

Hodnocení jakosti polymerních povrchů

David Možíšek

Bakalářská práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **David Možíšek**
Osobní číslo: **T19738**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Hodnocení jakosti polymerních povrchů**

Zásady pro vypracování

- Rešerše druhů polymerních povrchů včetně povrchových úprav.
- Tvorba metodiky hodnocení povrchů.
- Popište základní parametry jakosti povrchů

Seznam doporučené literatury:

1. WHITEHOUSE, D. Surfaces and their measurement. London: HPS, 2002, xi, 395 p. ISBN 1 9039 9601 5.
2. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
3. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
4. ČSN EN ISO 3274. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotkových (hrotových) přístrojů. Praha: Český normalizační institut, 1999.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Kubišová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahrána do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce, která nese název hodnocení jakosti polymerních povrchů se zaměřuje na strukturální analýzu polymerních povrchů. Teoretická část obsahuje základní rozdělení a popis jednotlivých druhů polymerních materiálů včetně charakteristických zástupců, dále volně přechází na operace ovlivňující drsnost povrchu až po metodiku jejího určování. Praktická část je věnována vyhodnocení naměřených dat drsností povrchů po laserovém obrábění pro různé výkony a jejich statistickému vyhodnocení.

Klíčová slova: Jakost povrchu, měření povrchu, obrábění

ABSTRACT

This bachelor thesis, which is called the evaluation of the quality of polymer surfaces, focuses on the structural analysis of polymer surfaces. The theoretical part contains the basic division and description of individual types of polymeric materials, including characteristic representatives, then freely passes to operations affecting surface roughness to the methodology of its determination. The practical part is devoted to the evaluation of measured data of surface roughness after laser machining for various outputs and their statistical evaluation.

Keywords: Surface quality, surface measurement, machining

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mé vedoucí bakalářské práce paní Ing. Mileně Kubišové Ph.D za její čas, ochotu a vedení spolu s užitečnými rady a připomínky, které mi v průběhu psaní mé práce poskytla.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MATERIÁLY	11
1.1 VÝZNAM POLYMERŮ	11
1.2 POPIS POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	12
1.3 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	13
1.3.1 Termoplasty.....	13
1.3.2 Termosety.....	14
1.3.3 Elastomery	14
1.3.4 Termoplastické elastomery	14
2 TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ	15
2.1 PŘÍPRAVNÉ ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ.....	15
2.2 TVÁŘECÍ TECHNOLOGIE.....	15
2.2.1 Lisování.....	15
2.2.2 Rotační lisování.....	17
2.2.3 Vstřikování.....	18
2.2.4 Vytlačování	20
2.2.5 Válcování	21
2.2.6 Odlévání.....	22
2.2.7 Tváření za tepla	23
2.3 TVAROVACÍ TECHNOLOGIE	25
2.3.1 Vyfukování.....	25
2.3.2 Technologie spojování plastů.....	28
2.3.3 Obrábění plastů.....	29
2.4 RECYKLACE POLYMERŮ	31
2.4.1 Rozdíl mezi mechanickou a chemickou recyklací	32
3 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ NEKONVENČNÍCH TECHNOLOGIÍ	33
3.1 ŘEZÁNÍ VODNÍM PAPEREM:.....	33
3.2 ŘEZÁNÍ LASEREM:	33
3.3 ULTRAZVUKOVÉ ŘEZÁNÍ:	33
3.4 GRAVÍROVÁNÍ POLYMERŮ	33
3.5 SVAŘOVÁNÍ	36
4 URČOVÁNÍ DRSNOSTI POLYMERNÍCH POVRCHŮ	38
4.1 URČOVÁNÍ DOTYKOVÝM ZPŮSOBEM	39
4.2 URČOVÁNÍ BEZDOTYKOVÝM ZPŮSOBEM.....	40
4.3 NORMY HODNOTÍCÍ STRUKTURU POVRCHŮ	43
4.3.1 Obecné termíny:	44

4.3.2	Názvy vyhodnocovaných parametrů:	46
4.3.3	Definice parametrů profilu povrchu	47
4.3.4	Průměrné hodnoty souřadnic výškových parametrů:	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	49
5	CÍLE PRÁCE.....	50
6	VYHODNOCENÍ.....	51
6.1	VYHODNOCENÁ DATA PRO P=20	51
6.2	VYHODNOCENÁ DATA PRO P=40	54
6.3	VYHODNOCENÁ DATA PRO P=60	57
6.4	VYHODNOCENÁ DATA PRO P=80	60
6.5	HODNOTY DRSNOSTI PO GRAVÍROVÁNÍ.....	63
	ZÁVĚR	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	71
	SEZNAM TABULEK	73

ÚVOD

Kvalita je v dnešní době velice důležitý pojem, který neoddělitelně patří do všech aspektů našeho života. Pokud se budeme zabývat kvalitou neboli jakostí z hlediska technologie výroby, tak hovoříme o přesnosti rozměrů, geometrického tvaru, pevnosti a drsnosti povrchu.

Dostáváme se tedy k tomu, že kvůli rychlému rozvoji techniky a vědy se úměrně musí těmto nárokům vyrovnat metody, které nám pomohou takto obrobené povrchy správně analyzovat a kontrolovat kvalitu výroby. S moderními měřiči drsnosti povrchu dosahujeme jednoduššího měření, které nám umožní nasnímat celé povrchy ve 3D a zjistit všechny potřebné parametry po celé obráběné ploše, které jsou potřeba ke kontrole obrobené součásti.

Pomocí jakosti posuzujeme vliv povrchu na funkci součásti, to stanovuje, jaké musí být vlastnosti hodnocené plochy, aby byla zabezpečena funkčnost součásti. Vyhodnocené údaje dále stanovují technologické parametry ve výrobě.

Drsnost ovlivňuje životnost a spolehlivost součástí. Povrchy, které dosahují vyšších hodnot drsnosti se rychleji opotřebují. Parametry, pomocí kterých vyhodnocujeme drsnosti povrchů nám poskytují normy ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 25178-2.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na druhy polymerních materiálů včetně obráběcích operací, které ovlivňující drsnost povrchu až po metodiku, přístroje a normy sloužící k určování drsnosti.

Praktická část je věnována vyhodnocení některých parametrů povrchu získaných z dat drsností povrchů po laserovém obrábění, naměřených pomocí přístroje Talysurf CLI 500 od společnosti Tylor&Hobson. Naměřená data jsou vyhodnocena a zpracována v softwaru Minitab.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁLY

Materiál je látka nebo směs látek, která tvoří předmět. Materiály mohou být čisté nebo nečisté, živé nebo neživé hmoty. Materiály lze klasifikovat na základě jejich fyzikálních a chemických vlastností nebo geologického původu nebo biologické funkce. Věda o materiálech je studium materiálů a jejich aplikací. [1]

Suroviny mohou být zpracovány různými způsoby, aby ovlivnily jejich vlastnosti, čištěním, tvarováním nebo zavedením jiných materiálů. Nové materiály lze ze surovin vyrábět syntézou. [1]

1.1 Význam polymerů

Lidé po mnoho let ve svém životě používali polymery, ale téměř do druhé světové války to dobře nevěděli. K výrobě článku potřebného pro civilizovaný život bylo k dispozici relativně málo materiálů. Pro většinu stavebnictví byla použita ocel, sklo, dřevo, kámen, cihla a beton a byla použita bavlna, dřevo, juta a několik dalších zemědělských produktů pro výrobu oděvů nebo tkanin.[2]

Rychlý nárůst poptávky po vyráběných výrobcích přináší nové materiály. Tyto nové materiály jsou polymery a jejich dopad na současný způsob života je téměř nevyčísitelný. Výrobky z polymerů jsou všude kolem nás: oděvy ze syntetických vláken, polyetylenové kelímky, sklolaminát, nylonová ložiska, plastové sáčky, barvy na polymerové bázi, epoxidové lepidlo, polštář z polyuretanové pěny, silikonové srdeční chlopně a nádobí potažené teflonem.[2]

Polymery jsou v přírodním světě kolem nás od samého počátku (např. Celulóza, škrob a přírodní kaučuk). Umělé polymerní materiály byly studovány od poloviny devatenáctého století. Polymerní průmysl se dnes rychle rozvíjí a je větší než kombinovaný průmysl mědi, oceli, hliníku a některých dalších.[2]

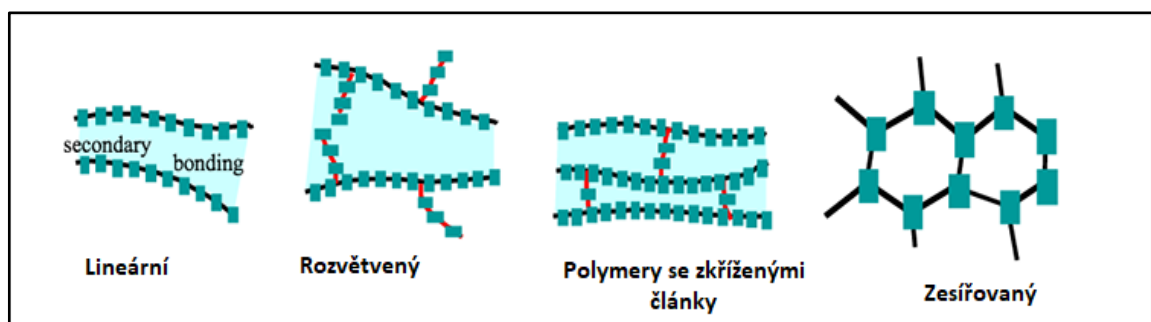
Přírodní i syntetické polymery se pozoruhodně podílejí na pohodlí a usnadňování lidského života a jsou zodpovědné za život samotný, za léky, výživu, komunikaci, dopravu, zavlažování, kontejner, oblečení, záznam historie, budovy, dálnice atd. Ve skutečnosti to je těžké si představit lidskou společnost bez syntetických a přírodních polymerů. V našem neustále rostoucím technologickém světě hraje věda klíčovou roli při poskytování řešení zásadních problémů s potravinami, čistou a bohatou vodou, vzduchem, energií a zdravím.[2]

1.2 Popis polymerních materiálů

Polymery jsou materiály vyrobené z dlouhých, opakujících se řetězců molekul. Materiály mají jedinečné vlastnosti v závislosti na typu vázaných molekul a na tom, jak jsou spojeny. Některé polymery se ohýbají a roztahují, jako guma a polyester. Jiné jsou tvrdé a houževnaté, jako epoxidy a sklo. [3]

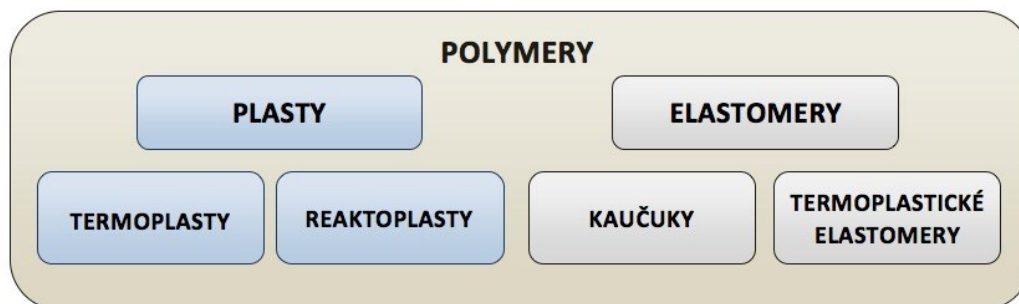
Polymery se dotýkají téměř všech aspektů moderního života. Je pravděpodobné, že většina lidí byla v posledních pěti minutách v kontaktu s alespoň jedním výrobkem obsahujícím polymer, od lahví s vodou přes kosmetické doplňky až po pneumatiky. [3]

Termín polymer je často používán k popisu plastů, což jsou syntetické polymery. Existují však také přírodní polymery, například kaučuk a dřevo jsou přírodní polymery, které se skládají z jednoduchého uhlovodíku a isoprenu. Proteiny jsou přírodní polymery složené z aminokyselin a nukleové kyseliny (DNA a RNA) jsou polymery nukleotidů-komplexní molekuly složené například z dusíkatých zásad, cukrů a kyseliny fosforečné. [3]



Obrázek 1 Struktura polymerních řetězců [4]

1.3 Rozdělení polymerů



Obrázek 2 Rozdělení polymerů [5]

Existují 3 hlavní třídy polymerů - termoplasty, reaktoplasty (termosety) a elastomery, speciální případ tvoří poté termoplastické elastomery. Diference mezi těmito třídami je nejlépe definována jejich chováním za aplikovaného tepla. [5]

Termoplastické polymery mohou být buď amorfni nebo krystalické. Chovají se relativně tažným způsobem, ale často mají nízkou pevnost. Termosetové polymery jsou vždy amorfni a jsou obecně silné a tuhé, ale často křehké. Elastomery jsou vždy amorfni a používají se v provozu nad jejich T_g . Mají jedinečnou schopnost elasticky se deformovat extrémně velkým množstvím bez trvalého poškození jejich tvaru. [5]

1.3.1 Termoplasty

Termoplasty mohou nabývat amorfniích nebo krystalických struktur. V termoplastech existují molekuly s dlouhým řetězcem ve formě lineárních vazeb, ale jsou také navzájem spojeny sekundárními Van Der Waalsovými silami (sekundární vazby). [6]

Při dostatečně vysokém teple stačí excitace molekulárních řetězců k překonání této vazebné síly a mohou se volně pohybovat přes sebe, čímž se vytvoří viskózní kapalina. Lze předpokládat, že sekundární vazby se přeruší. Teplotu skelného přechodu (T_g) lze uvažovat jako teplotu, při které se roztaví sekundární vazby. [6]

Když se polymer ochladí, sekundární síly opět dominují a molekulární řetězce se vrátí zpět do omezeného stavu. To znamená, že termoplasty lze tavit a přetavovat, což umožňuje jejich snadnou recyklaci. [6]

1.3.2 Termosety

Termosetové plasty jsou polymery s nízkou molekulovou hmotností. Při zahřátí způsobují zesíťování mezi polymerními řetězci, čímž jsou tuhé a netavitelné. Při působení tepla tvoří trojrozměrnou strukturu. Tato reakce je v přírodě nevratná. Známým termosetovým polymerem je bakelit, který se používá k výrobě elektrické izolace. [6]

1.3.3 Elastomery

Pevné polymery podobné pryži s vysokým stupněm elasticity jsou známé jako elastomery. Když říkáme elastický, máme na mysli skutečnost, že malé množství síly může snadno roztáhnout polymer. Nejběžnějším příkladem jsou gumičky (nebo gumičky do vlasů). Vyvinutí malého tlaku na pásek jej prodlouží. [6]

Nejslabší mezimolekulární síly drží polymerní řetězce pohromadě, což umožňuje natažení polymeru. Jak však můžete vidět, snížení napětí způsobí, že se gumička vrátí do přirozeného tvaru. K tomu dochází, když mezi polymerní řetězce vložíme příčné vazby, které pomáhají při stahování polymeru a návratu do původního tvaru. Vulkanizovaná pryž se používá k výrobě pneumatik pro automobily. To je, když se zavádí síra pro zesíťování polymerních řetězců. [6]

1.3.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery, jsou třídou kopolymerů, které se skládají z materiálů s termoplastickými i elastomerními vlastnostmi. Jsou to polymery s dvoufázovou strukturou, kterou tvoří navzájem nemísitelné tvrdé a měkké segmenty. Měkké segmenty zajišťují vysokou elasticitu a tvrdé segmenty zamezují v pohyblivosti měkkých segmentů. Výhodou použití termoplastických elastomerů je schopnost protáhnout se a mírnit prodloužení a vrátit se do téměř původního tvaru, což vytváří delší životnost a lepší fyzický dosah než jiné materiály. Při ohřevu nad T_i tvrdých segmentů (termoplastů) je lze je zpracovávat tradičními termoplastickými technikami, jako je vstřikování, vytlačování a vyfukování. [7]

2 TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ

Procesů výroby plastů je mnoho. Výběr procesu závisí na mnoha faktorech, včetně množství a rychlosti výroby, rozměrové přesnosti a povrchových úpravách, formě a detailu produktu, povaze materiálu a velikost konečného produktu. Z hlediska technologií pro zpracování konečného výrobku, můžeme tyto technologie rozdělit do následujících skupin, při kterých mohou být použity jednotlivě nebo být navzájem propojeny. [8]

2.1 Přípravné zpracování plastů

Ještě před zpracováním polymerů zvoleným technologickým procesem je potřeba provést přípravné práce, kdy se k polymeru přidávají aditiva, odstraňuje se voda, těkavé podíly, a další nežádoucí vlivy, které by mohli ovlivnit strukturu, vlastnosti plastů (fyzikální, mechanické, chemické, elektrické, tepelné apod.) a celkovou kvalitu výsledného výrobku. Tyto přípravné procesy neslouží pouze k ovlivnění konečných vlastností polymeru, ale také k přípravě z hlediska dávkování a dopravy. Jako zástupce přípravných operací můžeme uvést např. míchání a hnětení, granulace, tabletování, recyklace, sušení a doprava materiálu. [8]

2.2 Tvářecí technologie

2.2.1 Lisování

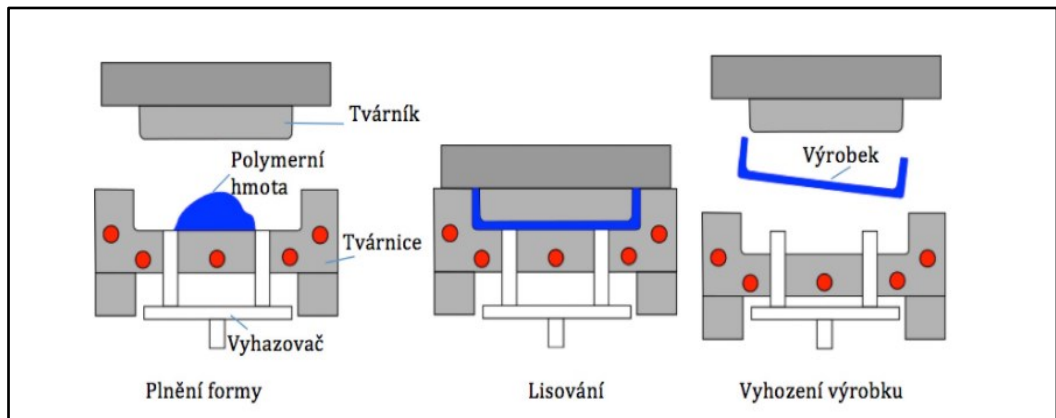
Jednalo se o první metodu zpracování plastů, která získala komerční využití ve velkém měřítku. Prakticky veškeré lisování používá termosetové plasty, ale v určitých specializovaných aplikacích mohou být termoplastické materiály zpracovány lisováním. Mnoho dílů může být vyrobeno buď lisováním nebo přetlačováním. Výběr techniky formování často závisí na vlastní ekonomice a schopnostech formovače. Materiál (prášek nebo granulovaná forma) se vloží do vyhřívané matrice, roztaví se a vyplní dutinu. Tlak způsobí, že se kapalným materiálem naplní a přizpůsobí se tvaru matrice. [9]

Výhody:

- Díly vyrobené tímto procesem (termosetové plasty) mohou být vystaveny vysokému teplotu, protože surovina se nepřetaví.
- Obecně platí, že lisovací formy jsou obvykle levnější na sestavení než přenosové nebo vstřikovací typy.
- Je zabráněno plýtvání materiálem ve formě vtoků, žlabů a přenašecích zbytků, nevzniká tak problém s erozí brány.
- Malé náklady na nástroje a díly.
- Vnitřní napětí v lisovaném výrobku je minimalizováno kratším a vícesměrným tokem materiálu. [9]

Nevýhody:

- Relativně pomalé časy cyklů.
- Velmi složitě navržené výrobky obsahující podříznutí, boční rýhy a malé otvory nemusí být proveditelné. [9]



