

# Výzkum podmínek kopírování nedokonalostí povrchu na polymerní výrobky

Bc. David Kubis

---

Diplomová práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*

\*\*\*nascannované zadání s. 2\*\*\*

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá výzkumem podmínek kopírování nedokonalostí povrchu na polymerní výrobky. Je zaměřena na pozorování drsností povrchů polymerních výrobků z různých druhů materiálu, které byly vyrobeny za změněných technologických podmínek výroby a různou drsností tvarových vložek, pomocí nichž byly tyto výrobky ve vstřikovací formě vyrobeny.

V teoretické části je popsána technologie vstřikování, způsoby vyhodnocování a teorie o jakosti povrchu a částečně i teorie o povrchových úpravách výrobků.

V praktické části je řešena konstrukce vstřikovací formy a dále jsou zpracovány naměřené hodnoty drsností výrobků, jejich grafické zpracování a porovnání.

## **ABSTRACT**

This diploma work is focused on researching of conditions in copying of surface imperfections on polymer's productions. It's focused on watching rough surfaces of polymer's productions made of different kinds of materials that were made in changing technological conditions of productions and different rough of shape insets and by using them these product were made injections moulding form.

In the first part is technology of injection moulding described and ways of evaluating and theories of surface quality and particulary described theory about surface adjustments of product.

In second part construction of injection moulding form is solved and measured values rough product are worked plus their elaboration and graphic comparison.

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během řešení mé diplomové práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitelem ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 31.05.2006

.....

podpis diplomanta

# OBSAH

ÚVOD.....	8
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ .....</b>	<b>10</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	10
1.1.1 Plastikační a vstřikovací jednotka.....	11
1.1.2 Uzavírací jednotka .....	14
1.1.3 Pohonná, ovládací a regulační technika.....	15
1.1.4 Řízení a regulace vstřikovacích strojů .....	16
1.1.5 Vstřikovací cyklus.....	16
1.2 VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	18
1.2.1 Určení násobnosti vstřikovacích forem.....	19
1.2.2 Odvzdušnění forem .....	21
1.2.3 Vtokové systémy .....	21
1.2.4 Základní způsoby vyhazování výstřiku z formy .....	27
1.2.5 Temperování vstřikovacích forem .....	27
1.2.6 Hlediska pro výběr materiálu formy a jejich vlastnosti .....	28
1.3 VZHLED A PROVEDENÍ VÝSTŘIKŮ .....	30
1.3.1 Hlavní zásady při navrhování výstřiku .....	30
1.3.2 Materiály pro vstřikování.....	32
1.3.3 Kvalita povrchu vstřikovaných dílců .....	34
<b>2 JAKOST .....</b>	<b>35</b>
2.1 JAKOST POVRCHU .....	35
2.2 PŘEDEPISOVÁNÍ KVALITY POVRCHU SOUČÁSTÍ.....	35
2.2.1 Drsnost .....	36
2.2.2 Posuzování drsnosti povrchu.....	39
2.3 NORMALIZOVANÉ CHARAKTERISTIKY DRSNOSTI POVRCHU .....	41
2.3.1 Střední aritmetická úchylka profilu $R_a$ .....	42
2.3.2 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů $R_z$ .....	43
2.3.3 Největší výška nerovností profilu $R_m$ .....	43
2.3.4 Střední rozteč nerovností profilu $S_m$ .....	44
2.3.5 Střední rozteč místních výstupků profilu $S$ .....	45
2.4 METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.....	45
2.4.1 Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu.....	45
2.4.2 Bezdotykové profiloměry s postupnou transformací profilu .....	47
2.4.3 Snímače .....	48
2.4.4 Měřící hroty .....	50
<b>3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLASTŮ .....</b>	<b>52</b>
3.1 BAREVNÉ ÚPRAVY POVRCHU.....	52
3.2 POKOVOVÁNÍ .....	53
3.3 POPISOVÁNÍ LASEREM .....	55
<b>4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>56</b>

<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY</b> .....	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝROBKŮ A TVAROVÝCH VLOŽEK</b> .....	<b>59</b>
6.1	POPIS VÝROBKŮ .....	59
6.1.1	Popis materiálů vzorků.....	61
6.2	MĚŘENÍ DRSNOSTI VÝROBKŮ .....	63
6.2.1	Popis měřicího přístroje drsnosti povrchu .....	63
6.2.2	Zpracování experimentálních dat a jejich statistických závislostí.....	64
6.2.2.1	Popis statistických veličin.....	64
6.2.2.2	Vlastní měření a statistické vyhodnocení drsností výrobků .....	66
6.2.2.3	Grafická vyhodnocení závislostí drsností Ra .....	84
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>105</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>106</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>107</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>108</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>110</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>111</b>

## ÚVOD

Využití plastů pro nejrůznější průmyslové aplikace se s poslední dobou stále více rozšiřuje. Díky svým vlastnostem nachází plastové výrobky uplatnění ve spotřebním průmyslu, ve strojírenství, automobilovém, elektrotechnickém i elektronickém průmyslu, ale i v takovém průmyslovém odvětví jako je např. optika. Požadavky na stále vyšší jakost výrobků s ohledem na náročnější aplikace vyžadují trvalé zdokonalování výrobních technologií, což však je velmi ovlivňováno strojním vybavením.

Dodržování jakosti povrchu je prvořadou součástí technologické kázně a základem při výrobě vysoce výkonných a kvalitních strojů, přístrojů, nástrojů a různých výrobků. Dobrá jakost výrobků při maximálně dosažitelné hospodárnosti je důležitým požadavkem výroby. K dosažení tohoto předpokladu jsou nutná opatření charakteru jednak ryze technického, tak ekonomického.

Drsnost povrchu lze označit jako jeden z nejdůležitějších parametrů tzv. integrity povrchu. Názvem integrita povrchu je nazýván soubor vlastností povrchové vrstvy, která byla změněna technologickým procesem a má rozdílné vlastnosti vzhledem k základnímu materiálu. Na drsnosti do značné míry závisí přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, odolnost proti opotřebení, ztráty třením, elektrická vodivost a další vlastnosti.

V roce 1999 začala platit nová ucelená řada mezinárodních norem s příznačným názvem – Geometrické požadavky na výrobky. Tyto normy definují nové i starší parametry drsnosti povrchu. Základním předpokladem pro jakoukoliv klasifikaci povrchu je co nejpřesnější a nejúplnější popis jeho mikrogeometrie, který lze získat pomocí různých metod měření drsnosti povrchu.

Cílem této diplomové práce je bližší zjištění vztahu mezi drsností vstřikovací formy a drsností vstřikovaných výrobků pro různou úpravu ploch formy a nalezení hranice, po kterou je úprava povrchu vstřikovací formy efektivní.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je jednou z hlavních operací při zpracovávání plastů. Vstřikování umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a dostatečně přesné výrobky – výstřiky – ze širokého výběru plastů.

Vstřikování v jedné operaci mění polymer (většinou granule) v hotový výrobek. Většinou se výstřík vyjmutý z formy odesílá přímo spotřebiteli nebo jej lze použít ke kompletaci jiných zařízení.

Vstřikování má několik dalších výhod. Například pečlivé navržení formy může eliminovat další opracování. Vtokové zbytky lze v případě termoplastů rozemlít a znovu zpracovat, čímž se ztráty polymeru zmenšují na minimum. Vstřikovací cyklus je relativně rychlý a lze jej dalekosáhle automatizovat.

## 1.1 Vstřikovací stroje

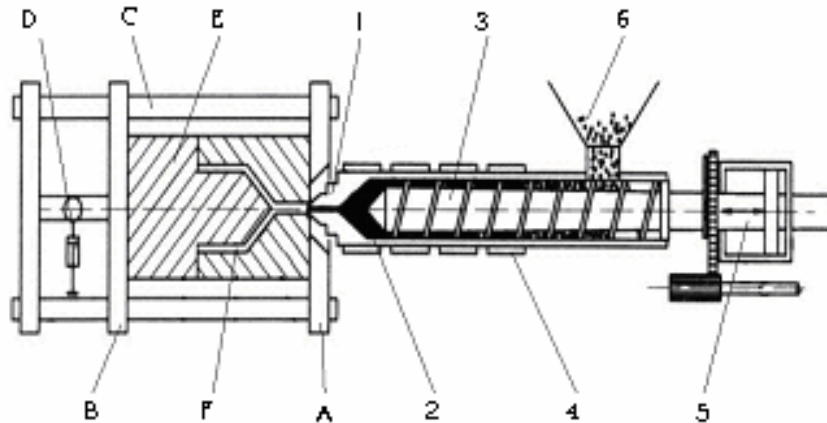
Základní princip vstřikování, dosud používaný u malých strojů, je patrný z Obr. 1. Plast je roztaven v tavicí komoře a tavenina plastu je šnekem vstříknuta do uzavřené chladné formy. Po ztuhnutí taveniny se forma otevře, výstřík se vyjme a stroj je připraven k další operaci.

Princip vstřikovacího stroje byl objeven v roce 1872; stroj se skládá ze tří základních prvků: plastikační a vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a formy.

Základním parametrem vstřikovacího stroje je maximální vstřikovaný objem výstříku (v  $\text{cm}^3$ ), včetně vtokových zbytků, který lze vyrobit při jednom pracovním cyklu. Je dán součinem plochy čela šneku (pístu) a jeho maximálního posunu. Obdobný údaj, nazvaný vstřikovací kapacita stroje, udává maximální hmotnost výstříku v gramech (většinou polystyrenu).

Plastikační kapacita stroje udává množství plastu v kg, které lze na daném stroji převést do taveniny vyhovující kvality za 1 hodinu. Kromě toho bývá udáván vstřikovací tlak, čímž se rozumí tlak v MPa, který vyvolá čelo šneku v tavenině plastu. Celková síla, kterou působí čelo šneku na taveninu, se nazývá vstřikovací síla.

Mimoto je stroj charakterizován uzavírací silou, což je síla potřebná k uzavření formy, a především přidržovací silou, což je síla držící formu v uzavřené poloze během vstřikování. Dále bývá udávána plocha upínacích desek.



Vstřikovací jednotka: 1 – vstřikovací tryska, 2 – pracovní válec, 3 – šnek,  
4 – topení, 5 – vstřikovací píst, 6 – násypka

Uzavírací jednotka: A – upínací deska pevná, B – upínací deska pohyblivá,  
C – vodící sloupce, D – uzavírací hydraulický válec,  
E – forma, F – dutina formy

Obr. 1 Vstřikovací stroj se šnekovou vstřikovací jednotkou

### 1.1.1 Plastikační a vstřikovací jednotka

Jak vyplývá z jejího názvu, plní plastikační a vstřikovací jednotka dva hlavní úkoly:

- přeměňuje granulát plastu na materiálově i teplotně homogenní taveninu o zvolené viskozitě,
- dopravuje (vstřikuje) tuto taveninu velkou rychlostí a pod vysokým tlakem do tvarové dutiny uzavřené formy.

#### Plastikační a vstřikovací jednotka pístového vstřikovacího stroje

Při vstřikování na pístovém vstřikovacím stroji je granulát polymeru protlačován vstřikovacím pístem tavicí komorou Obr. 1. Přitom je intenzívně zahříván vnějším teplem, až přejde do plastického stavu. Zahřívání se děje většinou odporovým topením umístěným na vnějším povrchu tavného válce. Nedostatkem tohoto řešení je omezená možnost převo-

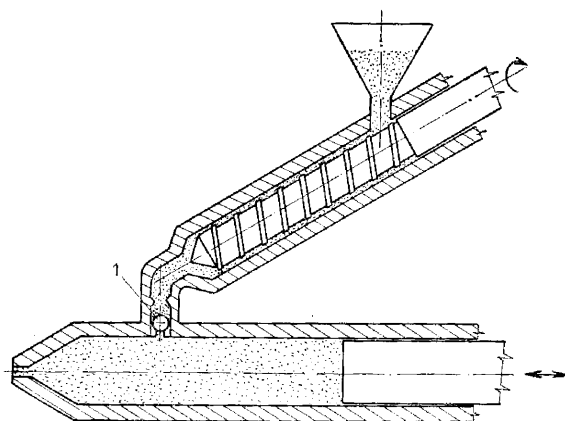
du tepla z pláště do středu tavicí komory, daná především malou tepelnou konduktivitou polymeru, popřípadě jeho taveniny a tím, že proudění v tavicí komoře je převážně laminární.

Plastikační výkonnost tavicí komory roste při dané tepelné konduktivitě polymeru především s růstem poměru povrchu taveného plastu a objemu plastu. Tento závěr vedl k vyvinutí tavicích komor s torpédem nebo žebry. Tyto úpravy se však většinou projevují většími hydraulickými ztrátami vyvolanými třením granulátu o stěny členěné tavicí komory (50 až 70%). Trvalým nedostatkem těchto komor však je to, že neposkytují taveninu dostatečně teplotně homogenní.

Pístové vstřikovací stroje jsou proto schopny ekonomicky pracovat při výrobě menších výstřiků (do hmotnosti 50 g).

Uvedené nevýhody těchto strojů byly např. řešeny tím, že tavenina plastikovaná v tavicí komoře o velké vnitřní ploše (a s velkými tlakovými ztrátami) byla shromažďována v samostatném vstřikovacím válci, z něhož byla vstřikovacím pístem vstřikována pod dostatečným tlakem do formy.

Další zvětšení výkonnosti a i zlepšení kvality výstřiků přinesla předplastikace pomocí šneku Obr. 2. Šneková plastikační jednotka byla připojena k pístové vstřikovací jednotce a zvětšila plastikační výkonnost stroje. Stroje tohoto typu se používají při vstřikování reaktoplastů a strukturních pěn.



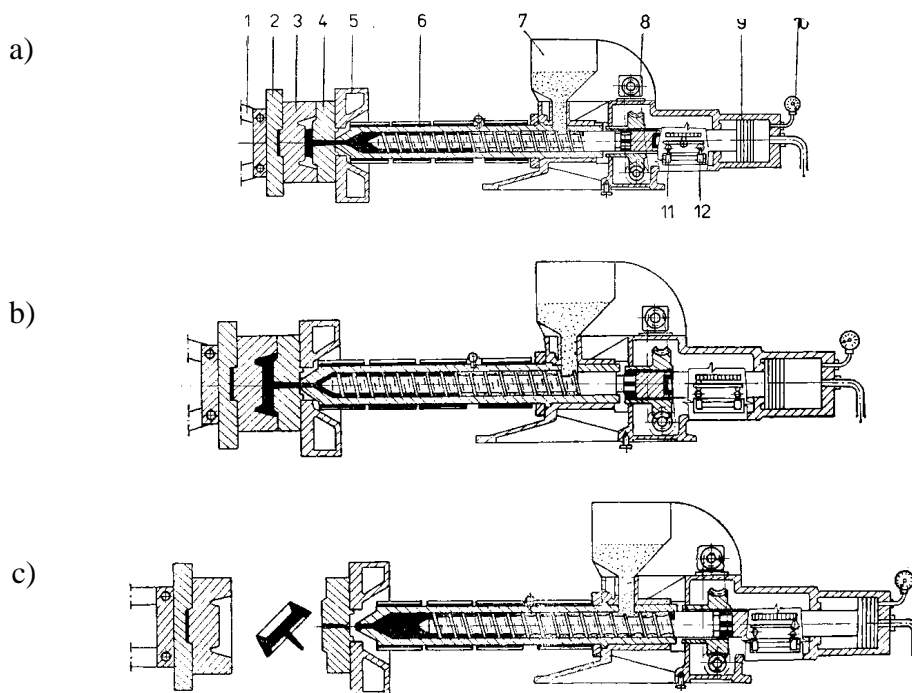
Obr. 2 Vstřikovací stroj s plastikačním šnekem  
1 – zpětný ventil

### Plastikační a vstřikovací jednotka šnekového vstřikovacího stroje

Další zvětšení plastikační výkonnosti a kvality taveniny přineslo nové řešení vstřikovacího stroje, kdy šnek plastikující taveninu zároveň působí jako vstřikovací píst. Konstrukce a funkce šnekového vstřikovacího stroje je uvedena na Obr. 3.

Šnekové vstřikovací stroje mají tyto výhody:

- a) plastikační výkonnost je ve srovnání s pístovými vstřikovacími stroji podstatně větší;
- b) zlepší se materiálová i teplotní homogenita taveniny;
- c) výstřiky mají menší vnitřní pnutí, a tím menší náklonnost ke smršťování;
- d) zlepšené tokové poměry umožňují zpracování termicky nestabilních polymerů (PVC);
- e) je možno zpracovávat granulát barvený za sucha, popř. granulát barvený barevným koncentrátem bez granulace, čímž se zlepšuje hospodárnost vstřikování;
- f) v trysce šnekové vstřikovací jednotky, popř. ve vtoku do formy je k dispozici vyšší vstřikovací tlak, protože prakticky odpadají tlakové ztráty vyvolané třením granulátu o stěny komory a torpéda. Tlakové ztráty v tomto případě činí 20%.



Obr. 3 Pracovní cyklus vstřikovacího stroje se šnekovou plastikační jednotkou

a) vstřikování, b) dotlačování, c) vyjmutí výstřiku z formy

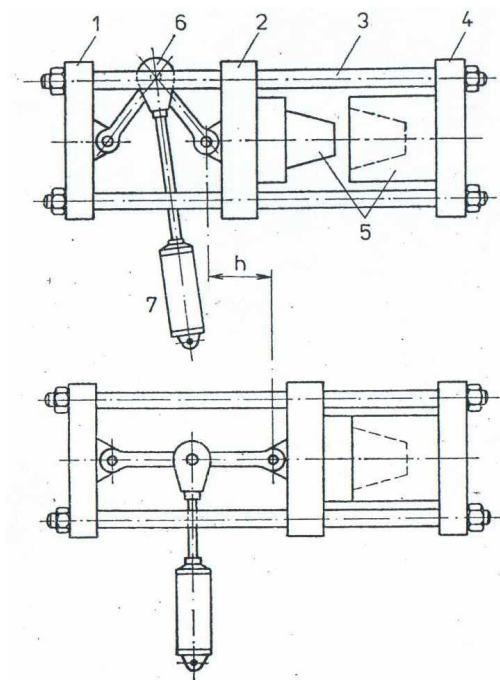
1 - uzavírací mechanismus, 2 - pohyblivá upínací deska, 3 - tvárnice, 4 - tvárník, 5 - nepohyblivá upínací deska s otvorem pro trysku, 6 - vstřikovací válec, 7 - násypka, 8 - hydraulický motor pro pohon šneku, 9 - hydraulický válec, 10 - tlakoměr, 11 - koncový spínač dotlačování, 12 - koncový spínač zpětného posunu šneku [1]

### 1.1.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je co možno nejrychleji uzavírat a otevírat formu a dále přidržovat uzavřenou formu silou větší, než je síla vyvolaná tlakem taveniny na stěny dutiny formy. Uzavírací síla bývá pravidelně menší než přidržovací síla.

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí Obr. 4 :

- opěrné desky pevně spojené s ložem (sloupy) stroje 1,
- pohyblivé upínací desky 2, na kterou je upnuta pohyblivá část formy,
- upínací desky 4 s otvorem pro trysku, na kterou se připevní nepohyblivá část formy s vtokovou vložkou,
- vodicích sloupů 3,
- uzavíracího a přidržovacího mechanismu 6.

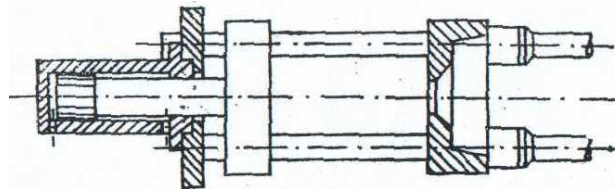


Obr. 4 Uzavírací jednotka s kloubovým uzávěrem ovládaným hydraulicky

- 1 – opěrná deska
- 2 – pohyblivá upínací deska
- 3 – vodicí sloupy
- 4 – pevná upínací deska
- 5 – forma
- 6 – kloubový mechanismus
- 7 – hydraulický válec
- $h$  – otevření stroje

Nejjednodušší typ uzávěru je uzávěr hydraulický Obr. 5. Má tyto výhody:

- a) jednoduché, masívní a relativně levné provedení stroje;
- b) rychlé a jednoduché upnutí formy, přičemž je možné, aby bez potíží byly upnuty formy o různé výšce;
- c) snadné nastavení hloubky otevření formy, přičemž vzhledem k tuhosti jednotky lze vstříkovat hluboké výstřiky;
- d) možnost automatického zpomalení rychlosti uzavírání formy těsně před jejím uzavřením, čímž se zmenšuje její opotřebení;
- e) přidržovací síla je přesně známa z tlakových údajů manometru hydraulického okruhu; je snadno a přesně nastavitelná s velkou reprodukovatelností;
- f) snadné jištění uzávěru a formy proti přetížení nadměrnou přidržovací nebo vstřikovací silou;
- g) jednoduchá kontrola a údržba stroje – převážně výměna manžet a těsnění;
- h) možnost programové změny přidržovací síly v průběhu plnění umožňující tzv. dýchání formy. [1]



Obr. 5 Hydraulická uzavírací jednotka

### 1.1.3 Pohonná, ovládací a regulační technika

V dnešní době je věnována značná pozornost hydraulickým čerpadlům a hydraulickým ovládacím prvkům. Důvodem poměrně prudkého rozvoje v tomto oboru je snaha o přesné řízení, popř. regulaci vstřikovacího procesu, ale i zjednodušit celý hydraulický systém.

Hydraulické ovládání konvenčních vstřikovacích strojů umožňují ručně nebo elektromagneticky přestavitelné ventily a šoupátka pro řízení průtoku a tlaku tlakové kapaliny – oleje. Přesné nastavení průtoku nelze těmito prvky dosáhnout, neboť průtok závisí na viskozitě oleje, která se mění s teplotou. Těmito změnami se narušuje stabilita vstřikovacího procesu (např. se mění vstřikovací rychlost).

