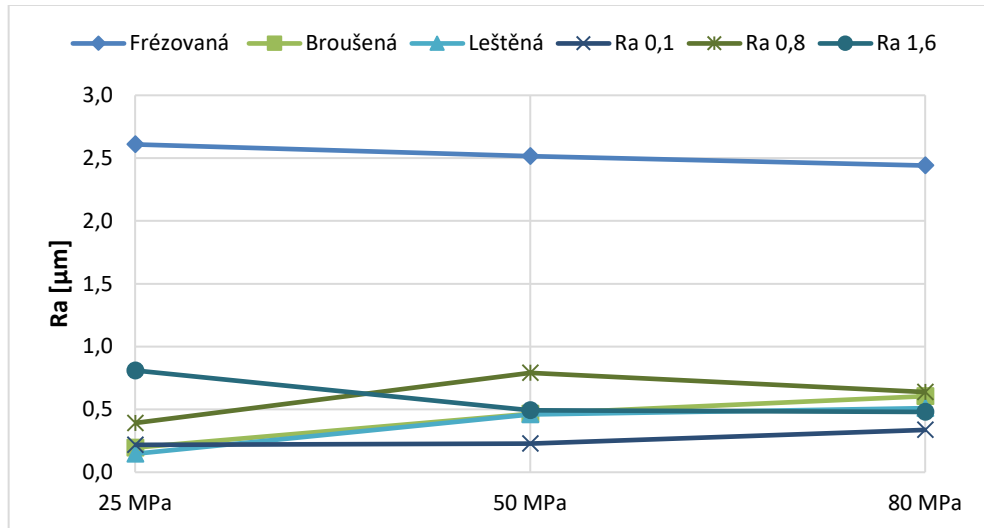


Obr. 51 Velikost drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 80 MPa

Při srovnání drsnosti zkušebních vzorků, jenž byly vstřikovány při použití zkušební desky s označením Ra 0,8 a vstřikovacím tlakem 80 MPa (viz. Obr. 51), je zřejmé, že nejvýraznější pokles kvality povrchu nastal v prostřední oblasti měření.

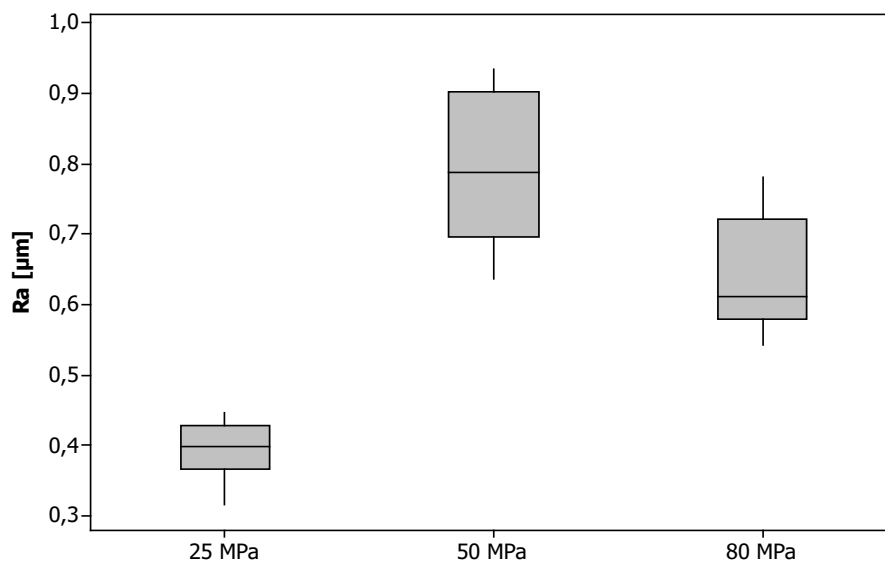
8.2.2 Porovnání jakosti povrchu v závislosti na vstřikovacím tlaku

Počáteční oblast měření



Obr. 52 Srovnání parametru drsnosti Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku

Při srovnání vlivu vstřikovacího tlaku na jakost povrchu v počáteční oblasti měření (Obr. 52), byl na většině měřených vzorků zjištěn fakt, jenž říká, že nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra byly dosaženy při vstřikování nejmenším tlakem, tedy 25 MPa. Výjimku tvoří spirály vstřikované s frézovanou deskou a deskou s označením Ra 1,6, kde nejkvalitnější povrch byl zjištěn u vstřikovacího tlaku 80 MPa.

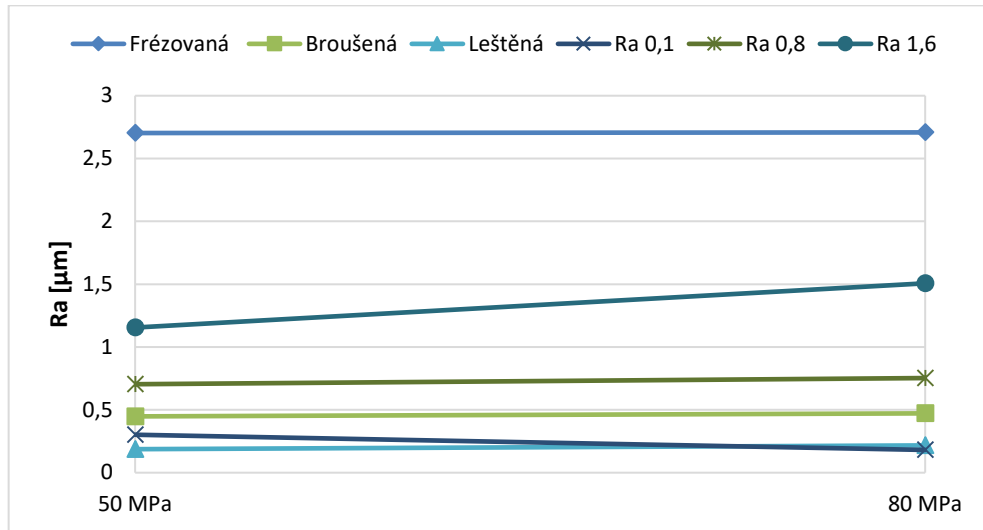


Obr. 53 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku

Z boxplotového grafu, znázorněného na Obr. 53 je patrné, že při použití vyšších vstřikovacích tlaků dochází k výraznému zhoršení kvality povrchu zkušebních těles.

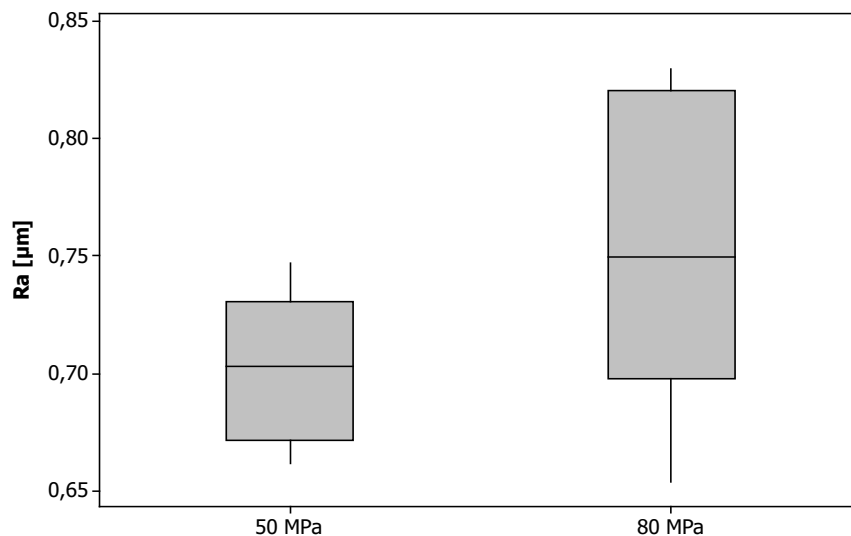
Prostřední oblast měření

Vzhledem k tomu, že nebyla u materiálu ABS zkoumána prostřední oblast spirály vstřikované tlakem o velikosti 25 MPa (z důvodu nedostatečné velikosti zkušební vzorku), bylo porovnání jednotlivých vzorků omezeno na dva vstřikovací tlaky.