Obrázek 3 Proces lisování [10]

2.2.2 Rotační lisování

Rotační lisování, také známé jako rotomolding, je proces termoplastického lisování, který se nejlépe hodí pro velké, jednodílné duté díly a dvoustěnné otevřené nádoby, jako jsou nádrže, kajaky a chladiče. Je nákladově nejefektivnější pro objemy výroby menší než 3 000 ročně, takže je ideální pro nízko objemovou výrobu. [11]

Rotační formování se často používá pro díly, které vyžadují vysoce kvalitní povrchovou úpravu, stejnou tloušťku stěn a vysokou stabilitu. Prvky, jako jsou vložky a nástavce s rotačním svarem, lze začlenit přímo do rotační formy a k vytvoření tepelné izolace a tuhosti lze použít pěnu. Na rozdíl od konkurenčních procesů, jako je vyfukování a tvarování za tepla, rotační tvarování neprodukuje žádné švy nebo svarové linie, což vede k hotovému produktu bez použití sekundárních procesů. [11]

Výhody a nevýhody rotačního lisování:

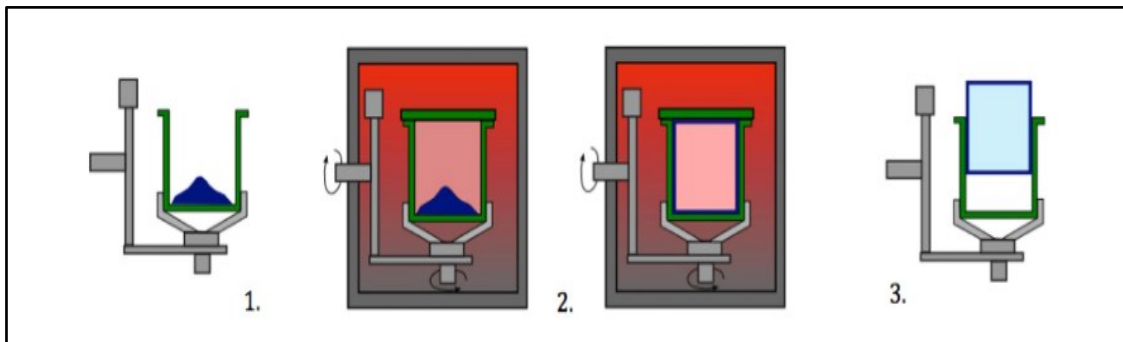
Hlavní rozdíl mezi rotačním lisováním a konkurenčními formovacími metodami, jako je vyfukování a tvarování za tepla, je ten, že pryskyřice se taví do stěn formy, místo aby byla nucena tlakem. Toto rozlišení dává cestu k řadě výhod oproti jiným výrobním procesům, ale nese také svůj podíl nevýhod. [11]

Výhody:

- Nízkonákladové nástroje: nízké provozní tlaky umožňují výrobu nástrojů rotomold z levných kovů, jako je hliník
- Vysoká odolnost: díly jsou lisovány jako jeden pevný kus, což eliminuje potřebu spojovacích technik, jako je svařování a výroba spojů, které vytvářejí slabá místa
- Vysoká stabilita: formovací materiál není vystaven vnějšímu tlaku, což zvyšuje jeho stabilitu a snižuje riziko defektů v hotovém dílu
- Vysoká pevnost: rotační tvarování vytváří silnější rohy, čímž se snižuje riziko selhání v těchto bodech koncentrace napětí [11]

Nevýhody:

- Vysoká doba cyklu: při osmi otáčkách za minutu může rotační formování trvat až tři hodiny, než dokončí jeden díl
- Omezené materiálové možnosti: surovina použitá při rotačním lisování musí být snadno přeměněna z granulí na jemný prášek a musí mít vysokou tepelnou stabilitu, což omezuje výběr materiálu na polymerní pryskyřice
- Vysoké náklady na surovinu: náklady na materiál jsou vysoké kvůli vysokým požadavkům na tepelnou stabilitu, nákladům na požadovaná aditiva a nákladům na mletí materiálu na prášek
- Nízká opakovatelnost: měkký kov používaný v rotačních formách musí být renovován nebo vyměněn po 3 000 cyklech, což způsobuje problémy s kvalitou kvůli nedostatečné opakovatelnosti [11]



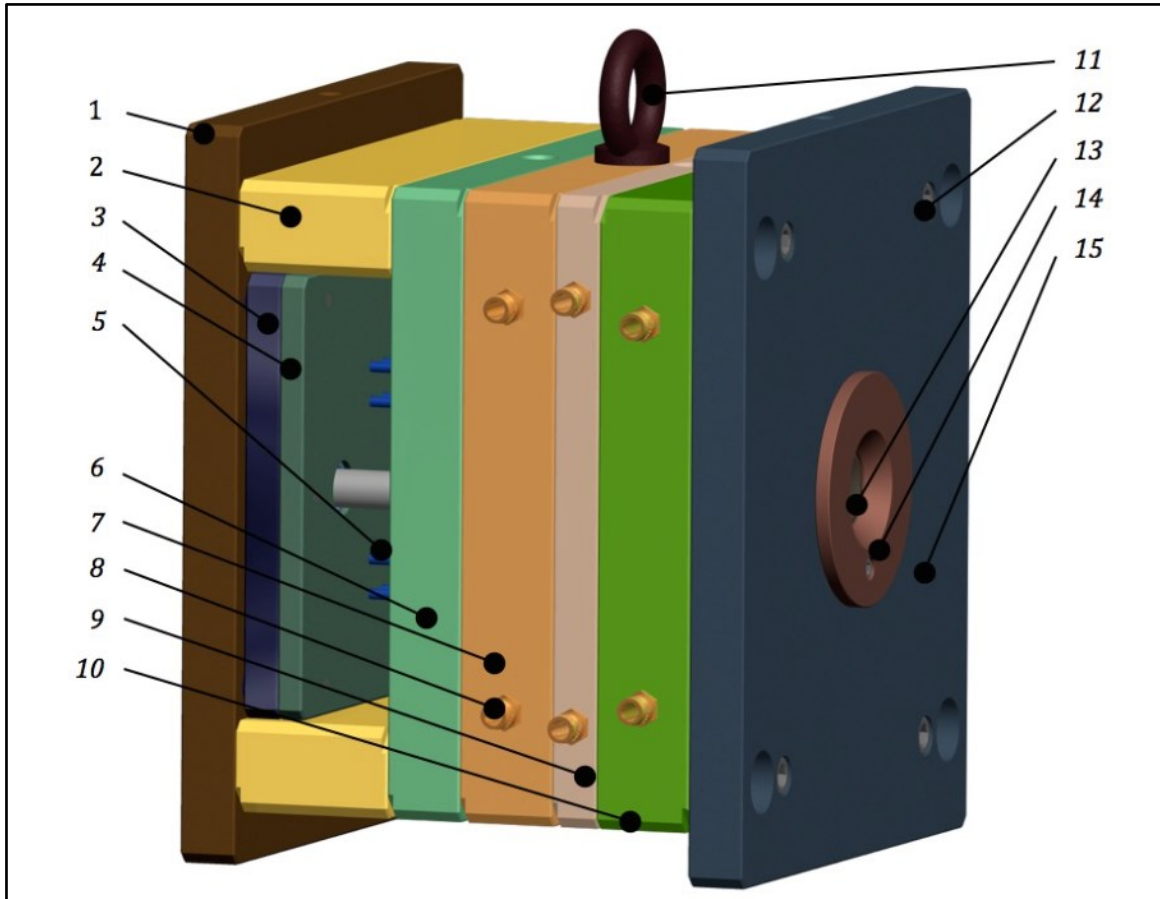
Obrázek 4 Proces technologie rotačního lisování [12]

2.2.3 Vstřikování

Vstřikování je výrobní proces, který umožňuje výrobu dílů ve velkých objemech. Funguje to tak, že se roztavené materiály vstřikují do formy. Obvykle se používá jako hromadný výrobní proces k výrobě tisíců stejných položek. Mezi vstřikovací materiály patří kovy, skla, elastomery a cukrovinky, ačkoli se nejčastěji používá u termoplastů a termosetových polymerů. [13]

Forma, tedy nástroj, kde se celý děj odehrává, je dutý kovový blok, do kterého se vstřikuje roztavený plast z určitého pevného tvaru. Ačkoli nejsou znázorněny na obrázku níže, ve skutečnosti může být v bloku vyvrtáno mnoho otvorů pro regulaci teploty pomocí horké vody, oleje nebo ohřívačů. [13]

Roztavený plast proudí do formy vtokem a vyplňuje dutiny pomocí běžců a bran. Poté se forma po procesu chlazení otevře a vyhazovací tyč vstřikovacího stroje tlačí vyhazovací desku formy k dalšímu vysunutí vylisků. [13]



Obrázek 5 Vstřikovací forma [14]

1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy

Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku:

O mechanických a fyzikálních vlastnostech výstřiku, a o jeho kvalitě rozhoduje použitý materiál, technologické parametry, struktura formy a vhodná volba stroje. Jednotlivé parametry nepůsobí samostatně, ale vždy se ovlivňují navzájem. [13]

Materiály používané pro výrobu forem:

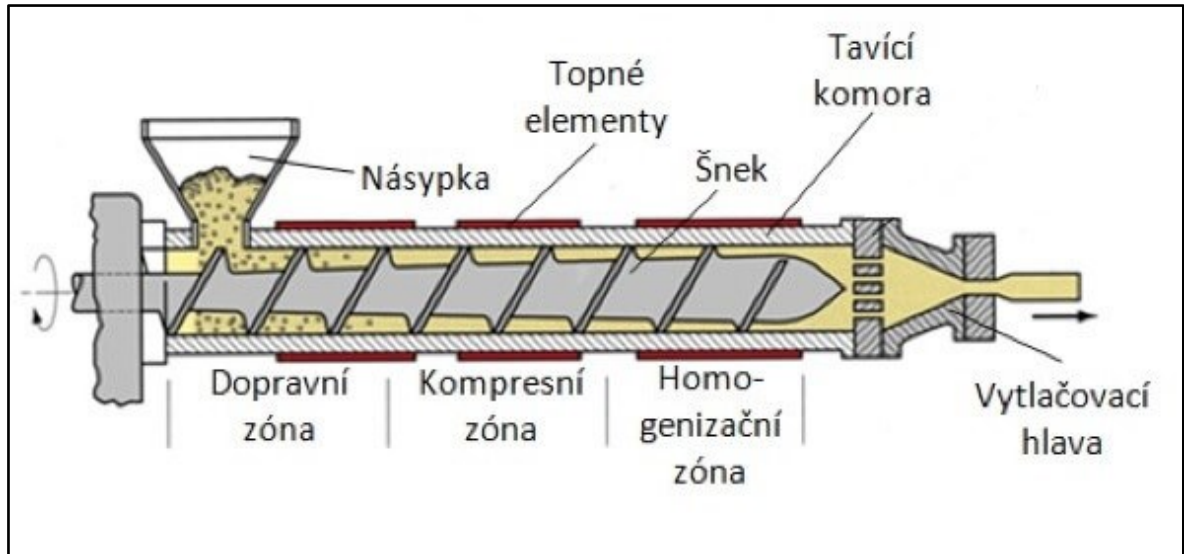
Pro výrobu forem se využívají materiály, které splňují provozní a konstrukční požadavky pro danou aplikaci. Vstřikovací formy jsou obvykle konstruovány z tvrzené nebo před tvrzené oceli, hliníku anebo slitiny beryllia a mědi. Ocelové formy stojí více, ale jsou často upřednostňovány kvůli jejich vysoké trvanlivosti. Formy z tvrzené oceli jsou po obrábění tepelně zpracovány a jsou mnohem lepší, pokud jde o odolnost proti opotřebení a životnost. Mnoho ocelových forem je navrženo tak, aby během své životnosti zpracovaly více než milion dílů. Pro nižší objemy se nabízejí formy z tvrzené oceli, které představují méně odolnou a levnější variantu. [15]

Hliníkové formy na druhou stranu mohou stát podstatně méně, ale obvykle nejsou vhodné pro velkoobjemovou výrobu nebo díly s úzkými rozměrovými tolerancemi. Nicméně hliníkové formy mohou ekonomicky vyrábět desítky tisíc až stovky tisíc dílů, pokud jsou navrženy a vyrobeny pomocí počítačových numerických řídicích strojů (CNC) nebo procesů elektrojiskrového obrábění (EDM). [15]

2.2.4 Vytlačování

Vytlačování plastů je velkoobjemový výrobní proces, při kterém se surový plast taví a formuje do souvislého profilu. Extruze vyrábí položky, jako jsou trubky/trubky, těsnicí pásy, oplocení, zábradlí palub, okenní rámy, plastové fólie a fólie, termoplastické povlaky a izolace drátů. [16]

Tento proces začíná plněním plastového materiálu (pelety, granule, vločky nebo prášky) z násypky do válce extrudéru. Materiál se postupně taví mechanickou energií generovanou otáčením šroubů a topnými tělesy uspořádanými podél hlavně. Roztavený polymer je pak vtlačován do formy, která tvaruje polymer do tvaru, který během ochlazování tvrdne. [17]

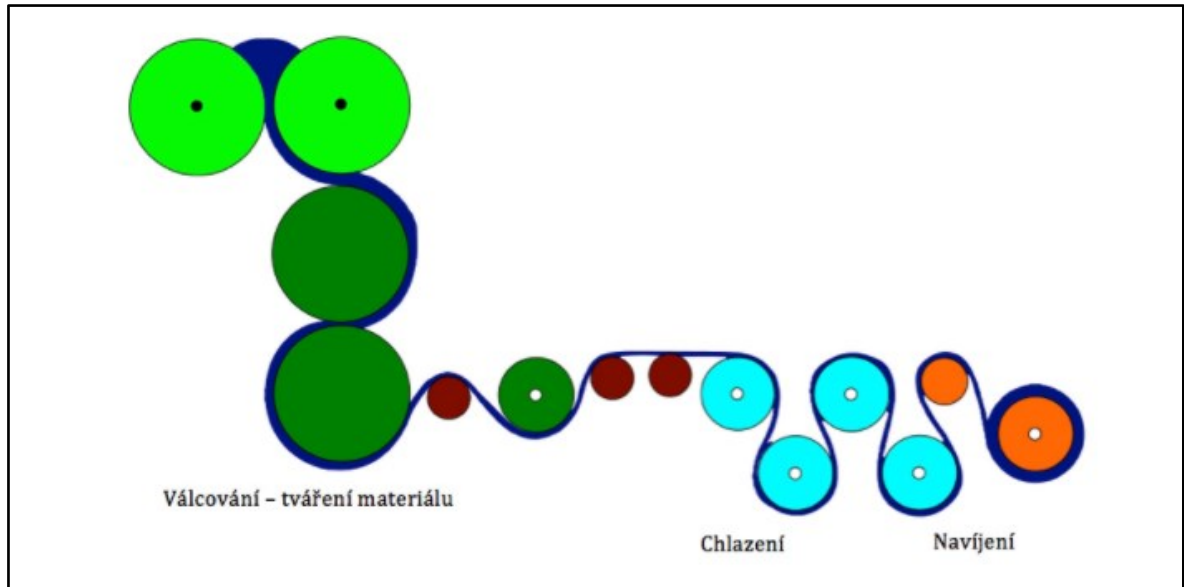


Obrázek 6 Proces vytlačování [18]

2.2.5 Válcování

Kalandrovací proces se používá k výrobě souvislých filmů a listů. Hlavní část kalandrovacího stroje obsahuje sadu vysoce leštěných kovových válců rotujících v opačných směrech s možností přesného nastavení mezery mezi nimi a vodící válec, kterým prochází kalandrovaný list pro vytvoření navíjecí role. Mezera mezi válci určuje tloušťku listu, který se kalandruje. Složený polymerní materiál se přivádí mezi válce, které jsou udržovány na zvýšenou teplotu. List vystupující z válců je dále chlazen průchodem mezi chladícími válci. Listy se nakonec navinou do rolí. [19]

Válcování je ovlivněno jak mezerou mezi válci, tak rozdílem v jejich obvodových rychlostech. Polymery, které jsou převážně kalandrované do fólií, jsou; polyvinylchlorid, polyethylen, akrylonitril-butadien-styren (ABS) a pryž. [19]



Obrázek 7 Kalandrovací linka [20]

2.2.6 Odlévání

Mnoho výrobků se vyrábí spíše litím než lisováním. Při odlévání se kapalina jednoduše nalije do formy, místo aby byla vtlačena dovnitř. [21]

Lze odlévat termosety i termoplasty. Mezi běžně používané materiály pro odlévání patří akryláty, fenoly, polyestery a epoxidy. Podstatou u technologie odlévání je použití polymerů v tekutém stavu. Výhodou odlévání je výroba dílů bez vnitřního pnutí, výroba tvarově rozdílných dílů najednou, minimální odpad, konstrukční jednoduchost a nízké náklady na formy a stroje. Nevýhodou je omezení počtem vhodných plastů, nízká rozměrová přesnost, dlouhé pracovní cykly. Podle pohybu formy se odlévání dělí na gravitační, rotační a odstředivé. [21]

Odlévání do statických forem, tedy gravitační lití je technologicky nejjednodušším způsobem, jelikož materiál je zatěžován pouze hydrostatickým tlakem, proto je potřeba aby měla polymerní hmota dobrou tekutost. Formy, které mohou být jak kovové, tak i skleněné nebo z plastů, se během procesu nepohybují a jsou ohřívány na teplotu, která je závislá na druhu odlévaného plastu. Touto technologií se můžou zpracovávat např. trubky, tyče, PMMA desky, apod. [21]

U odlévání do rotujících forem se předem stanovené množství kapalného plastizolu se umístí do vyhřívané uzavřené dvoudílné formy. Forma se poté otáčí, obvykle ve dvou rovinách: tím se plast rozdělí na stěny formy v tenké rovnoměrné vrstvě. Při kontaktu s formou tuhne. Po vytvrzení plastu se forma otevře a díl se odstraní. [21,22]

Odstředivé lití je založeno na podobném principu jako rotační odlévání s rozdílem, že otáčky jsou mnohem vyšší a formy rotují kolem jedné osy. [21,22]

2.2.7 Tváření za tepla

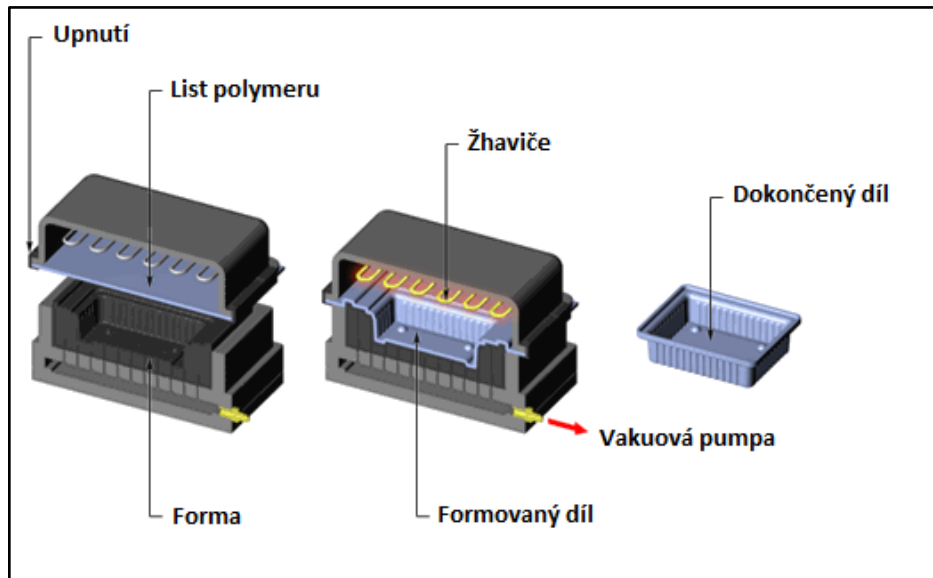
Tepelné tvarování popisuje proces zahřívání termoplastické fólie na její bod měknutí, její natahování přes nebo do jednostranné formy a držení na místě, zatímco chladne a tuhne do požadovaného tvaru. Termoplastická deska je upnuta do přídržného zařízení a zahřívána v peci za použití buď konvekčního nebo sálavého tepla, dokud nezměkne. List je poté držen vodorovně nad formou a vtlačen do formy nebo přes ni natažen pomocí podtlaku, tlaku vzduchu nebo mechanické síly. Změkčený plát se přizpůsobí tvaru formy a drží na místě, dokud nevychladne. Přebytečný materiál se pak odřízne a tvarovaný díl se uvolní. Přebytečný materiál lze přebrousit, smíchat s nepoužitým plastem a přetvořit na termoplastické fólie. [23]

