

Aplikace statistických metod při vstřikování plastů

Application of statistic methods
injection by plastics

Radim Mitáš

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání bakalářské práce

V úvodu bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce ing. Daně Shejbalové za odborné vedení a cenné rady při řešení zadaného tématu.

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

Ve Zlíně, 5.6.2005

.....

jméno diplomanta

Abstrakt

Abstrakt česky

Tato bakalářská práce je zaměřena na aplikaci statistických metod při vstřikování plastů.

V literární části této práce jsou popsány nejpoužívanější statistické metody a technologie vstřikování plastů.

V experimentální části bylo provedeno vlastní měření a aplikace dvou vybraných statistických metod a to: regulačního (Shewhartova) diagramu a metody Precontrol.

V závěru této práce bylo provedeno vzájemné porovnání a vyhodnocení výsledků uvedených metod.

Abstrakt v anglickém jazyce

This bachelor's work is focused on an application of statistic methods by plastic injection.

A literal part of the work describes the most frequent statistic methods and technology of plastic injection.

An experimental part includes a proper measuring and applications of the two of selected statistic methods: Shewhart's control chart and Precontrol method.

Conclusion of the work shows a mutual comparison and evaluation of results concerning mentioned methods.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 LETERÁRNÍ A TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 VÝZNAM ŘÍZENÍ JAKOSTI	7
1.2 ZÁKLADNÍ NÁSTROJE ŘÍZENÍ JAKOSTI	8
1.2.1 Kontrolní tabulky	9
1.2.2 Vývojový diagram	10
1.2.3 Histogram	11
1.2.4 Diagram příčin a následku	13
1.2.5 Paretův diagram	13
1.2.6 Bodový diagram	16
1.2.7 Regulační diagram	17
1.3 METODA „PRECONTROL“	22
1.4 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	24
1.4.1 Plastikace	25
1.4.2 Vstříknutí taveniny do formy	25
1.4.3 Dotlak	27
1.4.4 Chládnutí hmoty ve formě	28
1.4.5 Smrštění	29
2 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	31
2.1 PRACOVNÍ HYPOTÉZA	31
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
3.1 POUŽITÉ MATERIÁLY	32
3.1.1 Čistý polypropylen (PP)	32
3.1.2 Polypropylen (PP) - plněné typy	32
3.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ	33
3.3 SCHÉMA MĚŘENÉ SOUČÁSTI	35
3.4 VLASTNÍ MĚŘENÍ	35
3.4.1 Regulační (Shewhartův) diagram	35
3.4.2 Regulační diagram metody Precontrol	39
4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	41
4.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ: REGULAČNÍ (SHEWHARTŮV) DIAGRAM	41
4.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ: REGULAČNÍ DIAGRAM PRECONTROL	41
ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM OBRÁZKŮ	46
SEZNAM TABULEK	47

ÚVOD

Řízení jakosti bylo dříve definováno jako souhrn všech požadavků, kterými zakládáme a dosahujeme norem jakosti.(1) Jinými slovy, řízení je plánování a realizace nejehospodárnějších prostředků zhotovení výrobků, který bude maximálně užitečný a bude vyhovovat požadavkům zákazníka.

Klasické definice řízení jakosti:

Demingova definice z roku 1950

Statistické řízení jakosti je aplikací statistických zásad a technik ve všech fázích výroby se zaměřením na co nejehospodárnější zhotovení výrobku, který je maximálně užitečný a má odbyt. (2)

Juranova definice z roku 1954

Řízení jakosti je souhrn všech prostředků, pomocí kterých zakládáme a dosahujeme technických podmínek jakosti, se statickým řízením jakosti jakožto součástí prostředků, pro zakládání a dosahování technických podmínek jakosti, které je založeno na nástrojích statistických metod.

Zabezpečování jakosti je prováděno nejenom prostřednictvím kontroly při výrobě nebo při expedici, ale přesnou znalostí toho, jakou jakost požaduje zákazník, aby nové výrobky mohly být plánovány a konstruovány v souladu s požadovanou jakostí a zhotovovány výrobním postupem v souladu s navrhovanou jakostí.

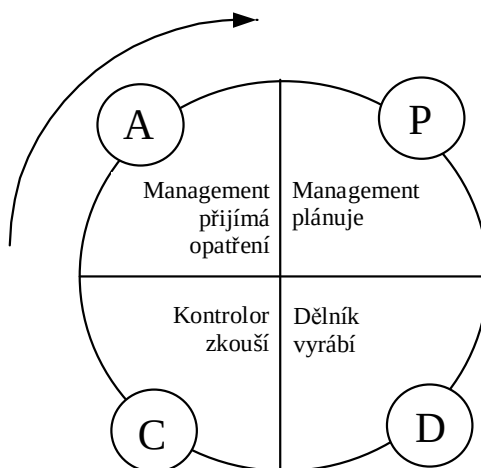
Při řízení jakosti se tradičně jedná o analytický přístup, pokus nalézt příčiny a při práci postupovat od výsledků. Většinou je to velmi účinné, až příliš se to u nových výrobků nebo nových postupů, kde schází výsledky, od kterých by se mohlo začít, nepoužívá. Jako reakce na tuto potřebu byl vyvinut konstruktivní přístup ve prospěch funkčního rozvinutí prostředků tak, aby vyhovovaly konečným cílům.