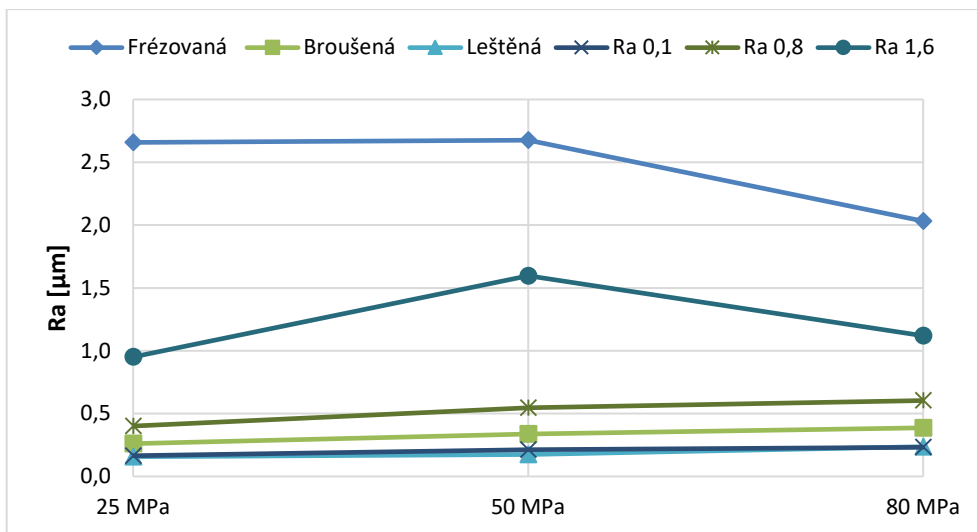


Obr. 54 Parametr drsnosti Ra v prostřední části měření

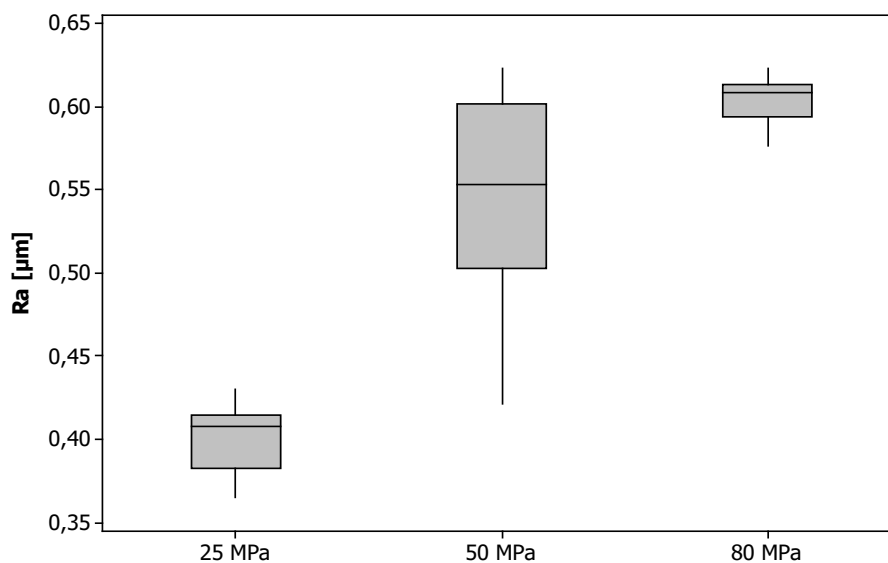
V případě porovnání uvedeného na Obr. 54 nebyly pozorovány na většině zkušebních vzorků výraznější rozdíly v kvalitě povrchu. Jen u spirál vstřikovaných se zkušební deskou s označením Ra 1,6 byl zaznamenán výraznější nárůst drsnosti zkoumaného povrchu při vyšším vstřikovacím tlaku. Na Obr. 55 je uveden boxplotový diagram pro výsledky měření u zkušebních těles s označením Ra 0,8, kde můžeme vidět, že menší hodnoty drsnosti byly zjištěny u vstřikovacího tlaku 50 MPa.



Obr. 55 Drsnost Ra 0,8 v prostřední oblasti měření

Koncová oblast měřeníObr. 56 Drsnost R_a v závislosti na vstřikovacím tlaku

Ze srovnání jakosti povrchu v nevzdálenějším místě od vtoku a pro jednotlivé vstřikovací tlaky (viz Obr. 56), můžeme na většině zkoumaných těles pozorovat výraznější trend, který značí, že se zvětšujícím se vstřikovacím tlakem narůstá drsnost zkoumaného povrchu. Tato skutečnost je zobrazena taktéž v boxplotovém grafu, který můžeme vidět na Obr. 57. Tomuto všeobecnému tvrzení neodpovídají jen spirály, které byly vstřikovány za pomoci frézované zkušební desky a desky s označením $R_a 1,6$, kde byl nejkvalitnější povrch zjištěn při vstřikování tlakem 25 MPa, respektive v případě zkušebních vzorků s frézovaným povrchem byla nejmenší drsnost naměřena u vstřikovacího tlaku 80 MPa.

Obr. 57 Drsnost $R_a 0,8$ v závislosti na vstřikovacím tlaku

8.3 Polypropylen

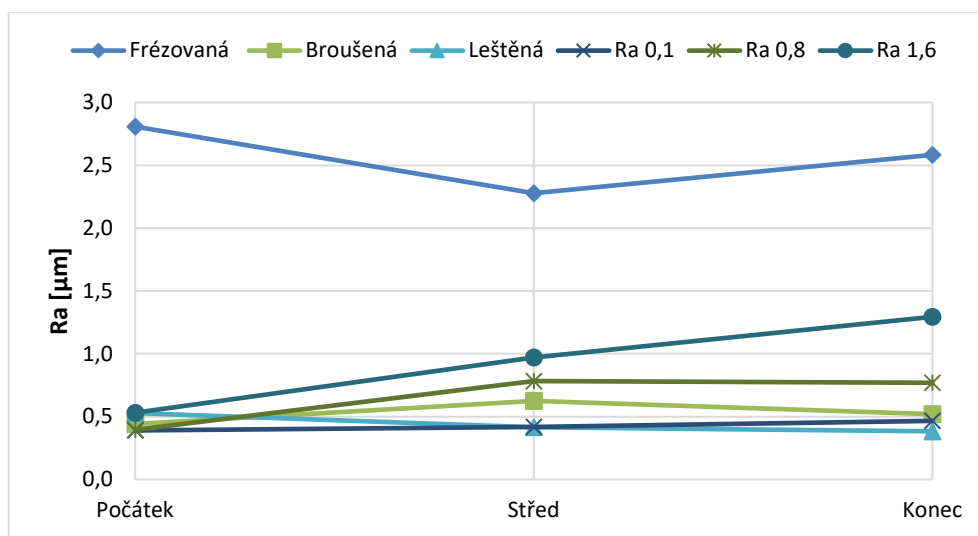
V této části bude práce zaměřena na porovnání jakosti povrchu polypropylenu (PP). V Tabulce 9 jsou uvedeny délky měřených spirál.

Tabulka 9 Délky zkušebních těles

Vstřikovací tlak	Délka spirály [mm]		
	20 MPa	50 MPa	80 MPa
Deska leštěná	150	205	260
Deska broušená	156	211	265
Deska Ra 0,1	155	211	267
Deska Ra 0,8	157	212	267
Deska Ra 1,6	156	212	269
Deska frézovaná	158	213	271

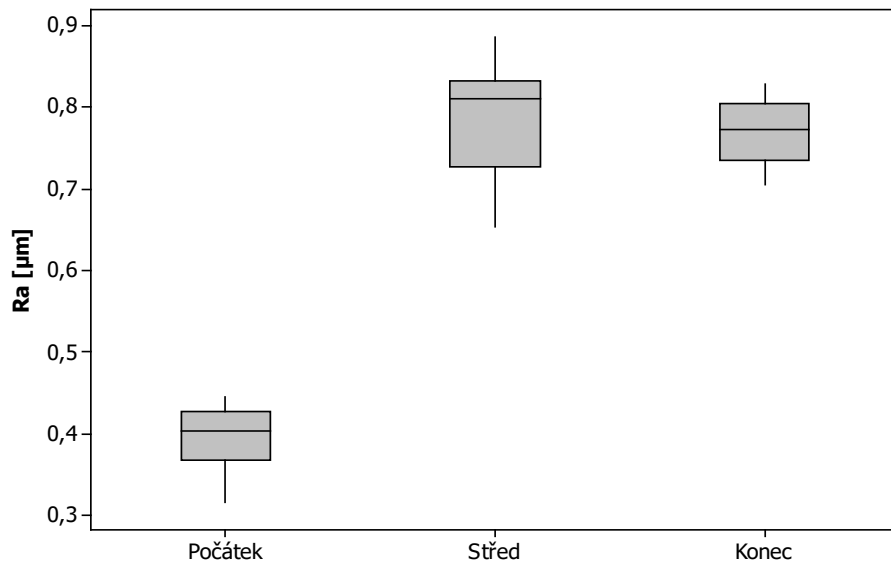
8.3.1 Porovnání jakosti povrchu v závislosti na oblasti měření

Vstřikovací tlak 20 MPa



Obr. 58 Porovnání drsnosti Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku

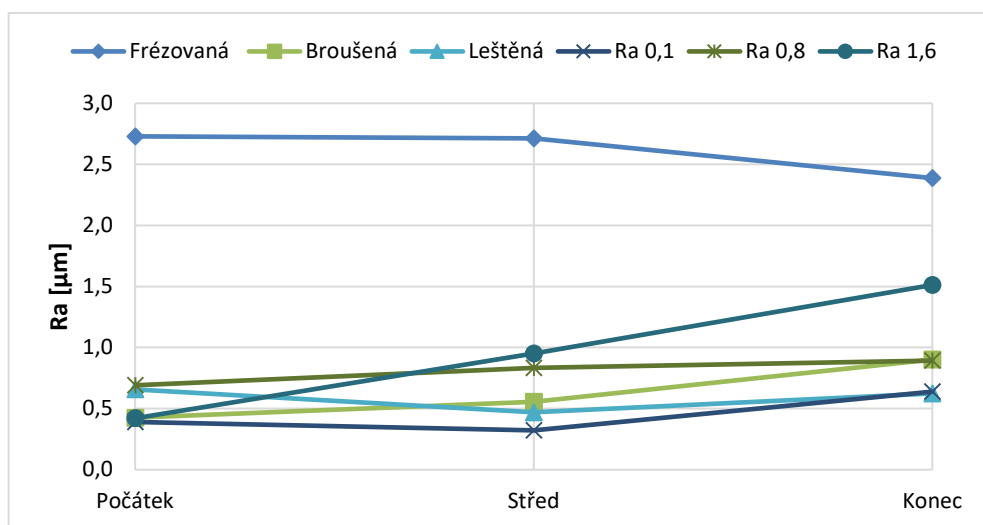
Z Obr. 58 je zřejmé, že při vstřikování tlakem 20 MPa bylo ve většině případů dosaženo nejvyšší kvality povrchu v počáteční oblasti měření. Největší rozdíly mezi zkoumanými polohami měření byly zjištěny u zkušebních vzorků vyrobených tvarovou deskou s označením Ra 1,6, kde minimální průměrná hodnota parametru drsnosti Ra v nejmenší vzdálenosti od vtoku byla rovna 0,531 μm a maximální průměrná hodnota drsnosti v koncové oblasti byla 1,294 μm. Tomuto tvrzení neodpovídají zkušební vzorky s frézovaným povrchem, kde nejmenší drsnost povrchu byla naměřena v prostřední oblasti měření. V případě leštěného povrchu byla zjištěna drsnost nejmenší v koncové oblasti měření.



Obr. 59 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na pozici měření

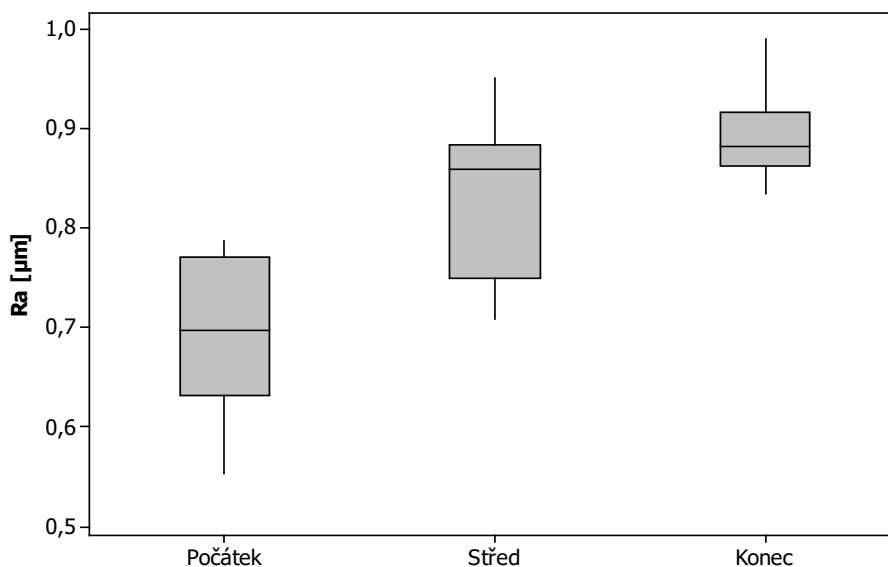
Z grafického porovnání zobrazeného na Obr. 59 můžeme konstatovat, že nejlepší kvalita povrchu byla naměřena v nejmenší vzdálenosti od místa vtoku.

Vstřikovací tlak 50 MPa



Obr. 60 Průběh drsnosti v závislosti na vzdálenosti od vtoku

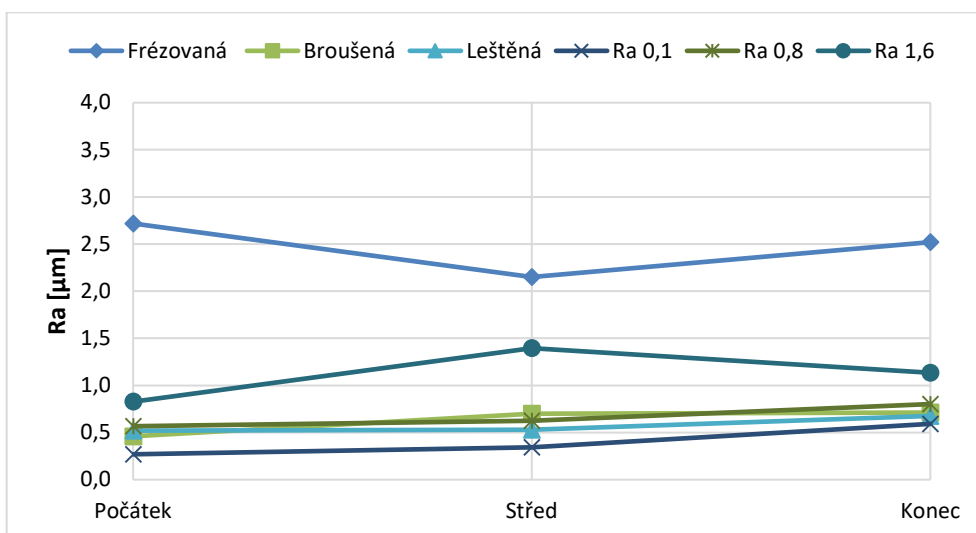
Srovnání jakosti povrchu pro vstřikovací tlak 50 MPa (viz Obr. 60) nenaznačuje u všech těles jednoznačnou závislost mezi hodnotami drsností a vzdáleností od vtoku. Výjimkou jsou spirály vstřikované při použití zkušební desky s označením Ra 1,6 a desky broušené, kde nastává výrazné zhoršení kvality povrchu se zvětšující se vzdáleností od místa vtoku. Naopak výrobky vstřikované při využití leštěné desky a desky značené jako Ra 0,1, dosáhly nejlepší jakosti povrchu v prostřední poloze měření. V případě těles s frézovaným dezénem byly nejmenší hodnoty drsnosti naměřeny v nejvzdálenějším místě od polohy vtoku.



Obr. 61 Srovnání drsnosti Ra 0,8

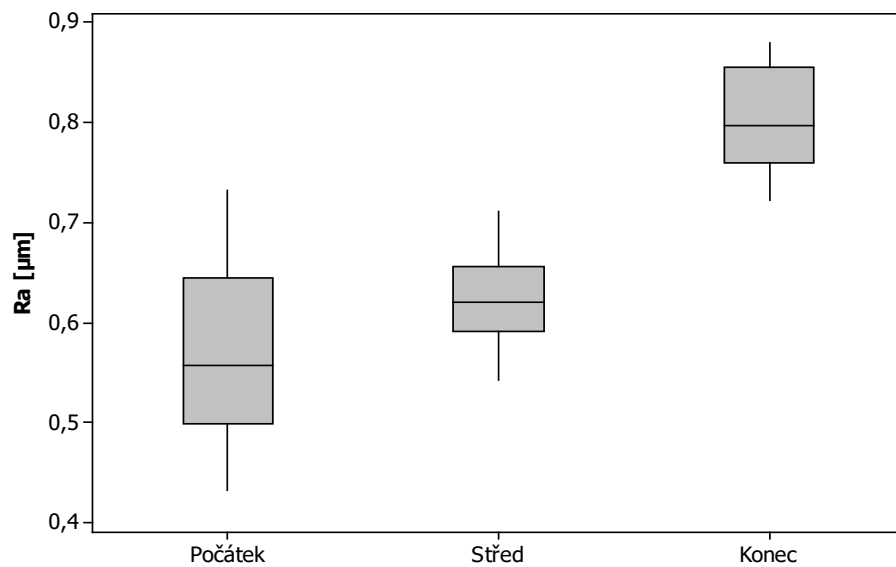
Na základě Obr. 61 můžeme konstatovat, že při porovnání drsností zkušebních vzorků s povrchem, jenž byl označen jako Ra 0,8, bylo dosaženo vzestupné tendence naměřených hodnot drsností povrchu v závislosti na pozici měření. Jinými slovy, se zvětšující se vzdáleností od vtoku se jakost povrchu zkušební vzorku zhoršuje.