Tepelné tvarování se běžně používá pro balení potravin, ale má mnoho aplikací od plastových hraček přes čelní skla letadel až po podnosy do jídelen. Tenké fólie se většinou používají pro pevné nebo jednorázové obaly, zatímco tlusté fólie se obvykle používají pro kosmetické trvalé povrchy na automobilech, sprchových koutech a elektronických zařízeních. V tomto procesu lze použít různé termoplastické materiály, jako například:

- Akryl (PMMA)
- Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)
- Acetát celulózy (CA)
- Polyetylen s nízkou hustotou (LDPE)
- Polyetylen s vysokou hustotou (HDPE)
- Polypropylen (PP)
- Polystyren (PS)
- Polyvinylchlorid (PVC) [23]

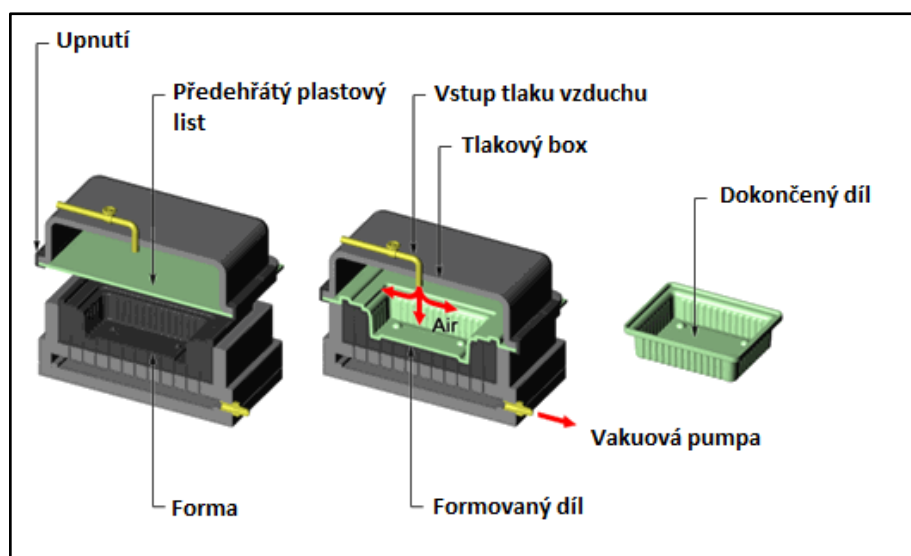
Existují různé způsoby, jak přinutit termoplastickou fólii, aby se přizpůsobila formě. Tyto typy tepelného tvarování zahrnují následující: [23]

Vakuové tváření - Mezi dutinou formy a termoplastovou fólií se vytváří vakuum. Podtlak nutí list, aby se přizpůsobil formě a vytvořil tvar součásti. [23]



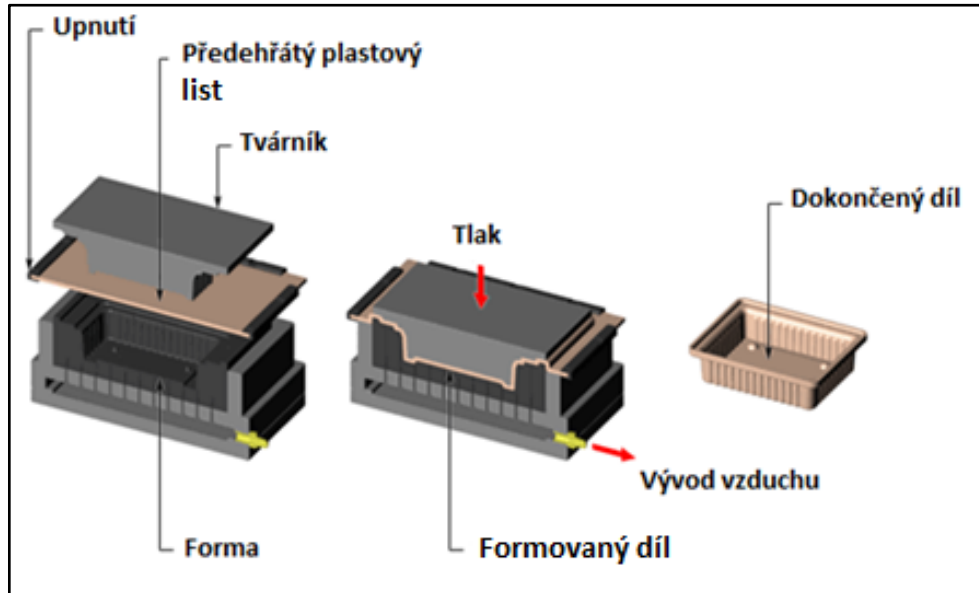
Obrázek 8 Vakuové tváření [23]

Tlakové tváření - Kromě využití vakua pod plechem se na zadní stranu listu aplikuje tlak vzduchu, který pomáhá přitlačit jej na formu. Tato dodatečná síla umožňuje tvarování silnějších listů a vytváření jemnějších detailů, textur, podříznutí a ostrých rohů. [23]



Obrázek 9 Tlakové tváření [23]

Mechanické tváření - Termoplastická deska je mechanicky tlačena do formy nebo kolem formy přímým kontaktem. Typicky záslepka jádra zatlačí list do dutiny formy a přinutí ji formovat se do požadovaného tvaru. [23]



Obrázek 10 Mechanické tváření [23]

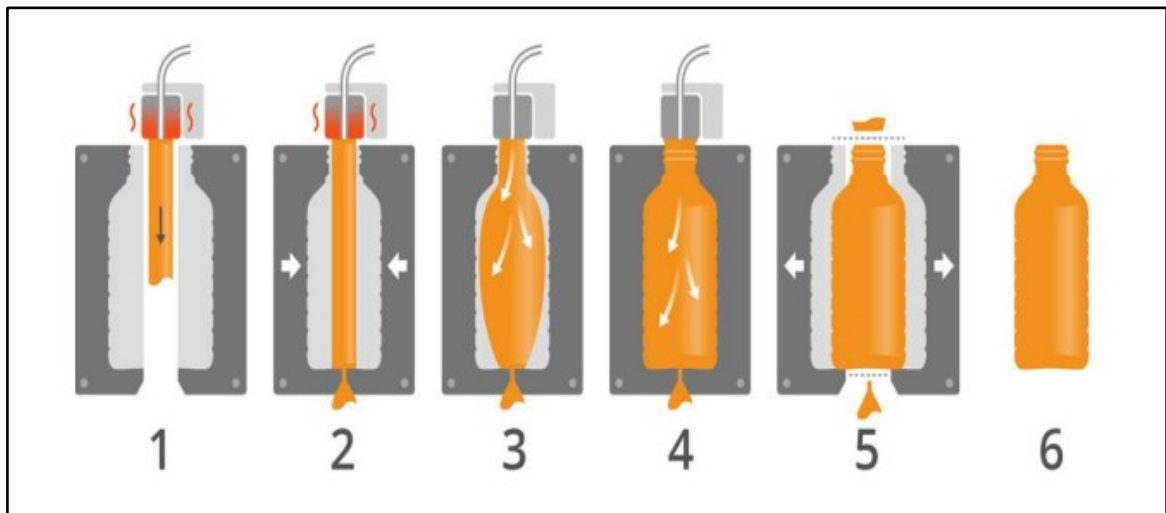
2.3 Tvarovací technologie

2.3.1 Vyfukování

Vyfukování je výrobní proces pro tvarování a spojování dutých plastových dílů. Používá se také pro tvarování skleněných lahví nebo jiných dutých tvarů. Obecně existují tři hlavní typy vyfukování: vytlačovací vyfukování, vstřikovací vyfukování a vstřikovací vyfukování s prodloužením. Proces vyfukování začíná roztavením plastu a jeho tvarováním do předlisku. Předlisek je trubicovitý kus plastu s otvorem na jednom konci, kterým může procházet stlačený vzduch. Předlisek se pak upne do formy a vhání se do ní vzduch. Tlak vzduchu pak vytlačí plast ven, aby odpovídal formě. Jakmile plast vychladne a ztvrdne, forma se otevře a díl se vysune. Dodatečné chlazení poté probíhá za použití vrtaných vodních kanálek. [24]

Vytlačovací vyfukování:

Extruzní vyfukování je proces nejvhodnější pro vytváření složitých tvarů výrobků. Během tohoto procesu se plast roztaví a poté se vytlačí do duté trubky, známé také jako předlisek. Předlisek se uzavře a požadovaný tvar se dosáhne vhněním vzduchu do teplého plastu. Jakmile se kus ochladí, je vyhozen. Extruzní vyfukování může být kontinuální nebo přerušované. [24,25]

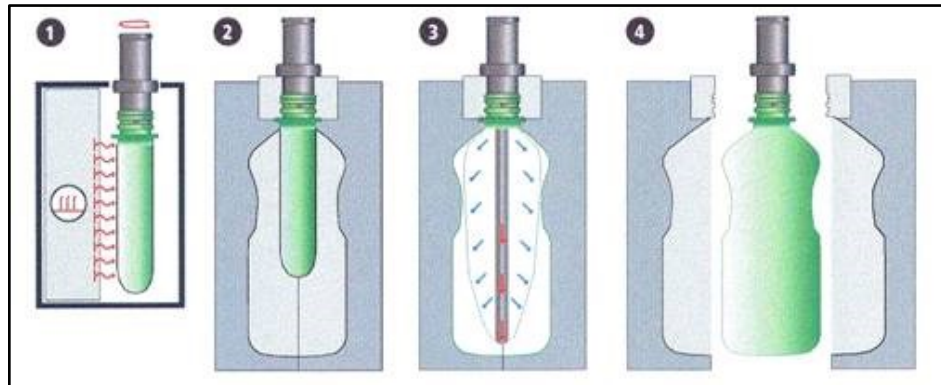


1 – vytlačování parizonu, 2 – sevření formy, 3 – vyfukování,
4 – chlazení, 5 – otevření formy, odstranění přebytku, 6 – hotový výrobek

Obrázek 11 Princip vytlačovacího vyfukování [25]

Vstřikovací vyfukování:

Během tohoto procesu se plast nebo polymer vstříkuje do jádrového kolíku, pak se kolík otáčí vyfukovacím strojem, dokud se plast nenafoúkne do požadovaného tvaru. Poté se ochladí a vyjme jedním jednoduchým procesem. Tato metoda je méně běžná než ostatní dvě, protože je časově náročnější než ostatní metody. [24,25]

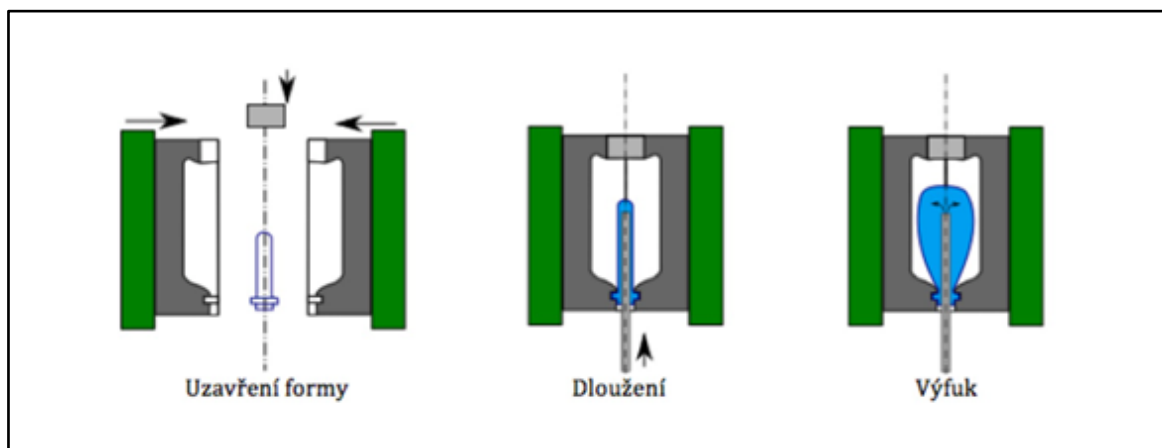


1 – ohřev tvarové části předlisku, 2 – přesun do vstřikovací formy, 3 – vyfukování,
4 – chlazení, vyhození

Obrázek 12 Princip vstřikovacího vyfukování [26]

Vstřikovací vyfukování s dloužením:

Vstřikovací vyfukování je variantou vstřikovacího vyfukování, ale používá méně materiálu než vstřikování vyfukováním. Během vyfukování do formy se plast vytvaruje do pevného předlisku. Tento předlisek se zavede do stroje na vyfukování a zahřeje se. Po zahřátí se předmět vyfoukne do plastové láhve nuceným stlačeným vzduchem. Tento proces se běžně používá k výrobě lahví na nealkoholické nápoje. [24,25]



Obrázek 13 Princip dloužení a výfuku [27]

2.3.2 Technologie spojování plastů

Spojování plastů je kritickým výrobním krokem, kde jsou plastové součásti připevněny k sobě nebo na součásti vyrobené z jiných materiálů k vytvoření článků, produktů nebo struktur, popřípadě na opravu. S rychle rostoucím využitím plastů a polymerních kompozitů, se zvyšuje složitost komponent a požadavky na spoje. Návrh spoje a způsob spojování závisí na použitých materiálech a požadavcích na výkon. Některé důležité úvahy zahrnují: velikost a typ přenášeného zatížení spoje, geometrii dílů a spoje, provozní prostředí, potřeba demontáže pro údržbu popř. opravy, náklady na montáž, opakovatelnost z dílu na díl, spolehlivost a předpokládanou životnost. Způsoby spojování plastů lze rozdělit na tři kategorie: mechanické spojování, lepení a svařování. [28]

Mechanické spojování - Mechanické způsoby upevnění mohou nabídnout výhodu demontáže, ale mají nevýhody vyplývající z koncentrace napětí, galvanické koroze, nesouladu koeficientů tepelné roztažnosti atd., které mohou způsobit nýty, šrouby a lana. [28]

Lepení - Při lepení je lepidlo umístěno mezi dva adherendy vytvářejí pevnostní spojení mezi díly. Termoplasty, termosety a jejich kompozity mohou být adhezivní spojený. Mechanismy adheze jsou složité, a existuje několik teorií pro tvorbu vazby při lepení včetně adsorpce, difúze, mechanické blokování, acidobazické interakce, a teorie kovalentních vazeb. Proces lepení lze rozdělit do čtyř kroků: příprava povrchu, umístění lepidla, aplikace tepla nebo tlaku a vytvrzování lepidla. [28]

Svařování - Svařování nebo tavné spojování se provádí zahřátím roztavením nebo změkčením povrchu spojů, umožňujícím tok, difúzi a zapletení řetězu s následným ochlazením a znovu-ztuhnutím. Proto můžeme svařování aplikovat pouze na termoplasty a termoplastické kompozity. Svařování je atraktivní a ekonomický způsob spojování, protože není potřeba přídavných materiálů, vysoké koncentrace materiálu lze přenášet napříč spoji a celý proces je rychlý. V některých případech svařování lze použít ke spojování různých typů termoplastů, za předpokladu že jsou navzájem mísitelné. V závislosti na svařovacím procesu a velikosti dílů může celý cyklus trvat s od zlomku sekundy až do několika minut. [28]

2.3.3 Obrábění plastů

Jedním z hlavních atributů plastových materiálů je jejich schopnost tvarování do hotové součásti bez nutnosti následné práce. Složité tvary, otvory a podříznuté prvky mohou být vytvářeny do součásti pomocí nástrojů a lisovacích technik. To vše však stojí náklady na nástroje. Formovací nástroje a formovací zařízení používané v různých procesech formování plastů jsou vždy konstrukčně náročnější výtvoři. Jejich výroba může často trvat týdny a měsíce s výsledně vysokými náklady. Tam, kde je specifikována plastová součást a počet, který se má použít, není velký, je obrábění součásti ekonomičtější. Ne všechny plastové materiály lze obrábět. Čím tužší je plast, tím snáze se opracovává. Pružnější a měkčí plasty nejsou vhodné pro obrábění. [29]

Výhody obrábění plastů

- Nejsou potřeba žádné náklady na formy
- Schopnost ekonomicky vyrábět malé objemy
- Možnost vyzkoušet návrh před tím, než se zapojí do obrábění
- Síly potřebné k obrábění plastů jsou nízké
- Plasty se běžně suší ve stroji
- Třísky lze recyklovat a použít zpět do procesu mísení [29]

Nevýhody obrábění plastových materiálů

- Možnost obrábění je omezena na tužší plastové materiály
- Velké množství třísek, které je třeba odstranit, může představovat potíže
- Vysoké náklady na čas CNC stroje
- Plastové materiály neodvádějí žádné teplo vznikající při procesu obrábění
- Kompozitní plasty produkující prach vyžadují účinný systém jeho sběru [29]

Způsoby obrábění plastových materiálů:

CNC obrábění - Pokud má řezaná součástka složitý tvar, lze její profil naprogramovat do počítače. K výrobě duplicitních počtů součástí lze použít CNC obráběcí centrum. Vícenásobné vyměnitelné frézy obvykle používané na CNC strojích umožňují obrábění složitých a různorodých součástí. [29]

Soustružení - Pokud je tvar, který má být dosažen, kulatý, lze použít jednoduchou operaci soustružení. Specializované doplňkové vybavení připojené k soustruhu může rozšířit možnosti provozu soustruhu. [29]

Frézování - Tento způsob obrábění se může lišit od jednoduchého frézování až po profilové a CNC frézování. [29]

Vysekávání - V určitých případech může použití vysekávání plastového materiálu vyrobit jednoduchou součást. Proces je omezen na listový materiál. Matrice pro tvárník a tvárnici se používá k vyražení předem určeného tvaru. Proces může být buď ruční, nebo automatizovaný pomocí speciálního stroje. [29]

Řezání nožem za tepla - Měkčí méně tuhé typy plastů lze řezat horkým nožem, aby se plast rozřízl. Elektricky vyhřívaný drát nebo čepel taví plast lokálně. Tento typ procesu se běžně používá k řezání bloků pěny a expandovaného polystyrenu. [29]

Děrování - Určité tvary lze řezat na kovových vysekávacích lisech. Stejně jako CNC stroj jsou vždy řízeny počítačem a jsou vybaveny více nástrojovými bity. Tento proces je omezen na tenčí termoplastickou a termosetovou desku. [29]

Oddělování - Akrylátový a laminovaný plech lze oddělit pomocí rýhování ostrým nožem a rozlomení kolem rýhované linie. [29]