U moderně řízených a regulovaných vstřikovacích strojů se kladou na hydraulické ovládací prvky podstatně větší nároky než u konvenčních strojů. Nově vyvinuté hydraulické prvky umožňují rychlé, plynulé, přesné a reprodukovatelné nastavení požadovaného tlaku či průtoku (rychlosti), přičemž je kladen důraz na jejich životnost a spolehlivost. [1]

#### 1.1.4 Řízení a regulace vstřikovacích strojů

Řízení a regulaci je nutno považovat za neoddělitelnou součást funkce vstřikovacího stroje. Rozumí se tím nastavení snímání a sledování strojních a technologických parametrů spolu s jejich následnou regulací tehdy, když odchylky překročí přístupnou toleranci.

Strojní parametry jsou primární a určují technologické parametry. Jsou nastavovány na stroji. Jde o teplotu jednotlivých zón vstřikovacího válce, teplotu formy, tlak kapaliny při vstřikování a dotlaku a zpětný tlak při plastikaci, jednotlivé časové úseky pracovního cyklu, otáčky šneku při plastikaci, rychlost posuvu šneku při vstřikování (vstřikovací rychlost), délku posuvu šneku, rychlost uzavírání a otevírání formy apod.

Technologické parametry určují stav polymeru, popř. jeho časovou závislost při vstřikování. Jsou to např. teplota taveniny ve válci, teplota hmoty ve formě, tlak taveniny ve válci, tlak hmoty ve formě, viskozita taveniny, doba vstřiku taveniny do formy, doba chlazení hmoty ve formě, rychlost proudění taveniny ve válci a ve formě. [1]

#### 1.1.5 Vstřikovací cyklus

Vstřikování je univerzální vysoce přesný proces. Cena výroby jednoho kusu je nízká, nicméně vstřikovací stroj a formy jsou velmi drahé. Vstřikovací proces obsahuje uzavřenou formu se směsí (nevulkanizovaná kaučuková směs), dopravovanou za vysoké rychlosti ze vstřikovacího zásobníku. Z této vysoké rychlosti plyne několik výhod. Pryž má zvýšenou teplotu při vstupu do dutiny, což umožňuje krátké vulkanizační časy. Toto je především výhodné u tlustých příčně křížených částí. Viskozita pryžové směsi je snížena, což umožňuje značný termoplastický tok.

Vstřikování může být vertikální nebo horizontální. Také může být použit lis nebo šnek ke hnětení a dopravě nevulkanizované směsi do formy. Reciproké šneky lépe hnětou směs a udržují teplotu, ale velikost dávky je limitována. U lisů může být dávka větší, ovšem na úkor stejnoměrné plastikace a teploty. Proto byly vyvinuty hybridní metody se



vzájemnou kombinací lisu a šneku. V těchto případech jsou šneky použity pouze pro plastickaci směsi, zatímco lis je určen pouze pro vstřikování.

Nez vulkanizovaná směs je vedena přes vstřikovací trysku do vtokového kanálu. Pryž vtéká přes vtokový systém do formy přes tyto kanály. Nejdůležitější je, aby tok směsi a tepelná historie byly stejnoměrné. Proto se vyžaduje symetrický nebo vyvážený vtokový systém. Když je forma uzavřena a pryž je při vstřikování zahřátá, je dosažena přesná výrobní tolerance s minimem přetoků. Pokud je požadována povrchová úprava, používá se velké množství kryogenních technik.

Nevýhodou vstřikování je velký odpad materiálu ve vtokových systémech. K redukci tohoto problému byly vyvinuty chladné vtokové systémy. Na druhou stranu vstřikování má mnoho výhod. Nicméně nástroje pro tento proces bývají velmi drahé kvůli velké výrobní přesnosti, jsou vyžadovány kalené nástroje kvůli velkým rázům (nárazům).

Vstřikovací cyklus zahrnuje dvě oblasti, jedna se vztahuje k plastikační jednotce, druhá k formě a uzavírací jednotce. K uzavřené formě se přisune plastikační a vstřikovací jednotka, ze které se plastikovaný materiál vstříkne do dutiny formy. Doba, po kterou se dutina formy plní, se nazývá doba plnění. Po naplnění dutiny formy se dále na materiál působí tlakem, který se označuje jako dotlak. Dotlak bývá stejný nebo nižší než vstřikovací tlak. Řízení dotlaku se odvozuje od tlaku dosaženého v dutině formy nebo od polohy vstřikovacího pístu. Doba, po kterou působí dotlak, se nazývá doba doplňování. Dotlak má částečně vyrovnávat vliv smrštění a zabraňovat unikání materiálu z dutiny formy. Doba doplňování je omezena zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Chlazení výstřiku probíhá z části ve formě a z části mimo ní. [1]

Uzavírací jednotka	Uzavření formy			Chlazení	Otevření formy	Vyhození výstřiku
Plastikační	Pohyb	Vstříknutí	Dotlak	Chlazení		

jednotka	vpřed	taveniny			
----------	-------	----------	--	--	--

Tab. I Vstřikovací cyklus

## 1.2 Vstřikovací formy

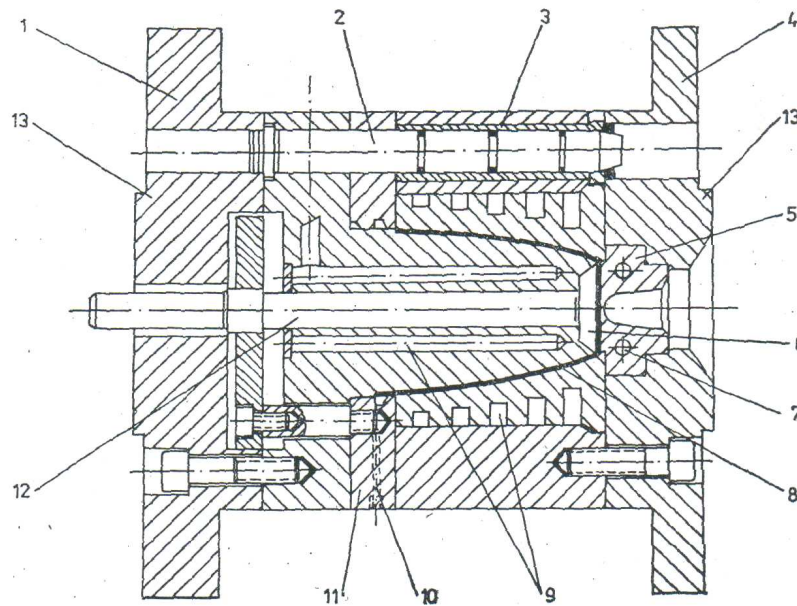
Vstřikovací forma je významnou součástí vstřikovacího stroje. Její funkcí je dát tavenině konečný tvar výstřiku a v tomto tvaru ji ochladit do tuhého stavu, kdy se již dál nedeformuje. Výstřik lze pak vyjmout z formy.

Vstřikovací formy jsou často komplikovaná technická zařízení, která musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výstřiky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výstřiků a přitom musí většinou pracovat automaticky. Jejich konstrukce a výroba je proto náročná na odborné znalosti i na finanční náklady.

Schéma jednonásobné vstřikovací formy je uvedeno na Obr. 6. Z obrázků zároveň vyplývá názvosloví jednotlivých dílů forem.

Podle stroje, pro který je forma určena, můžeme formy rozdělit na formy se vstřikováním do osy, tj. kolmo na dělicí rovinu formy, a na formy se vstřikováním do spáry, tj. do dělicí roviny formy.

Vstřikování do osy formy je vhodné pro rotační předměty, nádoby apod., zatímco vstřikování do spáry je výhodné pro vstřikování podlouhlých předmětů, jako jsou hřebeny, rukojeti šroubováků apod. [1]



Obr. 6 Konstrukce jednonásobné vstřikovací formy

1 – upínací deska tvárníku, 2 – vodící sloupek, 3 – vodící pouzdro, 4 – upínací deska tvárnice, 5 – vtoková vložka, 6 – talíř vyhazovače, 7 – chladičí kanálky vtokové vložky,

8 – výstřík, 9 – chlazení, 10 – přívod tlakového vzduchu, 11 – vyhazovací stírací kroužek, 12 – vyhazovací tyč, 13 - středění

### 1.2.1 Určení násobnosti vstřikovacích forem

Obdobně jako při lisování reaktoplastů je i při vstřikování termoplastů významnou otázkou určení násobnosti formy. Násobnost formy má zásadní význam pro hospodárnost vstřikování.

U velkých výlisků je zřejmé, že bude volena jednonásobná forma. V tom případě se musí dbát na to, aby hmotnost výstříku spolu s hmotností vtokového zbytku nepřevýšily vstřikovací kapacitu stroje.

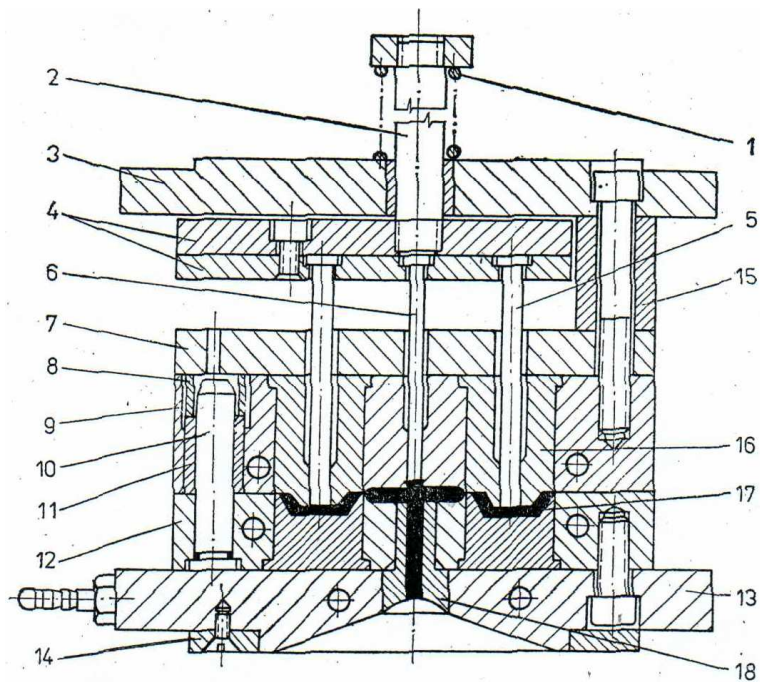
Stejně bude volena jednoduchá jednonásobná forma pro malé nebo ověřovací série, kdy se příznivě projeví menší náklady na její výrobu.

Jestliže je uvažována výroba velkých sérií výstříků a je k dispozici vhodně velký vstřikovací stroj, je možno navrhovat vícenásobné formy Obr. 7. Při rozhodování, zda bude vhodné vícenásobnou formu, se musí především uvážit tyto technologické a ekonomické parametry:

- a) celkový počet výstříků a termín jejich dodání;

- b) celkové náklady na výroby jednonásobné a vícenásobné formy;
- c) vstřikovací kapacity, plastikační kapacity a přidržovací síly strojů, které jsou k dispozici;
- d) provozní náklady (včetně automatizace) stroje s menší a větší vstřikovací kapacitou;
- e) dobu vstřikovacího cyklu menšího stroje pro jednonásobnou formu a většího stroje pro vícenásobnou formu.

Z hlediska technologických parametrů musí konstruktér při návrhu násobné formy uvážit tato kritéria: vstřikovací kapacitu stroje, plastikační kapacitu stroje a přidržovací sílu stroje.



Obr. 7 Konstrukce vícenásobné vstřikovací formy

1 – pružina vyvozující zpětný chod vyhazovacího systému, 2 – vyhazovací tyč, 3 – upínací deska, 4 – opěrná a kotevní deska vyhazovačů, 5 – vyhazovače, 6 – vyhazovač vtoku, 7 – mezideska, 8 – distanční pouzdro, 9 – kotevní deska pro tvárníky, 10 – vodící sloupek, 11 – vodící pouzdro, 12 – kotevní deska pro tvárnice, 13 – upínací deska, 14 – středící kroužek, 15 – rozpěrka, 16 – tvarová vložka – tvárník, 17 - tvarová vložka – tvárnice, 18 – vtoková vložka

### 1.2.2 Odvzdušnění forem

Při plnění dutiny formy taveninou je třeba zajistit únik zejména vzduchu, který je v ní obsažen na počátku vstříku. Vzduch může uniknout kolem jader, vyhazovacích kolíků apod.. V dělicích rovinách se bývají drážky 0,05 – 0,2 mm hluboké a 3 – 6 mm široké.

Umísťují se na protilehlé straně ústí vtoku. Vzduch, který se uzavře v dutině formy při adiabatickém stlačení, může dosáhnout vysokých teplot. Za vysoké teploty se povrch vstříkovaného materiálu může natavit, případně se materiál v místech uzavřeného vzduchu může spálit. U nesymetrických výstřiků se volí umístění odvzdušňovacího kanálku podle výsledku zkušebního nástřiku formy a to opět do místa, kde se čela proudu kaučukové směsi spojují. Nedostatečné odvzdušnění může způsobit i propadliny na výstřiku, popř. jeho nedostříknutí. [1]

### 1.2.3 Vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstříku vedení proudu roztaveného plastu od vstříkovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory.

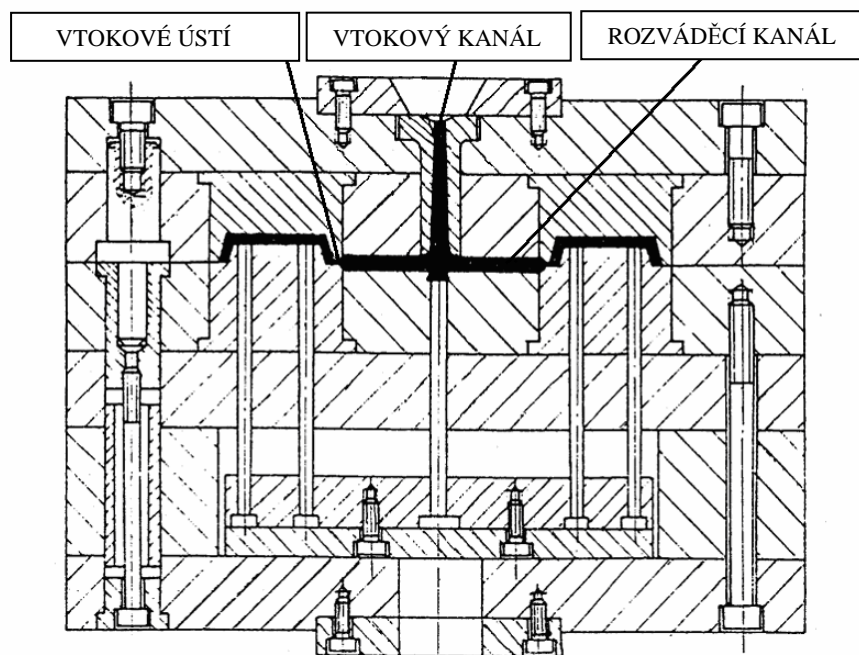
Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují :

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu plastu,
- náročnost opracování na začištění výstřiku,
- energetickou náročnost výroby.

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit, aby :

- dráha toku od vstříkovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zajistilo rovno-  
vážné plnění,
- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku,

- u vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny,
- zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů min.  $R = 1 \text{ mm}$ ,
- stanovit úkosovitost všech vtoků pro jejich snadné doformování,
- leštit povrch vtokového systému orientovaného ve směru vyjímání,
- řešit zachycení čela proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu. Zabrání tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím snížení povrchových vad výstřiku,
- ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděním materiálu,
- neprovádět větvení vtokového systému pod ostrým úhlem, ale někdy právě naopak pod úhlem větším než  $90^\circ$ ,
- průřezy vtokových systémů pro krystalické polymery jsou zpravidla větší, než pro amorfní.

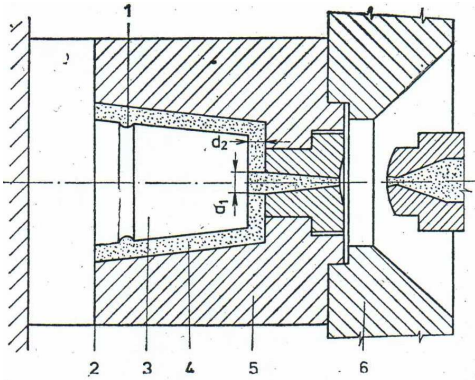


Obr. 8 Vtokový systém formy

### ***Plný kuželový vtok***

Přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné výstřiky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední. Jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny

výstřiku. Pro menší tloušťky stěn výstřiku je vhodné vytvořit proti ústí čokovité zahloubení.

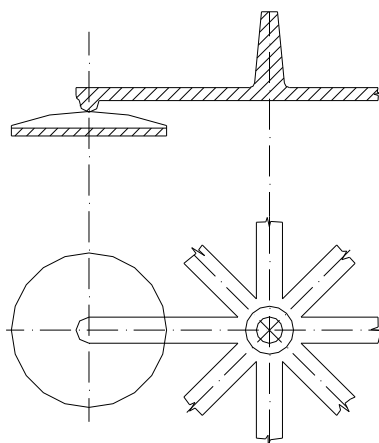


Obr. 9 Plný kuželový vtok

- 1 – drážka
- 2 – dělicí rovina
- 3 - tvárník
- 4 – výstřik
- 5 – tvárnice
- 6 – upínací deska

### ***Bodový vtok***

Je nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem. U tohoto typu musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou. V zúženém místě dochází při odformování k odtržení vtokového zbytku od výstřiku. Utrhne se podle způsobu provedení ústí. U tenkostěnných výstřiků se nejužší místo volí poněkud dále od výstřiku, než je tomu u výstřiků tlustostěnných, aby nedocházelo ke vzniku kráteru ve výstřiku.

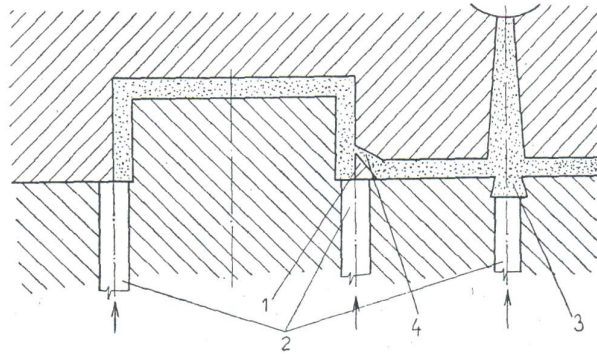


Obr. 10 Bodový vtok

### ***Tunelový vtok***

Je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není proto nutné konstruovat formu s více dělicími rovinami. Předpokladem dobré funkce tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od výstřiku. Oddělení vtokového zbytku se provádí buď při otevírání formy nebo při vyhazování výstřiku. Při konstrukci tunelového vtoku se nesmí zapomínat na přidržovač vtokového kanálu, obvykle kombinovaný s vyhazovačem. Jeho vzdálenost od ústí má být dostatečná (12 až 15 mm). Ostré hrany, které by mohly způsobit zalomení vtokového zbytku ve vtokovém ústí, je třeba zaoblit.

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nepůsobí rušivě.

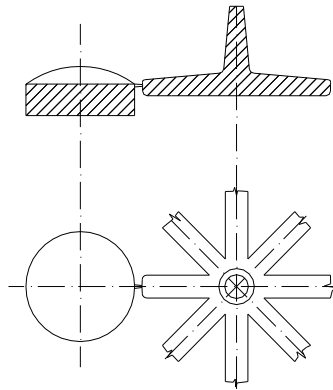


Obr. 11 Tunelový vtok

### ***Boční vtok***

Je také typem se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený, jeho oddělování se řeší zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. Vtokové ústí bývá napojeno na rozváděcí kanál zúžením průtokového průřezu. V tomto místě pak dochází ke zvýšení teploty taveniny.

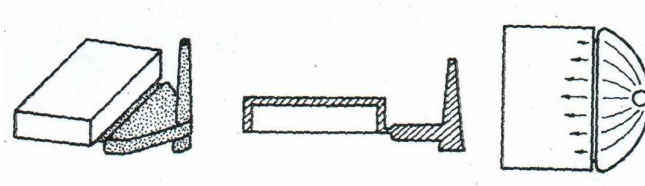




Obr. 12 Boční vtok

### **Filmový vtok**

Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další.



Obr. 13 Filmový vtok

### **Vyhřívané vtokové soustavy (VVS)**

Snaha po úsporách vstřikovaného materiálu a práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívaných vtokových soustav (VVS). Vtokové soustavy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. To umožnila především výroba vysokovýkonných a minimálních topných těles a některých dalších jejich dílů.

Používání VVS narůstá, protože:

- umožňuje automatizaci výroby,
- zkracuje výrobní cyklus,
- snižuje spotřebu plastu,
- odpadá manipulace a regenerace zbytků vtoků a problémy při jejich zpracování.

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. U všech způsobů bezvtokového vstřikování je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku zahloubení, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň. Součástí systému je regulace teploty VVS i formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu.

### *Izolované vtokové soustavy*

Pracují na principu vlastní termoplastické izolace v okrajových vrstvách vtokových kanálů nebo předkomůrky. U tohoto systému tryska nemá vlastní vytápění. Její teplotu udržuje buď větší vrstva taveniny svou tepelně izolační vlastností nebo je ohřívána nepřímo. Lze je rozdělit na dva systémy.

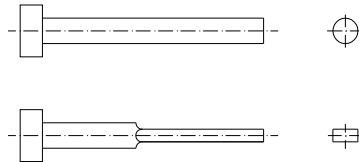
Nejjednodušší a dnes již málo používané jsou takové, kde vtoková vložka s rozváděcími kanály mají až k ústí takový průřez, aby v celém systému nedošlo během zpracovatelského cyklu k úplnému zatuhnutí taveniny. Při prvním vstřiku se naplní zesílené kanály nebo předkomůrka taveninou, která při dostatečně rychlém sledu pracovních cyklů zůstává uprostřed plastickou. Tím, že jen vnější vrstva zatuhne, tvoří tepelnou izolaci proudící tavenině. Vnitřním pásmem pak lze vstřikovat taveninu do dutiny formy. Použití je vhodné u plastů s nízkou teplotou tavení a širokým intervalem zpracování.