Vstřikovací tlak 80 MPa



Obr. 62 Parametr drsnosti Ra v závislosti na oblasti měření

Z Obr. 62 je zřejmé, že nejmenší hodnoty drsnosti byly téměř ve všech případech naměřeny v počáteční poloze měření. Danému tvrzení rozporují jen spirály s frézovaným povrchem. Pro spirály s leštěným a broušeným povrchem a povrchem označeným Ra 0,1 a Ra 0,8 byly zjištěny vzrůstající hodnoty drsností se vzdalující se pozicí měření.

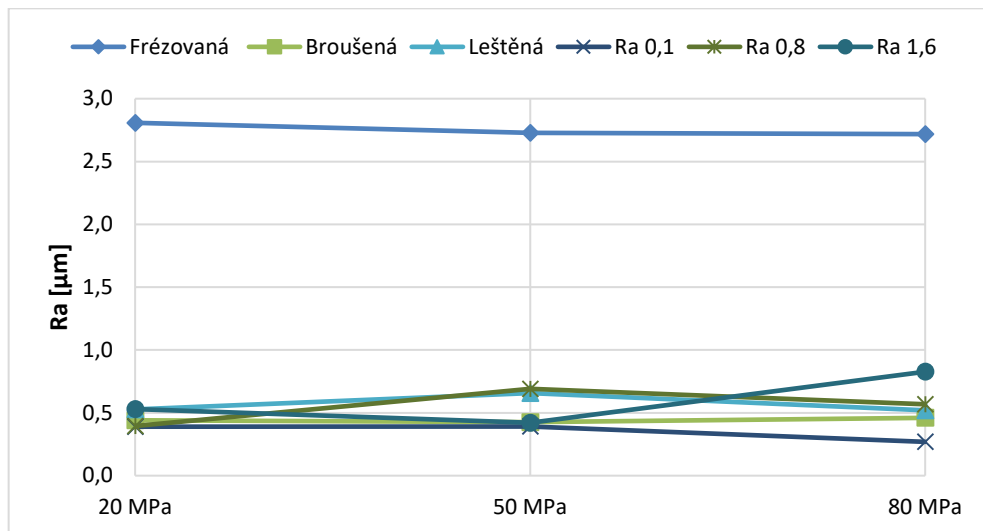


Obr. 63 Drsnost povrchu Ra 0,8

Detailní srovnání pro zkušební vzorky s povrchem označeným jako Ra 0,8, znázorněné na Obr. 63, dokazuje předchozí tvrzení, tedy že drsnost povrchu v daném případě vzrůstá při zvětšující se vzdálenosti od místa vtoku.

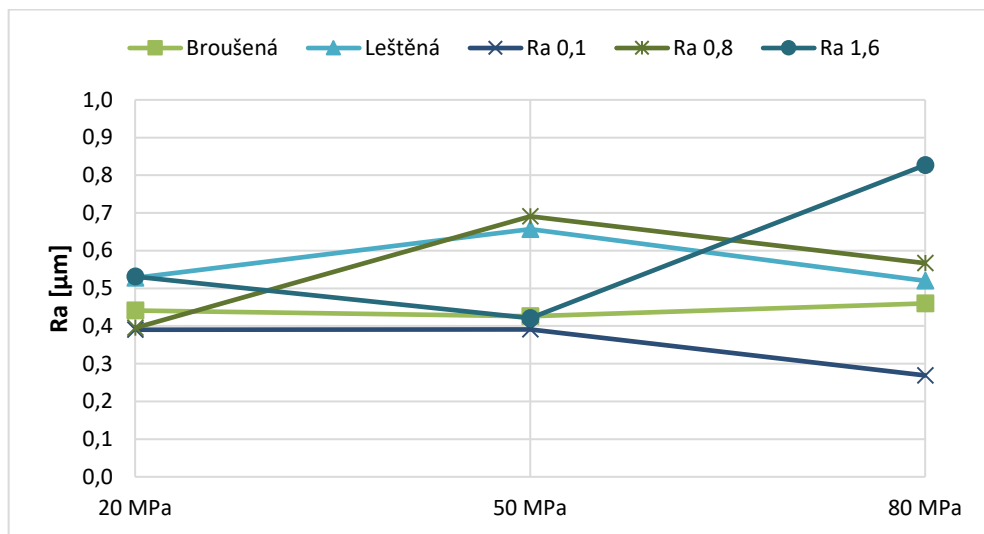
8.3.2 Porovnání jakosti povrchu v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku

Počáteční oblast měření



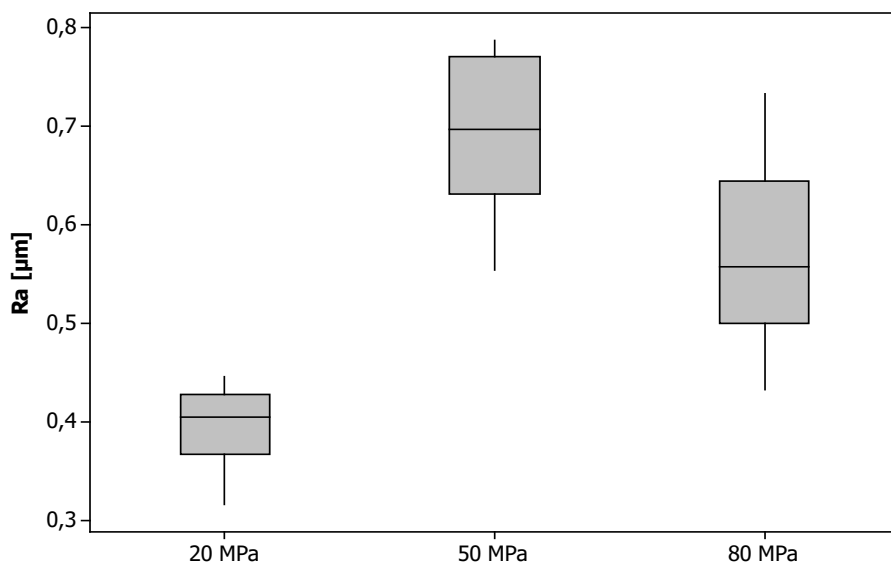
Obr. 64 Parametr drsnosti Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku

Z Obr. 64 je patrné, že v počáteční oblasti měření se jednotlivé zkušební vzorky vzájemně mezi sebou výrazně liší. Detailní porovnání drsností je zobrazeno na následujícím obrázku.



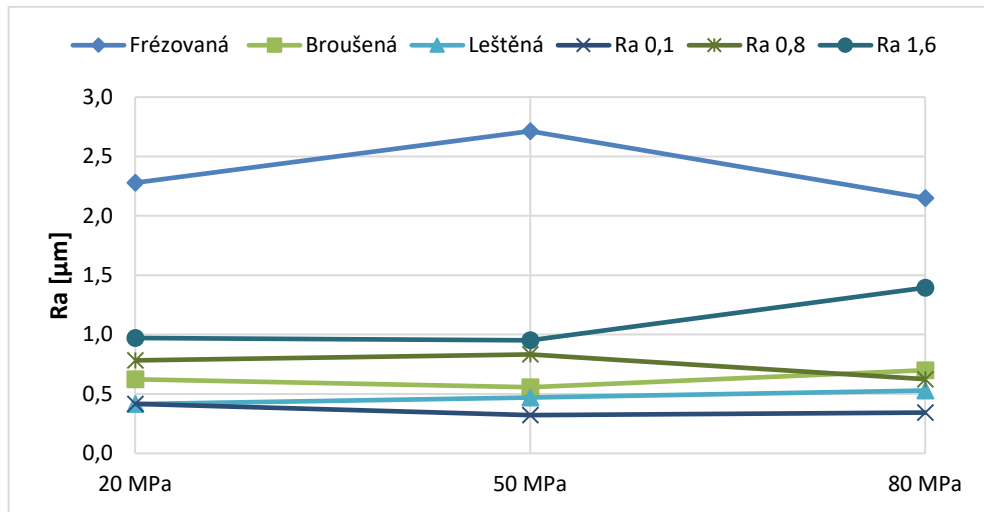
Obr. 65 Detailní porovnání drsnosti

Z Obr. 65 vyplívá, že u vzorků vyrobených za použití desek s označením Ra 0,8, broušená a leštěná byly naměřené hodnoty drsnosti nejmenší při vstřikovacím tlaku 20 MPa. Naopak u spirál vstřikovaných za pomoci desky s označením Ra 0,1 byla největší kvalita povrchu zjištěna u vzorků vstřikovaných při tlaku 80 MPa. V případě těles s povrchem označeným jako Ra 1,6 byly nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra naměřeny při vstřikování tlakem 50 MPa.