2.4 Recyklace polymerů

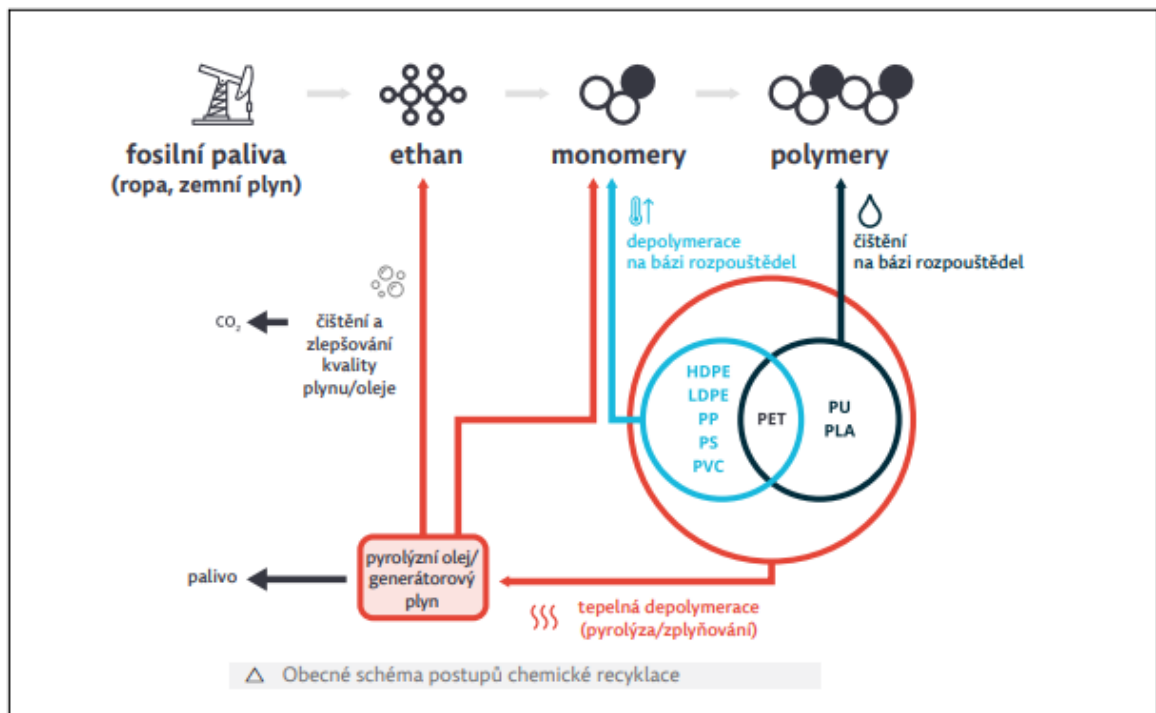
Recyklace plastů je přepracování plastového odpadu na nové a užitečné produkty. Při správném provedení to může snížit závislost na skládkách, šetřit zdroje a chránit životní prostředí před znečištěním plasty a emisemi skleníkových plynů. Přestože se míra recyklace zvyšuje, zaostává za mírou recyklace jiných obnovitelných materiálů, jako je hliník, sklo a papír. [30]

Recyklace je nezbytná, protože téměř všechny plasty jsou biologicky nerozložitelné, a proto se hromadí v prostředí, kde mohou způsobit škody. Například přibližně 8 milionů tun odpadního plastu se každý rok dostane do zemských oceánů, což způsobí poškození vodního ekosystému a vytvoří velké oceánské odpadky. [30]

V současné době se téměř veškerá recyklace provádí přetavením a přetvořením použitého plastu na nové položky; tzv. mechanická recyklace. To může způsobit degradaci polymeru na chemické úrovni a také vyžaduje, aby byl odpad před dalším zpracováním tříděn jak podle barvy, tak podle typu polymeru, což je komplikované a drahé. Nedostatky v tomto mohou vést k materiálu s nekonzistentními vlastnostmi, což je pro průmysl nepřitažlivé. [31]

Opadní plasty lze také spálit místo fosilních paliv v rámci energetického využití. Jedná se o kontroverzní praxi, ale přesto se provádí ve velkém měřítku. [31]

Dalším vyvíjecím způsobem recyklace je tzv. „chemická recyklace“ tento termín nemá svou přesnou definici, ale popisuje soubor několika inovativních technologií pro novodobou recyklaci polymerů. Tyto technologie obecně podrobují plastový odpad kombinaci působení tepla, tlaku a/nebo dalších chemických látek v nějakém typu reakční nádoby. Z produktů těchto procesů je teoreticky možné vyrobit nové polymery nebo palivo, v závislosti na zpracování a použitých technologiích. [31, 32]



Obrázek 14 Postup chemické recyklace [30]

2.4.1 Rozdíl mezi mechanickou a chemickou recyklací

Chemická recyklace štěpí polymerní řetězce a dodává produkty, jako je ropa, nafta nebo paliva. Mechanická recyklace zachovává molekulární strukturu. Mechanicky drtí plast a přetavuje jej na granulát. Tento granulát se pak používá k výrobě nových plastových výrobků. [32]

3 OBRÁBĚNÍ POMOCÍ NEKONVENČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Nekonvenční technologie obrábění jsou založeny na využití fyzikálních, chemických a abrazivních účinků nebo jejich kombinací, pomocí kterých dochází k úběru materiálu.

Jedná se převážně o bez silové působení nástrojů na obráběný materiál, kde nedochází ke vzniku klasických třísek, které vznikají při obrábění reznými nástroji. [33]

3.1 Řezání vodním paprskem:

Tento proces se používá k ořezávání hran vlákniny vyztužených termosetových součástí, které by jinak bylo obtížné ořezat jinými procesy. Tuhé výztužné vrstvy v materiálu odolávají ořezávání konvenčními noži a řezacím zařízením. Výhodou je úzká rezná dráha a rychlý postup bez prachu a třísek. [33]

3.2 Řezání laserem:

Tento proces lze použít pro řezání a vyvrtávání profilů určitých typů akrylových a jiných plastů, i když ne termosety. Proces využívá průmyslový laser k roztavení plastu často s počítačem řízeným profilem. [33]

3.3 Ultrazvukové řezání:

Některé z měkčích tenčích plastů lze řezat pomocí ultrazvukového zařízení. Vysoká frekvence generovaná ultrazvukem v nástroji má za následek místní roztavení řezaného plastu. Opět, integrovaný s řízením profilu počítačem, proces se hodí pro vysokorychlostní automatizované výrobní linky. [33]

3.4 Gravírování polymerů

Klíčem k laserovému gravírování (značení) plastů je dosažení dostatečné absorpce laserového paprsku do materiálu. U kovů se většina paprsku odráží, zatímco u plastů je důležitější propustnost, difúzní odraz a pohlcování. Nízká tepelná vodivost v plastech znamená nízké energetické ztráty při značení. Plasty lze tedy značit mnohem rychleji než kovy. Absorpce makromolekulární strukturou plastů je obvykle v ultrafialovém a vzdáleném infračerveném pásmu. [34]

V přísadách, jako jsou saze nebo barviva, dochází k absorpci při různých spektrech vlnových délek. Protože jsou k dispozici lasery s různými vlnovými délkami, lze vlnovou délku optimalizovat pro příslušný materiál. [34]

Dobré výsledky gravírování bez přísad	Průměrné výsledky gravírování bez přísad, ale dobré výsledky gravírování s běžnými přísadami		Není možné gravírovat, pouze za použití speciálních aditiv
ABS	PS	PES	PU
PC	PI	PEI	PP
PPSU	PETP	PE	PEHD
PBT	POM	PA	PMMA
SAN	PPS	PVC	PTFE
PEEK	ASA	TPE	
UREA			

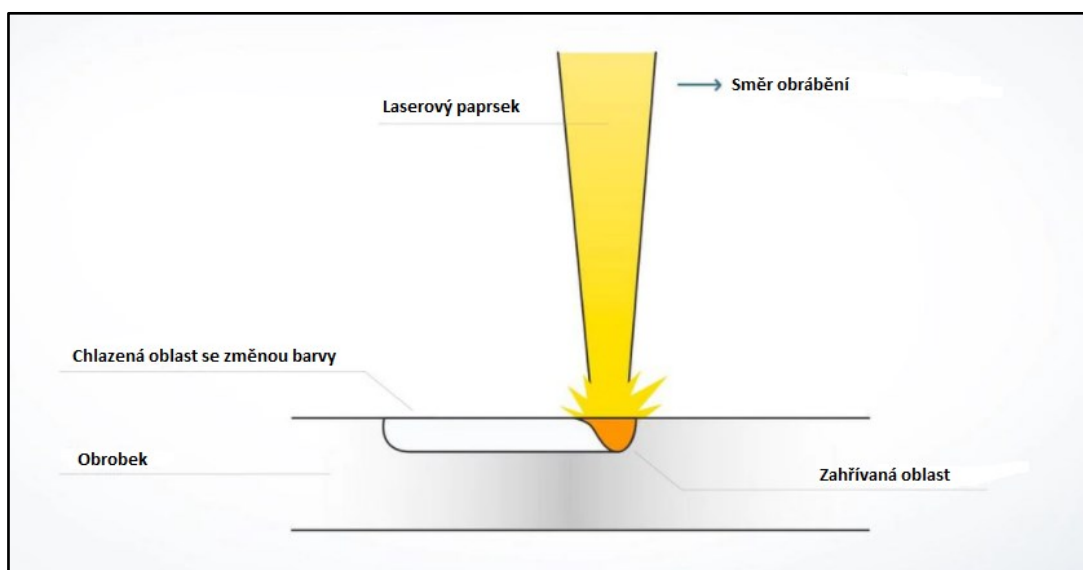
Tabulka 1 Rozdělení materiálů vhodných pro gravírování

Lasery s krátkým pulsem dosahují dobrých výsledků s řadou typů značení v závislosti na plastu, vlnové délce laseru a použitých přísadách. Pro dosažení vysoké čitelnosti a kvality značení se doporučuje přimíchávat do některých průmyslových plastů přísady citlivé na laser. Vlastnosti plastů zůstávají do značné míry nedotčeny. [34]

Plasty jsou materiály, které pro mnoho systémů značení představují několik problémů. Hlavním cílem systémů značení je dlouhodobá čitelnost značení, ale například inkoust má svá vlastní omezení. Navíc ne všechny plasty jsou stejné. Různé vlastnosti a přísady v plastech často vyžadují individuální řešení značení. Lasery jsou mnohem flexibilnější při zvládnání takových problémů, tolerují i menší znečištění povrchu a jsou schopné okamžitě začít se značením, aniž by bylo nutné nejprve vytvářet šablony. [34]

Typy laserového značení pro plasty:

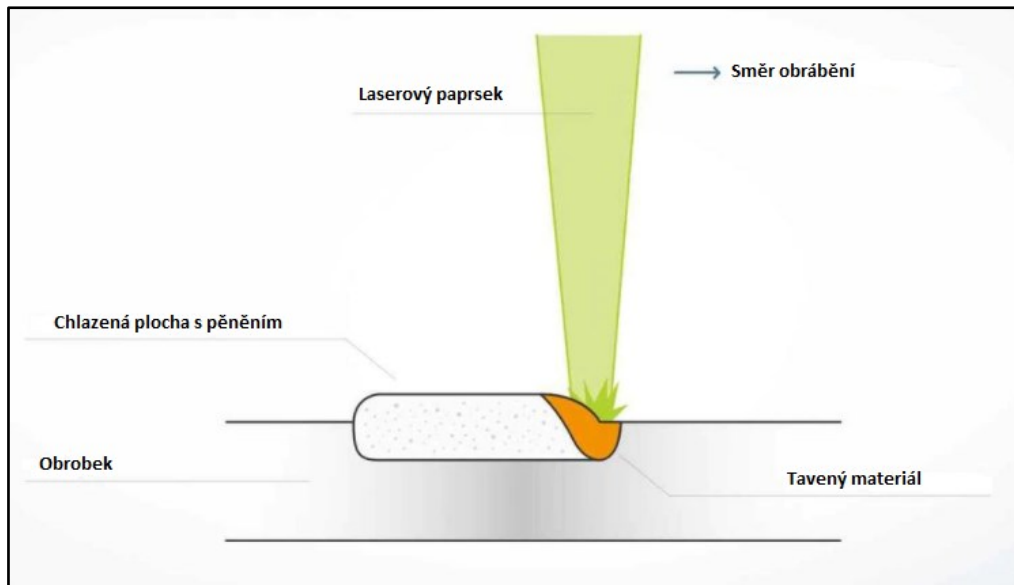
Změna barvy - při laserovém značení plastů zahrnuje změnu barvy, bělení a karbonizaci. Molekuly barvy lze selektivně vybělit nebo změnit jejich barvu. Energie laserového paprsku se využívá k rozkladu nebo změně struktury jednotlivých molekul, jako jsou barevné pigmenty. Povrchy zůstávají z velké části nedotčené a hladké. Při karbonizaci plasty obsahující uhlík na povrchu hoří nebo karbonizují. Tento proces se obvykle používá pro plasty světlé barvy. [34]



Obrázek 15 Gravírování na základě změny barvy [34]

Ablace - Vícevrstvé nebo potažené plasty lze označit laserem odstraněním tenké vrchní vrstvy. Kontrast vytváří barva základního materiálu nebo základního nátěru. Tím se odstraní povlaky nebo speciální vrstvy v laserové značkové fólii. Tlačítka v interiérech vozidel jsou příkladem značení dosaženého vrstvou ablací. Za denního světla jsou symboly bílé a v noci podsvícené. Pro denní a noční provedení jsou k dispozici lasery s vysokou stabilitou mezi pulzy, aby byla zajištěna přesná a homogenní ablace vrstvy. [34]

Pěnění - nebo tavení jsou procesy, které mění povrch. U laserového značení plastů laser selektivně taví matricový materiál a vytváří bubliny plynu, které se během chlazení zachytí. Výsledné vyvýšené značky jsou asi 20 až 40 μm vysoké a relativně široké. Světlo se odráží difúzně a značení na tmavém plasty vypadá jasně. Pěnění se proto obvykle používá pro černé a tmavé barvy. [34]



Obrázek 16 Gravírování na základě zpěnění struktury materiálu [34]

3.5 Svařování

IR svařování je svařovací technika, která využívá bezkontaktní zahřívací metodu k roztavení a tavení termoplastických částí dohromady pomocí energie z infračerveného záření. IR svařování typicky využívá rozsah vlnových délek od 800 do 11 000 nm na elektromagnetickém spektru k ohřevu, tavení rozhraní mezi dvěma plastovými částmi prostřednictvím absorpce a přeměny IR energie na teplo. Laserové svařování je podobný spojovací proces, který aplikuje IR záření o jediné vlnové délce. [35]

Svařování laserovým paprskem (LBW) je svařovací technika, která se používá ke spojování kusů termoplastů pomocí laseru. Laserový paprsek dodává koncentrovaný zdroj tepla umožňující úzké a hluboké svary s vysokou rychlostí svařování, zatímco jsou obě části vystaveny tlaku. [35]

Ultrazvukové svařování plastů je běžná metoda, která se používá již dlouhou dobu. Ke spojování termoplastů využívá teplo generované vysokofrekvenčním mechanickým pohybem. Děje se tak přeměnou vysokofrekvenční elektrické energie na vysokofrekvenční mechanický pohyb. Ultrazvukové svařování můžeme použít na téměř všechny plastové materiály. Je známé tím, že je to cenově dostupná, čistá metoda a splňuje požadavky na kvalitu. [35]

Vibrační svařování, nazývané také lineární, je spojení dvou plastových dílů pod tlakem. Teplo vzniká při použití vibrací podél společného rozhraní. Oproti svařování horkým plechem je mnohem rychlejší a přesnější. [35]

Svařování horkých desek je technika tepelného svařování používaná pro spojování termoplastů. Aby se roztavily dva povrchy, zahřátá kovová deska je umístěna proti nebo blízko a povrchů a ty jsou spojeny dohromady pod tlakem. Tato metoda je jednoduchá a vytváří pevné spoje u většiny termoplastů, běžně se používá v hromadné výrobě nebo u velkých konstrukcí, jako jsou plastové trubky velkého průměru. [35]

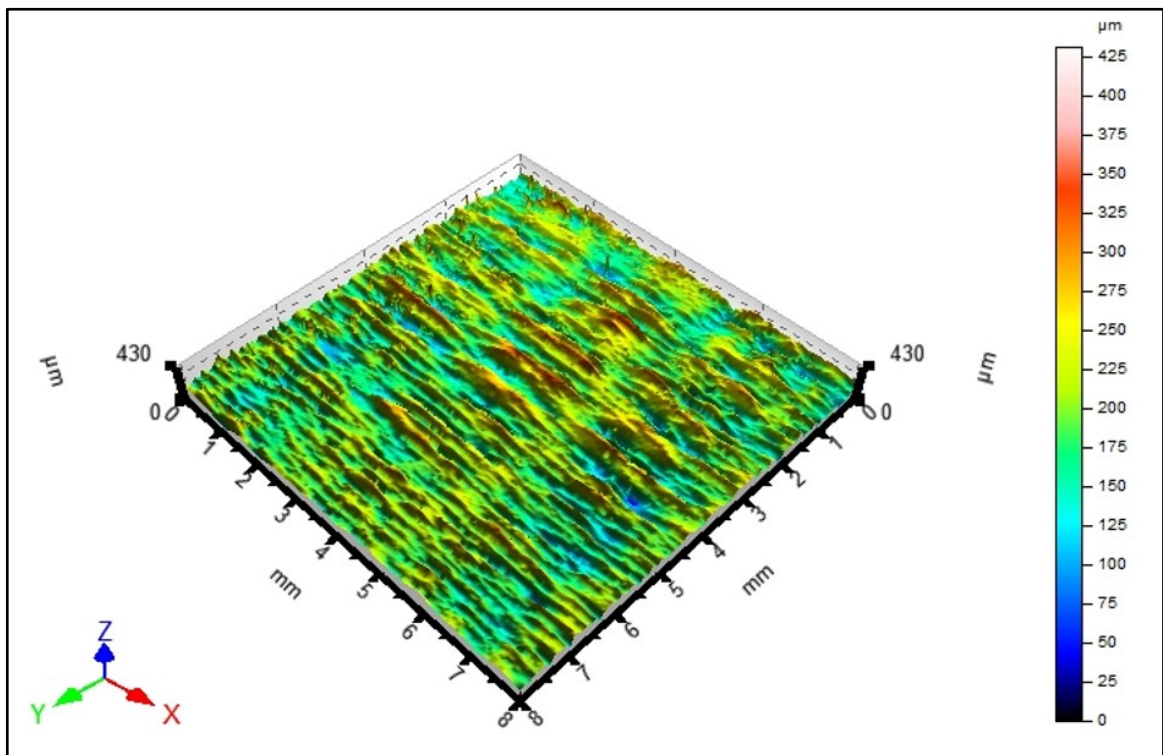
Třecí svařování termoplastů se často používá pro spojování vstříkovaných dílů. Využívá tření k výrobě tepla a ke spojení dvou kusů dohromady. Třecí svařování přináší mnoho výhod pro výrobu a tato technika se často používá v leteckém a automobilovém průmyslu ke spojování kovů a plastů. [35]

Frekvenční svařování plastů, známá také jako vysokofrekvenční svařování, využívá ke spojení dvou plastových dílů elektromagnetické pole. Vysokofrekvenční elektrická pole se používají k zahřívání materiálu a také se přidává tlak ke změkčení a spojení obou materiálů dohromady, což vede k pevnému spojení. Touto technikou se svařuje polyuretan a PVC. [35]

4 URČOVÁNÍ DRSNOSTI POLYMERNÍCH POVRCHŮ

Drsnost povrchu je součástí struktury povrchu, je kvantifikován odchylkami ve směru normálového vektoru reálného povrchu od jeho ideálního tvaru. Pokud jsou tyto odchylky velké, povrch je drsný, pokud jsou malé, povrch je hladký. Drsnost je typicky považována za vysokofrekvenční krátkovlnnou složku měřeného povrchu. V praxi je však často nutné znát jak amplitudu, tak frekvenci, aby bylo zajištěno, že povrch je vhodný pro daný účel. Drsnost povrchu a detaily profilu povrchu určují výkon a vzhled mnoha výrobků. Drsnost nebo textura součásti je důležitá pro vhodnost povrchu pro různé aplikace. Poruchy součástí často souvisí s přesností povrchu, který nebyl vyroben podle specifikací, buď kvůli nesprávně nastavenému stroji, nebo kvůli použití procesu, který není schopen reprodukovat kvalitu potřebného povrchu. [36]