U výstřiků s tlustší stěnou, kde vlivem delšího chlazení by mohlo nastat zatuhnutí proudu taveniny v celém průřezu, lze použít předkomůrkového vtoku. Vyznačuje se tím, že komůrka je zvětšena nebo do její dutiny zasahuje nástavec nebo prodloužená tryska z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. Tento materiál je nepřímo ohříván vedením od vytápěné trysky vstřikovacího lisu. Z vnější strany je pak předkomůrka vtoku ochlazována a vrstva ztuhlé taveniny na ní vytváří izolaci. Tavenina pak proudí kolem ohříváního nástavce bez poklesu teploty až do dutiny formy.

Nežádoucí sdílení tepla ze stěny předkomůrky do chlazené tvárnice je možné odizolováním styčných ploch. Vysoká teplota předkomůrky, která tvoří dutinu formy, by mohla vyvolat různé defekty na výstřiku a prodloužení jeho chladícího účinku. Popisované soustavy jsou použitelné jen při krátkém vstřikovacím cyklu (5 až 6 cyklů/min.). [1; 2]

#### 1.2.4 Základní způsoby vyhazování výstřiku z formy

Výstřiky z termoplastů se při ochlazování smršťují a pevně ulpívají na tvarových součástech formy. Při vyhazování masivních výstřiků lze použít běžný způsob vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků Obr. 14.

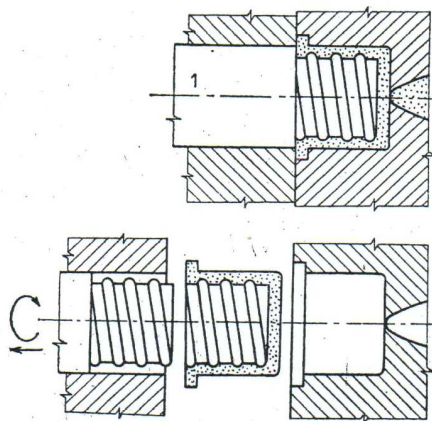


Obr. 14 Vyhazovací kolíky

U tenkostěnných výlisků tento způsob nemůžeme, protože hrozí nebezpečí prolomení stěny výlisku. Bezpečnější je vyhazování pomocí stírací desky, stíracího kroužku Obr. 6, popř. trubkového vyhazováku.

Pro vyhazování hlubokých výstřiků se používá stlačený vzduch. V takovém případě je mezi dno tvárníku a výstřik zaváděn tlakový vzduch, který výstřik po otevření formy vyhodí Obr. 6.

V řadě případů je vzhledem ke komplikovanému tvaru výstřiků nutné volit speciální uspořádání formy, např. čelist'ová forma nebo forma se závitovým jádrem. [1]



Obr. 15 Forma pro vstřikování výstřiku s vnitřním závitem 1 – závitové jádro

#### 1.2.5 Temperování vstřikovacích forem

Formy při vstřikování je nutno chladit, přesněji řečeno temperovat. Teplota taveniny má rozhodující vliv na průběh chlazení. Je jí výrazně ovlivňován stupeň orientace a

vnitřního pnutí ve výstřiku. Formy se běžně temperují vodou, která protéká chladicími kanály vytvořenými v deskách formy. Má-li být udržena přibližně konstantní teplota stěny formy, je nutno dodržovat tyto zásady:

- a) je třeba volit vhodnou konstrukci temperačních kanálů ve formě;
- b) je třeba udržet pravidelný cyklus vstřikování;
- c) je nutné měřit skutečnou teplotu stěn formy instalovanými čidly;
- d) formu je třeba nepřímou temperovat temperačními přístroji.

Temperační přístroje musí pracovat s dostatečným přetlakem a průtokem cirkulující vody a musí zaručit stabilní teplotu vody. [1]

### 1.2.6 Hlediska pro výběr materiálu formy a jejich vlastnosti

Formy na tváření plastů sestavené z funkčních a pomocných dílů jsou většinou výrobně pracně, a proto i drahé nástroje. Přáním jejich uživatele proto je, aby byly co nejlevnější, dosahovaly požadovanou kvalitu a co největší životnost. Až na výjimky se vyrábějí z ušlechtilých ocelí. Pro hospodárný výběr materiálů je nezbytné znát:

- provozní namáhání nástrojů,
- předpokládanou technologii jejich výroby včetně možné renovace,
- ekonomické a organizační aspekty jejich výroby a využití.

K provozním podmínkám namáhání nástrojů řadíme velikost tlaku, tahu, míru otěru a též výši teploty zpracovaného plastu, včetně jeho chemických účinků na funkční plochy.

Tyto jsou ovlivňovány:

- druhem zpracovávaného plastu,
- velikostí výrobku, jeho členitostí a přesností,
- teplotou a tlakem lisování nebo vstřikování plastu.

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

Dále i způsob výroby a tepelné zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit.

Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání, vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi, atd. Z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistou oceli.

Některé materiály, především vlivem ekonomických aspektů při jejich výrobě se vyznačují kolísavou jakostí dodávaných materiálů, hlavně tuzemských. Zvolená běžná jakost tak v některých případech nevyhoví (dezénované, transparentní plochy,...) a musí se využít ocele vakuově nebo elektrostruskově přetavované (nákladněji vyráběné).

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. [1]

Tab. II Doporučené oceli na funkční a pomocné části forem

Části forem a lisů	Oceli nástrojové			Oceli nástrojové a konstrukční			Vlastnosti		
	Uhlíkové s malou prokalitelností	Legované k zušlechťování s malou prokalitelností	Legované k zušlechťování s velkou prokalitelností	K cementování	K nitrídování	Anti-korozní	Tvrdost [HRC]	Zušlechťeno [Mpa]	Pozn.
Tvárnice a tvárníky forem, vložky nebo jádra	19191	19312	19436	19015	19550	19435	55-57		
	19083	19314	19550	19486	14340	17024			
	12060	19452	19573	19487	15340	17029			
			19614	12010	19436				
			19665	14220	19573				
			19902	14221					
Vtokové vložky, písky a komory		19312	19573	19486	14340		56-58		
		19314	19581	19487	15340				
Vyhazovače	19191	19312					55-57		
		19421							
		19452							
		19732							
Vodící	19083	19312		14220			60-62		Cement.

sloupky a pouzdra				19486					do hl. 0,6-1
	19191	19314		19487					
Desky rámu a objímky	19083	19550		11373			50-54		
				12060					
		19663		11523					
		15260		11600					
Dorazy	19083	19312		12060			50-54		
		19550							
Opěrné desky, vložky	12050						50-54		
	12060			12060					
	12061			12061					
Pružiny šroubové	12090						43-48	1400-1620	Kaleno
	12093								
Pružiny listové	12090						43-48	1400-1680	
	13180								
Pružiny talířové	12090						45-46	1480-1520	Kaleno
	15260								

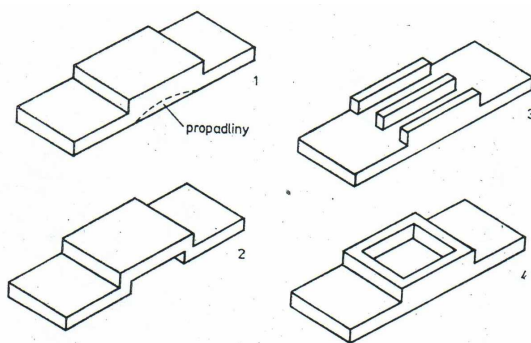
### 1.3 Vzhled a provedení výstřiků

Vzhled a provedení výstřiku jsou určeny nejen jeho budoucím použitím, ale i způsobem přípravy. Velký význam zde má druh použitého plastu, typ použitého vstřikovacího stroje a konečně konstrukční možnosti formy.

#### 1.3.1 Hlavní zásady při navrhování výstřiku

- a) tloušťka stěny musí být pokud možno stejná. Nahromadění materiálu, popř. náhlé přechody v tloušťce stěny ruší tok taveniny a vyvolávají kroucení a propadliny ve výlisku Obr. 16. Na tomto obrázku jsou i znázorněna úspěšná řešení, která odstraňují tyto vady;
- b) tloušťka stěny závisí na délce toku. Na Obr. 17 je uveden vztah mezi poměrem délky toku a tloušťky stěny a tloušťkou stěny pro různé plasty. Nejmenší tloušťky stěny bývá 0,4 mm a největší 10 až 20 mm;

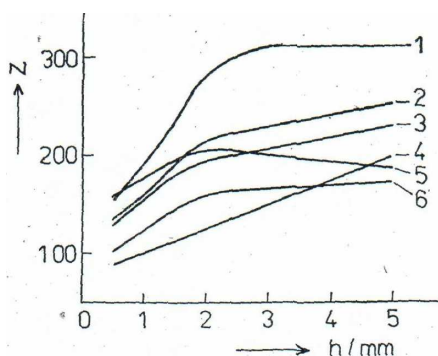
- c) tenkostěnné výstřiky je vhodné vyztužit žebra. Žebra musí být tenčí než stěny (faktor 0,5 až 0,8), čímž se zabrání vzniku propadlých míst ve stěně proti žebro Obr. 18 případ 1. Možné způsoby zakrytí propadlin ukazují případy 2 a 3;
- d) je vhodné v zájmu zvýšené tuhosti na okraji zesílit stěny nádoby vhodným okrajem Obr. 19;
- e) zcela rovné stěny se většinou deformují. Je vhodnější navrhovat stěny mírně prohnuté nebo členěné Obr. 20;
- f) pro snadné vyjmutí výstřiků z formy je vhodné, aby jejich stěny měly úkos. Pro tvrdé křehké materiály (PS) bývá úkos v případě malých výstřiků  $1,5^\circ$ , pro měkkí, houževnaté (PE)  $0,5^\circ$ , pro velké výstřiky bývá až  $3^\circ$ ;
- g) je třeba se vyvarovat navrhování výstřiku s ostrými vnějšími a vnitřními hranami. Hrany zakulacujeme.



Obr. 16 Možnosti vyrovnávání různých tlouštěk výstřiků

1 – propadliny vznikající v tlusté části výstřiku

2, 3, 4 – možnost vyrovnání různých tlouštěk stěn



Obr. 17 Závislost poměru toková dráha-tloušťka stěny  $z$  na tloušťce stěny  $h$

1 – dobře tekoucí PS,

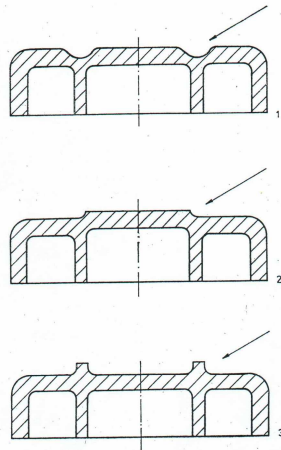
2 – nízkotlaký, dobře tekoucí PE,

3 – všeobecný typ POM,

4 - dobře tekoucí PVC,

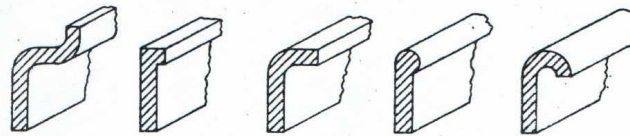
5 – všeobecný, dobře tekoucí PP,

6 – vysokotlaký, dobře tekoucí PE.

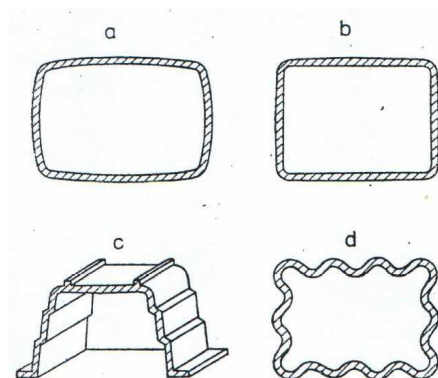


Obr. 18 Možnosti zakrytí propadlin ve stěně výstřiku vzniklých vlivem protilehlých žeber

- 1 – žlábkem
- 2 – stupněm
- 3 - žebrem



Obr. 19 Různé možnosti zesílení okrajů výstřiků



Obr. 20 Způsoby, jimiž lze zamezit prohnutí stěn výstřiku dovnitř

- a) prohnutí stěny
- b) zesílení středu stěn
- c) stupňovité stěny
- d) vlnité stěny

[1]

### 1.3.2 Materiály pro vstřikování

Termín polymer poukazuje na mnoho merů nebo monomerů. Tyto monomery jsou skládány různými způsoby, aby vytvořili dlouhý molekulární řetězec nebo polymer. Sousedící monomery uvnitř polymerního řetězce jsou drženy pospolu silnou kovalentní vazbou, která vyplývá z jejich sdílení elektronů. Daný polymerní řetězec může obsahovat stovky monomerních jednotek spojených různými způsoby. Tab. III ukazuje klasifikaci běžných termoplastických polymerů dle struktury. Tři hlavní strukturální kategorie polymerů jsou popsány dále.



Lineární polymery – v těchto polymerech jsou molekuly spojeny společně v řetězci s malým nebo žádným větvením. Lineární polymery mohou také obsahovat náhodné kopolymery a blokové polymery. Náhodný kopolymer by mohl být tvořen ze dvou nebo více monomerních typů, které by se spojily v náhodné uspořádání.

Větvené polymery – mají boční řetězce, které vytváří sterické efekty. Toto může často způsobit sníženou hustotu. Nízko nebo středně hustotní polyethylen je polyethylen, který má boční větve. Tyto boční větve vytváří sterické zábrany co brání sousedním polymerním řetězcům od vzájemného přibližování, mající za následek sníženou hustotu a nižší pevnost.

Síťované polymery – tyto polymery mohou obsahovat miliony metrů, ve kterých se kovalentní vazby vyskytovaly podél nebo mezi polymerními řetězci. Výsledkem může být produkt vyrobený z jediné polymerní molekuly. [3]

Tab. III Klasifikace běžných termoplastických polymerů dle struktury

Amorfní	Semikrystalické	Amorfní nebo semikrystalické
ABS	Acetal	Akrylonitril
Akrylát	Celulóza	Polyvinylidenfluorid
Polyamid-imid	Polyamid	Polyethylentereftalát
Polykarbonát	Polybutylen	Polyfenylénsulfid
Polyether-imid	Tereftalát	Polyvinylidenchlorid
Polystyrén	Polyetheretherketon	Polyimid
Polysulfon	Polyethylen	
Polyethersulfon	Polypropylen	
Polyvinylchlorid	Polytetrafluorethylen	
Polychlorotrifluorethylen	Ionomer	
Polyfenylénoxid, modifikován	LCP	
	Polyakryletherketon	
	Polyftalátimid	

### 1.3.3 Kvalita povrchu vstřikovaných dílců

Vedle požadovaných rozměrů je význačným znakem součástí z plastu jakost jejich povrchů. Vhodnou úpravou např. dezénem, barevností apod. se zvýší nejen estetický vzhled, ale i jejich účelové využití. Vyráběné součásti pak mají vhodný barevný odstín nebo jsou transparentní, případně se u nich dosahuje různé hladkosti a lesku povrchu apod. Jakost povrchu je obrazem povrchu dutiny formy.

Plochy mohou být:

- matné, ty jsou výrobně nejjednodušší, a proto ekonomicky nejvhodnější. Jsou tak výhodné v tom, že zakryjí některé vzhledové nedostatky při vstřikování, jako jsou studené spoje, stopy po vtoku apod.
- lesklé jsou nejnákladnější a nejnáročnější operace opracování dutiny formy, a tím i pro docílení jakosti povrchu výstřiku. Stupeň lesku se předepisuje (vysoký, technický,...). Na lesklém povrchu jsou zvýrazněny veškeré nedostatky výroby formy i výroby výstřiků. U většiny plněných plastů však nelze docílit lesklého povrchu součástí.
- Dezénované plochy jsou také častou úpravou části nebo celého povrchu součástí. Dosáhne se tím zvýraznění některé její oblasti, snadnější manipulace, snížení průhlednosti apod. Tak jako u matných ploch zakryjí některé nedostatky a nepříznivé vzhledové vlastnosti plastů. Tvar dezénu může být jakýkoliv a zhotoven na libovolném místě součásti, je jen omezen možností jeho zhotovení ve formě. Charakter dezénu určuje výrobní technologie. Každá technologie má obvykle vzorník, podle kterého se provedení určí. Jen výjimečně se navrhuje speciální dezén, který se pak obvykle vyrábí ve formě fotochemickou cestou. Při volbě dezénu u bočních stěn se však nesmí zapomínat na nutnost zvětšení úkosů. Při hloubce dezénu 0,02mm a výšce bočních stěn 50 mm je nutný úkos min. 1°C.
- Barevnost povrchu je jednou z vlastností, která ovlivňuje dojem o dané součásti. Její volba je dána druhem použitého plastu a možného barevného odstínu tohoto materiálu. Šíře barevnosti je dána vzorníkem, podle kterého je třeba se řídit. Při speciálním barevném požadavku je třeba materiál barevně upravit. Pokud ani tento způsob nevyhoví, přistoupí se k úpravě povrchu nátěrem. [2]

## **2 JAKOST**

### **2.1 Jakost povrchu**

Jakost povrchu je souhrn geometrických, fyzikálních a chemických vlastností skutečného povrchu posuzované plochy, tj. povrchu, který odděluje těleso od okolního prostředí. Závisí na ní mnohé funkční vlastnosti strojů, životnost, popřípadě pevnost jednotlivých součástí, vzhled i výrobní náklady. Při sériové a hromadné výrobě je dodržení stejné jakosti povrchu funkčních ploch jednou z podmínek úplné zaměnitelnosti součástí.

Stav povrchu jednotlivých ploch hotové součásti záleží jednak na způsobu zpracování materiálu na polotovár a na způsobu obrobení uvažované plochy. Podle toho lze na součástech rozlišit plochy obrobené a neobrobené, s povrchovou úpravou nebo bez ní.

Jakost povrchu má vliv na přesnost a trvanlivost stroje. Hrubší a nerovnoměrný obrobený povrch se při chodu stroje časem vyhladí. Při posuzování jakosti povrchu strojových součástek je třeba rozlišovat druh povrchu, vlnitost a drsnost povrchu.

Druh povrchu může být:

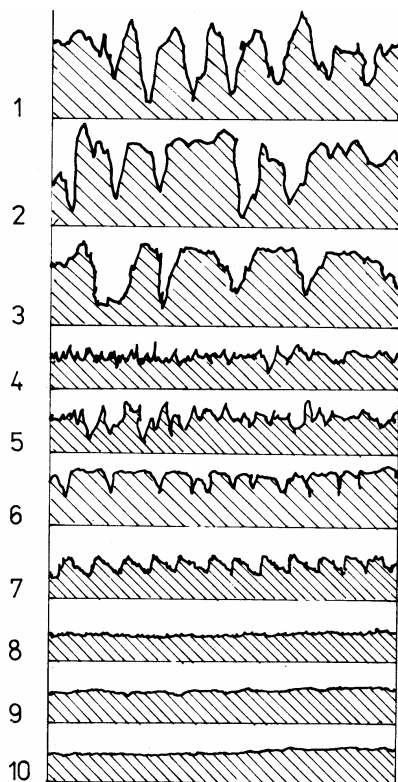
- a) neopracovaný – součástky odlité, kované, lisované, válcované
- b) opracovaný – povrch je pilovaný, soustružený, hoblovaný, frézovaný, škrabaný [4]

### **2.2 Předepisování kvality povrchu součástí**

Rozvoj techniky, inovace výrobní techniky a technologických zařízení zvyšuje nároky na provedení součástí nejen z hlediska výkonu, přesnosti, účinnosti, životnosti a spolehlivosti, ale také z hlediska estetického provedení, úprav povrchu a z hlediska kvality charakterizované geometrickými parametry, drsností, povrchovým pnutím případně mechanickým zpracováním. V sériové a hromadné výrobě vyžadujeme vzájemnou vyměnitelnost součástí. Jedním z předpokladů vyměnitelnosti je stále stejná jakost povrchu. K tomu, abychom dosahovali stejné jakosti povrchu je třeba, aby veličiny určující povrchové vlastnosti byly předepisovány kvantitativně a mohly být objektivně měřitelné. Přitom kvalitu výrazně ovlivňuje technologie dokončování povrchů, jak to ukazuje Obr. 21.

S postupným zvyšováním kvality snižuje se drsnost, zvyšuje se nosný podíl obrobenej plochy, ale také se zvyšují náklady na obrábění.

Žádnou, zatím známou technologii nelze dosáhnout dokonalou hladkost a rovinnost plochy. Přitom míra drsnosti plochy značně ovlivňuje velikost koeficientu tření a tím i intenzitu opotřebování ploch; zvyšování se nosného podílu plochy ovlivňuje životnost. Kvalita povrchů má značný vliv i na pevnostní charakteristiky, zejména při dynamickém zatěžování. Volbu drsnosti povrchu musíme provádět proto z hlediska budoucích provozních požadavků na součást a z hlediska ekonomicky přijatelných nákladů.



Obr. 21 Drsnost povrchu základních způsobů obrábění

1 – soustružení

2 – vrtání

3 – frézování

4 – broušení

5 – vystružení

6 – protahování

7 – soustružení diamantem

8 – honování

9 – lapování

10 - superfinišování

[5]

### 2.2.1 Drsnost

Drsností povrchu se nazývá část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností. Na obrobenej povrchu jsou tyto nerovnosti stopami, které zanechává řezný nástroj, volné brusivo či jiskrový výboj.

Na neobrobenej plochách zůstávají podle způsobu zpracování – otisk nerovností formy, kovadel, zápusky válců, průvlaků atd., okují a dalších nečistot.

Vady povrchu způsobené náhodným poškozením materiálu (póry, lunkry, trhliny) se do drsnosti povrchu nezahrnují.

Drsnost povrchu významně ovlivňuje funkční vlastnosti ploch, a to jak ploch stykových, tvořících uložení nebo dosedajících na jinou plochu, tak i některých ploch volných.