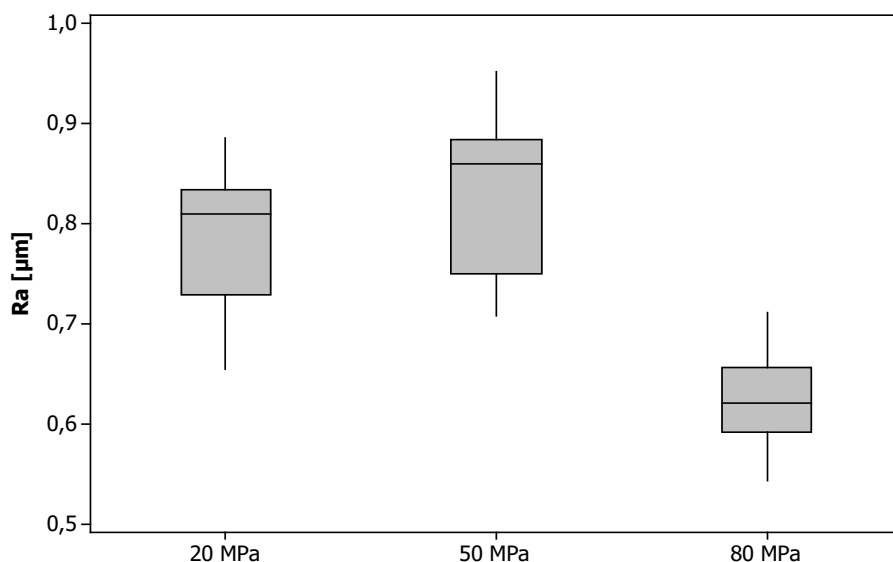
Obr. 66 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na vstřikovacím tlaku

Srovnání uvedené na Obr. 66 naznačuje, že nejlepší kvalita povrchu, pro zkušební vzorky vstřikovanými za použití tvarové desky s označením Ra 0,8, byla zjištěna při vstřikovacím tlaku 20 MPa. Naopak při aplikaci vyšších vstřikovacích tlaků došlo k významnému nárůstu drsnosti povrchu.

Prostřední oblast měření

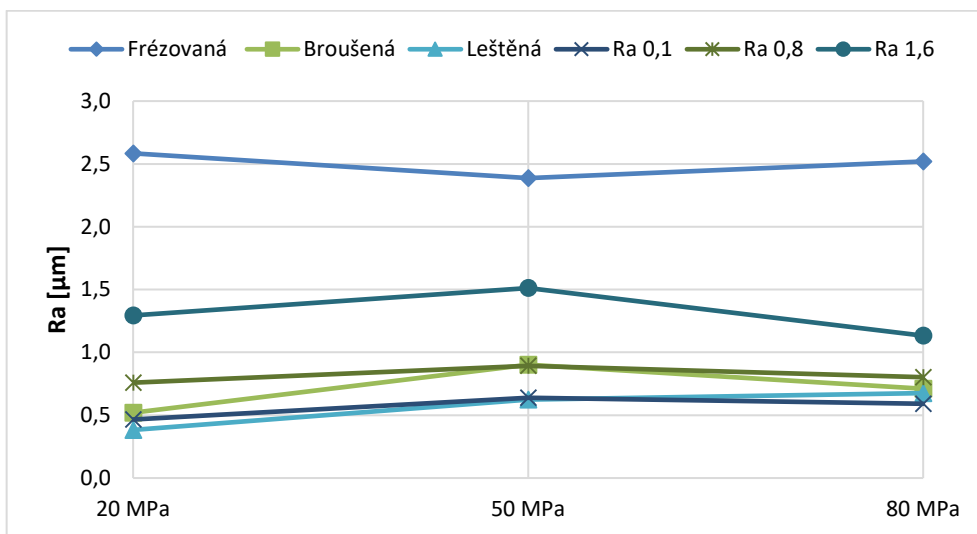
Obr. 67 Porovnání drsnosti pro střední oblast měření

Z porovnání použitých vstřikovacích tlaků v střední oblasti měření, které je uvedeno na Obr. 67, je zřejmé, že zobrazené průběhy drsností vykazují různé trendy. Například u spirál s frézovaným povrchem a povrchem označeným Ra 0,8 bylo nejlepší jakosti povrchu dosaženo při nejvyšším vstřikovacím tlaku. U zkušebních vzorků vstřikovaných při využití tvarových desek s broušeným povrchem a dezénem označeným Ra 0,1 byly nejmenší drsnosti zjištěny u vstřikovacího tlaku 50 MPa.



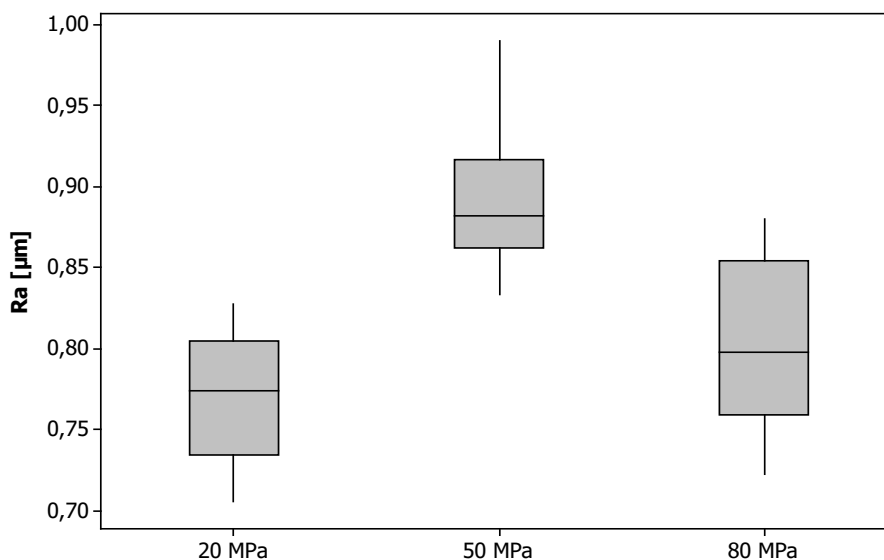
Obr. 68 Srovnání drsnosti Ra 0,8

Z Obr. 68 je patrná skutečnost zmíněná v předchozím tvrzení, tedy, že u vstřikovaných zkušebních těles s povrchem Ra 0,8 došlo k výraznému poklesu drsnosti při vstřikovacím tlaku 80 MPa.

Koncová oblast měření

Obr. 69 Drsnost povrchu v koncové oblasti měření

V koncové oblasti měření (viz Obr. 69) byly nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra na většině zkušebních vzorků naměřeny u vstřikovacího tlaku 20 MPa. U spirál vstřikovaných při použití zkušební desky s označením Ra 1,6 bylo nejlepší jakosti povrchu dosaženo při vstřikovacím tlaku 80 MPa. U zkušebních těles vyrobených za použití frézované tvarové desky byly nejmenší naměřené hodnoty zjištěny u výrobků vstřikovaných tlakem 50 MPa.



Obr. 70 Porovnání vstřikovacích tlaků pro drsnost Ra 0,8

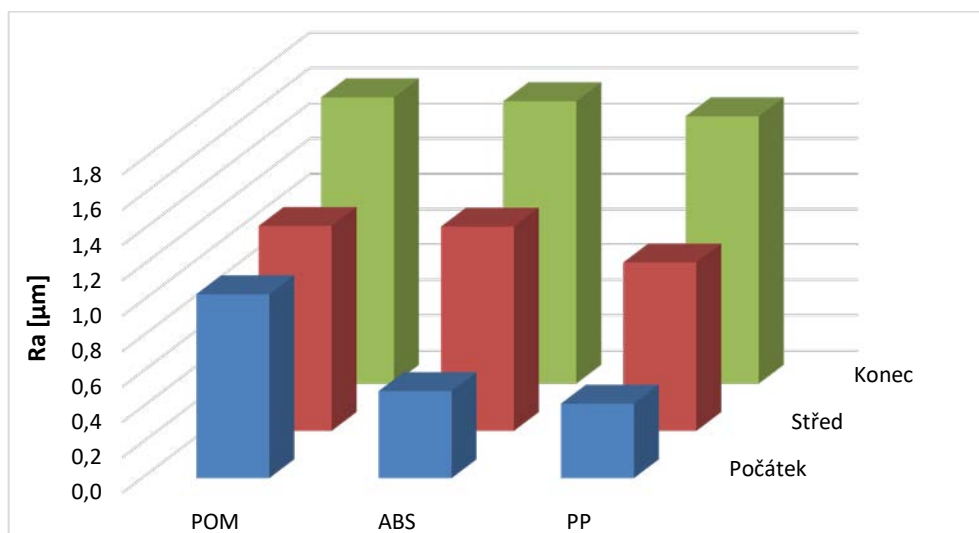
Z Obr. 70 je zřejmé, že nejlepší kvalita povrchu byla dosažena u vstřikovacího tlaku 20 MPa, kdežto při vstřikování tlakem 50 MPa došlo k výraznému nárůstu parametru drsnosti Ra.