Povrchovou úpravu lze měřit dvěma způsoby: kontaktní a bezkontaktní metodou. Kontaktní metody zahrnují tažení měřicího doteku po povrchu; tyto přístroje se nazývají profilometry. Mezi bezkontaktní metody patří: interferometrie (CLA), digitální holografie, konfokální mikroskopie, variace ohniska, strukturované světlo, elektrická kapacitance, elektronová mikroskopie, fotogrammetrie a bezkontaktní profilometry. [36]

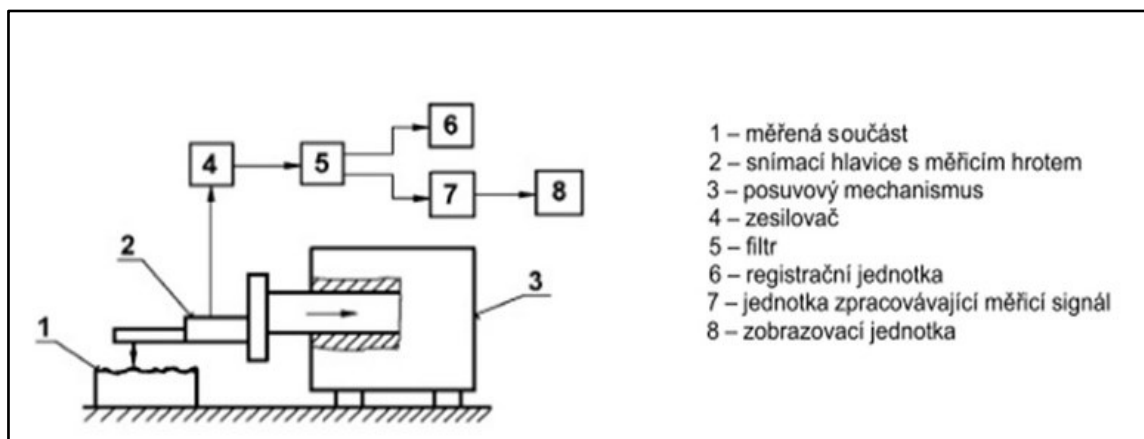


Obrázek 17 Nasnímaný polymerní povrch ve 3D

4.1 Určování dotkovým způsobem

U přístrojů kontaktního typu se horní část doteku přímo dotýká povrchu vzorku. Hrot detektoru je vybaven stylusem, který sleduje povrch vzorku. Vertikální pohyb doteku je elektricky detekován. Elektrické signály procházejí procesem zesílení a digitální konverze, aby byly zaznamenány. Pro přesné měření jemných tvarů a drsnosti pomocí kontaktního zkoušečky drsnosti povrchu musí být poloměr hrotu doteku co nejmenší s malým kontaktním tlakem. [36]

Hroty jsou vyrobeny ze safíru nebo diamantu a jejich poloměr hrotu je obvykle asi 10 μm nebo menší. Pro stylus je ideální kónický tvar s kuličkovým hrotem. [36]



Obrázek 18 Schéma kontaktního snímání povrchu [39]

Výhody a nevýhody:

Kontaktní Profilometry povrchu poskytují spolehlivé měření, protože se přímo dotýkají vzorku. Přímý kontakt však také způsobuje nevýhody, jak je uvedeno níže. [36]

Výhody dotkové metody:

- jasný vlnový profil
- měření velkých vzdáleností [36]

Nevýhody dotykové metody:

- tlak na hrot, který může způsobit škrábance na povrchu vzorku
- neschopnost měřit viskózní vzorky
- měření omezené poloměrem hrotu doteku
- doba měření
- potíže s umístěním a identifikací jemných měřicích bodů
- úprava vzorku do vhodného tvaru a velikosti před měřením [36]

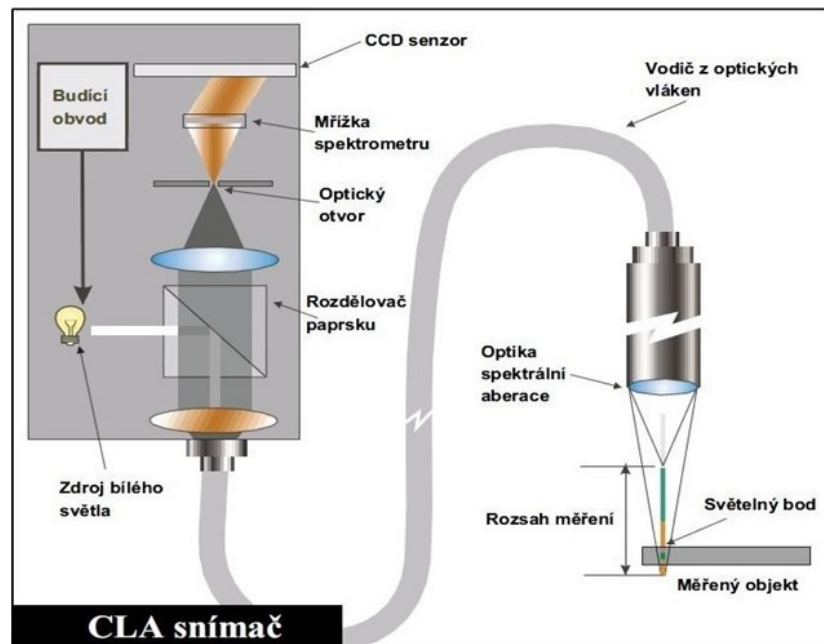


Obrázek 19 Dotykový profilometr [39]

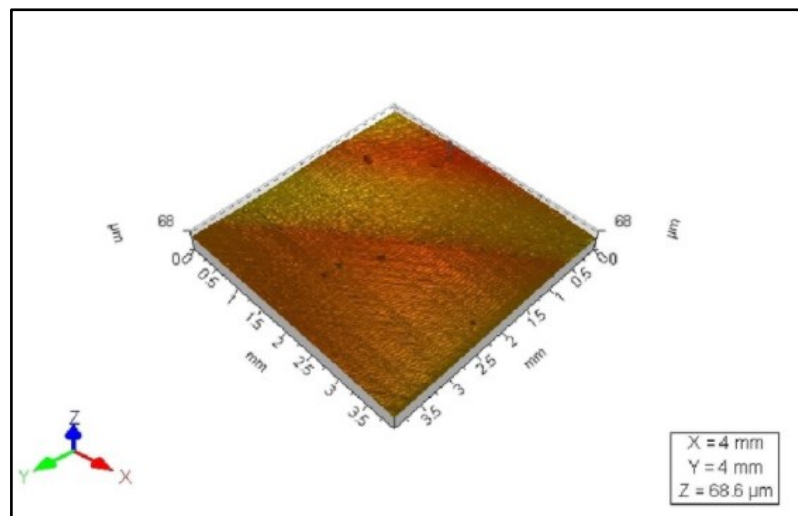
4.2 Určování bezdotykovým způsobem

Bezdotykový měřicí přístroj používá světlo místo doteku používaného v měřicím přístroji kontaktního typu. Tyto nástroje se dodávají v několika typech a liší se v závislosti na použitém principu. Existuje také řada detektorů kontaktního typu, které byly změněny na bezkontaktní nástroje nahrazením sondy optickými senzory a mikroskopy. Z nich se nejčastěji využíváme snímačů CLA a laserových snímačů. Rozlišitelnost snímačů CLA je v řádech μm , u laserových snímačů je poté přibližně o řád nižší. [37,38]

Metoda měření pomocí CLA snímačů s bílým světlem je bezkontaktní optická profilometrická technika používaná k získání trojrozměrných obrazů a kvantitativnímu měření povrchové textury neboli „drsnosti“. Tato technika vyžaduje minimální přípravu vzorku, je nedestruktivní, extrémně rychlá a schopná analyzovat různé typy vzorků. Měření zahrnují tvar povrchu, povrchovou úpravu, drsnost profilu povrchu (R_a), texturu povrchu a strukturální charakterizaci. [37,38]

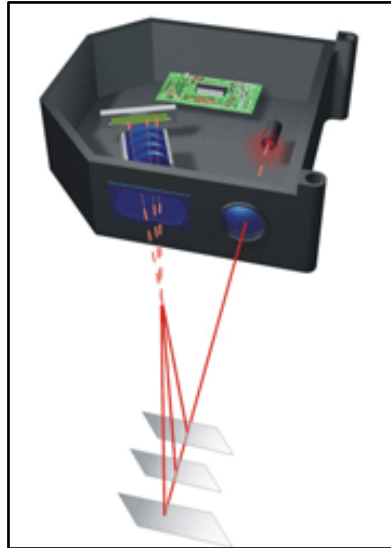


Obrázek 20 Schéma CLA snímače [39]



Obrázek 21 Nasnímaný 3D povrch pomocí CLA snímače [39]

U laserové metody se paprsek laseru odráží od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Paprsek poté zaostřen na obrazovou matici, jejíž obrazové prvky jsou použity pro určení polohy zaměřeného bodu. [37,38]



Obrázek 22 Schéma laserového snímače [40]

Bezkontaktní měřicí metody používáme u polymerních materiálů především pro možnost měřit měkké, pružné, citlivé a adhezní materiály a také pro vysokou rychlost a oboustranné snímání povrchu. Jelikož dotyková metoda není vhodná pro všechny druhy povrchů a existují i takové, které dotykovou metodou nelze vůbec měřit, čím dál více dáváme přednost bezkontaktním metodám. Mezi kontrolními 3D prostředky zaujímá místo např. systém CLI firmy Taylor Hobbs, který umožní rychlé bezdotykové měření povrchu. Hlavní předností systému CLI je spojení konvenčního měření 2D a prostorového hodnocení 3D do jednoho výkonného přístroje. Vzniká možnost tak jedním přístrojem monitorovat výzkum a vývoj, provádět studijní analýzy a rutinní inspekci i řídit výrobní procesy. [37,38]

4.3 Normy hodnotící strukturu povrchů

Norma ČSN EN ISO 4287 stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu, jako je drsnost, vlnitost a základní profil, profilovou metodou. [41]

Rozlišení mezi periodickým a neperiodickým profilem je subjektivní a ponechává se na uživateli. [41]

Mezi těmito parametry se rozlišují hranice pomocí vlnových délek. [41]

Největší vlnové délky zahrnujeme tvar. Může se jednat o záměrně vytvořenou nerovnou plochu, která by byla označena za úmyslně vytvořenou, nebo v opačném případě se bude jednat o neúmyslně vytvořenou nerovnost tvaru, která může vzniknout při obrábění, nebo tepelnou deformací. [41]



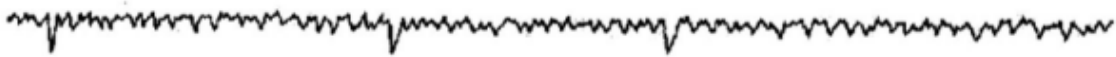
Obrázek 23 Tvar povrchu [42]

Menší vlnové délky bude zahrnovat vlnitost. Je to parametr, který se dá popsat jako periodicky se opakující nerovnosti. Vlnitost může být způsobena chvěním, špatným nastavením řezných podmínek, nebo malou tuhostí. [41]



Obrázek 24 Vlnitost povrchu [42]

Pod drsnost se řadí nejmenší vlnové délky. Jsou to nejmenší nerovnosti, které zanechává řezný nástroj a jsou ovlivněny především nastavenými řeznými podmínkami. Jedná-li se o technologie vstřikování, odlévání, nebo kování drsnost povrchu výrobku je dána drsností stěn formy. [41]



Obrázek 25 Drsnost povrchu [42]

4.3.1 Obecné termíny:

Filtr povrchu

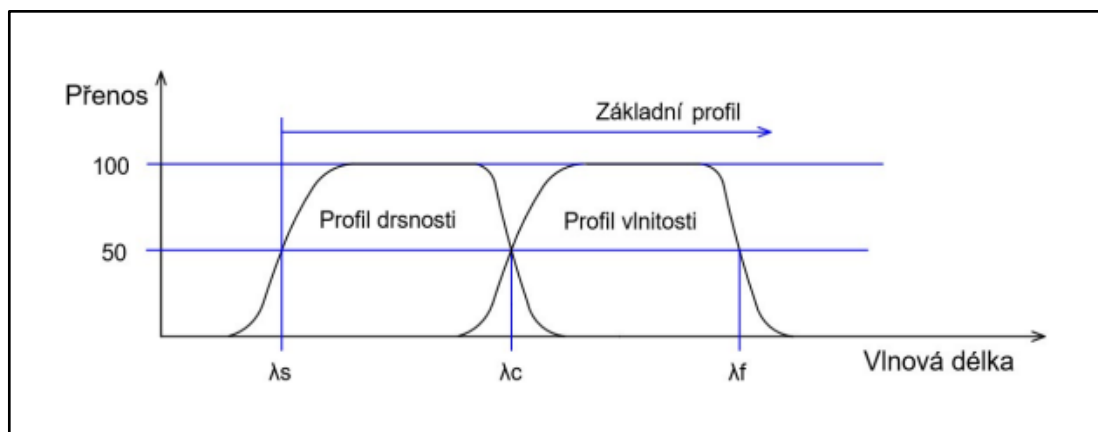
Filtr profilu rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. [41]

Rozeznáváme tři filtry profilu definované v ISO 11562. Jejich charakteristiky jsou přenosné, ale mají rozdílné hodnoty mezních vlnových délek [41]

λ_s - filtr povrchu určující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu. [41]

λ_c - filtr profilu je mezní vlnová délka definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostí. [41]

λ_f - filtr profilu udávající rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu. [41]



Obrázek 26 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [41]

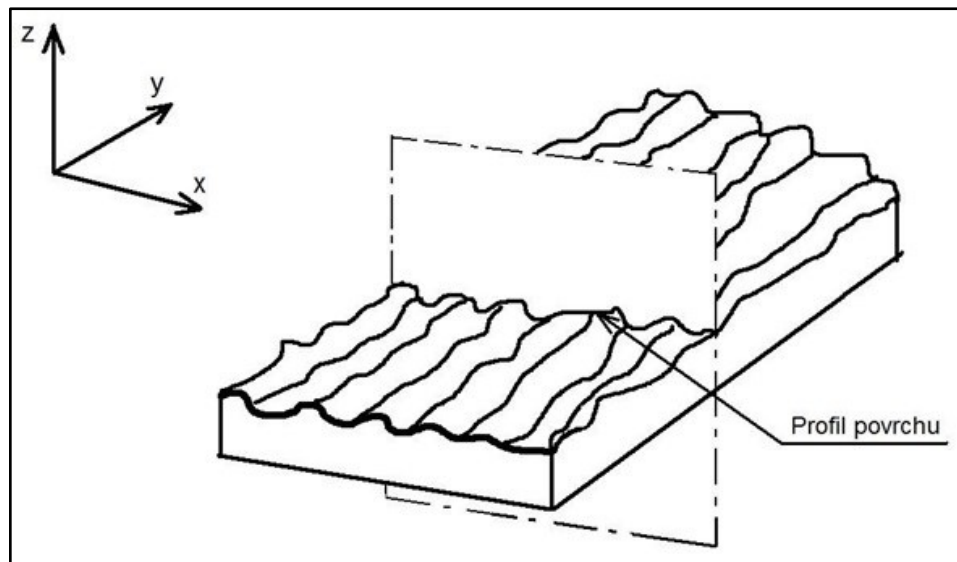
Souřadnicový systém, je systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu. [41]

Skutečný povrch je povrch omezující těleso a oddělujícího od okolního prostředí. [41]

Profil povrchu vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny. Je chápán jako rovina, která protíná skutečný povrch. [41]

Základní profil – základní profil, který používáme jako základ pro hodnocení základního parametru [41]

Osa X definuje směr snímání a je souběžná se střední čarou, osa Y leží na reálném povrchu a je kolmá na osu X. Osa Z směřuje z povrchu do okolního prostředí. V praxi se s tím, že volíme rovinu kolmou k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem ve vhodném směru. [41]



Obrázek 27 Profil povrchu [41]

Profil drsnosti je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek filtru profilu λ_c odvodíme profil ze základního profilu. [41]

Profil vlnitosti je profil, který je odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a krátkovlnné složky filtrem profilu λ_c , profil je záměrně pozmeněn. [41]

Střední čáry:

Střední čára profilu drsnosti je čára, která odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λc . [41]

Střední čára profilu vlnitosti čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λf . [41]

Střední čára základního profilu čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu. [41]

Základní délka I_p , I_r , I_w je délka ve směru osy X použitá pro rozhraní nerovnosti charakterizujících vyhodnocovaný profil. [41]

Vyhodnocovaná délka I_n je délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. [41]

4.3.2 Názvy vyhodnocovaných parametrů:

- P-parametr je vypočítaný ze základního profilu [41]
- R-parametr je vypočítaný z profilu drsnosti [41]
- W-parametr je vypočítaný z profilu vlnitosti [41]

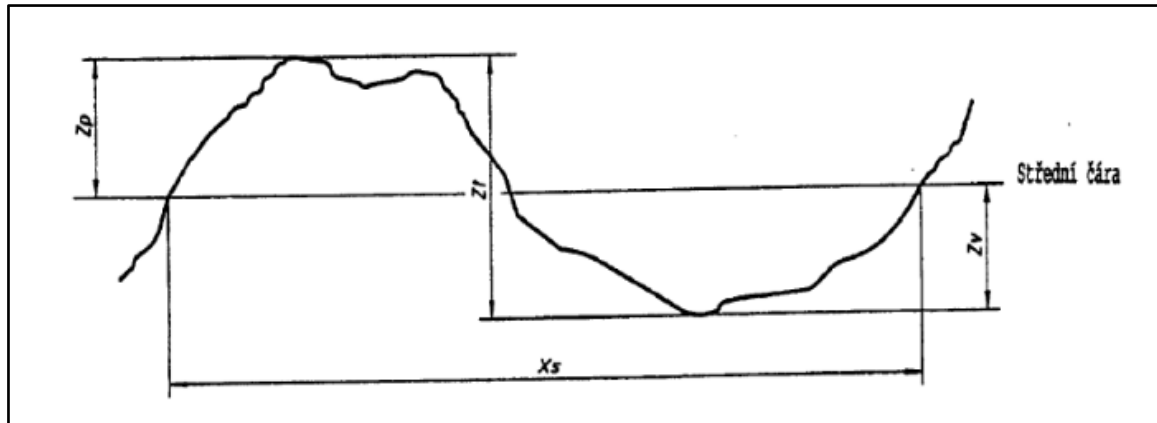
Výstupek profilu je z povrchu ven směřující (z materiálu do okolního prostředí) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X. [41]

Prohlubeň profilu dovnitř směřující (z okolního materiálu) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X. [41]

Omezení výšky anebo rozteče je nejmenší výška a nejmenší rozteč výstupků a prohlubní posuzovaného profilu, které mohou být brány v úvahu. [41]

Prvek profilu (profile element) je výstupek profilu a přilehlá prohlubeň [41]

- plusová nebo minusová část zkoumaného profilu na začátku nebo na konci základní délky by měla být brána jako výstupek profilu nebo za její prohlubeň. [41]



Obrázek 28 Prvek profilu [41]

Hodnota pořadnice, $Z(x)$, je výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x . [41]

Místní sklon dZ/dX je sklon posuzovaného profilu v poloze x_i . [41]

4.3.3 Definice parametrů profilu povrchu

Popiš výškových parametrů:

Největší výška výstupku profilu R_p – v rozsahu základní délky je to výška Z_p nejvyššího výstupku, která je udávána v μm . [41]