U stykových ploch závisí na drsnosti povrchu ztráty tření, odolnosti proti opotřebení a životnost součástí, jakost mazání, doba záběhu, pevnosti a tuhost jejich spojení aj.

U volných ploch mohou na ní záviset fyzikální a chemické děje při provozu strojů jako únava materiálu, obtékání tekutinami, přestup tepla, odraz světla, koroze aj. Drsnost povrchu do jisté míry podmiňuje dosažení určité přesnosti rozměru a tvaru ploch, a má nezanedbatelný vliv na výrobní náklady.

Sledování, hodnocení a využívání mikrogeometrie povrchu pro zvyšování jakosti a efektivnosti strojních součástí je jedním ze základních úkolů, které si vynutil řešení problémů kvantitativního hodnocení vlastností funkčních ploch.

Měření jakosti, zvláště pak měření drsnosti povrchu zaznamenalo výrazný pokrok. Rozvíjí se měřicí technika, zavádějí se nové parametry, nové normy.

Vzrostly požadavky na:

- hospodárnost měření
- větší univerzálnost přístrojů
- větší možnosti při měření
- možnost vyjadřovat vliv geometrie povrchu na funkční vlastnosti
- přesnější, spolehlivější měření a lepší ověřování přesnosti měření

Hlavní pozornost při výběru charakteristik drsnosti povrchu je zaměřena na povrchovou texturu funkční plochy. Je tomu tak proto, aby bylo dosaženo lepšího řízení procesů i optimalizace při vytváření nových povrchů. Jejich výhoda spočívá v tom, že jsou použitelné pro všechny druhy praktických aplikací a poskytují dostatečnou klasifikaci pro většinu možných použití.

Moderní konstrukce jsou z velké části namáhány dynamicky. Proto je řada konstrukcí limitována únavovými činiteli, vlastnostmi materiálu, jeho strukturou apod. Příklady z provozů a analýza lomů dynamicky namáhaných součástí ukazují, že únavový lom vzniká obvykle na povrchu nebo těsně pod povrchem součástí.

Vztah mezi funkcí a jakostí povrchu plochy, která je vytvořena jistou technologickou metodou, je možné hodnotit ze dvou hledisek.

Prvním je prostorové uspořádání (textura, morfologie) povrchu, které je vyjadřováno především jeho drsností.

Druhým hlediskem jsou fyzikální a chemické vlastnosti povrchové vrstvy součástí.

Jejich ovlivnění metodami výroby ve vztahu k funkci lze vyjádřit pojmem integrita povrchu.

Integrita povrchu tak v sobě zahrnuje podmínky, za kterých funkčních povrch vzniká, účinky technologických metod a jejich vliv na vlastnosti nově vytvořené plochy, a dává je do vztahu s funkčními požadavky na výrobek.

Během výroby mohou v důsledku výrobního procesu vzniknout na opracované ploše následující změny:

- povrch je plasticky deformován v důsledku mechanického a tepelného účinku
- dochází k rekrystalizaci, resp. k fázových transformacím
- mění se tvrdost povrchové vrstvy, vznikají mikrotrhliny a makrotrhliny, vznikají zbytková napětí v povrchové vrstvě
- dochází ke změnám vlastností povrchové vrstvy v důsledku chemické absorpce apod.

Tyto změny vznikají nejen při běžných hrubovacích operacích, ale i při operacích dokončovacích a mohou být možnými příčinami poruch, které potom snižují spolehlivost strojních součástí.

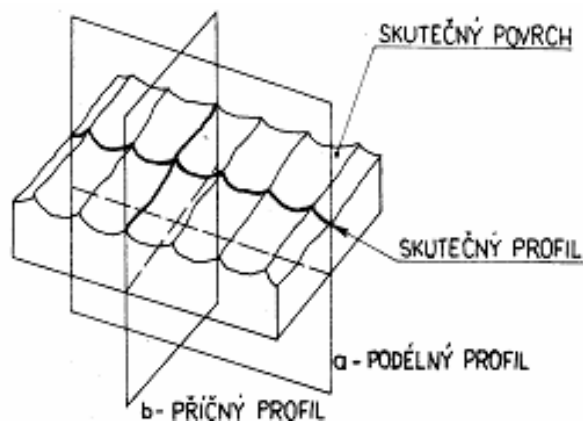
Podstatný vliv na jakost funkčních ploch strojních součástí má mikrogeometrie (drsnost) povrchu. Její význam ještě více vynikne, je-li uvažována v souhrnu vlastností zabezpečujících vhodnost výrobku pro danou funkci.

Drsnost povrchu má proto své uplatnění jako činitel jakosti, a to ve všech stádiích vědeckého zkoumání, v konstrukci i technologické projekci i přípravě výroby.

Funkce každé součásti je tedy úzce spojena s povrchem obrobene plochy. To proto, že funkční vlastnosti povrchu jsou do značné míry určovány jeho geometrickými parametry. Přesnost dodržení předepsaných geometrických parametrů je dána souhrnem jejich odchylek od ideální geometrie. [6]

### 2.2.2 Posuzování drsnosti povrchu

Drsností povrchu nazýváme souhrn jemných nerovností (výstupků a prohlubní), které vznikají při každém zpracovávání materiálu. Na obrobeném povrchu to jsou nejčastěji poměrně pravidelně a směrově uspořádané stopy (rýhy) zanechávané řezným nástrojem, Obr. 21. U některých způsobů obrábění, např. soustružení, frézování, hoblování není drsnost povrchu stejná ve všech směrech. Proto rozlišujeme drsnost příčnou, tj. drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb Obr. 22 a drsnost podélnou, tj. drsnost ve směru řezného pohybu.



Obr. 22 Příčná a podélná drsnost povrchu

Neobrobený povrch součásti nese některé typické stopy zpracování (stopy zanechané pískem odlévací formy, drsnými stěnami zápusky, válců, průvleků apod.). Kromě těchto nerovností vznikají zejména na obrobených plochách také rozsáhlejší, periodicky se opakující nerovnosti, které se překrývají s drsností a nazývají se vlnitostí povrchu.

Vlnitost povrchu obráběných ploch je způsobena příliš velkým nebo proměnným tlakem řezného nástroje, nedostatečnou tuhostí nosných částí obráběcího stroje, chvěním

soustavy, stroj – nástroj – obrobek a vnitřním pnutím a deformacemi obrobku. Mnohem snáze se dosáhne u obrobků povrchu o vysokém stupni hladkosti než stejnoměrnosti (vlnitosti).

Stupeň drsnosti plochy se určuje buď porovnáváním nebo změřením profilu, který vznikne vhodně vedeným rovinným řezem (Obr. 22) přístroji založenými na optických nebo elektrických principech. Při určování stupně drsnosti porovnáváním, srovnáme obrobek s plochou, jejíž stupeň drsnosti známe nebo se speciálními vzorky, uspořádanými do vzorkovnice. Porovnává se buď přímo okem a hmatem nebo se použije mikroskopu. Neoptimálnější výsledky dává hodnocení nehtem. [5]

Druh obrábění		Drsnost $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )											
		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Soustružení	hrubé	x	x	x									
	polohrubé				x	x	x						
	jemné							x	x				
Vývrtávání	hrubé	x	x	x									
	polohrubé			x	x	x							
	jemné							x	x				
Vrtání				x	x	x							
Vyhrubování						x	x	x					
Obrobena hvězdou						x	x	x					
Vystružování	hladké							x	x				
	velmi hladké									x	x		
Válcové frézování	hrubé	x	x	x									
	jemné				x	x	x	x					
Čelní frézování	hrubé	x	x	x									
	polohrubé				x	x	x						
	jemné							x	x				
Hoblování		x	x	x	x	x	x						
Obrázení					x	x	x						
Obrábění ozubení				x	x	x	x	x					
Přetahování						x	x	x	x	x			
Zámečnické	pilování			x	x	x	x	x					



obrábění	škrabání	X	X	X	X				
	leštění					X	X	X	X
Broušení rovinných a rotač. ploch	hrubé	X	X						
	polohrubé			X	X	X			
	jemné					X	X		
Bezhruté broušení			X	X	X	X			
Honování						X	X	X	X

Tab. IV Drsnost povrchu dosahovaná různými metodami obrábění

[7]

### 2.3 Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu

Požadavky na drsnost povrchu se vyjadřují charakteristikou (veličinou) drsnosti povrchu (buď jednou, nebo několika) podle ČSN EN ISO 4287, číselnou hodnotou příslušné veličiny a základní délkou, na které se veličina určuje.

Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu jsou následující:

$R_a$  – střední aritmetická úchylka profilu,

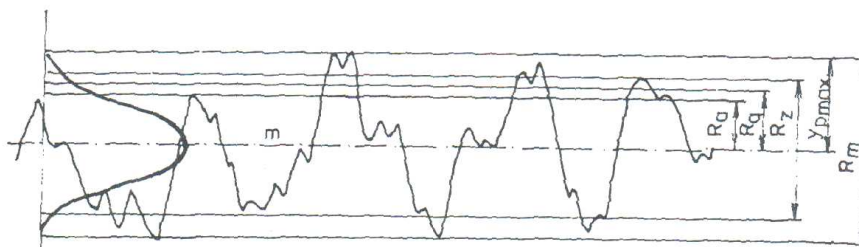
$R_z$  – výška nerovnosti profilu z deseti bodů,

$R_m$  – největší výška nerovností profilu,

$S_m$  – střední rozteč nerovností profilu,

S - střední rozteč místních výstupků profilu.

Definice jednotlivých charakteristik, možnosti jejich využití k popisu profilu, resp. nedostatky jsou uvedeny v následujících podkapitolách.



Obr. 23 Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu

### 2.3.1 Střední aritmetická úchylka profilu $R_a$

Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  je přednostní výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad \text{anebo přibližně} \quad R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(x_i)|$$

kde :  $x$  – úsečka profilu odečítaná na střední čáře

$y(x)$  – funkce popisující profil

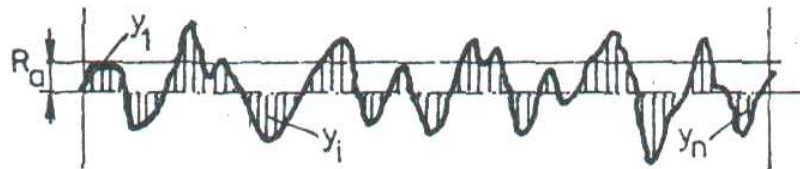
$y_i$  – souřadnice  $n$  bodů profilu povrchu v mezích základní délky;

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

$l$  – základní délka

$n$  – počet bodů profilu povrchu na základní délce

Geometricky se tento parametr interpretuje výškou obdélníku sestrojeného na střední čáře a o stejné ploše jako nerovnosti profilu, uzavřené profilem od střední čáry (Obr.24).



Obr. 24 Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$

Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  nemůže umožnit představu o tom, jak povrch vytvořený technologickou operací vlastně vypadá. Tato charakteristika je však základní pro popis mikrogeometrie povrchu, je široce užívána a obhajována, protože hodnocení drsnosti povrchu podle  $R_a$  je poměrně laciné, ať už s ohledem na pořizovací cenu nutného měřicího přístroje nebo na snadnost měření. [7; 8]

### 2.3.2 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů $R_z$

Výška nerovnosti profilu z deseti bodů  $R_z$  je definována jako střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky (Obr. 25):

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}$$

kde :  $y_{pmi}$  – výška  $i$ -tého nejvyššího výstupku profilu

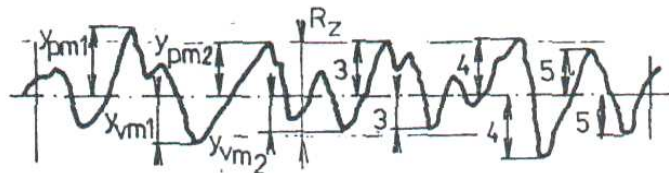
$y_{vmi}$  – hloubka  $i$ -té nejvyšší prohlubně profilu

V některých případech mohou vzniknout potíže s určením  $R_z$ , protože na základní délce je méně, než pět výstupků nebo prohlubní profilu, popř. není-li určování  $R_z$  hospodárné. V těchto případech se určí střední hodnota :

$$R_{m5} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{mi}$$

kde :  $R_{mi}$  – hodnoty měřené v  $i$  základních délkách

Pět základních délek, na nichž se  $R_{m5}$  určuje, nemusí být zařazeno za sebou. Zjištěná hodnota  $R_{m5}$  nesmí být větší, než předepsaná hodnota  $R_z$ .



Obr. 25 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů  $R_z$

Charakteristika  $R_z$  je zvláště vhodná pro hodnocení hrubých povrchů, například tam, kde není možno tyto povrchy pro jejich hrubost zhodnotit dotykovými profilometry, u nichž není možno nastavit příslušnou hodnotu mezní rozteče nerovnosti. [7; 8]

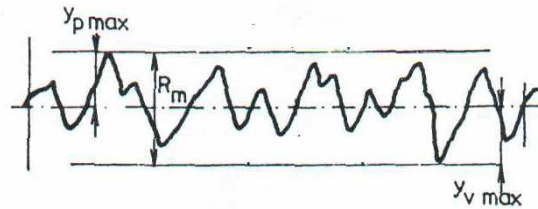
### 2.3.3 Největší výška nerovností profilu $R_m$

Největší výška nerovností profilu  $R_m$  je výšková charakteristika drsnosti povrchu, určená vzdáleností mezi čarou výstupků profilu a čarou prohlubní profilu v rozsahu základní délky (Obr. 26), tedy:

$$R_m = y_{p \max} + y_{v \max}$$

kde :  $y_{p\max}$  – výška nejvyššího výstupku profilu

$y_{v\max}$  – hloubka nejvyšší prohlubně profilu



Obr. 26 Největší výška nerovností profilu  $R_m$

Největší výška nerovností  $R_m$  udává pouze největší hloubku profilu kontrolované plochy v rozsahu základní délky. Je využívána většinou pouze jako doplňkové měřítko drsnosti povrchu. Jako míra drsnosti povrchu má u funkčních povrchů poměrně malý význam, protože v řadě případů nevyjádří správně drsnost povrchu. [7; 8]

#### 2.3.4 Střední rozteč nerovností profilu $S_m$

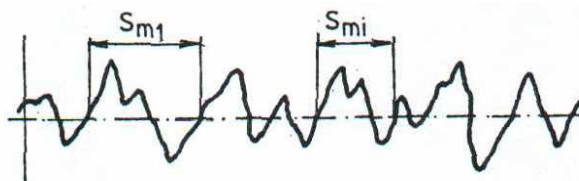
Střední rozteč nerovností profilu  $S_m$  je charakteristikou drsnosti povrchu v podélném směru povrchu. Určuje se jako střední hodnota roztečí nerovností profilu  $S_{mi}$

rozsahu základní délky (Obr. 27): 
$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} = \frac{2l_1}{k-1}$$

kde:  $l_1$  – délka úseku na střední čáře profilu ( $l_1 > 1$ )

$k$  – počet průsečíků křivky profilu se střední čarou na délce měřeného úseku

$n$  – počet roztečí na střední čáře profilu



Obr. 27 Střední rozteč nerovností profilu  $S_m$

Střední rozteč nerovností profilu  $S_m$  slouží pro délkové (frekvenční) označení drsnosti povrchu, zvláště pro zhodnocení základní periodické složky v profilu povrchu. U soustružených povrchů se hodnota střední rozteče nerovností profilu rovná hodnotě posuvu. [7; 8]

### 2.3.5 Střední rozteč místních výstupků profilu S

Střední rozteč místních výstupků profilu S je charakteristikou povrchu v podélném směru profilu. Určuje se jako střední hodnota roztečí místních výstupků, ležící v rozsahu základní délky (Obr. 28):

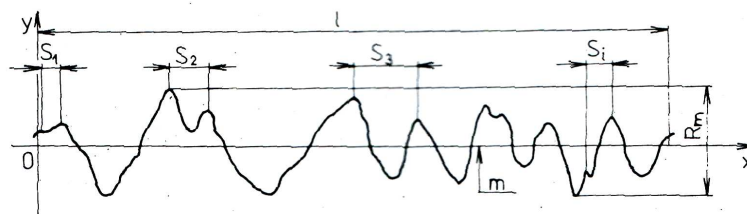
$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = \frac{1}{N-1}$$

kde:  $S_i$  – rozteč místních výstupků

$n$  – počet roztečí na střední čáře profilu

$N$  – počet nejvyšších bodů místních výstupků profilu v rozsahu základní délky

$l$  – základní délka



Obr. 28 Střední rozteč místních výstupků profilu S

Podobně jako střední rozteč nerovností profilu slouží i střední rozteč místních výstupků pro délkové (frekvenční) hodnocení drsnosti povrchu zvláště pro zhodnocení náhodné složky v profilu povrchu. [7; 8]

## 2.4 Metody měření drsnosti povrchu

### 2.4.1 Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

Dotykové profiloměry jsou nejrozšířenějšími a nejdokonalejšími přístroji pro měření drsnosti povrchu. Patří do skupiny přístrojů s postupnou transformací profilu. Po měření povrchu se posouvá rovnoměrnou rychlostí měřící dotek s velmi malým zaoblením hrotu, případně se posouvá kontrolovaná plocha pod měřícím hrotem. Změny výškové polohy měřícího hrotu, způsobené nerovnostmi povrchu, se mnohonásobně zvětšují některým

z fyzikálních principů. Tyto změny se buď zaznamenávají ve tvaru profilogramů, nebo se u elektrických metod převádějí na analogové změny napětí nebo indukčnosti. Změny elektrického signálu již umožňují snadné vyhodnocení jedné nebo libovolného počtu charakteristik drsnosti povrchu, definovaný v normách.

**Profilograf** – dotykový přístroj, u něhož je výsledkem měření grafický záznam profilu.

**Profilometr** – přístroj vyhodnocujících automaticky některé z normalizovaných charakteristik drsnosti povrchu.

**Profiloměr** – jednak kombinovaný přístroj profilometr-profilograf a jednak obecně dotykový přístroj na měření drsnosti povrchu.

### **Mechanicko-optické dotykové profilografy**

Měřicí hrot naklání při změně polohy přes pákový převod zrcátka a tím vychyluje odražený světelný paprsek, který vytváří na fotografickém materiálu zvětšený obraz profilu povrchu. Jedním z nejznámějších přístrojů tohoto druhu je Leitz-Forsterův profilograf.

Přístroj pracuje cyklickým krokovým způsobem. Safírový hrot je zdvihán elektromagnetem při frekvenci 50 až 100 Hz, synchronizaci posuvu stolku s měřenou součástí a posuv fotografického filmu řídí elektrický motorek.

### **Dotykové profiloměry s mechanicko-elektrickým převodem**

Tyto profiloměry patří dnes mezi nejrozšířenější přístroje. Jsou velmi přesné, mají velkou citlivost, umožňují vyhodnocování různých normalizovaných charakteristik drsnosti povrchu. [6]

### 2.4.2 Bezdotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

Bezdotykový způsob měření je považován za důležitý pro měření drsnosti rychle se pohybujících povrchů, např. při obrábění na obráběcích strojích a pro využití u adaptivních systémů obrábění, pro měření drsnosti povrchu součástí z pružných materiálů apod.

#### Metoda světelného řezu

Ze zdroje světla procházejí paprsky zeleným filtrem a kondenzorem. Rovnoběžný svazek paprsků je omezen štěrbinou do tvaru velmi tenké světelné roviny a je promítán soustavou čoček objektivu pod úhlem  $45^\circ$  na měřený povrch. Průnikem světelné roviny nerovnostmi povrchu vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy, který se pozoruje druhým mikroskopem se stejnými optickými vlastnostmi, jaké má osvětlovací mikroskop.

Měřicí okulár má skleněnou destičku s nitkovým křížem a pomocnou stupnicí s milimetrovým dělením, orientovanou k nitkovému kříži pod úhlem  $45^\circ$ . Natačením měřicího okuláru lze nastavit různou polohu nitkového kříže k proměřovanému profilu. Vzhledem k tomu, že hloubka ostroty mikroskopů je malá, zaostřuje se pouze jedna strana obrazu světelné štěrbinu a na tomto profilu se nitkovým křížem a mikrometrickým šroubem měřicího okuláru měří výšky nerovností povrchu.

#### Interferenční metody měření drsnosti povrchu

Při měření drsnosti jemně obrobených povrchů, např. broušených, superfinišovaných, leštěných apod., jsou profily zjištěné i nejdokonalejšími profiloměry vždy do určité míry zkreslené technicky použitelným zaoblením měřících hrotů. V takových případech lze nejpřesněji měřit nerovnosti povrchu menší než  $1 \mu\text{m}$  jen optickými interferenčními metodami. Nejmenší výška nerovností povrchu měřitelná optickými interferenčními metodami je omezena vlnovou délkou použitého monochromatického světla, charakterem nerovností měřeného povrchu, drsností porovnávací plochy. Základní podmínkou pro interferenční měření je malá drsnost povrchu a jeho dostatečná odrazivost světelných paprsků.

#### Použití plastických otisků pro měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu dotykovými profiloměry i optickými měřicími metodami je často omezeno nebo znemožněno celou řadou důvodů, např. hmotností a rozměry sou-

části, nepřístupností ploch pro metody, které jsou k dispozici, obrobek je upnut na stroji a mají být na něm provedeny další operace atd. Byl proto hledán nepřímý způsob stanovení drsnosti povrchu strojních součástí prostřednictvím negativních otisků nerovností.

Otisky reliéfů musí být: věrné až do zlomku mikrometru, dostatečně silné, aby se po oddělení od povrchu nedeformovaly, dostatečně tvrdé, aby měřící hrot alespoň při jednom měření nepoškodil jemnou strukturu otisknutých nerovností. [6]

### 2.4.3 Snímače

Základní princip všech mechanicko-elektrických profiloměrů je v podstatě stejný. Změny polohy měřícího hrotu převádí snímač (měnič) na analogové změny elektrického napětí nebo indukčnosti. Podle konstrukčního principu snímačů se rozdělují el. profiloměry do dvou základních skupin.