8.4 Srovnání jednotlivých materiálů

Následující kapitola bude zaměřena na vzájemné porovnání použitých materiálů.

8.4.1 Porovnání jednotlivých materiálů v závislosti na místě měření

Vstřikovací tlak 80 MPa

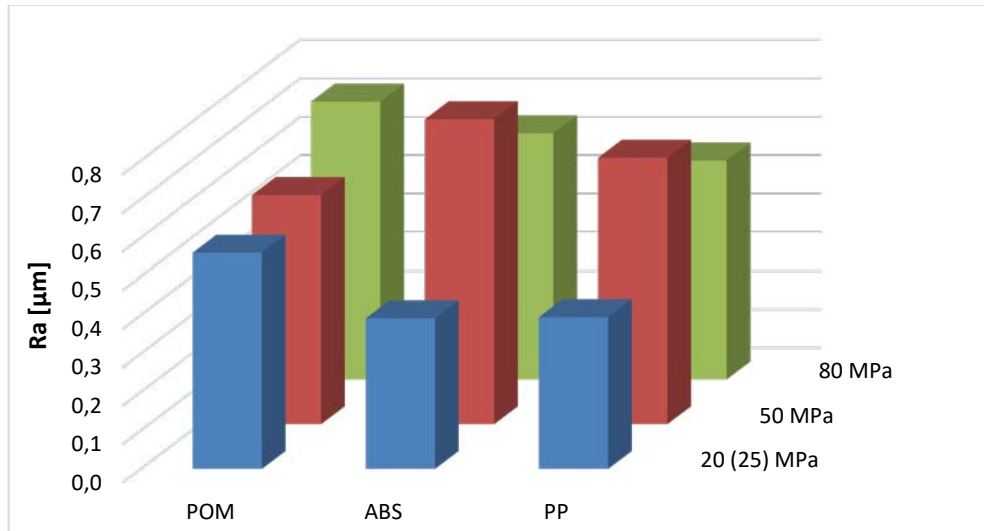


Obr. 71 Porovnání použitých materiálů pro drsnost Ra 1,6

Z grafického srovnání vstřikovaných materiálů při využití tvarové desky s označením Ra 1,6 můžeme konstatovat, že v počáteční oblasti byly naměřeny nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra. Dále lze říci, že případě polypropylenu byly naměřené drsnosti nejmenší ve všech měřených oblastech. Naopak u polyoxymetyleny byla zjištěna ve všech místech měření největší drsnost. Z Obr. 71 je rovněž zřejmé, že v daném případě dochází k nárůstu drsnosti při zvětšující se vzdálenosti od místa vtoku. Dále si můžeme povšimnout, že se vzdálenější oblastí měření se rozdíly drsností mezi jednotlivými materiály zmenšují.

8.4.2 Porovnání jednotlivých materiálů v závislosti na vstřikovacím tlaku

Počáteční oblast měření



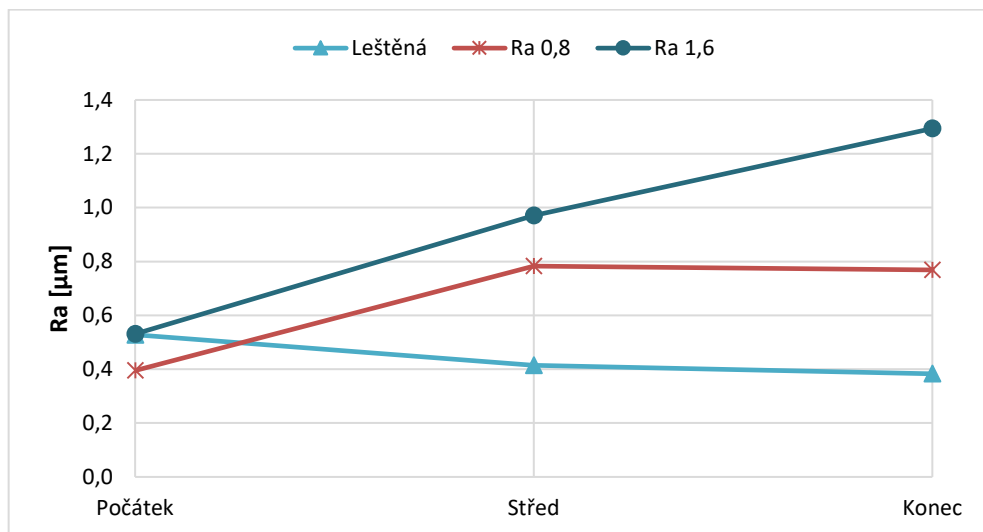
Obr. 72 Porovnání materiálů pro drsnost R_a 0,8

Na Obr. 72 můžeme pozorovat, že u všech materiálů byly nejlepší jakosti povrchu zjištěny u vstřikovacího tlaku 20 MPa (v případě ABS 25 MPa). Konkrétně u akrylonitrilbutadienstyrenu byla zjištěna nejmenší průměrná drsnost a to $0,392 \mu\text{m}$. U tohoto materiálu, ale paradoxně dochází k výraznému nárůstu drsnosti u vstřikovacího tlaku 50 MPa, kde je průměrná hodnota drsnosti v daném případě dokonce nejvyšší ze všech znázorněných výsledků měření. Naopak nejmenší drsnost povrchu při vstřikování tlakem 50 MPa, byla naměřena u vzorků z polyoxymetyleny. Z porovnání materiálů u vstřikovacího tlaku 80 MPa, lze říci, že nejlepší jakosti povrchu bylo dosaženo při vstřikování polypropylenu.

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Cílem diplomové práce bylo zkoumání vlivu procesních podmínek vstřikování na jakost povrchu vstřikovaného tělesa.

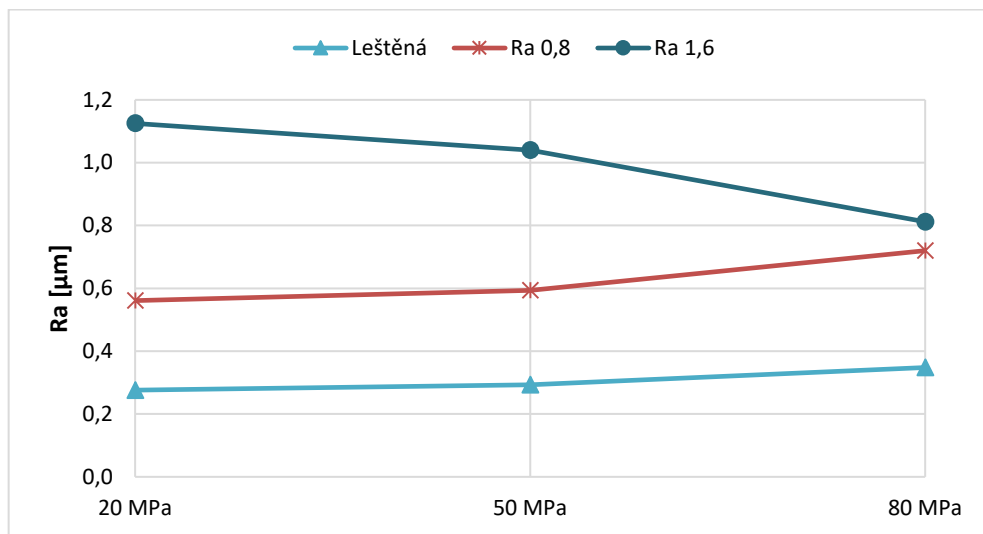
V úvodu byly výsledky měření zaměřeny na sledování změny velikosti drsnosti povrchu zkušebních těles v závislosti na vzdálenosti od místa v toku. U všech zkoumaných vzorků nebyl pozorován jednoznačný trend, jenž poukazoval na stejnou závislost mezi drsností povrchu a vzdáleností od místa vtoku. Tuto skutečnost můžeme vidět na následujícím obrázku, na kterém je uvedeno srovnání zkušebních těles z polypropylenů vstřikovaných při tlaku 20 MPa.