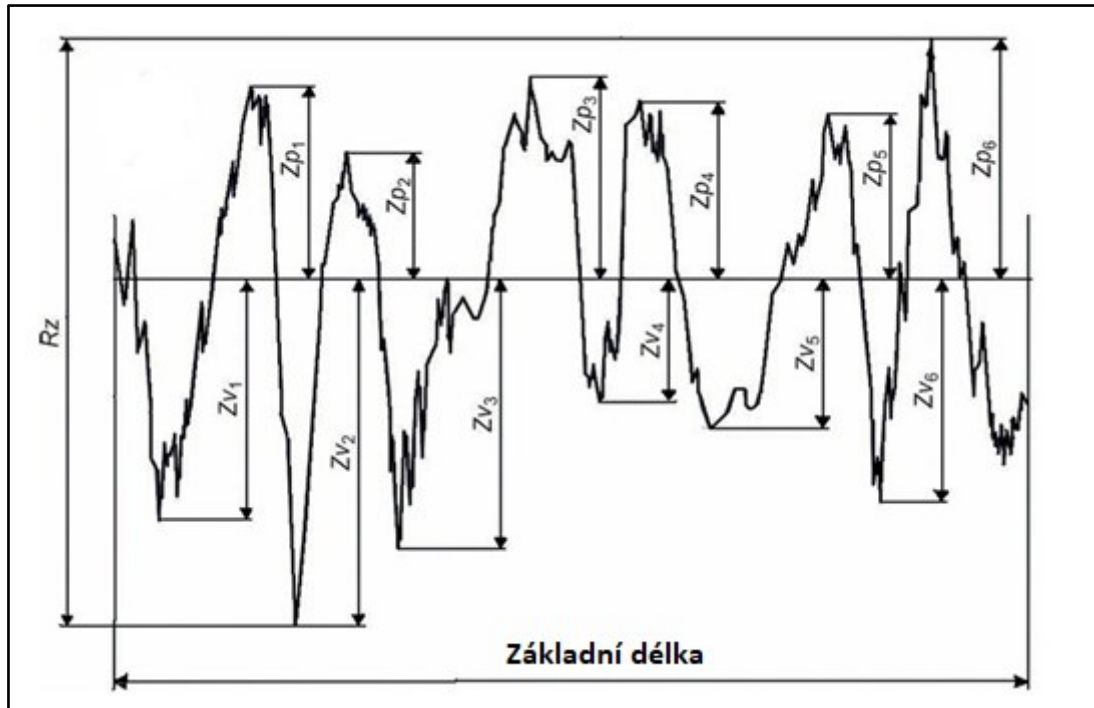
Největší hloubka prohlubně profilu R_v – v rozsahu základní délky je to hloubka Z_v nejnižší prohlubně. [41]

Největší výška profilu R_z (mm) - je součet výšky R_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky R_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [41]

zapsáno rovnicí:

$$RZ = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5} \quad (1)$$

Celková výška profilu R_t – je součtem výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [41]



Obrázek 29 Parametry výšek profilu [42]

4.3.4 Průměrné hodnoty souřadnic výškových parametrů:

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic hodnot $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . [41]

zapsáno rovnicí:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l [Z(x)] dx \quad (2)$$

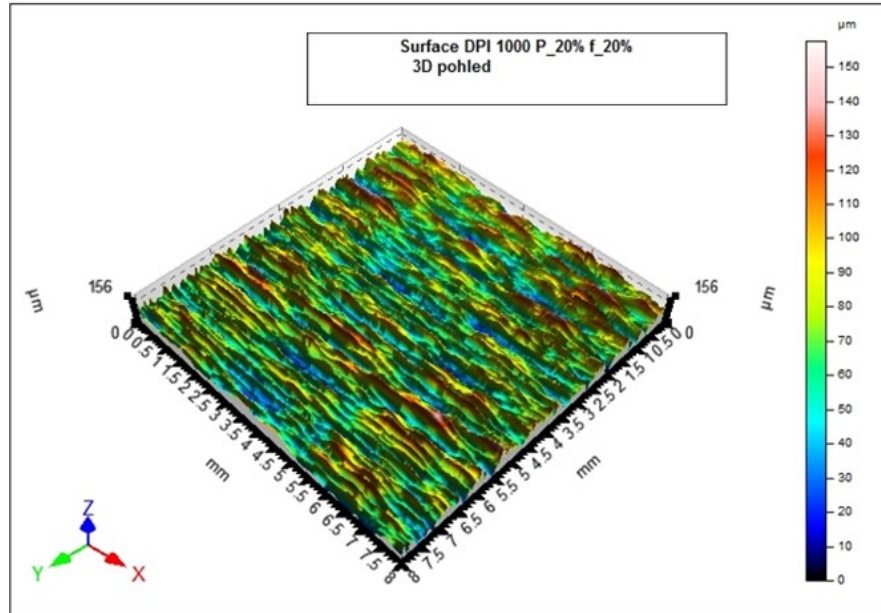
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRÁCE

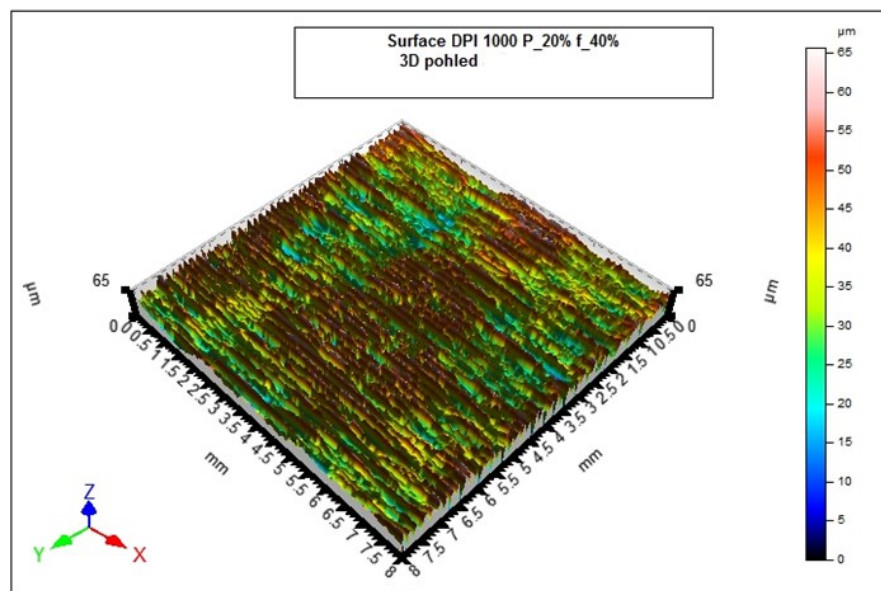
Mezi cíle práce patřila řešerše možných druhů polymerních povrchů a jejich vhodných povrchových úprav. Ty byly provedeny a následně naměřeny na přístroji Tylor&Hobson. Z vybraných vzorků byla vytvořena mnou zvolená metodika hodnocení povrchu za pomoci základních veličin pro zpracování souboru naměřených dat a grafů časových řad s cílem popisu a ukázky základních parametrů jakosti povrchu.

6 VYHODNOCENÍ

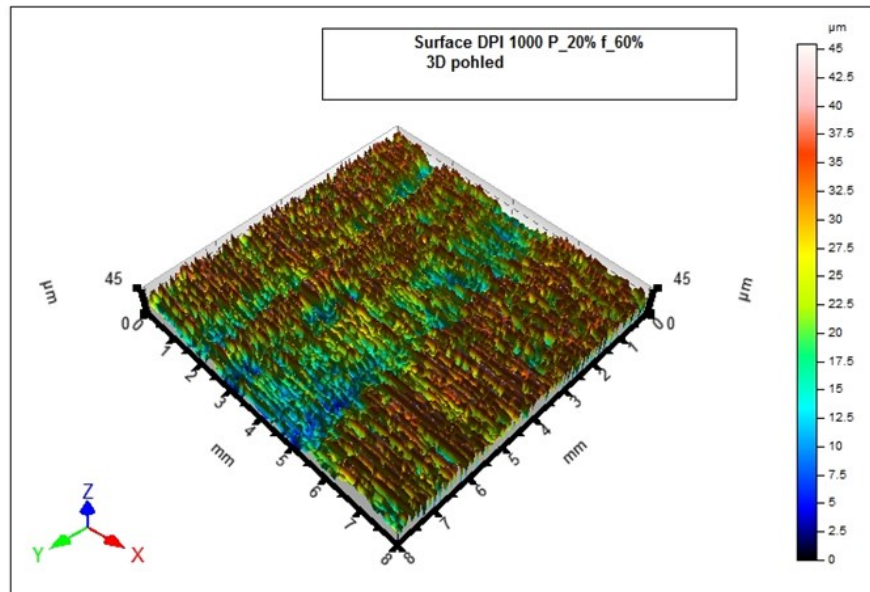
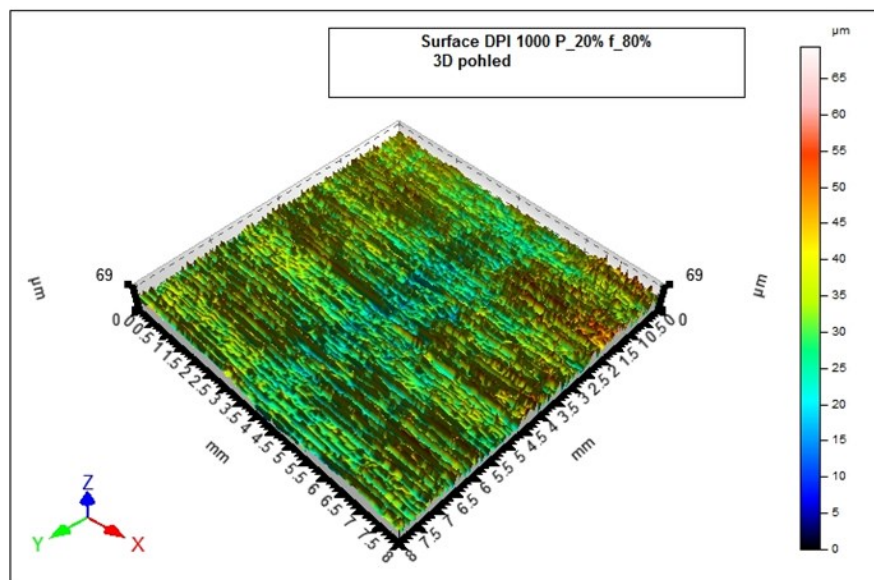
6.1 Vyhodnocená data pro $p=20$

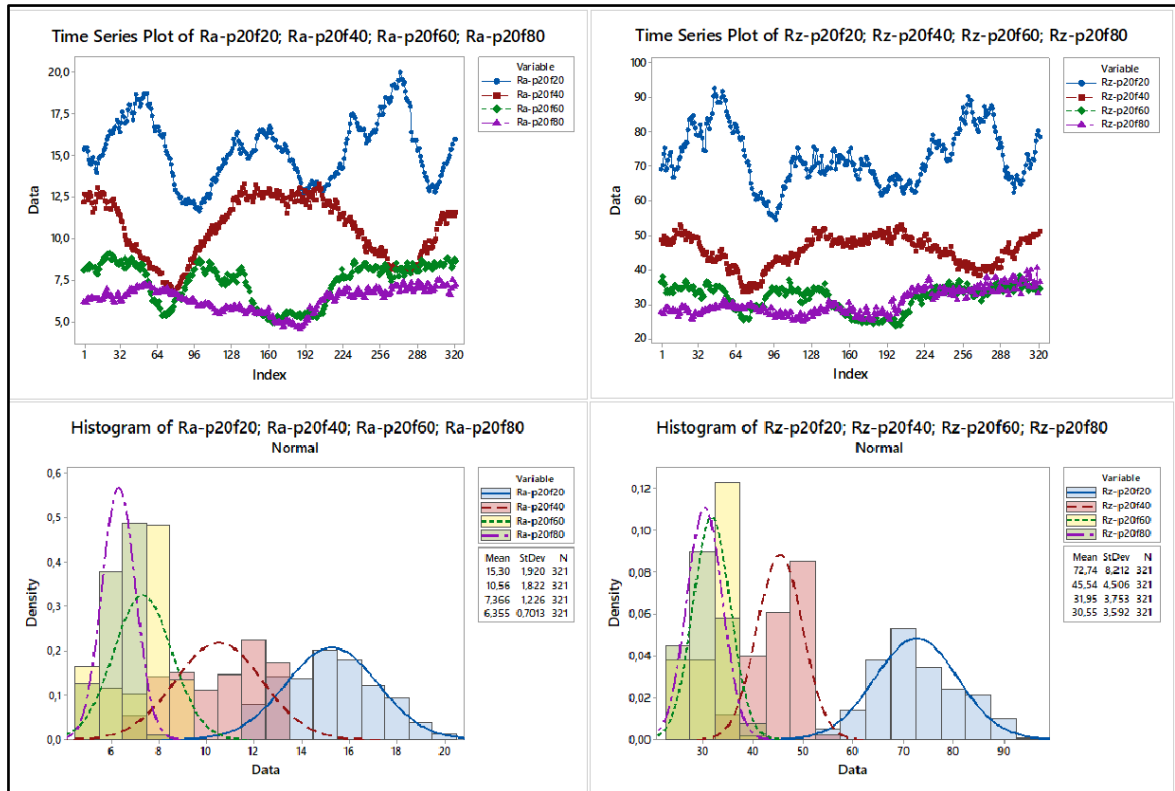


Obrázek 30 3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=20$



Obrázek 31 3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=40$

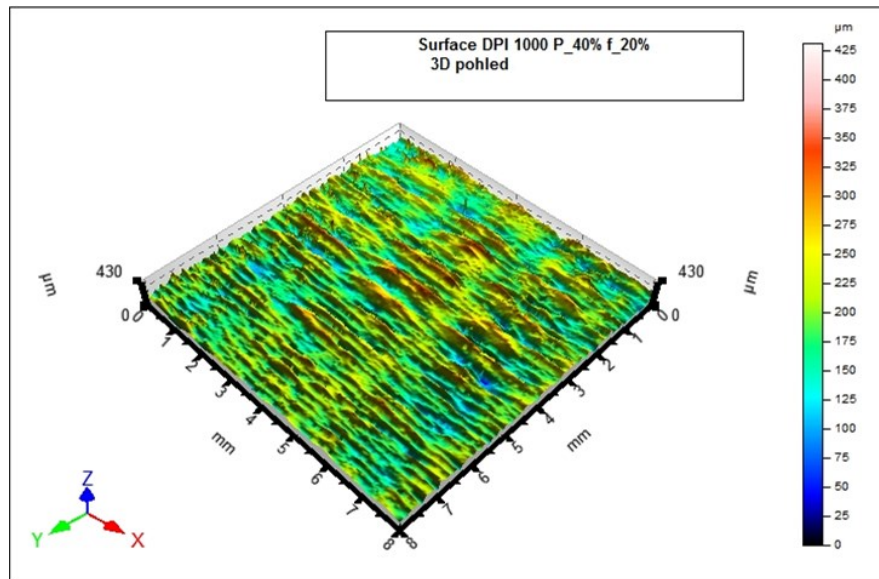
Obrázek 32 3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=60$ Obrázek 33 3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=80$



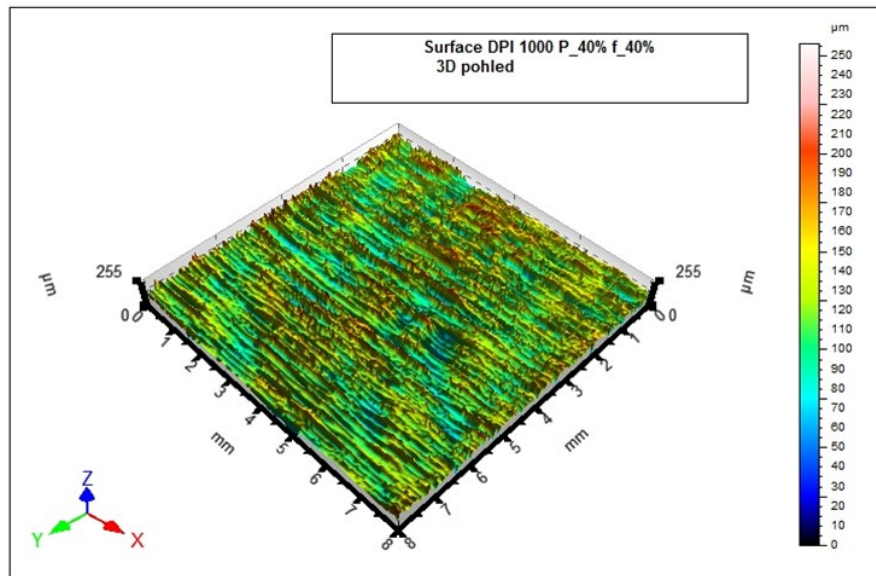
Obrázek 34 Grafické hodnocení obrábění při výkonu p=20

Vzorky vygravírované laserem a naměřené na Tylor&Hobson zobrazují mnoho vyvýšení a prohlubní, protože laser gravíruje v bodech. Při větším zvětšení, bylo zjištěno, že paprsek laseru nevytvoří pouze gravírovaný bod, ale zároveň se každým bodem vytvoří na polymeru povrchová prasklina. Při gravírování o výkonu p=20 bylo zjištěno, že při zvyšující se rychlosti se snižuje drsnost povrchu. Tento jev je způsoben tím, že paprsek laseru setrvá na daném bodě kratší čas. Povrch je následně jemnější a gravírování méně hluboké.