#### **Generátorový typ**

Pouze při pohybu měřícího dotek vzniká na výstupních vodičích snímače el. napětí úměrné rychlosti pohybu hrotu. Měřené hodnoty charakteristik drsnosti povrchu (např.  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$ ) se obvykle odhadují ze střední polohy výchylek analogového ukazatele. Do skupiny generátorového typu patří snímače elektromagnetické a piezoelektrické.

U snímačů generátorového typu sleduje páka pouze rychlé pohyby měřícího hrotu a obě pružiny tlumiče působí jako tuhá spojka. Při pomalých změnách polohy hrotu, např. na vlnitém povrchu a na plochách s rozsáhlejšími výstupky nebo prohlubněmi, by měly obě pružiny tlumiče včas vyrovnávat změny tlaku a tlačit stále rameno páky do střední polohy. Záznam profilu bude v takového případě zkreslený.

#### **Impedační typ**

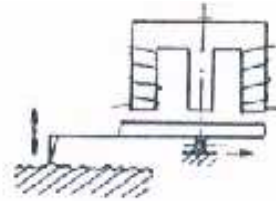
Změna polohy měřícího hrotu způsobuje analogovou změnu impedance el. obvodu. Tyto snímače jsou dnes používány nejčastěji a jsou nejdokonalejší. Zvětšený tvar měřeného profilu je úměrný změnám polohy měřícího hrotu. Do skupiny impedančního typu patří indukční a kapacitní snímače.

#### **Elektromagnetické snímače**



Magnetický obvod je tvořen permanentním magnetem a pólovými nástavci.

Ve vzduchové mezeře pólových nástavců kmitá železná kotva vedená planžetovým přímo-  
vodem, vychylovaná měřicím hrotem. Pohyb kotvy způsobuje v pevné cívce změnu mag-  
netického toku. Tím se indukuje v závitěch cívky elektrické napětí, úměrné změně rychlos-  
ti pochybu měřicího hrotu. Výhodou je malá hmotnost pohyblivé části snímače a dobrá  
odolnost proti mechanickému poškození.



Obr. 29 Elektromagnetický snímač

### Piezoelektrické snímače

Piezoelektrické snímače jsou generátorového typu. Destičky vyříznuté z krystalů  
některých látek (např. krystaly křemene, turmalínu, Segnetovy soli aj.) nebo zhotovené ze  
zvláštních keramických materiálů, mají při namáhání ohybem nebo tlakem na opačných  
stranách opačné elektrické náboje. U piezoelektrických snímačů deformuje měřicí hrot  
buď přímo, nebo přes pákový převod destičku z piezoelektrického materiálu. Elektrické  
napětí úměrné namáhání destiček je snímáno na jejich polepech z vodivého materiálu.

Piezoelektrické snímače se používají především u dílenských profiloměrů a profilo-  
grafů. Mají malý rozměr. Hodí se proto pro měření drsnosti v dírách malého průměru.



Obr. 30 Piezoelektrický snímač

### Elektroinduktivní snímače

Jsou považovány za jedny z nejdokonalejších a nejpřesnějších snímačů. Změna po-  
lohy měřicího hrotu způsobuje změnu impedance elektrického obvodu, nejčastěji indukč-  
nosti.



Obr. 31 Elektroinduktivní snímač

### Kapacitní snímače

Kapacitní snímač tvoří dvě dokonale izolované destičky z elektricky vodivého materiálu, které tvoří kondenzátor. Pohybem měřicího hrotu se mění vzdálenost destiček, a tím i kapacita měřicího kondenzátoru.

#### 2.4.4 Měřicí hroty

Na geometrii měřicího hrotu, především na poloměru kulového zakončení jeho špičky a na vrcholovém úhlu závisí, zda se při měření zachytí celý tvar nerovností povrchu až do dna největších prohlubní. Používají se většinou diamantové hroty s vrcholových úhlem  $90^\circ$  a s poloměrem špičky  $2 - 10 \mu\text{m}$ . Vrcholový úhel  $60^\circ$  je limitován krystalickými vlastnostmi diamantu.

Volba poloměru zaoblení konce hrotu je omezena především přípustným tlakem hrotu na měřenou plochu, výrobními potížemi při broušení a kontrole jeho zakončení. Již při tlakové síle  $1\text{mN}$  mohou vzniknout na špičce měřicího hrotu s poloměrem zakřivení  $2 - 10 \mu\text{m}$ , které převyšují mez pružnosti materiálu součásti. Hrot musí být přitlačován takovou silou, aby při rychlosti pohybu snímače byla jeho špička trvale ve styku s měřeným povrchem.

Zkoušky prokázaly, že hrotem o poloměru zakřivení menším než  $2 \mu\text{m}$  výrobně ještě dosažitelným nelze už měřit rysky o hloubce menší než  $0,2 \mu\text{m}$  a že u hodnot asi  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$  a nižších naměřených profiloměrem je již nutné počítat s vlivem zaoblení měřicího hrotu. Měření v těchto stupních drsnosti se považuje za informativní a porovnává se s výsledky měření přístroji stejného typu.

Při posuzování, zda geometrie měřícího hrotu nezpůsobila zkreslení profilogramu profilu, je nutné si uvědomit, že pro přehlednost ne vertikální zvětšení grafických záznamů profilu obvykle mnohonásobně větší než horizontální. [6; 7]

### 3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLASTŮ

Stejně jako kovové materiály lze upravovat povrchy polymerních látek z důvodů funkčních i dekorativních.

Všechny požadované vzhledové úpravy povrchu výstřiku se vždy nerealizují ihned při vstřikování ve formě. Z technických nebo ekonomických důvodů se některé operace provedou až na hotovém výstřiku.

#### 3.1 Barevné úpravy povrchu

Barevné úpravy povrchu výrobků z plastů se řadí mezi základní způsoby dekorace. Většinu barevných efektů se dosahuje barvami. Mimo požadavku barevnosti a kryvosti je důležitá příprava natíraného povrchu a volba správného druhu barvy s vhodným pojivem pro dosažení dobré adheze. Barví-li se stejným odstínem celý povrch výrobku nebo převážná část, lze použít některou z technik užívaných pro nanášení nátěrových hmot. Většinou se však požaduje úprava vícebarevná a složitých tvarů. Toho se docíluje upravenými tiskovými technikami papíru a textilu. Základní metody potiskování lze rozdělit na:

- přímé (tisk výšky, tisk z hloubky, sítotisk)
- nepřímé (tisk přenosem – ofset, razítkování, termotisk)

##### *Potisk sítotiskem*

Ruční nebo mechanické provedení potisku přes vytvořený motiv na sítu ze speciálního materiálu a hustoty ok. Barva je přizpůsobena složení druhu materiálu součásti.

##### *Potisk tampoprintem*

Pro použití různých nápisů a znaků se využívá na panelech, klávesnicích apod. K tomu je potřebné potiskovací zařízení (tampoprint) vybavené šablonami s nápisy a značkami. Práce spočívá v tom, že ze šablony vyplněné tenkou vrstvou barvy (0,02 mm) se tato barva přenese pryžovým razníkem na požadované místo výstřiku. Nevýhodou je opět malá životnost potisku. Může se zvýšit překrytím průhledním polyuretanovým lakem.

##### *Potisk horkým razítkem*

Podobná metoda jako sublimační, provádí se vystouplým nápisem přes speciální barevné folie (ražení za horka).

### ***Sublimační metoda***

Jednou z progresivnějších metod potisku je sublimační metoda. Způsob práce takového potisku je podobný jako u tampoprintu. Metodu však doplňuje technologie sublimování na speciálním zařízení. To tím způsobem, že při teplotě 145 °C až 175 °C se pryžový razník tlačí mírným tlakem na potisknuté místo. V důsledku teploty a tlaku nanesená barva difunduje do povrchových vrstev výstřiku (cca 0,02 mm). Životnost této metody je dostatečná. Nevýhodou je použití speciální barvy a tepelně odolnějších plastů.

## **3.2 Pokovování**

Pokovování (vytvoření kovového povlaku) povrchu výrobků z plastů má za následek dosažení efektního kovového vzhledu i změny řady vlastností:

- zlepšení mechanických vlastností, hlavně odolnosti proti opotřebením
- zmenšení navlhavosti, propustnosti kapaliny a plynu
- významně se zabrání přirozenému stárnutí plastů
- zlepší se odolnost proti tvarování teplem
- obal z pokoveného plastu může sloužit k elektrickému nebo magnetickému stínění (Faradayova klec)
- zabraňuje tvorbě statické elektřiny

Podobně jako u kovových materiálů lze používané technologie rozdělit na:

### ***Chemické (bezproudové) pokovování***

Kov se na povrchu vylučuje z roztoků povlakového kovu působením redukčního činidla obsaženého v pokovovací lázni nebo dodaného na speciálně upravený povrch předmětů. Chemickým způsobem se nejčastěji provádí pokovení mědí a niklem.

Kovová vrstva se vylučuje rovnoměrně nezávisle na tvaru výrobku, dosažitelná tloušťka je závislá na způsobu pokovení.

### ***Galvanické pokovování***

Pro tento způsob je nutná konduktance pokovovaného předmětu vytvořením základního vodivého povlaku obvykle chemickým redukčním pokovením. Tato základní vrstva ovlivňuje rozhodující mírou celkovou adhezi kovového povlaku. Dosažitelná tloušťka není omezena, může se skládat i z několika různých kovů. Nejčastěji se pokovují výrobky z ABS (dobrá adheze), lze však pokovovat i celou řadu plastů (PMMA, PTFE, PS).

### ***Napařování ve vakuu***

Provádí se při tlaku  $10^{-3}$  až 1 Pa vzhledem k tepelné vodivosti plastů bývá teplota ploch, na nichž má kov kondenzovat nízká (cca  $-120$  °C). Materiál, který chceme nanášet, se při zahřátí vypařuje a poté kondenzuje na vzorcích.

### ***Katodové napařování***

Vzhledem k použití vyšších tlaků (1 až 10 Pa) se tato metoda jeví jako vhodnější pro plasty uvolňující za nízkých tlaků těkavé produkty (PMMA, PVC). Vytvořená vrstva velmi dobře lne k povrchu. S výhodou se pokovuje těžkotavitelnými kovy, rychlost napařování je malá. Mezi katodové napařování se řadí diodové a magnetronové napařování.

Při použití diodového napařování jsou v pracovní komoře vzorky umístěny na držáku, který je na zemním potenciálu a je současně anodou. Napařovaný materiál se nazývá target a je součástí katody. Pracovní komoru nejdříve vyčerpáme na tlak přibližně  $10^{-4}$  Pa. (Přestože je pracovní tlak o několik řádů vyšší, je toto vyčerpání nutné, abychom vyloučili vlivy běžné atmosféry). Po vyčerpání napustíme do pracovní komory pracovní plyn, jímž bývá nejčastěji argon. Tlak argonu se pohybuje v rozmezí přibližně 1 – 10 Pa v závislosti na geometrickém uspořádání a na dalších parametrech procesu. Nyní mezi anodu a katodu připojíme vysoké napětí o velikosti 1 – 5 kV a mezi elektrodami se zapálí výboj plynu. Argon zionizuje a vznikající kladné  $\text{Ar}^+$  ionty jsou účinkem elektrického pole urychlovány směrem ke katodě. Jejich energie je poměrně vysoká (10 – 5000 eV) a způsobuje vyrážení atomů nebo skupin atomů z povrchu katody, které při vhodném uspořádání kondenzují na povrchu vzorků. Tento systém má některé nevýhody. První z nich je radiační poškození a nežádoucí ohřev povrchu vzorků, tzv. sekundárními elektrony, dopadajícími na vzorky. Jsou to elektrony vznikající při ionizaci argonu. Druhou nevýhodou je malá depoziční (naprašovací) rychlost.

Tyto nevýhody odstranilo použití magnetronové naprašovací katody a naprašování doznalo velkého rozmachu. Výše popsany princip zůstává zachován, liší se však geometrickým uspořádáním a hlavně konstrukcí katody. Ze zadní strany katody je umístěn silný magnet (elektromagnet nebo častěji permanentní magnet). Elektronky jsou nyní vystaveny jednak působení elektrického pole mezi anodou a katodou a jednak působení magnetického pole permanentního magnetu. Část elektronů dopadá na anodu, (která nyní není nosičem vzorků), většina se ale pohybuje po cykloidních drahách. Jejich dráha je oproti diodovému systému značně prodloužená, čímž se podstatně zvýší ionizace argonu, a to v oblasti, kde je to žádoucí, tzn. v oblasti katody.

#### ***Žárové stříkání kovů (metalizace)***

Na rozdíl od předchozích povlaků je vytvořená vrstva pórovitá a propouští např. vlhkost. Nanášejí se většinou kovy a slitiny s nízkou teplotou tání, aby nedocházelo k tepelné degradaci polymeru. [9; 10]

### **3.3 Popisování laserem**

Popisování výstřiků laserem je tepelné opracování, kterého lze použít u všech plastů, ale s určitými rozdíly v jejich vzhledu. Způsob je rychlý a zaručuje opticky vysoce hodnotný popis. Vyžaduje však nákladné laserové zařízení. Výhodou je, že se pohybuje jen laserový paprsek. Tím se docílí velké rychlosti popisu. Rozsah využití je velký.

Mimo tyto technologie existuje ještě řada méně používaných způsobů úpravy povrchů, např. laminováním, tapetováním apod. Tyto metody však mají jen speciální využití. [2]

## **4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Hlavním cílem této diplomové práce je výzkum podmínek kopírování nedokonalostí povrchu na polymerní výrobky, tím se rozumí stanovení efektivní a také ekonomické oblasti výroby povrchů vstřikovacích forem. Tato oblast nám přiblíží, kdy je další opracování forem již zbytečné a zároveň nevýhodné. Drsnost povrchů vstřikovacích forem je vždy závislá na jakosti výrobku, která musí být předem stanovena z důvodu technologických postupů výroby forem.

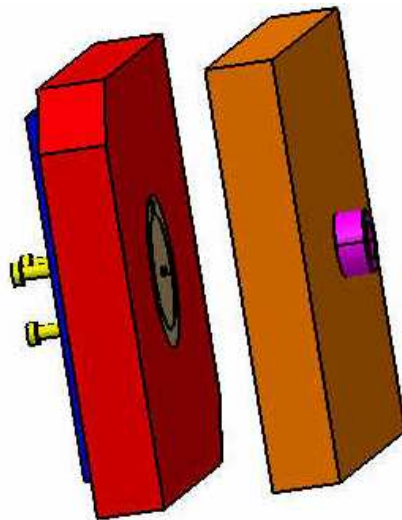
V praktické části bude tedy vypracováno měření drsností povrchů již vyrobených, polymerních výrobků z různých materiálů o různých drsnostech, které byly vyrobeny za změněných technologických podmínek výroby a měření drsností tvarových vložek těchto výrobků. Naměřené hodnoty budou dále zpracovány pomocí statistického a grafického vyhodnocení. Pro číselné zjištění jakosti povrchů výrobků bude použit měřicí přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301. Dále bude vypracován pomocí modelářského kreslicího programu Catia V5R15 konstrukční návrh formy a její výkresová dokumentace.



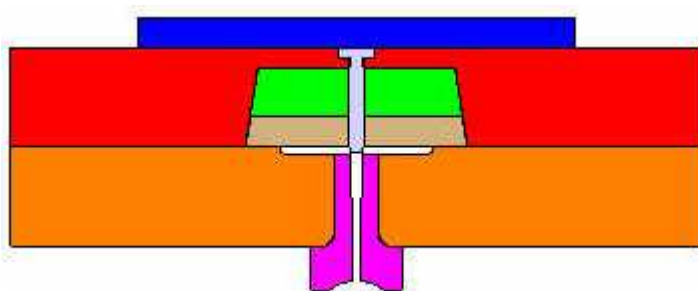
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY

Výrobky byly vyrobeny na stávající formě č.v. VF7204, jejíž konstrukce byla upravena proto, aby bylo možné použít odlišné tvarové vložky formy, které měly různou drsnost povrchu, dosaženou odlišnými pracovními postupy. Úprava konstrukce vstříkovací formy, byla navržena a zkonstruována pomocí programu Catia V5R15, který umožňuje jak náhled jednotlivých dílců ve 3D promítání, tak i zhotovení výrobních výkresů jednotlivých dílů.



Obr. 35 Konstrukční návrh formy



Obr. 36 Schematický řez formy

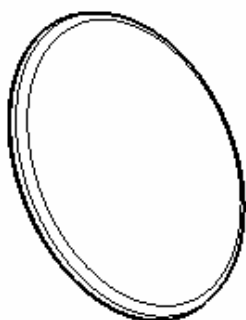
Pro konstrukční úpravu vstříkovací formy byla zkonstruována sestava vtokového a vyhazovacího systému (Obr. 35) včetně výkresové dokumentace, jejíž výkresy jsou v příloze. Na takto zkonstruované funkční formě byly vystříknuty za změněných technologických podmínek výroby. Část z výrobků byla povlakována nanesenou vrstvou hliníku.

## 6 VYHODNOCENÍ VÝROBKŮ A TVAROVÝCH VLOŽEK

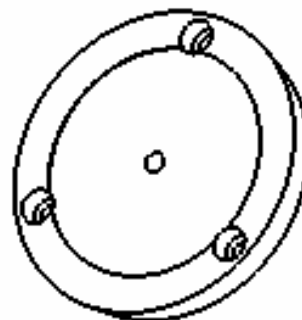
Pro experimentální část byly použity výrobky z odlišných materiálů (vzorky výstřiků) a tvarové vložky, pomocí nichž byly tyto výrobky vyrobeny. Takto zhotovené vzorky se dále použijí pro měření drsností a výsledky budou dále statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

### 6.1 Popis výrobků

Pro splnění cílů diplomové práce byly zadány polymerní výrobky (Obr. 32), které byly zhotoveny na vstřikovacím stroji ENGEL ES 330/80, jehož parametry nastavení pro jednotlivé materiály a podmínky vstřikování A a B jsou uvedeny v následujících tabulkách V a VI. Do vstřikovacího stroje byla upnuta vstřikovací forma (jejíž konstrukce byla upravena – viz. kap.5 ) s vyměnitelnými tvarovými vložkami (Obr. 33), které se od sebe lišily svými různými drsnostmi. Měření drsností těchto tvarových vložek je v kap. 5.2.2.2. Tvarové desky byly vyrobeny z oceli 19 552 s tvrdostí 47+2 HRC a je jich celkem sedm. Do těchto desek byly následně za odlišných vstřikovacích podmínek (A a B) vystříknuty výrobky ze dvou typů materiálů, tj. z PC – Makrolonu 2405 a ABS – Sinkralu C 442. Část zhotovených výrobků bylo navíc povrchově upraveno, tzn. nanesení vrstvy hliníku na stroji D2H pomocí magnetronového naprašování, které je popsáno v kap. 3.2.



Obr. 32 Schema výrobku



Obr. 33 Schema tvarové vložky

Tab. V Parametry vstřikovacího stroje pro materiál Makrolon 2405

Materiál: <i>PC – Makrolon 2405</i>											
Teplota válce (°C)	290			300			290			280	
Rychlost vstřiku (mm/s)	10	15	20	20	20	20	20	20	15	10	
Bod přepnutí (mm)	8										
Dotlak (bar)	50	50	50	40	40	40	40	30	30	30	
Čas dotlaku (s)	A:		1		Čas chlazení (s)				A:		19
	B:		5						B:		15
Dávka (mm)	25										
Rychlost dávk. (ot/min)	30		30		30		30		30		
Zpětný tlak (bar)	8		8		8		8		8		
Dekomp. po dávk.(mm)	6										
Uzavírací síla (kN)	700										

Tab. VI Parametry vstřikovacího stroje pro materiál Sinkral C442

Materiál: <i>ABS – Sinkral C442</i>											
Teplota válce (°C)	240			250			240			230	
Rychlost vstřiku (mm/s)	40	50	60	70	70	70	70	60	50	30	
Bod přepnutí (mm)	8										
Dotlak (bar)	60	60	60	55	55	50	50	40	40	30	
Čas dotlaku (s)	A:		1		Čas chlazení (s)				A:		19
	B:		12						B:		12
Dávka (mm)	25										
Rychlost dávk. (ot/min)	20		25		25		25		25		
Zpětný tlak (bar)	5		6		6		6		6		
Dekomp. po dávk.(mm)	1										
Uzavírací síla (kN)	700										

Tab. VII Obecné parametry vstřikovacího stroje ENGEL ES 330/80

	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
Uzavírací síla	kN	800
Max. otevření	mm	310
Min. výška formy	mm	150
Max. výška formy	mm	430
Max. chod vyhazovače	mm	100
Rozměry upín. desek	mm	570 x 552
Rozměry mezi sloupky	mm	405 x 345
Průměr šneku	mm	30
L/D poměr	1	20
Vstřikovací tlak	bar	2200
Zdvihový objem	cm <sup>3</sup>	113
Max. dráha trysky	mm	200
Přítlačná síla trysky	kN	47
Instalované vytápění válce	kN	6,8
Počet topných pásem		3 + tryska
Olejová náplň	dm <sup>3</sup>	155
Čerpací zařízení	kW	15
Čistá hmotnost	kg	3100
Rozměry L x B x H	m	4,215x1,32x1,52

### 6.1.1 Popis materiálů vzorků

Výrobky byly vyrobeny ze dvou druhů materiálů, které se vykazují odlišnými reologickými vlastnostmi (Makrolon 2405 a Sinkralu C442) a to z toho důvodu, aby se zjistilo, jestli má vliv na jakost výstřiku pouze opracování tvarových vložek nebo i zvolený materiál.

#### **Makrolon 2405**

Makrolon 2405 je název pro upravený polykarbonát (PC), je určen pro vstřikování, své vlastnosti vykazuje nízkou viskozitou, což je vhodné pro lepší odformování.