Obr. 73 Závislost drsnosti na vzdálenosti od vtoku

Obr. 73 potvrzuje předchozí tvrzení, tedy že nebyl pozorován jednoznačný trend, jenž by u pozorovaných zkušebních vzorků naznačoval stejnou závislost mezi naměřenými hodnotami drsností a vzdáleností od místa vtoku. Například u zkušebních vzorků s leštěným povrchem můžeme pozorovat sestupnou tendenci velikosti drsnosti povrchu při zvětšující se vzdálenosti od místa vtoku. Naopak u zkušebních těles vstřikovaných za použití desky s označením Ra 1,6 a desky značené jako Ra 0,8, byla zjištěna závislost, která naznačuje, že se zvětšující se vzdáleností od vtoku se jakost povrchu zhoršuje.

Dalším předmětem práce bylo zjistit vliv velikosti vstřikovací tlaku na výslednou jakost povrchu vstřikovaného tělesa. V této části nebyla rovněž u zkoumaných vzorků prokázána jednoznačná souvislost mezi velikostí vstřikovací tlaku a výslednou drsností měřeného povrchu, což můžeme konkrétně vidět na Obr. 74, kde je uvedeno srovnání vzorků z polyoxymetylenů pro počáteční oblast měření.



Obr. 74 Velikost drsnosti v závislosti na vstřikovacím tlaku

Z Obr. 74 jsou patrné zmíněné rozdíly mezi měřenými zkušebními tělesy. U spirál vstřikovaných s tvarovými deskami, které byly označeny jako Ra 0,8 a leštěná, můžeme pozorovat trend, který značí, že drsnost povrchu se v daných případech zvětšuje s velikostí vstřikovacího tlaku. Opačná závislost byla však pozorována u vstřikovaných vzorků s označením Ra 1,6, kde se zvětšujícím se vstřikovacím tlakem měla drsnost zkoumaného povrchu klesající tendenci.

Poslední oblast praktické části diplomové práce byla zaměřena na vzájemné porovnání drsností vstřikovaných materiálů. Z naměřených dat nebylo možné spolehlivě potvrdit, který materiál dosáhl nejlepší jakosti povrchu při zachování stejných procesních podmínek. Například při srovnání zkušebních těles s leštěným a broušeným povrchem byly nejmenší hodnoty drsnosti naměřeny u akrylonitrilbutadienstyrenu. V ostatních srovnáních však nebyly rozdíly v hodnotách drsností až tak výrazné, abychom mohli určit materiál s nejlepší jakostí povrchu.

Předešlá zjištění mohla být způsobena například tím, že samotná dutina vstřikovací formy netvořila uzavřený profil a díky tomu umožňovala tavenině při vstřikování téci do větších vzdáleností na úkor dokonalého obtisknutí tvarové desky. Dalším možným faktorem, jenž mohl ovlivnit výsledky měření drsnosti, mohl být ten, že v dutině formy nebyla měřena hodnota tlaku, která mohla být odlišná oproti nastaveným technologickým parametrům.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na posouzení vlivu procesních podmínek vstřikování na výslednou jakost povrchu vstřikovaného tělesa. Konkrétně se tato práce zaměřila na studium vlivu velikosti vstřikovacího tlaku na jakost povrchu zkušební vzorku, při použití různých tvarových desek vstřikovací formy s rozdílnými drsnostmi povrchu.

Teoretická část práce byla věnována výrobě vstřikovacích forem z pohledu materiálových a technologických možností. Dále se tato oblast práce zabývá obecným popisem procesu vstřikování včetně popisu jednotlivých úskalí související s touto technologií. Závěrečná část literární rešerše byla vyhrazena integritě povrchu a problematice měření drsnosti povrchu.

Praktická část se zabývá samotným vstřikováním zkušebních těles. Konkrétně zde byly popsány vlastnosti vstřikovaných polymerních materiálů a procesní podmínky, za kterých vstřikování probíhalo. Další oblast práce byla určena popisu a nastavení jednotlivých parametrů měření drsnosti povrchu vstřikovaných těles. Poslední část byla zaměřena na zpracování výsledků měření drsnosti povrchu zkušebních vzorků.

Ze samotných výsledků měření nebylo možné konstatovat obecný závěr, jenž by u všech vzorků poukazoval na jednoznačný vliv procesních podmínek vstřikování na výslednou jakost povrchu zkušební tělesa. V případě porovnání mezi jednotlivými vstřikovanými materiály nebyly výsledky měření zcela průkazné, tudíž nemohl být určen materiál s nejlepší jakostí povrchu.

Vzhledem k nejednoznačným výsledkům měření by bylo vhodné se v budoucím studiu této problematiky zaměřit na samotný tvar dutiny formy a věnovat větší pozornost technologickým parametrům vstřikování. Konkrétně zvolit uzavřený profil dutiny formy, který by přispěl k efektivnějšímu obtisknutí tvarové dutiny. Z technologických parametrů vstřikování by pro další zkoumání bylo vhodné použít vstřikovací formu s tlakovým čidlem, jenž by zobrazovala skutečnou hodnotu tlaku v dutině formy, díky čemu by mohli být optimalizovány vstupní hodnoty vstřikovacího tlaku. Další potenciální oblastí optimalizace procesu vstřikování, by mohlo být nastavení většího rozsahu teplot vstřikovací formy. V případě dalšího zkoumání by bylo rovněž vhodné rozšířit studium dané problematiky o další polymerní materiály, případně rozšířit hodnotící kritéria integrity povrchu např. o propustnost či odrazivost. Všechny tyto předložené varianty by mohli výrazněji přispět ke spolehlivému stanovení vlivu procesních podmínek vstřikování na výslednou jakost povrchu vstřikovaného tělesa.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vydání. Praha: Vysoká škola chemická, 2006. 280 s. ISBN 80-7080-617-6
- [2] ČOP, Jiří, Vladimír PATA a Ondřej BÍLEK. Influence of Technological Parameters on Surface Quality of Injectionmolded parts. In: *Key Engineering Materials* [online]. Novi Sad: Trans Tech Publications Ltd, 2016, s. 131-136. [cit. 2018-01-17]. ISSN 1013-9826. Dostupné z: <https://publikace.k.utb.cz/handle/10563/1006308>
- [3] MACEK, Karel a Petr Zuna. Nauka o materiálu 1. vyd. Praha: ČVUT, 1999, 209 s. ISBN 80-01-01507-6
- [4] Rozdělení a charakteristika polymerů [online]. [cit. 2017-10-13]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
- [5] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [6] GORDON, M. Joseph. Total quality process control for injection molding. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, c2010. Wiley series on plastics engineering and technology. ISBN 0470229632
- [7] STANĚK, Michal, David MAŇAS, Miroslav MAŇAS a Oldřich ŠUBA. Optimization of injection molding process. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation* [online]. 2011, vol. 5, iss. 5, s. 413-421. [cit. 2018-01-18]. ISSN 1998-0159. Dostupné z: <http://www.naun.org/multimedia/NAUN//mcs/17-109.pdf>
- [8] LENFELD, P. Technologie vstřikování. [online]. [cit. 2017-10-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [9] ARBURG [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_470C_GOLDEN_EDITION_TD_523679_en_GB.pdf
- [10] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [11] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.

- [12] ČOP, J. Dizertační práce – Výzkum vlivu technologických podmínek na jakost plastikářského nástroje a polymerních výrobků. Zlín, UTB, 2016. 137 s.
- [13] HUMÁR, A. Technologie I – Technologie obrábění 3 část. Brno: VUT, 2005. 134 s.
- [14] MAŇKOVÁ, I. Progresivné technologie. Košice: Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7099-430-4
- [15] Progresivní řešení konstrukce elektrod pro nástrojárny [online]. [cit. 2017–11–03]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/progresivni-reseni-konstrukce-elektrod-pro-nastrojarny.html>
- [16] Nekonenční metody obrábění [online]. [cit. 2017–11–03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni.html>
- [17] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. Aplikovaná reologie. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-7318-039-1.
- [18] Elektroerozivní řezání drátem [online]. [cit. 2017–11–03]. Dostupné z: <http://solicad.com/i/detailni-popis-funkci-programu-sprutcam/c/sprutcam-detaily/g/sprutcam-info?page=9>
- [19] ZHENG, R., TANNER, R. I., FAN, XI-JUN. Injection Molding – Integration of Theory and Modeling Methods. Berlin 2011. ISBN 978-3-642-21262-8
- [20] LENFELD, P. Technologie injekčního vstřikování [online]. [cit. 2017–11–04]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/02.html>
- [21] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2017–11–04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [22] STAŇEK, M. Studijní materiály a podklady z předmětu T5KF – Konstrukce forem v akademickém roce 2015/2016.
- [23] LENFELD, P. Vstřikovací jednotka. [online]. [cit. 2017–11–10]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
- [24] PATA, V. Měření jakosti povrchu. [online]. [cit. 2017–11–11]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=1985
- [25] Zvýšení kvality hodnocení textury povrchu [online]. [cit. 2017–11–11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zvyseni-kvality-hodnoceni-textury-povrchu.html>