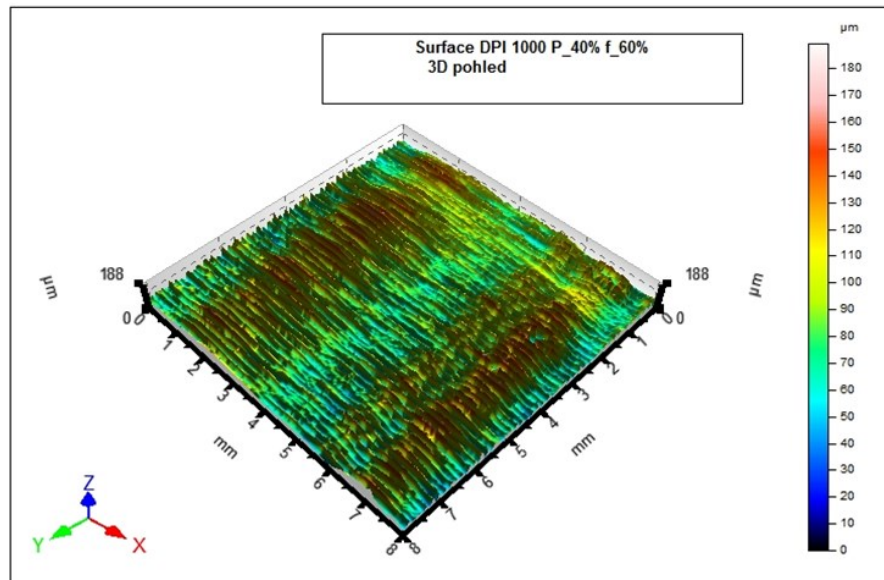
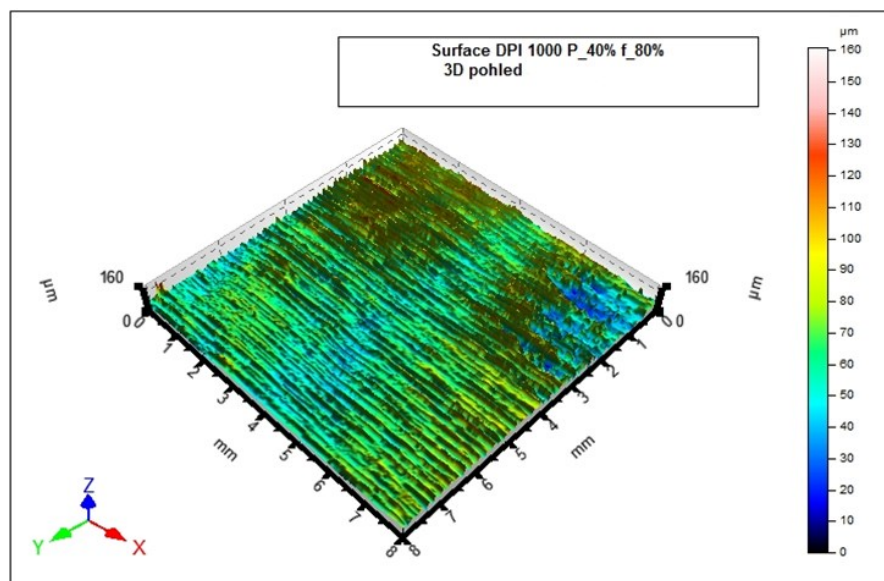
6.2 Vyhodnocená data pro $p=40$

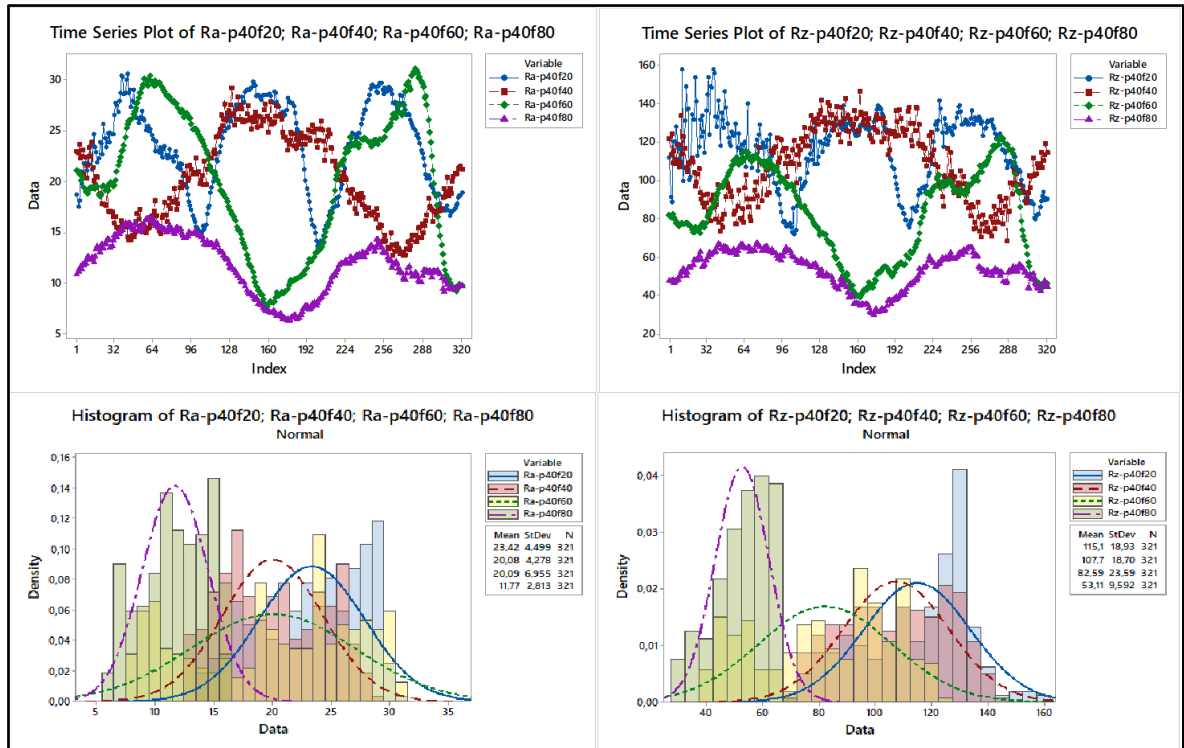


Obrázek 35 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=20$



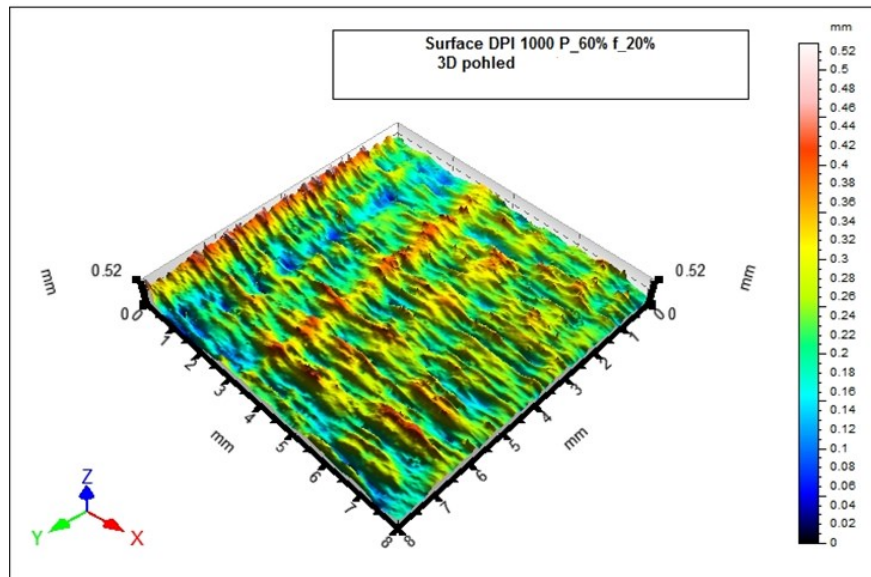
Obrázek 36 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=40$

Obrázek 37 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=60$ Obrázek 38 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=80$

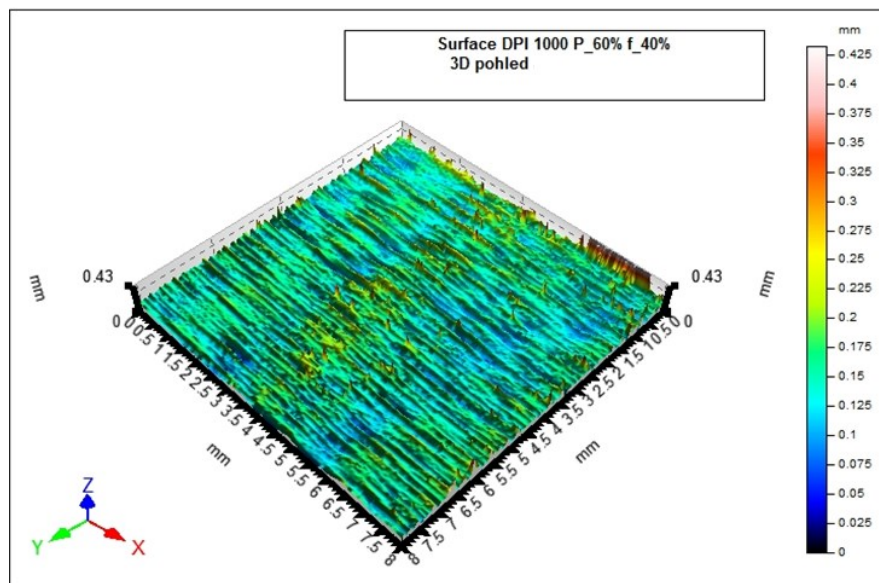
Obrázek 39 Grafické hodnocení obrábění při výkonu $p=40$

U vzorků vygravírovaných laserem při výkonu $p=40$ bylo zjištěno, že průměrné hodnoty výstupků a prohlubní u průběhů v grafu Ra ukazují, že průběh je velice obdobný s průběhem největších výšek profilů Rz. Dále lze vypožorovat, že při zvyšující se rychlosti gravírování se drsnost povrchu až tak velmi nesnižuje, znatelný odskok a tedy i snížení drsnosti je vidět až u největší rychlosti gravírování $f=80$.

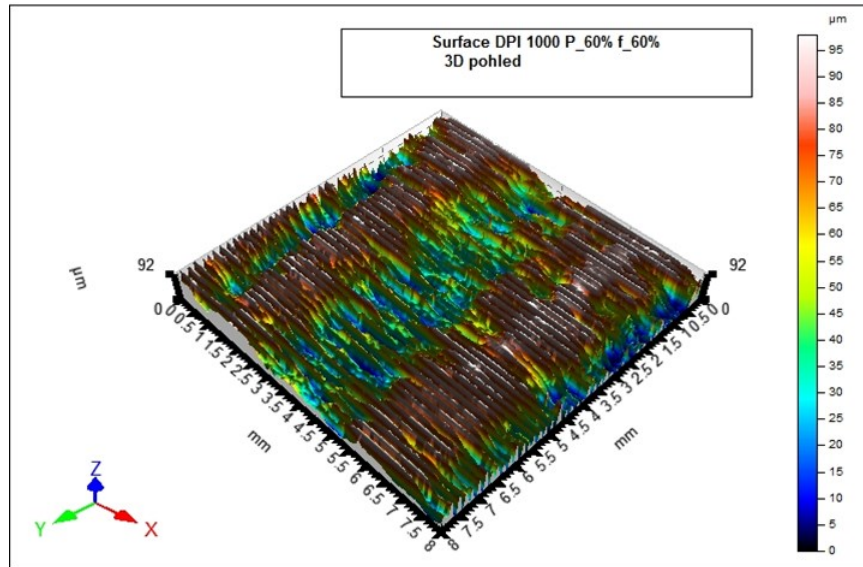
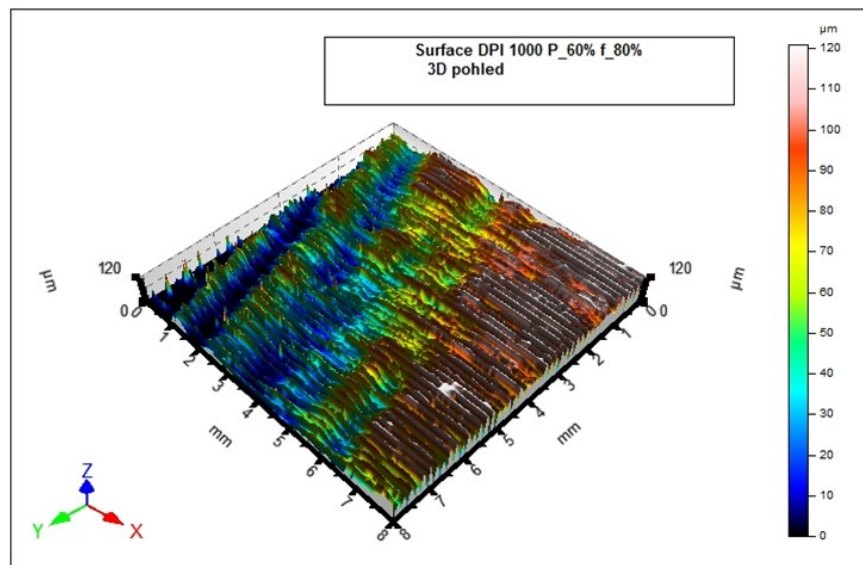
6.3 Vyhodnocená data pro $p=60$

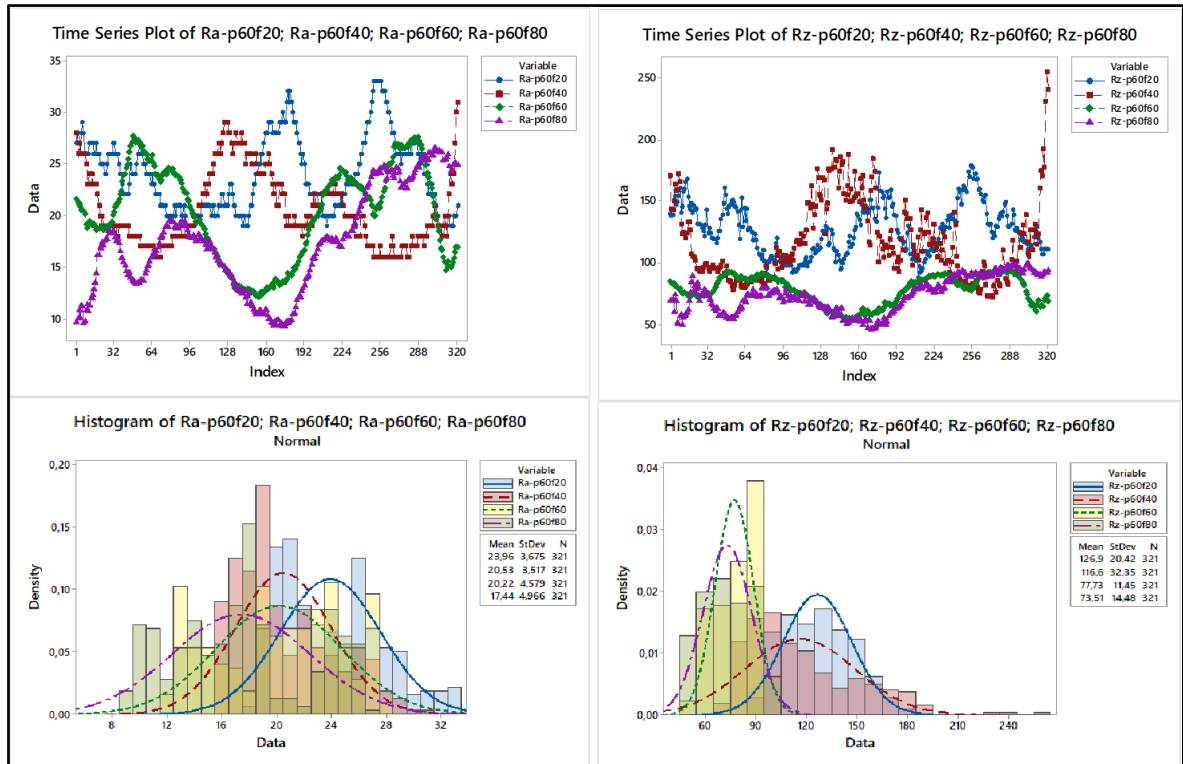


Obrázek 40 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=20$



Obrázek 41 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=20$

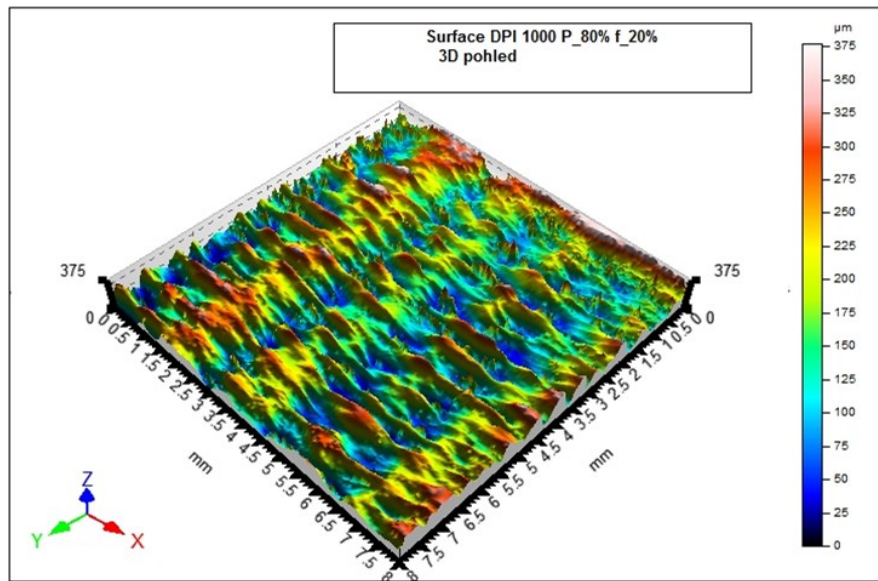
Obrázek 42 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=60$ Obrázek 43 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=80$



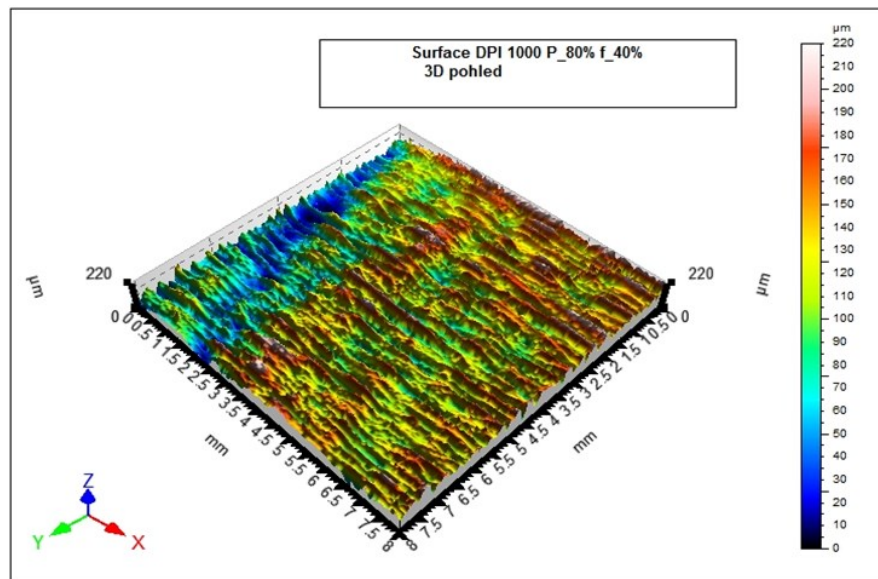
Obrázek 44 Grafické hodnocení obrábění při výkonu p=60

Při porovnání vzorků vygravírovaných laserem při výkonu p=60 bylo zjištěno, že drsnost povrchu se zjemňuje při zvyšující se rychlosti obrábění. Hodnoty Ra a Rz se drží na velmi podobných hodnotách s největšími rozdíly u nižších rychlostí posuvu laseru p=20 a p=40, kde hodnoty Rz jsou charakteristické velkým rozptylem od střední hodnoty oproti zprůměrovaným výsledkům Ra.