Tab. VIII Materiálový list pro Makrolon 2405

Vlastnost	Podmínky	Jednotka	Hodnota	Standard
Index toku taveniny	300°C; 1,2kg	G/(10min)	20	ISO 1133
Smrštění		%	0,5 - 0,7	ISO 2577
Hustota		kg/m <sup>3</sup>	1200	ISO 1183
Mez pevnosti	50 mm/min	MPa	2400	ISO 525-1; -2
Modul pevnosti v tahu	1 mm/min	MPa	2400	ISO 525-1; -2
Mez pevnosti v ohybu	2 mm/min	MPa	98	ISO 178
Modul v ohybu	2 mm/min	MPa	2350	ISO 178
Charpy vrubová houž.	23°C, 3 mm	kJ/m <sup>2</sup>	60P	ISO 179
Charpy vrubová houž.	-30°C, 3 mm	kJ/m <sup>2</sup>	12C	ISO 179
Tvrdość vtisku kuličkou		N/mm <sup>2</sup>	115	ISO 2039-1
Teplota skel. přechodu	10°C/min	°C	145	ISO 11357-1;-2
Vicat teplota měknutí	50N; 120°C/h	°C	146	ISO 306

### Sinkral C442

Sinkral C442 je název pro upravený akrylonitril/butadien/styrén (ABS). Tento typ je tepelně odolný, nabízí dobrou tekutost a rázovou houževnatost, tepelnou stabilitu během zpracování a je vhodný pro samozabarvování.

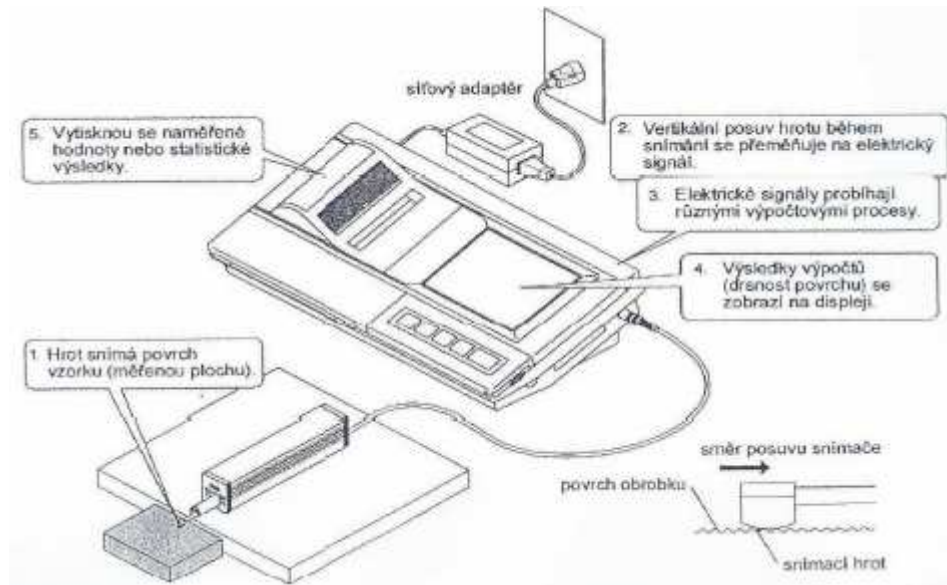
Tab. IX Materiálový list pro Sinkral C442

Vlastnost	Podmínky	Jednotka	Hodnota	Standard
Index toku taveniny	300°C; 1,2kg	G/(10min)	20	ISO 1133
Smrštění		%	0,5 - 0,7	ISO 2577
Hustota		kg/m <sup>3</sup>	1200	ISO 1183
Pevnost v tahu	1 mm/min	MPa	2400	ISO 525-1; -2
Mez pevnosti v ohybu	2 mm/min	MPa	98	ISO 178
Modul v ohybu	2 mm/min	MPa	2350	ISO 178
Charpy vrubová houž.	23°C, 3 mm	kJ/m <sup>2</sup>	60P	ISO 179
Tvrdość Rockwell		N/mm <sup>2</sup>	115	ISO 2039-1
Vicat teplota měknutí	50N; 120°C/h	°C	146	ISO 306

## 6.2 Měření drsnosti výrobků

### 6.2.1 Popis měřicího přístroje drsnosti povrchu

Pro posouzení kopírování nedokonalostí povrchu polymerních výrobků byl použit měřicí přístroj drsnosti povrchu Mitutoyo Surftest SJ-301 (Obr. 34). Hodnoty, odečtené z tohoto přístroje jsou popsány v kap. 5.2.2.



Obr. 34 Schema měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301

Parametr	Hodnota
Max. měřicí rozsah	300 $\mu\text{m}$ ( $\pm 150 \mu\text{m}$ )
Měřený profil	P, R, DIN 4776, MOTIF
Parametry měření	Ra, Rz, y, Rt, Rp, Rq, R3Z, Pc, Sm, S, mr, dc, Rpk, Rvk, Rk, Mr1, Mr2, A1, A2, R, AR, Rx, Lo, PPI
Filtr	2RC, PC75, GAUSS
Délka měření	0,25; 0,8; 2,5; 8 mm
Počet vzorových délek	1, 3, 5 a L
Rozlišení	0,01 $\mu\text{m}$ (10 bitu)
Nastavení stat. dat	Střední hodnota, max., min., sm. Odchylka, vyhodnocení GO/NG

Tab. X Základní specifikace měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301

## 6.2.2 Zpracování experimentálních dat a jejich statistických závislostí

Pro měření drsností bylo použito sedm tvarových vložek s různými drsnostmi. Každá tvarová vložka byla měřena desetkrát. Dále byly měřeny výrobky, vystříknuty právě do těchto tvarových vložek, z různých druhů materiálů, které byly vyrobeny při různých podmínkách vstřikování (A a B) a dále těchto výrobků, jejichž povrch byl upraven povlakováním. Bylo měřeno vždy pět nepovlakovaných vzorků (tzn. bez povrchové úpravy) od každého druhu materiálu od každé tvarové vložky a na všech vzorcích proběhla čtyři měření. Dále byly měřeny čtyři povlakované vzorky (tzn. s povrchovou úpravou) opět od každého druhu materiálu od každé tvarové vložky a na všech vzorcích proběhla čtyři měření.

Pro měření drsností těchto tvarových vložek a výrobků z různých druhů materiálů s odlišnou povrchovou úpravou byl použit měřicí přístroj Mitutoyo SurfTest SJ-301. Na naměřené hodnoty se dále aplikovala jednoduchá statistika, a to aritmetický průměr  $\bar{x}$ , rozptyl R a směrodatná odchylka s.

### 6.2.2.1 Popis statistických veličin

Statistika je věda a postup jak rozvíjet lidské znalosti použitím empirických dat. Je založena na matematické statistice, která je větví aplikované matematiky. V teorii statistiky jsou náhodnost a neurčitost modelovány pomocí teorie pravděpodobnosti. Do praxe statistiky patří plánování, sumarizace a analýza nepřesných pozorování. Cílem statistiky je najít "nejlepší" informace z dostupných dat, proto ji někteří autoři označují jako součást teorie rozhodování.

#### *Aritmetický průměr*

Aritmetický průměr je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se obvykle značí vodorovným pruhem nad názvem proměnné, popř. řeckým písmenem  $\mu$ . Definice aritmetického průměru je 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$
, tzn. součet všech hodnot vydělený jejich počtem. V běžné řeči se obvykle obecným slovem *průměr* myslí právě aritmetický průměr.



**Rozptyl (statistika)**

Rozptyl se používá v teorii pravděpodobnosti a statistice. Je to druhý centrální moment náhodné veličiny. Definována je jako součet kvadrátů odchylek a vyjadřuje variabilitu rozdělení souboru náhodných hodnot kolem její střední hodnoty. Odchylku od střední hodnoty, která má rozměr stejný jako náhodná veličina, zachycuje směrodatná odchylka.

*Výpočet*

Pro soubor diskrétních hodnot náhodné veličiny se vypočte podle vzorce :

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

pro spojitě rozdělení hodnot náhodné veličiny pak

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x - E(X))^2 f(x) dx$$

kde  $E(X)$  je střední hodnota a  $f(x)$  je hustota rozdělení náhodné veličiny.

**Směrodatná odchylka**

Směrodatná odchylka je v teorii pravděpodobnosti a statistice často používanou mírou statistické disperze. Zhruba řečeno vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti.

*Definice a výpočet*

Směrodatná odchylka se obvykle definuje jako odmocnina z rozptylu náhodné veličiny. Pro skutečný výpočet odhadu s.o. na empiricky zjištěné řadě čísel (tento odhad se nazývá výběrová směrodatná odchylka) lze použít tento postup: Mějme soubor reálných čísel  $x_1, \dots, x_N$ . Aritmetický průměr souboru lze vypočítat jako:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i .$$

Potom výběrová směrodatná odchylka těchto dat může být vypočítána jako

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} .$$

Pro praktické výpočty se častěji používá ekvivalentní vzorec,

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^2 - N\bar{x}^2)} ,$$

který nevyžaduje předběžný výpočet průměru. Druhý sčítanec pod odmocninou totiž lze počítat průběžně zároveň s výpočtem sumy čtverců  $x_i$  během jediného programového cyklu procházejícího vstupní data. Pokud je  $N$  velké, redukuje se tím doba výpočtu zhruba na polovinu. Za určitých okolností však tato metoda zároveň může zvýšit vliv zaokrouhlovacích chyb na přesnost výsledku.

### 6.2.2.2 Vlastní měření a statistické vyhodnocení drsností výrobků

Tab. XI – XVII Naměřené hodnoty Ra a Rz tvarových vložek

Tab. XI

<u>1.</u>	<u>n</u>	<u>Ra</u>	<u>Rz</u>
1		0,01	0,1
2		0,01	0,1
3		0,01	0,08
4		0,01	0,1
5		0,01	0,1
6		0,01	0,11
7		0,01	0,08
8		0,01	0,1
9		0,01	0,11
10		0,01	0,11
$\bar{x}$		0,01	0,099
<b>R</b>		0	0,03
<b>s</b>		2,19E-10	0,011

Tab. XII

<u>2.</u>	<u>n</u>	<u>Ra</u>	<u>Rz</u>
1		0,02	0,16
2		0,02	0,09
3		0,02	0,11
4		0,02	0,1
5		0,01	0,1
6		0,01	0,09
7		0,02	0,11
8		0,01	0,11
9		0,01	0,11
10		0,01	0,1
$\bar{x}$		0,015	0,108
<b>R</b>		0,01	0,07
<b>s</b>		0,0052	0,019

Tab. XIII

<b>3.</b>	<b>n</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
1		0,03	0,22
2		0,02	0,16
3		0,02	0,18
4		0,03	0,21
5		0,04	0,26
6		0,02	0,17
7		0,02	0,16
8		0,02	0,15
9		0,03	0,3
10		0,02	0,14
$\bar{x}$		0,025	0,195
<b>R</b>		0,02	0,16
<b>s</b>		0,007	0,052

Tab. XIV

<b>4.</b>	<b>n</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
1		0,07	0,59
2		0,06	0,41
3		0,05	0,36
4		0,06	0,37
5		0,05	0,6
6		0,07	0,69
7		0,06	0,71
8		0,05	0,39
9		0,05	0,5
10		0,08	0,86
$\bar{x}$		0,06	0,548
<b>R</b>		0,03	0,5
<b>s</b>		0,0105	0,170

Tab. XV

<b>5.</b>	<b>n</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
1		0,1	0,65
2		0,11	0,64
3		0,11	0,78
4		0,18	1,13
5		0,12	0,69
6		0,14	0,62
7		0,13	0,91
8		0,18	1,24
9		0,16	1,16
10		0,13	0,69
$\bar{x}$		0,136	0,851
<b>R</b>		0,08	0,62
<b>s</b>		0,0287	0,241

Tab. XVI

<b>6.</b>	<b>n</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
1		0,21	1,84
2		0,17	1,48
3		0,18	1,45
4		0,17	1,06
5		0,22	1,27
6		0,25	1,93
7		0,22	1,61
8		0,19	1,21
9		0,26	1,69
10		0,25	1,63
$\bar{x}$		0,212	1,517
<b>R</b>		0,09	0,87
<b>s</b>		0,0339	0,278

Tab. XVII

<b>Z. n</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>
1	0,37	2,56
2	0,32	1,71
3	0,26	2,11
4	0,24	1,69
5	0,36	2,38
6	0,32	1,82
7	0,23	1,54
8	0,23	1,33
9	0,3	1,68
10	0,27	1,66
$\bar{x}$	0,29	1,848
<b>R</b>	0,12	1,23
<b>s</b>	0,0518	0,3844

Tab. XVIII – XLV Naměřené hodnoty Ra a Rz výrobků z Makrolonu 2405

Tab. XVIII Makrolon 2405 - 1A - nepovlakovaný

číslo vzorku	<b>Ra</b>				<b>x</b>	<b>s</b>	<b>Rz</b>				<b>x</b>	<b>s</b>
1.	0,05	0,05	0,05	0,07	0,055	0,01	0,68	0,66	0,52	0,42	0,57	0,1227
2.	0,04	0,04	0,04	0,05	0,0425	0,005	0,32	0,31	0,32	0,43	0,345	0,0569
3.	0,05	0,05	0,06	0,08	0,06	0,0141	0,35	0,37	0,46	0,65	0,4575	0,137
4.	0,04	0,04	0,05	0,04	0,0425	0,005	0,34	0,32	0,38	0,49	0,3825	0,0759
5.	0,05	0,05	0,05	0,04	0,0475	0,005	0,3	0,42	0,83	0,36	0,4775	0,2401
					0,0495						0,4465	

Tab. XIX Makrolon 2405 - 1A - povlakovaný

číslo vzorku	<b>Ra</b>				<b>x</b>	<b>s</b>	<b>Rz</b>				<b>x</b>	<b>s</b>
1.	0,04	0,04	0,06	0,08	0,055	0,0191	0,33	0,36	0,69	0,61	0,4975	0,1795
2.	0,06	0,06	0,05	0,04	0,0525	0,0096	0,57	0,6	0,38	0,33	0,34	0,1349
3.	0,04	0,05	0,04	0,04	0,0425	0,005	0,38	0,37	0,38	0,37	0,375	0,0058
4.	0,04	0,05	0,04	0,05	0,045	0,0058	0,33	0,43	0,38	0,35	0,3725	0,0435
					0,0488						0,3963	

Tab. XX Makrolon 2405 – 1B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0,56	0,37	0,3	0,49	0,43	0,1169
2.	0,03	0,05	0,03	0,02	0,0325	0,0126	0,23	0,41	0,23	0,17	0,26	0,1039
3.	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,0082	0,23	0,14	0,27	0,17	0,2025	0,0585
4.	0,04	0,02	0,03	0,04	0,0325	0,0096	0,28	0,18	0,24	0,28	0,245	0,0473
5.	0,04	0,05	0,03	0,03	0,0375	0,0096	0,3	0,34	0,27	0,2	0,2775	0,0591
					0,0345						0,283	

Tab. XXI Makrolon 2405 – 1B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,0082	0,47	0,19	0,16	0,3	0,28	0,1402
2.	0,05	0,02	0,02	0,05	0,035	0,0173	0,41	0,18	0,18	0,3	0,34	0,1106
3.	0,03	0,04	0,03	0,03	0,0325	0,005	0,23	0,25	0,19	0,18	0,2125	0,033
4.	0,03	0,05	0,03	0,02	0,0325	0,0126	0,23	0,29	0,21	0,17	0,225	0,05
					0,0325						0,2644	

Tab. XXII Makrolon 2405 – 2A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,09	0,08	0,06	0,05	0,07	0,0183	0,63	0,68	0,39	0,39	0,5225	0,1544
2.	0,07	0,05	0,07	0,05	0,06	0,0115	0,46	0,32	0,53	0,36	0,4175	0,0954
3.	0,04	0,05	0,05	0,04	0,045	0,0058	0,25	0,35	0,34	0,3	0,31	0,0455
4.	0,06	0,05	0,05	0,06	0,055	0,0058	0,32	0,34	0,41	0,58	0,4125	0,1181
5.	0,06	0,05	0,06	0,08	0,0625	0,0126	0,47	0,36	0,4	0,55	0,445	0,0835
					0,0585						0,4215	

Tab. XXIII Makrolon 2405 – 2A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,04	0,06	0,04	0,045	0,01	0,27	0,28	0,43	0,28	0,315	0,0768
2.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0	0,33	0,4	0,43	0,34	0,34	0,048
3.	0,04	0,04	0,04	0,07	0,0475	0,015	0,32	0,32	0,28	0,4	0,33	0,0503
4.	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06	0,0082	0,35	0,35	0,42	0,47	0,3975	0,0585
					0,0506						0,3456	

Tab. XXIV Makrolon 2405 – 2B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,05	0,05	0,06	0,0525	0,005	0,39	0,32	0,34	0,36	0,3525	0,0299
2.	0,06	0,04	0,06	0,05	0,0525	0,0096	0,46	0,39	0,35	0,5	0,34	0,0676
3.	0,05	0,05	0,03	0,05	0,045	0,01	0,31	0,41	0,21	0,42	0,3375	0,0984
4.	0,05	0,05	0,07	0,05	0,055	0,01	0,42	0,39	0,5	0,36	0,4175	0,0602
5.	0,06	0,05	0,06	0,05	0,055	0,0058	0,42	0,42	0,38	0,29	0,3775	0,0613
					0,052						0,365	

Tab. XXV Makrolon 2405 – 2B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,06	0,06	0,04	0,05	0,0525	0,0096	0,41	0,67	0,25	0,42	0,4375	0,1735
2.	0,04	0,07	0,05	0,06	0,055	0,0129	0,29	0,5	0,4	0,42	0,34	0,0866
3.	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06	0,0163	0,77	0,87	0,26	0,49	0,5975	0,2766
4.	0,06	0,05	0,06	0,03	0,05	0,0141	0,44	0,55	0,49	0,29	0,4425	0,1112
					0,0544						0,4544	

Tab. XXVI Makrolon 2405 – 3A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,08	0,07	0,05	0,06	0,065	0,0129	0,52	0,53	0,32	0,44	0,4525	0,0971
2.	0,05	0,07	0,07	0,07	0,065	0,01	0,46	0,42	0,43	0,38	0,34	0,033
3.	0,07	0,06	0,06	0,07	0,065	0,0058	0,46	0,42	0,43	0,38	0,4225	0,033
4.	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,0082	0,28	0,42	0,47	0,48	0,4125	0,0922
5.	0,09	0,05	0,09	0,08	0,0775	0,0189	0,46	0,28	0,61	0,74	0,5225	0,1981
					0,0665						0,43	

Tab. XXVII Makrolon 2405 – 3A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,06	0,07	0,08	0,09	0,075	0,0129	0,43	0,41	0,48	0,4	0,43	0,0356
2.	0,07	0,05	0,1	0,06	0,07	0,0216	0,46	0,32	0,58	0,39	0,34	0,1109
3.	0,07	0,05	0,04	0,05	0,0525	0,0126	0,57	0,45	0,28	0,4	0,425	0,1201
4.	0,07	0,08	0,1	0,08	0,0825	0,0126	0,44	0,56	0,54	0,39	0,4825	0,081
					0,07						0,4194	

Tab. XXVIII Makrolon 2405 – 3B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,06	0,11	0,09	0,08	0,085	0,0208	0,34	0,57	0,52	0,59	0,505	0,1139
2.	0,1	0,06	0,05	0,03	0,06	0,0294	0,91	0,47	0,3	0,26	0,34	0,2976
3.	0,04	0,06	0,04	0,04	0,045	0,01	0,3	0,33	0,27	0,23	0,2825	0,0427
4.	0,05	0,04	0,08	0,04	0,0525	0,0189	0,36	0,23	0,49	0,35	0,3575	0,1063
5.	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05	0,0115	0,23	0,33	0,31	0,29	0,29	0,0432
					0,0585						0,355	

Tab. XXIX Makrolon 2405 – 3B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,09	0,08	0,1	0,06	0,0825	0,0171	0,54	0,56	0,62	0,44	0,54	0,0748
2.	0,12	0,08	0,13	0,08	0,1025	0,0263	0,79	0,45	0,69	0,59	0,34	0,1451
3.	0,06	0,08	0,11	0,05	0,075	0,0265	0,35	0,57	0,7	0,43	0,5125	0,1546
4.	0,07	0,04	0,08	0,11	0,075	0,0289	0,48	0,35	0,61	0,73	0,5425	0,164
					0,0838						0,4838	

Tab. XXX Makrolon 2405 – 4A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,04	0,06	0,04	0,0475	0,0096	0,48	0,3	0,51	0,35	0,41	0,101
2.	0,05	0,04	0,06	0,04	0,0475	0,0096	0,33	0,33	0,44	0,29	0,34	0,0645
3.	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,0082	0,33	0,27	0,39	0,31	0,325	0,05
4.	0,08	0,06	0,06	0,07	0,0675	0,0096	0,45	0,34	0,43	0,45	0,4175	0,0525
5.	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,0082	0,36	0,33	0,3	0,46	0,3625	0,0695
					0,0525						0,371	

Tab. XXXI Makrolon 2405 – 4A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,0082	0,38	0,43	0,41	0,27	0,3725	0,0714
2.	0,04	0,05	0,06	0,04	0,0475	0,0096	0,25	0,36	0,44	0,23	0,34	0,0983
3.	0,03	0,04	0,05	0,07	0,0475	0,0171	0,26	0,26	0,6	0,41	0,3825	0,1613
4.	0,03	0,05	0,05	0,06	0,0475	0,0126	0,21	0,37	0,37	0,45	0,35	0,1007
					0,0481						0,3613	

Tab. XXXII Makrolon 2405 – 4B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,04	0,04	0,03	0,035	0,0058	0,23	0,33	0,26	0,19	0,2525	0,0591
2.	0,05	0,05	0,05	0,03	0,045	0,01	0,32	0,3	0,37	0,28	0,34	0,0386
3.	0,03	0,04	0,04	0,03	0,035	0,0058	0,22	0,29	0,26	0,2	0,2425	0,0403
4.												
5.												
					0,0383						0,2783	