- [26] A Different Slice of Surface Finish [online]. [cit. 2017–11–11]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/92095-a-different-slice-of-surface-finish>
- [27] Integrita obráběného povrchu [online]. [cit. 2017–11–11]. Dostupné z: http://images.slideplayer.cz/7/1913161/slides/slide_26.jpg
- [28] Dotykové nebo bezdotykové měření struktury povrchu [online]. [cit. 2017–12–07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dotykové-nebo-bezdotykové-měření-struktury-povrchu.html>
- [29] PATA, V. Studijní materiály a podklady z předmětu T6JM – Jakost a metrologie v akademickém roce 2015/2016.
- [30] PATA, V. Studijní materiály a podklady z předmětu T7TMR – Technická měření v akademickém roce 2016/2017.
- [31] PATA, Vladimír, Miroslav MAŇAS, David MAŇAS a Michal STANĚK. 3D replication of surface structures by rapid prototyping technique. Chemické listy [online]. 2011, vol. 105, iss. 17, s. 733-734. [cit. 2018–01–17]. ISSN 0009-2770. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_17_s729-s738.pdf
- [32] PATA, Vladimír, Martin ŘEZNÍČEK, Libuše SÝKOROVÁ, Jana KNEDLOVÁ a Martina MALACHOVÁ. Use of relocation device at scanning of polymeric material surface quality. Applied Mechanics and Materials [online]. 2014, vol. 693, s. 243-246. [cit. 2018–01–17]. ISSN 1660-9336. Dostupné z <http://www.scientific.net/AMM.693.243>.
- [33] GADELMAWLA, E. S., KOURA, M. M., MAKSOU, T.M.A., ELEWA, I. M., SOLIMAN, H. H. Roughness parameters, Journals of Materials Processing Technology. Vol. 123, 2002. p. 133-145. [cit. 2018–01–17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013602000602>
- [34] Material Data Center [online]. [cit. 2018–03–20]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=059054793d9f487dbef9e9cb75edf3da&ckck=1>
- [35] Material Data Center [online]. [cit. 2018–03–20]. Dostupné z: <https://www.materialdatacenter.com/ms/en/tradenames/Formocon/Formosa+Plastics+Corporation/FORMOCON%C2%AE+FM90/09aa8530/1085>
- [36] SW Chemical [online]. [cit. 2018–03–20]. Dostupné z: <http://swchemical.co.kr/download/ds/hf0660iw.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	Hliník
Cu	Měď
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
EDM	Electrical Discharge Machining
CNC	Computer Numerical Control
POM	Polyoxymetylen
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PS	Polystyren
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu
Rt	Celková výška profilu
Rz	Největší výška profilu
Rsm	Průměrná šířka prvků profilu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Řez vstříkovací formou [22]</i>	13
<i>Obr. 2 Princip elektroerozivního obrábění [14]</i>	15
<i>Obr. 3 Elektrojiskrové hloubení [15]</i>	16
<i>Obr. 4 Grafitová elektroda [16]</i>	17
<i>Obr. 5 Způsoby vyplachování dielektrika [16]</i>	18
<i>Obr. 6 Elektrojiskrové řezání [18]</i>	19
<i>Obr. 7 Rozdělení polymerů</i>	20
<i>Obr. 8 Struktura polymerů [1]</i>	21
<i>Obr. 9 Rozdělení polymerů dle aplikace [4]</i>	22
<i>Obr. 10 Princip vstříkování [20]</i>	23
<i>Obr. 11 Průběh vstříkovacího cyklu [10]</i>	24
<i>Obr. 12 Vstříkovací cyklus v pVt diagramu [17]</i>	25
<i>Obr. 13 Průběh teploty a tlaku v dutině formy [17]</i>	25
<i>Obr. 14 Vstříkovací jednotka [23]</i>	28
<i>Obr. 15 Vzájemné polohy mezi vstříkovací a uzavírací jednotkou [21]</i>	29
<i>Obr. 16 Parametr drsnosti Ra [24]</i>	31
<i>Obr. 17 Nevýhoda parametru drsnosti Ra [26]</i>	31
<i>Obr. 18 Celková výška profilu Rt [27]</i>	32
<i>Obr. 19 Největší výška profilu Rz [27]</i>	32
<i>Obr. 20 Schéma indukčního snímače [24]</i>	33
<i>Obr. 21 3D model měřeného povrchu [33]</i>	34
<i>Obr. 22 CLI snímač</i>	34
<i>Obr. 23 Schéma CLA snímače [24]</i>	35
<i>Obr. 24 Vstříkovaná tělesa (PP, ABS, POM)</i>	42
<i>Obr. 25 Příklady tvarových desek</i>	42
<i>Obr. 26 Sušárna Arburg Thermoloft 100-2</i>	43
<i>Obr. 27 ARBURG Allrounder 470 C</i>	44
<i>Obr. 28 Talysurf CLI 500</i>	46
<i>Obr. 29 Oblasti měření</i>	47
<i>Obr. 30 Odrazivost měřícího paprsku</i>	47
<i>Obr. 31 Nastavení parametrů měření drsnosti</i>	48
<i>Obr. 32 Výsledek měření</i>	48

<i>Obr. 33 Výsledek měření jemného dezénu</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 34 Drsnost Ra v závislosti na pozici měření pro vstřikovací tlak 20 MPa.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 35 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 20 MPa</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 36 Drsnost Ra v závislosti na pozici měření pro vstřikovací tlak 50 MPa.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 37 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 50 MPa</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 38 Drsnost Ra v závislosti na pozici měření pro vstřikovací tlak 80 MPa.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 39 Porovnání drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 80 MPa.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 40 Drsnost Ra v počáteční oblasti měření.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 41 Porovnání drsnosti Ra 0,8 pro počáteční oblast.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 42 Srovnání drsnosti v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 43 Porovnání drsnosti Ra 0,8 pro použité vstřikovací tlaky</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 44 Porovnání drsnosti Ra v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 45 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro jednotlivé vstřikovací tlaky.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 46 Porovnání drsnosti v závislosti na vzdálenosti od vtoku.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 47 Srovnání drsnosti Ra 0,8 pro uvedené oblasti měření.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 48 Srovnání drsností pro vstřikovací tlak 50 MPa.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 49 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na oblasti měření</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 50 Porovnání drsností v závislosti na místě měření</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 51 Velikost drsnosti Ra 0,8 pro vstřikovací tlak 80 MPa.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 52 Srovnání parametru drsnosti Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 53 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na velikosti vstřikovacího tlaku</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 54 Parametr drsnosti Ra v prostřední části měření</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 55 Drsnost Ra 0,8 v prostřední oblasti měření</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 56 Drsnost Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 57 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na vstřikovacím tlaku.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 58 Porovnání drsnosti Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 59 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na pozici měření.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 60 Průběh drsnosti v závislosti na vzdálenosti od vtoku</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 61 Srovnání drsnosti Ra 0,8</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 62 Parametr drsnosti Ra v závislosti na oblasti měření.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 63 Drsnost povrchu Ra 0,8.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 64 Parametr drsnosti Ra v závislosti na vstřikovacím tlaku</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 65 Detailní porovnání drsností.....</i>	<i>68</i>

<i>Obr. 66 Drsnost Ra 0,8 v závislosti na vstřikovacím tlaku</i>	68
<i>Obr. 67 Porovnání drsnosti pro střední oblast měření</i>	69
<i>Obr. 68 Srovnání drsnosti Ra 0,8</i>	69
<i>Obr. 69 Drsnost povrchu v koncové oblasti měření</i>	70
<i>Obr. 70 Porovnání vstřikovacích tlaků pro drsnost Ra 0,8</i>	70
<i>Obr. 71 Porovnání použitých materiálů pro drsnost Ra 1,6</i>	71
<i>Obr. 72 Porovnání materiálů pro drsnost Ra 0,8</i>	72
<i>Obr. 73 Závislost drsnosti na vzdálenosti od vtoku</i>	73
<i>Obr. 74 Velikost drsnosti v závislosti na vstřikovacím tlaku</i>	74

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučené oceli pro jednotlivé části forem [11,12]	14
Tabulka 2 Vybrané vlastnosti vstříkovaných materiálů [34,35,36].....	43
Tabulka 3 Vybrané parametry vstříkovacího stroje ARBURG Allrounder 470C [9]	44
Tabulka 4 Technologické podmínky vstříkování	45
Tabulka 5 Nastavení teplot pro uvedené materiály	45
Tabulka 6 Základní parametry drsnoměru Talysurf CLI 500 [12]	46
Tabulka 7 Délky zkušebních vzorků	50
Tabulka 8 Délky vstříkovaných spirál	57
Tabulka 9 Délky zkušebních těles	64