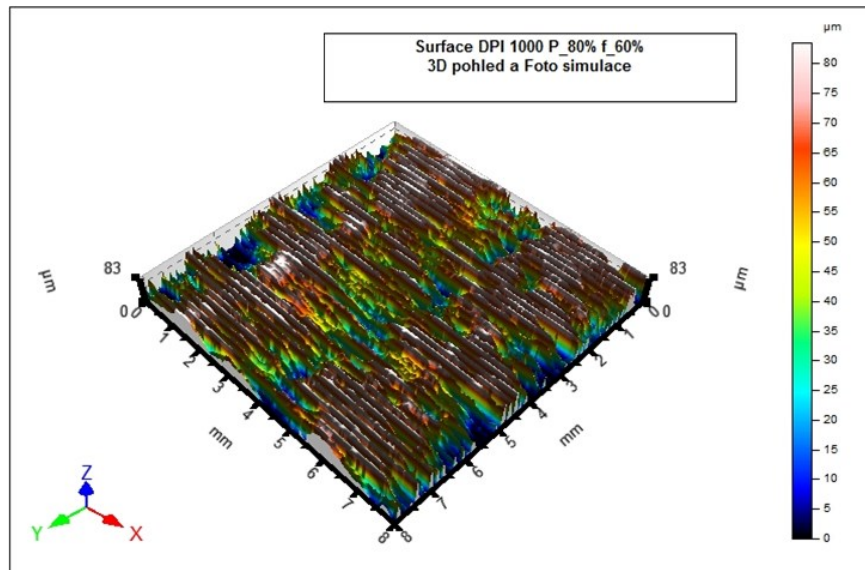
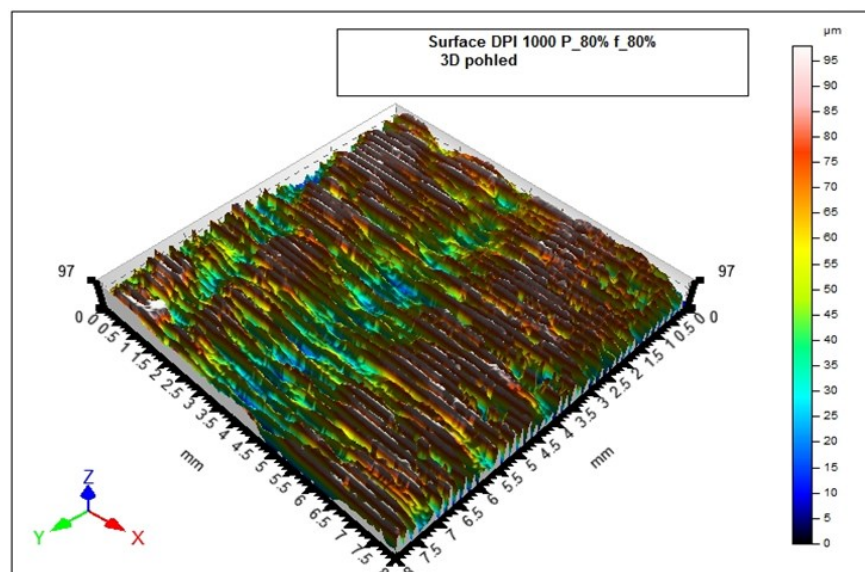
6.4 Vyhodnocená data pro $p=80$

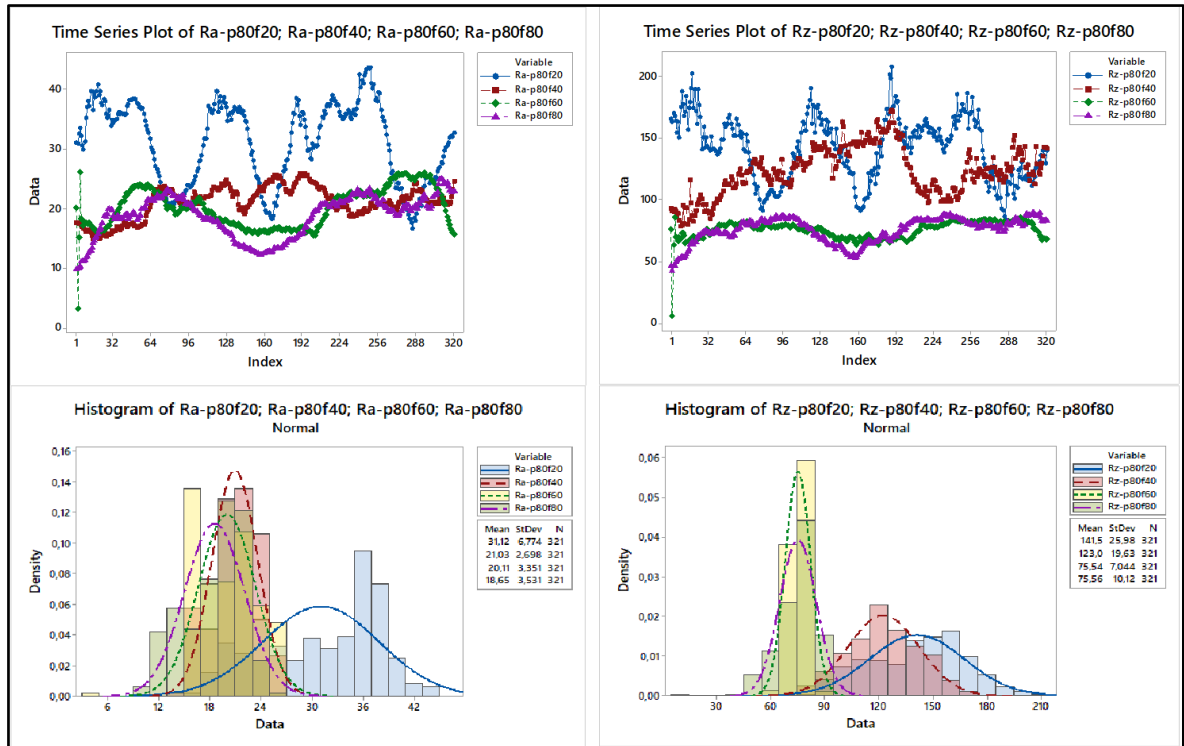


Obrázek 45 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=20$



Obrázek 46 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=40$

Obrázek 47 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=60$ Obrázek 48 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=80$

Obrázek 49 Grafické hodnocení obrábění při výkonu $v=80$

Při gravírování o výkonu $v=80$ bylo zjištěno, že i při zvyšující se rychlosti gravírování dostáváme u rychlostí $f=40$ až $f=80$ pro hodnoty Ra velice podobných výsledků, výrazně vyšší hodnoty drsnosti můžeme vyzorovat u nejmenší rychlosti gravírování $f=20$, průběh hodnot v grafu Rz je obdobný jako pro Ra, ale s tím rozdílem, že podobné výsledky hodnot Rz dostáváme až u posledních dvou nejvyšších rychlostí $f=60$ a $f=80$, naopak pro pomalejší rychlosti je vidět velká variabilita výsledků.

6.5 Hodnoty drsnosti po gravírování

Uvedené tabulky ukazují statistické charakteristiky Ra a Rz. Data jasně ukazují rozdíly mezi obroběnými povrchy.

Vzorky	Průměr [μm]	Medián [μm]	Směrodatná odchylka [μm]
Rz-p20f20	72,737	71,729	8,212
Ra-p20f20	15,303	15,286	1,920
Rz-p20f40	45,537	46,487	4,506
Ra-p20f40	10,556	10,958	1,822
Rz-p20f60	31,950	33,511	3,753
Ra-p20f60	7,366	7,860	1,226
Rz-p20f80	30,546	29,296	3,592
Ra-p20f80	6,355	6,488	0,701
Rz-p40f20	115,14	120,10	18,93
Ra-p40f20	23,416	23,992	4,499
Rz-p40f40	107,660	108,67	18,70
Ra-p40f40	20,084	19,879	4,278
Rz-p40f60	82,590	85,390	23,590
Ra-p40f60	20,093	20,981	6,955
Rz-p40f80	53,113	54,494	9,592
Ra-p40f80	11,772	11,927	2,813
Rz-p60f20	126,95	20,42	126,00
Ra-p60f20	23,960	3,675	23,000
Rz-p60f40	116,55	32,35	108,00
Ra-p60f40	20,533	3,517	19,000
Rz-p60f60	77,731	11,447	79,972
Ra-p60f60	20,219	4,579	20,631
Rz-p60f80	73,512	14,481	73,571
Ra-p60f80	17,443	4,966	17,461
Rz-p80f20	141,510	143,77	25,98
Ra-p80f20	31,124	32,721	6,774
Rz-p80f40	122,990	122,10	19,63
Ra-p80f40	21,034	21,144	2,698
Rz-p80f60	75,540	77,133	7,044
Ra-p80f60	20,112	20,106	3,351
Rz-p80f80	75,561	78,841	10,120
Ra-p80f80	18,654	19,648	3,531

Tabulka 2 Statistické vyhodnocení hodnot po obrábění

ZÁVĚR

Teoretická část bakalářské práce se zaměřuje na polymerní materiály z hlediska jejich různých materiálových vlastností, dostupných způsobů obrábění, včetně popisu, příkladných použití a jimi dosahujících jakostí povrchů spolu s určováním jakosti po obrábění. To bylo popsáno bezkontaktními i kontaktními způsoby, včetně specifických výhod i nevýhod a základních rozdílů těchto metod.

Praktická část je věnována měření jakosti polymerních povrchů, kde jako zvolený zkoumaný polymerní povrch je PMMA (Polymethylmethakrylát) destička, která byla rozdělena na jednotlivé segmenty. V nich bylo provedeno laserové gravírování pro čtyři různé výkony gravírování včetně čtyř různých rychlostí gravírování. Pro zpracování výsledků měření byly vybrány hodnoty Ra a Rz každé zkoumané plochy.

Při vyhodnocení naměřených dat bylo zjišťováno, jak ovlivňují různé rychlosti gravírování u jednotlivých výkonů výslednou jakost povrchu. Tyto výsledky byly interpretovány do grafů časových řad pro parametry Ra a Rz.

Pokud tedy vezmeme v úvahu jednotlivé výkony a informace, které nám předávají, tak výkon $p=20$ vykazoval silnou závislost snižující se drsnosti povrchu na zvyšující se rychlosti gravírování. To dělá povrch jemnější, jelikož paprsek nemá možnost vytvořit tak velký úběr materiálu.

Výkon $p=40$ vykazoval značnou podobnost hodnot Ra pro rychlosti $f=20$ až $f=60$. Větší snížení drsnosti nastalo až při nejvyšší rychlosti posuvu laseru $f=80$, podobnost u hodnot parametru Rz nastala až u rychlejších rychlostí gravírování $f=60$ a $f=80$, kde hodnoty v grafu časových řad pro Rz mají větší rozptyl hodnot od střední hodnoty. Tento jev se nejvíce projevuje pro rychlosti $f=20$ až $f=40$ tohoto výkonu viz. obrázek 31.

U průběhů výkonu $p=60$ byla pro všechny varianty gravírovací rychlosti zjištěna silná podobnost průběhů v grafu mezi Ra a Rz viz. obrázek 32. Opět zde platí trend závislosti snižující se drsnosti povrchu na zvyšující se rychlosti obrábění.

Průběh naměřených hodnot Ra i Rz pro výkon $p=80$ ukázal velkou podobnost výsledků u parametru Ra pro rychlosti gravírování $f=40$ až $f=80$, kde je značný rozdíl oproti nejnižší rychlosti $f=20$. Hodnoty Rz při rychlostech $f=20$ a $f=40$ vykazují značně vyšší hodnoty drsnosti obrobeného povrchu než je tomu u rychlostí $f=60$ a $f=80$.

Při srovnání výsledků měření vzorků za použití praktických výsledků vyšel jako nejlépe obrobený vzorek za výkonu $p=20$ a rychlosti obrábění $f=80$. Výsledek dosáhl nejmenší hloubky gravírování, ale nepřesnějších hodnot díky tomu, že laser nepronikl do takové hloubky, tudíž nevytvořil hlubokou prasklinu na povrchu, kterou by jinak vytvořil za vyššího výkonu nebo kdyby setrval déle na daném místě. To platí i pro vyšší gravírovací výkony, kde také s vyšší gravírovací rychlostí dostáváme lepších výsledných drsností povrchů.

Tato tvrzení jsou podložena tabulkou č.2, ve které jsou hodnoty zobrazeny pomocí základních veličin pro zpracování statistického souboru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MEREDIG, Bryce. *Industrial materials informatics: Analyzing large-scale data to solve applied problems in R&D, manufacturing, and supply chain* [online]. 2017, 7 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.cossms.2017.01.003>
- [2] NAMAZI, Hassan, 2017. *Polymers in our daily life* [online]. 1 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: doi:[10.15171/bi.2017.09](https://doi.org/10.15171/bi.2017.09)
- [3] BRADFORD, Alina, 2017. *What Is a Polymer? Live Science* [online]. New York [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/60682-polymers.html>
- [4] *Basic Polymer Structure* [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/matse81/node/2210> Obrázek č.1
- [5] HELMENSTINE PH.D, Anne Marie. *What Is a Polymer?* [online]. In: . 27 August 2020 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/definition-of-polymer-605912>
- [6] CASERIO, Marjorie C. a John D. ROBERTS. *Types of Polymers* [online]. In: . [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Book%3A_Basic_Principles_of_Organic_Chemistry_\(Roberts_and_Caserio\)/29%3A_Polymers/29.03%3A_Types_of_Polymers](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Book%3A_Basic_Principles_of_Organic_Chemistry_(Roberts_and_Caserio)/29%3A_Polymers/29.03%3A_Types_of_Polymers)
- [7] *What is TPE (Thermoplastic Elastomer)?* [online]. In: . [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://www.elastron.com/en/what-is-tpe-thermoplastic-elastomer>
- [8] *Preparation of polymers* [online]. In: . [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://www.prodomix.com/a/polymer-preparation/>
- [9] Kodak Equipment Manufacturing Division: *Compression Molding* [online]. [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: <http://tkolb.net/resume/websites/erc/plastic/commol.html>
- [10] *Proces lisování reaktoplastů* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/04.html> Obrázek č.3
- [11] *Rotational Moulding*. British Plastics Federation [online]. [cit. 2022-01-17]. Dostupné z: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/rotational_moulding.aspx
- [12] *Proces technologie rotačního natavování* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/06.html> Obrázek č.4

- [13] *Plastic Injection Molding: Kodak Equipment Manufacturing Division* [online]. In: . [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <http://tkolb.net/resume/websites/erc/plastic/injmol.html>
- [14] *Vstřikovací forma a její funkce* [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/02.html> Obrázek č.5
- [15] *Materials used in Injection Moulding. ChinaSavvy* [online]. [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.chinasavvy.com/materials-used-in-injection-moulding>
- [16] HYVÄRINEN, Marko, Rowshni JABEEN a Timo KÄRKI, 2020. *The Modelling of Extrusion Processes for Polymers* [online]. [cit. 2022-02-12]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/polym12061306>
- [17] *SubsTech: Extrusion of polymers* [online]. In: . [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=extrusion_of_polymers
- [18] *Vytlačování a vytlačovací stroje* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/14.html> Obrázek č.6
- [19] MITSOULIS, E., 2009. *Calendering of polymers* [online]. 312-351 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1533/9781845696429.3.312>
- [20] *Kalandrovací linka* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/03.html> Obrázek č.7
- [21] *Kodak Equipment Manufacturing Division: Casting Processes* [online]. [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <http://tkolb.net/resume/websites/erc/plastic/cast.html>
- [22] *Design guidelines for plastic casting using 3D printing* [online]. [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: doi:10.1177/1558925020916037
- [23] *Thermoforming. Custompart.net* [online]. [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/thermoforming>
- [24] WYPYCH, George, 2015. *Blow Molding* [online]. 89-99 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-895198-84-3.50007-7>
- [25] *Injection Blow Molding vs Extrusion Blow Molding* [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://e2global.com/injection-blow-molding-vs-extrusion-blow-molding/>
- [26] *Technologie vstřikovacího vyfukování s mechanickým předtvarováním* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/14.html> Obrázek č.12

- [27] *Princip dloužení a výfuku* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/05.html> Obrázek č.13
- [28] BENATAR, Avraham, 2017. *Plastics Joining* [online]. 575-591 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00027-4>
- [29] *British Plastics Federation: Machining of Plastics* [online]. In: . [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/Machining_of_Plastics.aspx
- [30] *Obecné schéma postupů chemické recyklace* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: https://zerowasteurope.eu/wpcontent/uploads/2021/04/GAIA_Chemicka_recyklace_Stav_udrzitelnost_dopady_studie.pdf
- [31] IGNATYEV, Igor, Wim THIELEMANS a Bob VANDERBEKE, 2014. *Recycling of Polymers* [online]. 1-16 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: doi:10.1002/cssc.201300898
- [32] OSTERATH, Brigitte, 2020. *Chemical Versus Mechanical Recycling of Plastic Waste* [online]. 22-25 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/nadc.20204095088>
- [33] KUMAR, Raman, Jasgurpreet S. CHOCHAN a Satbir S. SEHGAL. *Non-Conventional Technique of Machining and Metallization of Polymer Components* [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: doi:10.2174/2212797613999200529095224
- [34] *Laser marking plastic* [online]. In: . [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_INT/solutions/applications/laser-marking/laser-marking-plastic/
- [35] *What Is Plastic Welding?: Welding Processes for Plastics* [online]. In: . [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/locations/south-east-asia/faqs/what-is-plastic-welding>
- [36] *What is surface roughness & Surface Roughness Measurement Tester Working Principle* [online]. In: . [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.taylor-hobson.com/resource-center/blog/2019/october/what-is-surface-roughness>
- [37] FU, Shaowei et al., 2018. *A Non-Contact Measuring System for In-Situ Surface Characterization Based on Laser Confocal Microscopy* [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: doi:10.3390/s18082657

- [38] PATEL, Dhiren a M.B. Kiran KIRAN, 2020. *Non-contact surface roughness measurement using laser speckle technique* [online]. [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/895/1/012007
- [39] *Měření drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103> Obrázek 18,19,20,21
- [40] *Triangulační princip měření* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>. Obrázek č.22
- [41] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [42] WHITEHOUSE, D. J., 2011. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2. Obrázek č.23,24,25

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	Největší výška profilu
Rt	Celková výška profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
\bar{x}	Aritmetický průměr (výběrového souboru)
s	Směrodatná odchylka (výběrového souboru)
s^2	Rozptyl (výběrového souboru)
λ_s	Vlnová délka vymežující povrch a drsnost
λ_c	Vlnová délka vymežující drsnost a vlnitost
λ_f	Vlnová délka vymežující povrch a vlnitost
Lr	Základní délka
Ln	Vyhodnocovací délka
Lt	Celková délka

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Struktura polymerních řetězců [4].....	12
Obrázek 2	Rozdělení polymerů [5].....	13
Obrázek 3	Proces lisování [10].....	16
Obrázek 4	Proces technologie rotačního lisování [12].....	18
Obrázek 5	Vstřikovací forma [14]	19
Obrázek 6	Proces vytlačování [18]	21
Obrázek 7	Kalandrovací linka [20].....	22
Obrázek 8	Vakuové tváření [23].....	24
Obrázek 9	Tlakové tváření [23]	24
Obrázek 10	Mechanické tváření [23].....	25
Obrázek 11	Princip vytlačovacího vyfukování [25]	26
Obrázek 12	Princip vstřikovacího vyfukování [26].....	27
Obrázek 13	Princip dloužení a výfuku [27].....	27
Obrázek 14	Postup chemické recyklace [30].....	32
Obrázek 15	Gravírování na základě změny barvy [34].....	35
Obrázek 16	Gravírování na základě zpěnění struktury materiálu [34]	36
Obrázek 17	Nasnímaný polymerní povrch ve 3D.....	38
Obrázek 18	Schéma kontaktního snímání povrchu [39]	39
Obrázek 19	Dotykový profilometr [39].....	40
Obrázek 20	Schéma CLA snímače [39]	41
Obrázek 21	Nasnímaný 3D povrch pomocí CLA snímače [39].....	41
Obrázek 22	Schéma laserového snímače [40]	42
Obrázek 23	Tvar povrchu [42].....	43
Obrázek 24	Vlnitost povrchu [42].....	43
Obrázek 25	Drsnost povrchu [42].....	44
Obrázek 26	Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [41]	44
Obrázek 27	Profil povrchu [41]	45
Obrázek 28	Prvek profilu [41]	47
Obrázek 29	Parametry výšek profilu [42]	48
Obrázek 30	3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=20$	51
Obrázek 31	3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=40$	51
Obrázek 32	3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=60$	52
Obrázek 33	3D pohled po obrobení výkonem $p=20$ a rychlostí posuvu $f=80$	52
Obrázek 34	Grafické hodnocení obrábění při výkonu $p=20$	53

Obrázek 35 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=20$	54
Obrázek 36 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=40$	54
Obrázek 37 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=60$	55
Obrázek 38 3D pohled po obrobení výkonem $p=40$ a rychlostí posuvu $f=80$	55
Obrázek 39 Grafické hodnocení obrábění při výkonu $p=40$	56
Obrázek 40 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=20$	57
Obrázek 41 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=20$	57
Obrázek 42 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=60$	58
Obrázek 43 3D pohled po obrobení výkonem $p=60$ a rychlostí posuvu $f=80$	58
Obrázek 44 Grafické hodnocení obrábění při výkonu $p=60$	59
Obrázek 45 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=20$	60
Obrázek 46 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=40$	60
Obrázek 47 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=60$	61
Obrázek 48 3D pohled po obrobení výkonem $p=80$ a rychlostí posuvu $f=80$	61
Obrázek 49 Grafické hodnocení obrábění při výkonu $p=80$	62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdělení materiálů vhodných pro gravírování	34
Tabulka 2 Statistické vyhodnocení hodnot po obrábění.....	63