Tab. XXXIII Makrolon 2405 – 4B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,03	0,03	0,03	0,0325	0,005	0,02	0,22	0,17	0,28	0,1725	0,1112
2.	0,03	0,04	0,04	0,03	0,035	0,0058	0,21	0,31	0,24	0,2	0,34	0,0497
3.	0,04	0,03	0,03	0,04	0,035	0,0058	0,23	0,2	0,21	0,25	0,2225	0,0222
4.	0,06	0,03	0,05	0,05	0,0475	0,0126	0,55	0,2	0,28	0,33	0,34	0,1499
					0,0375						0,2688	

Tab. XXXIV Makrolon 2405 – 5A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,12	0,13	0,15	0,1	0,125	0,0208	0,95	0,7	0,83	0,58	0,765	0,1601
2.	0,13	0,1	0,15	0,19	0,1425	0,0377	0,72	0,58	0,99	1,12	0,34	0,2465
3.	0,08	0,14	0,09	0,08	0,0975	0,0287	0,56	1	0,73	0,44	0,6825	0,2428
4.	0,08	0,12	0,1	0,15	0,1125	0,0299	0,52	0,78	0,59	0,87	0,69	0,1627
5.	0,08	0,11	0,09	0,07	0,0875	0,0171	0,5	0,61	0,46	0,5	0,5175	0,0645
					0,113						0,599	

Tab. XXXV Makrolon 2405 – 5A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,1	0,08	0,14	0,1	0,105	0,0252	0,66	0,51	0,95	0,68	0,7	0,1831
2.	0,13	0,14	0,15	0,14	0,14	0,0082	0,74	0,91	0,89	0,78	0,34	0,0829
3.	0,1	0,12	0,13	0,12	0,1175	0,0126	0,62	0,61	0,76	0,78	0,6925	0,09
4.	0,09	0,1	0,08	0,08	0,0875	0,0096	0,57	0,62	0,52	0,98	0,6725	0,209
					0,1125						0,6013	



Tab. XXXVI Makrolon 2405 – 5B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,11	0,19	0,16	0,1	0,14	0,0424	0,67	0,96	0,79	0,65	0,7675	0,1424
2.	0,12	0,15	0,14	0,17	0,145	0,0208	0,72	1,02	0,59	1,03	0,34	0,2202
3.	0,1	0,15	0,08	0,15	0,12	0,0356	0,63	0,85	0,59	0,9	0,7425	0,1552
4.	0,12	0,13	0,1	0,13	0,12	0,0141	0,89	0,74	0,61	0,75	0,7475	0,1144
5.	0,08	0,12	0,16	0,12	0,12	0,0327	0,43	0,8	0,97	0,72	0,73	0,2255
					0,129						0,6655	

Tab. XXXVII Makrolon 2405 – 5B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,1	0,13	0,1	0,16	0,1225	0,0287	0,69	0,74	0,59	0,99	0,7525	0,1702
2.	0,15	0,16	0,13	0,12	0,14	0,0183	1,19	0,98	0,68	0,96	0,34	0,2093
3.	0,09	0,14	0,07	0,12	0,105	0,0311	0,58	0,93	0,39	0,84	0,685	0,2464
4.	0,09	0,18	0,12	0,18	0,1425	0,045	0,54	0,99	0,92	1,15	0,9	0,2586
					0,1275						0,6694	

Tab. XXXVIII Makrolon 2405 – 6A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0,29	0,29	0,29	0,25	0,28	0,02
2.	0,08	0,08	0,05	0,08	0,0725	0,015	0,6	0,63	0,36	0,47	0,34	0,1245
3.	0,1	0,06	0,07	0,05	0,07	0,0216	0,49	0,54	0,48	0,39	0,475	0,0624
4.	0,11	0,06	0,12	0,08	0,0925	0,0275	0,6	0,45	0,64	0,46	0,5375	0,0967
5.	0,06	0,07	0,08	0,06	0,0675	0,0096	0,38	0,44	0,6	0,44	0,465	0,0943
					0,0685						0,4195	

Tab. XXXIX Makrolon 2405 – 6A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,04	0,04	0,05	0,045	0,0058	0,4	0,24	0,21	0,32	0,2925	0,0854
2.	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,0082	0,29	0,2	0,32	0,27	0,34	0,051
3.	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0	0,21	0,21	0,31	0,23	0,24	0,0476
4.	0,04	0,04	0,04	0,03	0,0375	0,005	0,26	0,32	0,26	0,21	0,2625	0,045
					0,0381						0,2838	

Tab. XL Makrolon 2405 – 6B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,06	0,03	0,05	0,03	0,0425	0,015	0,35	0,2	0,56	0,22	0,3325	0,1656
2.	0,04	0,08	0,08	0,07	0,0675	0,0189	0,28	0,55	0,43	0,4	0,34	0,1109
3.	0,05	0,06	0,09	0,09	0,0725	0,0206	0,4	0,31	0,51	0,53	0,4375	0,1024
4.	0,06	0,08	0,08	0,09	0,0775	0,0126	0,54	0,66	0,44	0,5	0,535	0,0929
5.	0,05	0,08	0,09	0,06	0,07	0,0183	0,32	0,58	0,73	0,36	0,4975	0,1926
					0,066						0,4285	

Tab. XLI Makrolon 2405 – 6B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,02	0,03	0,03	0,03	0,0275	0,005	0,16	0,3	0,29	0,23	0,245	0,0645
2.	0,03	0,03	0,03	0,02	0,0275	0,005	0,29	0,23	0,23	0,16	0,34	0,0532
3.	0,03	0,02	0,04	0,02	0,0275	0,0096	0,18	0,14	0,35	0,22	0,2225	0,0911
4.	0,03	0,04	0,03	0,03	0,0325	0,005	0,23	0,28	0,19	0,26	0,24	0,0392
					0,0288						0,2619	

Tab. XLII Makrolon 2405 – 7A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,14	0,14	0,16	0,11	0,1375	0,0206	0,81	1,11	1,01	0,79	0,93	0,1558
2.	0,11	0,08	0,19	0,13	0,1275	0,0465	0,67	0,65	0,92	0,66	0,34	0,1303
3.	0,15	0,11	0,13	0,14	0,1325	0,0171	1,15	0,78	1,11	0,89	0,9825	0,1769
4.	0,16	0,14	0,1	0,17	0,1425	0,031	1,04	0,96	0,47	0,94	0,8525	0,2586
5.												
					0,135						0,7763	

Tab. XLIII Makrolon 2405 – 7A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,17	0,19	0,2	0,19	0,1875	0,0126	1,03	1,01	1,23	1,11	1,095	0,0998
2.	0,13	0,13	0,19	0,22	0,1675	0,045	0,88	0,84	1,16	1,4	0,34	0,262
3.	0,15	0,1	0,18	0,15	0,145	0,0332	1	0,61	1,05	0,83	0,8725	0,1987
4.	0,15	0,15	0,12	0,11	0,1325	0,0206	0,87	0,92	0,86	0,72	0,8425	0,0858
					0,1581						0,7875	

Tab. XLIV Makrolon 2405 – 7B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s	
1.	0,2	0,21	0,2	0,17	0,195	0,0173	0,95	1,37	1,35	1,15	1,205	0,1969	
2.	0,17	0,18	0,15	0,12	0,155	0,0265	1,2	0,83	1,01	0,81	0,34	0,1821	
3.	0,22	0,18	0,15	0,11	0,165	0,0465	1,02	0,99	1,13	0,79	0,9825	0,1417	
4.	0,15	0,1	0,15	0,15	0,1375	0,025	0,86	0,76	0,8	1,1	0,88	0,1523	
5.	0,12	0,12	0,17	0,19	0,15	0,0356	0,95	0,75	1,09	1,18	0,9925	0,1873	
					0,1605							0,88	

Tab. XLV Makrolon 2405 – 7B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s	
1.	0,18	0,2	0,19	0,19	0,19	0,0082	1,53	0,93	1,19	1,61	1,315	0,3147	
2.	0,19	0,21	0,17	0,2	0,1925	0,0171	1,2	1,06	1,08	1,32	0,34	0,1204	
3.	0,15	0,23	0,17	0,19	0,185	0,0342	0,83	1,34	1,13	1,13	1,1075	0,2098	
4.	0,1	0,14	0,12	0,12	0,12	0,0163	0,55	1	0,86	1,08	0,8725	0,2334	
					0,1719							0,9088	

Tab. XLVI – LXXIII Naměřené hodnoty Ra a Rz výrobků ze Sinkralu C442

Tab. XLVI Sinkral C442 – 1A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s	
1.	0,03	0,03	0,03	0,05	0,035	0,01	0,2	0,17	0,17	0,31	0,2125	0,0665	
2.	0,07	0,05	0,03	0,03	0,045	0,0191	0,37	0,29	0,21	0,18	0,2625	0,0854	
3.	0,03	0,03	0,03	0,06	0,0375	0,015	0,18	0,22	0,19	0,3	0,2225	0,0544	
4.	0,02	0,03	0,03	0,03	0,0275	0,005	0,14	0,18	0,18	0,2	0,175	0,0252	
5.	0,02	0,04	0,02	0,02	0,025	0,01	0,12	0,24	0,17	0,15	0,17	0,051	
					0,034							0,2085	

Tab. XLVII Sinkral C442 – 1A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s	
1.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,16	0,14	0,16	0,13	0,1475	0,015	
2.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,13	0,14	0,19	0,15	0,34	0,0263	
3.	0,03	0,02	0,04	0,02	0,0275	0,0096	0,23	0,12	0,26	0,12	0,1825	0,0732	
4.	0,03	0,05	0,02	0,02	0,03	0,0141	0,17	0,3	0,2	0,15	0,205	0,0666	
					0,025							0,2188	

Tab. XLVIII Sinkral C442 – 1B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,06	0,03	0,03	0,0375	0,015	0,16	0,28	0,18	0,19	0,2025	0,0532
2.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,16	0,16	0,19	0,16	0,1675	0,015
3.	0,03	0,03	0,02	0,02	0,025	0,0058	0,17	0,18	0,13	0,18	0,165	0,0238
4.	0,02	0,03	0,03	0,02	0,025	0,0058	0,13	0,2	0,2	0,16	0,1725	0,034
5.	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,0082	0,15	0,2	0,12	0,22	0,19	0,0457
					0,0275						0,1795	

Tab. IL Sinkral C442 – 1B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,02	0,02	0,02	0,0225	0,005	0,25	0,15	0,13	0,16	0,1725	0,0532
2.	0,02	0,04	0,05	0,02	0,0325	0,015	0,14	0,22	0,41	0,14	0,34	0,1274
3.	0,02	0,04	0,02	0,03	0,0275	0,0096	0,18	0,28	0,12	0,21	0,1975	0,0665
4.	0,03	0,04	0,02	0,04	0,0325	0,0096	0,2	0,22	0,14	0,18	0,185	0,0342
					0,0288						0,2238	

Tab. L Sinkral C442 – 2A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,02	0,03	0,03	0,02	0,025	0,0058	0,15	0,17	0,29	0,12	0,1825	0,0746
2.	0,02	0,02	0,04	0,03	0,0275	0,0096	0,14	0,13	0,21	0,25	0,1825	0,0574
3.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,16	0,17	0,18	0,14	0,1625	0,0171
4.	0,02	0,02	0,02	0,03	0,0225	0,005	0,15	0,16	0,15	0,18	0,16	0,0141
5.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,13	0,12	0,15	0,13	0,1325	0,0126
					0,0235						0,164	

Tab. LI Sinkral C442 – 2A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,04	0,04	0,02	0,0325	0,0096	0,23	0,25	0,27	0,16	0,2275	0,0479
2.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,15	0,18	0,21	0,18	0,34	0,0245
3.	0,02	0,03	0,02	0,04	0,0275	0,0096	0,12	0,15	0,14	0,26	0,1675	0,0629
4.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,15	0,16	0,24	0,15	0,175	0,0436
					0,0263						0,2275	

Tab. LII Sinkral C442 – 2B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03	0,0115	0,22	0,14	0,17	0,3	0,2075	0,0699
2.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,025	0,0058	0,16	0,16	0,22	0,18	0,34	0,0283
3.	0,02	0,03	0,03	0,02	0,025	0,0058	0,13	0,19	0,19	0,16	0,1675	0,0287
4.	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,0082	0,28	0,16	0,2	0,18	0,205	0,0526
5.	0,03	0,03	0,04	0,03	0,0325	0,005	0,18	0,21	0,28	0,22	0,2225	0,0419
					0,0285						0,2285	

Tab. LIII Sinkral C442 – 2B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,0082	0,22	0,18	0,2	0,37	0,2425	0,0866
2.	0,03	0,03	0,03	0,02	0,0275	0,005	0,18	0,19	0,23	0,14	0,34	0,037
3.	0,04	0,04	0,03	0,03	0,035	0,0058	0,25	0,21	0,2	0,25	0,2275	0,0263
4.	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,0082	0,18	0,18	0,25	0,14	0,1875	0,0457
					0,0306						0,2494	

Tab. LIV Sinkral C442 – 3A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,02	0,03	0,02	0,025	0,0058	0,18	0,16	0,21	0,14	0,1725	0,0299
2.	0,04	0,04	0,03	0,04	0,0375	0,005	0,23	0,27	0,16	0,31	0,34	0,064
3.	0,06	0,07	0,04	0,04	0,0525	0,015	0,36	0,57	0,2	0,25	0,345	0,1642
4.	0,02	0,05	0,03	0,03	0,0325	0,0126	0,13	0,27	0,15	0,21	0,19	0,0632
5.	0,05	0,06	0,04	0,02	0,0425	0,0171	0,56	0,31	0,25	0,13	0,3125	0,1812
					0,038						0,272	

Tab. LV Sinkral C442 – 3A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,04	0,07	0,03	0,045	0,0173	0,3	34	0,51	0,18	8,7475	16,836
2.	0,07	0,08	0,11	0,06	0,08	0,0216	0,45	0,43	0,58	0,47	0,34	0,067
3.	0,05	0,12	0,07	0,03	0,0675	0,0386	0,46	0,84	0,34	0,22	0,465	0,2685
4.	0,02	0,07	0,04	0,07	0,05	0,0245	0,2	0,63	0,29	0,41	0,3825	0,1861
					0,0606						2,4838	

Tab. LVI Sinkral C442 – 3B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,05	0,02	0,05	0,04	0,0141	0,22	0,29	0,2	0,3	0,2525	0,0499
2.	0,05	0,06	0,03	0,04	0,045	0,0129	0,25	0,3	0,14	0,19	0,34	0,0698
3.	0,02	0,03	0,04	0,02	0,0275	0,0096	0,16	0,18	0,29	0,15	0,195	0,0645
4.	0,05	0,03	0,06	0,05	0,0475	0,0126	0,27	0,17	0,39	0,26	0,2725	0,0903
5.	0,03	0,02	0,03	0,03	0,0275	0,005	0,23	0,14	0,18	0,19	0,185	0,037
					0,0375						0,249	

Tab. LVII Sinkral C442 – 3B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,09	0,03	0,09	0,06	0,0675	0,0287	0,83	0,2	0,76	0,61	0,6	0,282
2.	0,05	0,09	0,1	0,09	0,0825	0,0222	0,32	0,63	0,82	0,42	0,34	0,2229
3.	0,09	0,07	0,09	0,07	0,08	0,0115	0,46	0,66	0,59	0,55	0,565	0,0835
4.	0,07	0,07	0,06	0,1	0,075	0,0173	0,44	0,72	0,31	0,84	0,5775	0,2447
					0,0763						0,5206	

Tab. LVIII Sinkral C442 – 4A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,02	0,02	0,02	0,0225	0,005	0,21	0,12	0,19	0,1	0,155	0,0532
2.	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,0082	0,2	0,21	0,16	0,13	0,34	0,037
3.	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,0082	0,19	0,21	0,16	0,17	0,1825	0,0222
4.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,16	0,13	0,2	0,13	0,155	0,0332
5.												
					0,0263						0,2081	

Tab. LIX Sinkral C442 – 4A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,02	0,03	0,03	0,0325	0,0126	0,26	0,14	0,19	0,16	0,1875	0,0525
2.	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03	0,0141	0,14	0,23	0,16	0,17	0,34	0,0387
3.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,19	0,12	0,2	0,15	0,165	0,037
4.	0,03	0,02	0,02	0,02	0,0225	0,005	0,19	0,15	0,13	0,18	0,1625	0,0275
					0,0269						0,2138	

Tab. LX Sinkral C442 – 4B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,03	0,03	0,02	0,0275	0,005	0,2	0,15	0,12	0,18	0,1625	0,035
2.	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,0082	0,2	0,11	0,2	0,18	0,34	0,0427
3.	0,02	0,02	0,03	0,04	0,0275	0,0096	0,16	0,15	0,18	0,22	0,1775	0,031
4.	0,02	0,03	0,04	0,04	0,0325	0,0096	0,14	0,18	0,2	0,26	0,195	0,05
5.	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,0082	0,17	0,17	0,28	0,13	0,1875	0,0645
					0,0295						0,2125	

Tab. LXI Sinkral C442 – 4B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,02	0,02	0,02	0,03	0,0225	0,005	0,12	0,16	0,13	0,18	0,1475	0,0275
2.	0,01	0,02	0,03	0,03	0,0225	0,0096	0,11	0,16	0,18	0,14	0,34	0,0299
3.	0,03	0,03	0,04	0,03	0,0325	0,005	0,2	0,19	0,24	0,25	0,22	0,0294
4.	0,02	0,02	0,02	0,03	0,0225	0,005	0,15	0,11	0,14	0,16	0,14	0,0216
					0,025						0,2119	

Tab. LXII Sinkral C442 – 5A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,07	0,04	0,06	0,0525	0,015	0,26	0,41	0,26	0,49	0,355	0,1145
2.	0,08	0,05	0,08	0,07	0,07	0,0141	0,56	0,29	0,52	0,48	0,34	0,1195
3.	0,07	0,04	0,09	0,05	0,0625	0,0222	0,47	0,3	0,56	0,36	0,4225	0,1156
4.	0,1	0,06	0,07	0,06	0,0725	0,0189	0,82	0,3	0,46	0,48	0,515	0,2187
5.	0,06	0,06	0,1	0,05	0,0675	0,0222	0,38	0,33	0,51	0,41	0,4075	0,0759
					0,065						0,408	

Tab. LXIII Sinkral C442 – 5A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,05	0,02	0,03	0,0325	0,0126	0,19	0,3	0,13	0,19	0,2025	0,0709
2.	0,03	0,06	0,03	0,03	0,0375	0,015	0,18	0,35	0,17	0,21	0,34	0,0834
3.	0,05	0,02	0,04	0,03	0,035	0,0129	0,25	0,14	0,22	0,17	0,195	0,0493
4.	0,02	0,03	0,06	0,06	0,0425	0,0206	0,27	0,21	0,43	0,28	0,2975	0,0936
					0,0369						0,2588	

Tab. LXIV Sinkral C442 – 5B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,08	0,05	0,05	0,0575	0,015	0,44	0,52	0,47	0,29	0,43	0,099
2.	0,07	0,05	0,07	0,06	0,0625	0,0096	0,44	0,35	0,36	0,41	0,34	0,0424
3.	0,07	0,05	0,07	0,06	0,0625	0,0096	0,44	0,33	0,5	0,46	0,4325	0,0727
4.	0,1	0,09	0,11	0,06	0,09	0,0216	0,69	0,57	0,6	0,56	0,605	0,0592
5.	0,07	0,08	0,1	0,08	0,0825	0,0126	0,57	0,69	0,47	0,62	0,5875	0,0925
					0,071							0,479

Tab. LXV Sinkral C442 – 5B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,05	0,03	0,04	0,07	0,0475	0,0171	0,33	0,15	0,2	0,35	0,2575	0,0978
2.	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,0115	0,26	0,15	0,23	0,16	0,34	0,0535
3.	0,03	0,04	0,06	0,03	0,04	0,0141	0,16	0,19	0,32	0,19	0,215	0,0714
4.	0,02	0,04	0,02	0,05	0,0325	0,015	0,15	0,25	0,14	0,36	0,225	0,1028
					0,0375							0,2594

Tab. LXVI Sinkral C442 – 6A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,03	0,02	0,02	0,025	0,0058	0,17	0,2	0,12	0,13	0,155	0,037
2.	0,03	0,03	0,04	0,03	0,0325	0,005	0,19	0,2	0,24	0,16	0,34	0,033
3.	0,03	0,02	0,02	0,03	0,025	0,0058	0,18	0,2	0,13	0,21	0,18	0,0356
4.	0,02	0,02	0,02	0,03	0,0225	0,005	0,13	0,12	0,13	0,18	0,14	0,0271
5.	0,02	0,03	0,03	0,03	0,0275	0,005	0,13	0,18	0,17	0,17	0,1625	0,0222
					0,0265							0,1955

Tab. LXVII Sinkral C442 – 6A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,14	0,12	0,15	0,17	0,145	0,0208
2.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,025	0,0058	0,14	0,13	0,23	0,18	0,34	0,0455
3.	0,03	0,02	0,04	0,02	0,0275	0,0096	0,23	0,12	0,29	0,14	0,195	0,0794
4.	0,02	0,03	0,03	0,01	0,0225	0,0096	0,15	0,18	0,2	0,1	0,1575	0,0435
					0,0238							0,2094



Tab. LXVIII Sinkral C442 – 6B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,05	0,03	0,02	0,0325	0,0126	0,18	0,3	0,26	0,18	0,23	0,06
2.	0,03	0,02	0,03	0,02	0,025	0,0058	0,18	0,11	0,17	0,15	0,34	0,031
3.	0,02	0,05	0,02	0,04	0,0325	0,015	0,12	0,27	0,15	0,23	0,1925	0,0695
4.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,17	0,19	0,18	0,19	0,1825	0,0096
5.	0,03	0,04	0,02	0,02	0,0275	0,0096	0,23	0,23	0,16	0,17	0,1975	0,0377
					0,028						0,2285	

Tab. LXIX Sinkral C442 – 6B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,04	0,03	0,02	0,04	0,0325	0,0096	0,2	0,2	0,24	0,13	0,1925	0,0457
2.	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0225	0,005	0,11	0,12	0,23	0,14	0,34	0,0548
3.	0,03	0,02	0,01	0,03	0,0225	0,0096	0,18	0,13	0,1	0,19	0,15	0,0424
4.	0,02	0,02	0,02	0,01	0,0175	0,005	0,16	0,14	0,13	0,1	0,1325	0,025
					0,0238						0,2038	

Tab. LXX Sinkral C442 – 7A - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,09	0,06	0,1	0,05	0,075	0,0238	0,8	0,58	0,87	0,29	0,635	0,2611
2.	0,1	0,1	0,07	0,09	0,09	0,0141	0,46	0,63	0,39	0,46	0,34	0,1021
3.	0,08	0,06	0,13	0,14	0,1025	0,0386	0,44	0,37	1,2	0,85	0,715	0,3865
4.	0,1	0,12	0,08	0,13	0,1075	0,0222	0,76	0,81	0,7	0,76	0,7575	0,045
5.	0,06	0,07	0,1	0,05	0,07	0,0216	0,43	0,43	0,63	0,54	0,5075	0,0967
					0,089						0,591	

Tab. LXXI Sinkral C442 – 7A - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,03	0,04	0,08	0,07	0,055	0,0238	0,17	0,32	0,55	0,38	0,355	0,1572
2.	0,07	0,05	0,09	0,05	0,065	0,0191	0,49	0,29	0,46	0,4	0,34	0,0883
3.	0,08	0,05	0,09	0,06	0,07	0,0183	0,46	0,36	0,53	0,36	0,4275	0,083
4.	0,12	0,05	0,08	0,1	0,0875	0,0299	0,71	0,35	0,46	0,87	0,5975	0,236
					0,0694						0,43	

Tab. LXXII Sinkral C442 – 7B - nepovlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,12	0,13	0,13	0,11	0,1225	0,0096	0,7	1,12	0,84	0,61	0,8175	0,2228
2.	0,12	0,1	0,09	0,1	0,1025	0,0126	0,97	0,58	0,94	0,88	0,34	0,179
3.	0,13	0,06	0,14	0,16	0,1225	0,0435	0,87	0,36	0,85	1,26	0,835	0,3686
4.	0,11	0,13	0,07	0,07	0,095	0,03	0,71	0,7	0,37	0,48	0,565	0,1678
5.	0,12	0,19	0,09	0,07	0,1175	0,0525	0,85	1,52	0,62	0,48	0,8675	0,461
					0,112						0,685	

Tab. LXXIII Sinkral C442 – 7B - povlakovaný

číslo vzorku	Ra				x	s	Rz				x	s
1.	0,09	0,06	0,08	0,06	0,0725	0,015	0,78	0,25	0,73	0,37	0,5325	0,2623
2.	0,08	0,16	0,13	0,07	0,11	0,0424	0,76	1,18	1,33	0,41	0,34	0,4169
3.	0,12	0,07	0,08	0,07	0,085	0,0238	0,86	0,69	0,49	0,48	0,63	0,1813
4.	0,13	0,07	0,16	0,11	0,1175	0,0377	0,73	0,46	1,43	1,08	0,925	0,4216
					0,0963						0,6069	

Tab. LXXIV Přehled naměřených průměrných drsností Ra tvarových vložek a výrobků z Makrolonu 2405

Makrolon 2405		Drsnosti výrobků Ra			
Číslo formy	Drsnosti tvar.vložek	A-nepovlakovaný	B-nepovlakovaný	A-povlakovaný	B-povlakovaný
1.	0,01	0,0495	0,0345	0,0488	0,0325
2.	0,015	0,0585	0,052	0,0506	0,0544
3.	0,025	0,0665	0,0585	0,07	0,0838
4.	0,06	0,0525	0,0383	0,0481	0,0375
5.	0,136	0,113	0,129	0,1125	0,1275
6.	0,212	0,0685	0,066	0,0381	0,0288
7.	0,29	0,135	0,1605	0,1581	0,1719

Tab. LXXV Přehled naměřených průměrných drsností Ra tvarových vložek a výrobků ze Sinkralu C442

Sinkral C442		Drsnosti vzorků			
Číslo formy	Drsnosti tvar.vložek	A-nepovlakovaný	B-nepovlakovaný	A-povlakovaný	B-povlakovaný
1.	0,01	0,034	0,0275	0,025	0,0288
2.	0,015	0,0235	0,0285	0,0263	0,0306
3.	0,025	0,038	0,0375	0,06	0,0763
4.	0,06	0,0263	0,0295	0,0269	0,025
5.	0,136	0,065	0,071	0,0369	0,0375
6.	0,212	0,0265	0,028	0,0238	0,0238
7.	0,29	0,089	0,112	0,0694	0,0963

**Výpočet % vyjádření odchylky od přesného kopírování:**

K výpočtu % vyjádření odchylky od přesného kopírování je třeba znát naměřené a hodnoty (viz. Tab. LXXIII a Tab. LXXIV) , ze kterých lze tato odchylka spočítat.

Příklad výpočtu pro tvarovou vložku č.1 a výrobek z Makrolonu 2405 A-nepovlakovaného.

$$Ra(\text{tvar. vložky}) = 0,01 \mu\text{m}$$

$$\bar{x} = 0,0495 \mu\text{m}$$

$$\frac{\Delta}{x} * 100 = \frac{-0,0395}{0,0495} * 100 = -79,8\%$$

$$\Delta = 0,01 - 0,0495 = -0,0395$$

Tab. LXXVI Přehled % vyjádření odchylky od přesného kopírování pro Makrolon 2405

Makrolon 2405	% vyjádření odchylky od přesného kopírování			
	A-nepovlakovaný	B-nepovlakovaný	A-povlakovaný	B-povlakovaný
0,01	-79,8	-71	-79,5	-69,2
0,015	-74,4	-71,2	-70,4	-72,4
0,025	-62,4	-57,3	-64,3	-70,2
0,06	14,3	56,7	24,7	60
0,136	20,4	5,4	20,9	6,7
0,212	209,5	221,2	456,4	636,1
0,29	114,8	80,7	83,4	68,7

Tab. LXXVII Přehled % vyjádření odchylky od přesného kopírování pro Sinkral C442

Sinkral C442	% vyjádření odchylky od přesného kopírování			
	A-nepovlakovaný	B-nepovlakovaný	A-povlakovaný	B-povlakovaný
0,01	-70,6	-63,6	-60	-65,3
0,015	-36,2	-47,4	-43	-51
0,025	-34,2	-33,3	-58,3	-67,2
0,06	128,1	103,4	123	140
0,136	109,2	91,5	268,6	262,7
0,212	700	657,1	790,8	790,8
0,29	225,8	158,9	317,9	201,1

### 6.2.2.3 Grafická vyhodnocení závislostí drsností Ra

Grafická vyhodnocení závislostí drsností Ra jak výrobků, tak tvarových vložek jsou znázorněna v přílohách. Grafy byly zpracovány pomocí programu Microsoft Excel.

Popis jednotlivých grafů :

Graf č. 1

Tento graf zobrazuje závislost drsností tvarových vložek na drsnosti výrobků z Makrolonu 2405. V tomto grafu jsou zobrazeny křivky, které protínají přímo body naměřených hodnot u všech měřených výrobků. Navíc je zde křivka přesného kopírování, pomocí které lze sledovat, kdy se drsnosti výrobků blíží právě k tomuto přesnému kopíro-

vání. V tomto případě lze říci, že se drsnost výrobků téměř kopíruje v oblasti drsností tvarových vložek od  $Ra=0,04 \mu\text{m}$  do  $Ra=0,14 \mu\text{m}$ .

## Graf č. 2

Tento graf vychází ze stejných hodnot, jako graf č. 1, je zde pouze rozdíl v objektivnosti proložení bodů logaritmickými křivkami. Právě logaritmické proložení těchto bodů bylo zvoleno z toho důvodu, protože se (na rozdíl od jiných typů křivek) hodnota spolehlivosti  $R^2$  blížila nejbližší k hodnotě 1. Graf je doplněn rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti  $R^2$  u střední hodnoty.

## Graf č. 3

Do tohoto grafu byly použity opět hodnoty z grafu č. 1, které byly navíc doplněny o hodnoty vyšších drsností tvarových vložek (0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5), které byly použity z jiného experimentu. Tento graf ukazuje, jak se kopíruje materiál při vyšších drsnostech tvarových vložek.

## Graf č. 4

V tomto grafu je zobrazena % závislost vyjádření odchylky od přesného kopírování drsnosti výrobků od tvarových vložek. V grafu jsou použity vypočtené hodnoty z Tab. LXXV. V grafu jsou zobrazeny křivky, které protínají přímo body vypočtených hodnot u všech měřených výrobků z Makrolonu 2405. Hodnoty v oblasti drsností tvarových vložek od  $R_a=0,04 \mu\text{m}$  do  $R_a=0,14 \mu\text{m}$ , se blíží nule, jsou tedy efektivní, protože se s malou odchylkou kopírují.

## Graf č. 5

Tento graf vychází ze stejných hodnot, jako graf č. 4, je zde pouze rozdíl v objektivnosti proložení bodů logaritmickými křivkami. Právě logaritmické proložení těchto bodů bylo zvoleno z toho důvodu, protože se (na rozdíl od jiných typů křivek) hodnota spolehlivosti  $R$  blížila nejbližší k hodnotě 1. Graf je doplněn rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti  $R^2$  u střední hodnoty.









Graf č. 6 a 7

Tyto grafy zaznamenávají závislosti výrobků Makrolonu 2405 nepovlakovaných na povlakovaných. Graf č. 6 pro podmínky A a graf č. 7 pro podmínky B. Zde můžeme pozorovat závislosti při nanášení povrchů na výrobky. Grafy jsou doplněny rovnicemi regrese a hodnotami spolehlivosti  $R^2$ .

#### Graf č. 8

Tento graf zobrazuje závislost drsností tvarových vložek na drsnosti výrobků ze Sinkralu C442. V tomto grafu jsou zobrazeny křivky, které protínají přímo body naměřených hodnot u všech měřených výrobků. Navíc je zde křivka přesného kopírování, pomocí které lze sledovat, kdy se drsnosti výrobků blíží právě k tomuto přesnému kopírování. V tomto případě lze říci, že se drsnost výrobků kopíruje s mírnou odchylkou v oblastech drsností tvarových vložek od  $R_a=0,04 \mu\text{m}$  do  $R_a=0,12 \mu\text{m}$ .

#### Graf č. 9

Tento graf vychází ze stejných hodnot, jako graf č. 8, je zde pouze rozdíl v objektivnosti proložení bodů logaritmickými křivkami. Právě logaritmické proložení těchto bodů bylo zvoleno z toho důvodu, protože se (na rozdíl od jiných typů křivek) hodnota spolehlivosti  $R$  blížila nejblíže k hodnotě 1. Graf je doplněn rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti  $R^2$  u střední hodnoty.

#### Graf č. 10

V tomto grafu je zobrazena % závislost vyjádření odchylky od přesného kopírování drsnosti výrobků od tvarových vložek. V grafu jsou použity vypočtené hodnoty z Tab. LXXVI. V grafu jsou zobrazeny křivky, které protínají přímo body vypočtených hodnot u všech měřených výrobků ze Sinkralu C442. Hodnoty v oblasti drsností tvarových vložek od  $R_a=0,04 \mu\text{m}$  do  $R_a=0,112 \mu\text{m}$ , se blíží nule, jsou tedy efektivní, protože se s malou odchylkou kopírují.









## Graf č. 11

Tento graf vychází ze stejných hodnot, jako graf č. 10, je zde pouze rozdíl v objektivnosti proložení bodů logaritmickými křivkami. Právě logaritmické proložení těchto bodů bylo zvoleno z toho důvodu, protože se (na rozdíl od jiných typů křivek) hodnota spolehlivosti  $R$  blížila nejblíže k hodnotě 1. Graf je doplněn rovnicí regrese a hodnotou spolehlivosti  $R^2$  u střední hodnoty.

## Graf č. 12 a 13



Tyto grafy zaznamenávají závislosti výrobků ze Sinkralu C442 nepovlakovaných na povlakovaných. Graf č. 12 pro podmínky A a graf č. 13 pro podmínky B. Zde můžeme pozorovat závislosti při nanášení povrchů na výrobky. Grafy jsou doplněny rovnicemi regrese a hodnotami spolehlivosti  $R^2$ .

Grafy č. 14 – č. 17

U těchto grafů je snahou pozorovat rozdíly drsností výrobků ze dvou odlišných materiálů, které jsou vyrobeny na stejných tvarových vložkách. Ve všech případech se vykazuje Sinkral C442 lepší drsností, než Makrolon 2405. Grafy jsou doplněny rovnicemi regrese a hodnotami spolehlivosti  $R^2$ .

#### Vyhodnocení grafů :

Sledování jednotlivých grafů potvrzuje neshodné chování jak výrobků s různých materiálů, tak výrobků, vyrobených při nestejných podmínkách vstřikování a nestejných povlacích. Lze však stanovit pásma drsností, kdy je drsnost výrobků horší, než je drsnost tvarových vložek, což je neefektivní a lze tedy vynechat případné nákladné a časově náročné zbytečné dokončovací operace povrchů forem. Z grafických vyhodnocení je zřejmé, že tato hranice se pohybuje při  $R_a = 0,04 - 0,5 \mu\text{m}$  pro Makrolon 2405 a  $R_a = 0,35 - 0,4 \mu\text{m}$  pro Sinkral C442.

















## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl výzkum podmínek kopírování nedokonalostí povrchu na polymerní výrobky, tím se rozumí stanovení efektivní a také ekonomické oblasti výroby povrchů vstřikovacích forem. K tomuto vyhodnocení se byly použity výrobky z Makrolonu 2405 a Sinkralu C442, které byly vyrobeny za různých podmínek vstřikování a byly vyrobeny pomocí sedmi tvarových vložek, které se od sebe lišily neshodnými drsnostmi. Část takto zhotovených výrobků byla navíc povlakována nanosenou vrstvou hliníku. K měření drsností těchto výrobků a tvarových vložek byl použit měřicí přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301, pomocí jehož se stanovily naměřené hodnoty Ra a Rz. Naměřené hodnoty se dále zpracovaly pomocí statistického a grafického vyhodnocení.

Použité materiály (Makrolon 2405 a Sinkral C442) mají odlišné vlastnosti, tudíž je z grafického vyhodnocení patrná odlišnost chování použitých materiálů, kdy výrobky z Makrolonu 2405 se vykazují vždy vyšší drsnost než Sinkral C442, což je způsobeno odlišnou tekutostí a zatékavostí materiálů. Z grafických vyhodnocení byla stanovena pásma drsností, kdy je drsnost výrobků horší, než je drsnost tvarových vložek, což je neefektivní, neekonomické a lze tedy vynechat případné nákladné a časově náročné již zbytečné dokončovací operace povrchů forem. Z grafických vyhodnocení je zřejmé, že tato hranice se pohybuje při  $Ra = 0,04 - 0,05 \mu\text{m}$  pro Makrolon 2405 a  $Ra = 0,035 - 0,04 \mu\text{m}$  pro Sinkral C442.

Měřené výrobky byly vyrobeny ve vstřikovací formě s vyměnitelnými tvarovými vložkami s odlišnými drsnostmi. Konstrukce úpravy vstřikovací formy, byla navržena a zkonstruována pomocí programu Catia V5R15 včetně výkresové dokumentace.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Štěpek J.; Zelinger J.;Kuta A.: Plastikářská technologie, SNTL Praha 1989
- [2] Bobčík, L. a kol.: Formy pro zpracování plastů I. díl, Uniplast Brno, 1998
- [3] Neuhäusl, E.: Vstřikování plastických hmot, SNTL Praha 1973
- [4] Sáblik S.; Drastík F.: Základy strojnictví, ČVUT Praha, 1989
- [5] Lukovics, I.: Technické kreslení, SNTL Praha, 1988
- [6] Bumbálek B., Obvody V., Ošřádal B.: Drsnost povrchu, SNTL Praha, 1989
- [7] Beňo, J.: Teoria rezania kovou, Vienala, 1999
- [8] Kaštánek O.: Strojírenské materiály a technologie, ESVUT Brno, 1982
- [9] Kraus, V.: Povrchy a jejich úpravy, Západočeská Univerzita v Plzni, 2000
- [10] Bok, K.:Vakuová technika, SPŠ Rožnov pod Radhoštěm, 2003
- [11] Mádl, J.; Jersák, J.; Holešovský, F.: Jakost obráběných povrchů, UJEP Ústí nad Labem, 2003
- [12] Lukovics, I.: Konstrukční materiály a technologie, VUT Brno, 1991
- [13] Kolouch, J.: Strojní součásti z plastů, SNTL Praha, 1981
- [14] Šafařík, D.: Určení korelačních vztahů mezi nedokonalostí povrchu formy a plastových výrobků, UTB Zlín, Fakulta technologická, diplomová práce, 2004
- [15] Potácel, V.:Technologické aspekty struktury povrchu při dokončovacím obrábění, VUT Brno, Ústav strojírenské technologie, disertační práce, 2003

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$R_a$	střední aritmetická úchylka profilu
$R_z$	výška nerovnosti profilu z deseti bodů
$R_m$	největší výška nerovnosti profilu
$S_m$	střední rozteč nerovností profilu
$S$	střední rozteč místních výstupků profilu
$x$	úsečka profilu odečítaná na střední čáře
$y(x)$	funkce popisující profil
$y_i$	souřadnice $n$ bodů profilu povrchu na základní délce
$l$	základní délka
$n$	počet bodů profilu povrchu na základní délce
$y_{pmi}$	výška $i$ -tého nejvyššího výstupku profilu
$y_{vmi}$	hloubka $i$ -té nejvyšší prohlubně profilu
$R_{mi}$	hodnoty měřené v $i$ základních délkách
$N$	počet nejvyšších bodů místních výstupků profilu v rozsahu základní délky
$\bar{x}$	aritmetický průměr
$s^2$	soubor diskrétních hodnot náhodné veličiny
$E(\alpha)$	střední hodnota
$f(x)$	hustota rozdělení náhodné veličiny
$s$	výběrová směrodatná odchylka
$\Delta$	rozdíl hodnot

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 1 Vstřikovací stroj se šnekovou vstřikovací jednotkou
- Obr. 2 Vstřikovací stroj s plastikačním šnekem
- Obr. 3 Pracovní cyklus vstřikovacího stroje se šnekovou plastikační jednotkou
- Obr. 4 Uzavírací jednotka s kloubovým uzávěrem ovládaným hydraulicky
- Obr. 5 Hydraulická uzavírací jednotka
- Obr. 6 Konstrukce jednonásobné vstřikovací formy
- Obr. 7 Konstrukce vícenásobné vstřikovací formy
- Obr. 8 Vtokový systém formy
- Obr. 9 Plný kuželový vtok
- Obr. 10 Bodový vtok
- Obr. 11 Tunelový vtok
- Obr. 12 Boční vtok
- Obr. 13 Filmový vtok
- Obr. 14 Vyhazovací kolíky
- Obr. 15 Forma pro vstřikování výstřiku s vnitřním závitem
- Obr. 16 Možnosti vyrovnávání různých tlouštěk výstřiků
- Obr. 17 Závislost poměru toková dráha-tloušťka stěny  $\underline{z}$  na tloušťce stěny  $\underline{h}$
- Obr. 18 Možnosti zakrytí propadlin ve stěně výstřiku vzniklých vlivem protilehlých žebor
- Obr. 19 Různé možnosti zesílení okrajů výstřiků
- Obr. 20 Způsoby, jimiž lze zamezit prohnutí stěn výstřiku dovnitř
- Obr. 21 Drsnost povrchu základních způsobů obrábění
- Obr. 22 Příčná a podélná drsnost povrchu
- Obr. 23 Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu
- Obr. 24 Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$
- Obr. 25 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů  $R_z$
- Obr. 26 Největší výška nerovností profilu  $R_m$
- Obr. 27 Střední rozteč nerovností profilu  $S_m$
- Obr. 28 Střední rozteč místních výstupků profilu  $S$
- Obr. 29 Elektromagnetický snímač
- Obr. 30 Piezoelektrický snímač
- Obr. 31 Elektroinduktivní snímač
- Obr. 32 Schema výrobku
- Obr. 33 Schema tvarové vložky

Obr. 34 Schema měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301

Obr. 35 Konstrukční návrh formy

Obr. 36 Schematický řez formy

**SEZNAM TABULEK**

- Tab. I Vstřikovací cyklus
- Tab. II Doporučené oceli na funkční a pomocné části forem
- Tab. III Klasifikace běžných termoplastických polymerů dle struktury
- Tab. IV Drsnost povrchu dosahovaná různými metodami obrábění
- Tab. V Parametry vstřikovacího stroje pro materiál Makrolon 2405
- Tab. VI Parametry vstřikovacího stroje pro materiál Sinkral C442
- Tab. VII Obecné parametry vstřikovacího stroje ENGEL ES 330/80
- Tab. VIII Materiálový list pro Makrolon 2405
- Tab. IX Materiálový list pro Sinkral C442
- Tab. X Základní specifikace měřicího přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301
- Tab. XI – XVII Naměřené hodnoty Ra a Rz tvarových vložek
- Tab. XVIII – XLV Naměřené hodnoty Ra a Rz výrobků z Makrolonu 2405
- Tab. XLVI – LXXIII Naměřené hodnoty Ra a Rz výrobků ze Sinkralu C442
- Tab. LXXIV Přehled naměřených průměrných drsností Ra tvarových vložek a výrobků z Makrolonu 2405
- Tab. LXXV Přehled naměřených průměrných drsností Ra tvarových vložek a výrobků ze Sinkralu C442
- Tab. LXXVI Přehled % vyjádření odchylky od přesného kopírování pro Makrolon 2405
- Tab. LXXVII Přehled % vyjádření odchylky od přesného kopírování pro Sinkral C442

**SEZNAM PŘÍLOH**

P I	DP-0000 FORMA
P II	DP-0001 DESKA
P III	DP-0002 DOLNÍ VLOŽKA
P IV	DP-0003 TVAROVÁ VLOŽKA
P V	DP-0004 PŘIDRŽOVAČ
P VI	DP-0005 RÁM
P VII	DP-0006 VYHAZOVAČ