1 LITERÁRNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Význam řízení jakosti

Připojením slova „jakost“ k definici zjistíme, že řízení jakosti je souhrnem všech prostředků, kterými jsme založili a dosáhli normy jakosti. (1)

Řízení jakosti pro výrobu a prodej průmyslových výrobků se pohybuje po kružnici, jak je naznačeno na Demingově okruhu. Nejprve je výrobek naplánován, potom je vyroben, potom je zkontrolován a prodán. Tyto tři kroky probíhají v rámci podniku, avšak existuje i čtvrtý krok, ke kterému dochází mimo podnik a který zahrnuje průzkum trhu k identifikaci potřeb spotřebitele. Tento konečný krok vede přirozeně zpět ke kroku prvnímu – k plánování, založenému na výsledcích přehledu o trhu.



Obr. 1. Demingův okruh

W.E. Deming (1900) zobrazil řízení jako kolo, které se nekonečně otáčí na základě vědomí jakosti a smyslu pro odpovědnost za jakost výrobku (obr. 1.).

Zde je nutno poznamenat, že zajišťování vadných výrobků a jejich zachycování není pravé řízení jakosti. Řízení jakosti je úprava konstrukcí, pracovních norem a pracovních postupů tak, aby nedocházelo k produkci vadných výrobků. Řízení jakosti je vlastně prevence.

1.2 Základní nástroje řízení jakosti

Existuje několik jednoduchých a účinných nástrojů, které jsou potřebné při provádění analýz a diagnóz. Jsou známy jako sedm základních nástrojů řízení jakosti.

Jedná se o: Kontrolní tabulky
Vývojové diagramy
Histogramy
Diagramy příčin a následků
Paretovy diagramy
Bodové diagramy
Regulační diagramy

Uvedené metody se řadí k jednoduchým statistickým metodám, ale jejich účinnost je velmi vysoká a lze pomocí nich odhadovat a analyzovat velkou část problému s jakostí.

Postupy analýzy a diagnózy:

- 1) Vyhledat problémové body, na které je třeba se zaměřit
K vyhledání nejdůležitějších bodů lze použít Paretův diagram a potom shromáždit příslušné údaje o těchto problémech. Histogram a kontrolní schémata pomohou objasnit povahu problému.
- 2) Sestavit seznam možných příčin
- 3) Identifikovat základní příčiny problémů
Používá se stratifikace, korelační analýza a další statistické metody, k určení základních příčin
- 4) Navrhnout opatření k nápravě problémů
- 5) Uskutečnit nápravná opatření
- 6) Zavedení nových opatření

1.2.1 Kontrolní tabulky

Kontrolní tabulky slouží k ručnímu sběru prvotních dat o procesu spolehlivým, organizovaným způsobem.

Uspořádaný způsob záznamu dat umožňuje zjednodušení a standardizaci záznamu dat jejich vizuální interpretaci. To přináší minimalizaci chyb při vlastním sběru, záznamu, přepisování, interpretaci a ukládání dat.

Zjednodušení je charakterizováno použitím čárek nebo značek a symbolů místo čísel nebo textových charakteristik. Umožňuje mj. záznam velkého počtu dat do jedné tabulky

Kontrolní tabulky mají tři hlavní oblasti aplikace:

- 1) jsou nástrojem pro záznamy jednoduchého čítání různých položek (např. vad)
- 2) jsou nástrojem zobrazení rozdělení souboru měření
- 3) jsou nástrojem zobrazení místa výskytu určitých jevů, např. vad na výrobku

V prvním případě je tabulka výchozím podkladem pro zpracování např. Paretovy analýzy.

Ve druhém případě může sloužit jako výchozí podklad pro sestavení histogramu.

Ve třetím případě tabulky podávají jednak informace o četnosti výskytu různých druhů vad, jednak graficky zobrazují místa výskytu jednotlivých druhů vad a jejich koncentraci v těchto místech na zkoumaném výrobku.

Základem tvorby kontrolních tabulek je princip **stratifikace**. Jde o proces třídění dat podle zvolených hledisek nebo jejich kombinací. Cílem stratifikace jde oddělit data různých zdrojů tak, aby bylo možné určit rychle a jednoznačně původ každé položky dat a aby byl urychlen proces vyhledávání příčin neshod a problémů.

1.2.2 Vývojový diagram

Vývojový diagram slouží k názornému grafickému zobrazení posloupnosti a vzájemné návaznosti všech kroků určitého procesu. Jeho zpracování je důležitým východiskem zlepšování procesů, a tedy i jakosti. Lze ho využít k popisu jakéhokoliv procesu, přičemž se může jednat o existující, tak teprve navrhovaný proces.

Zpracování vývojového procesu by mělo být týmovou prací a měli by se ho účastnit zejména ti, kdo proces využívají.

Při konstrukci vývojových diagramů se používá zavedená grafická symbolika. Nejčastěji používané symboly pro tvorbu vývojových diagramů jsou uvedeny na obr. 2.

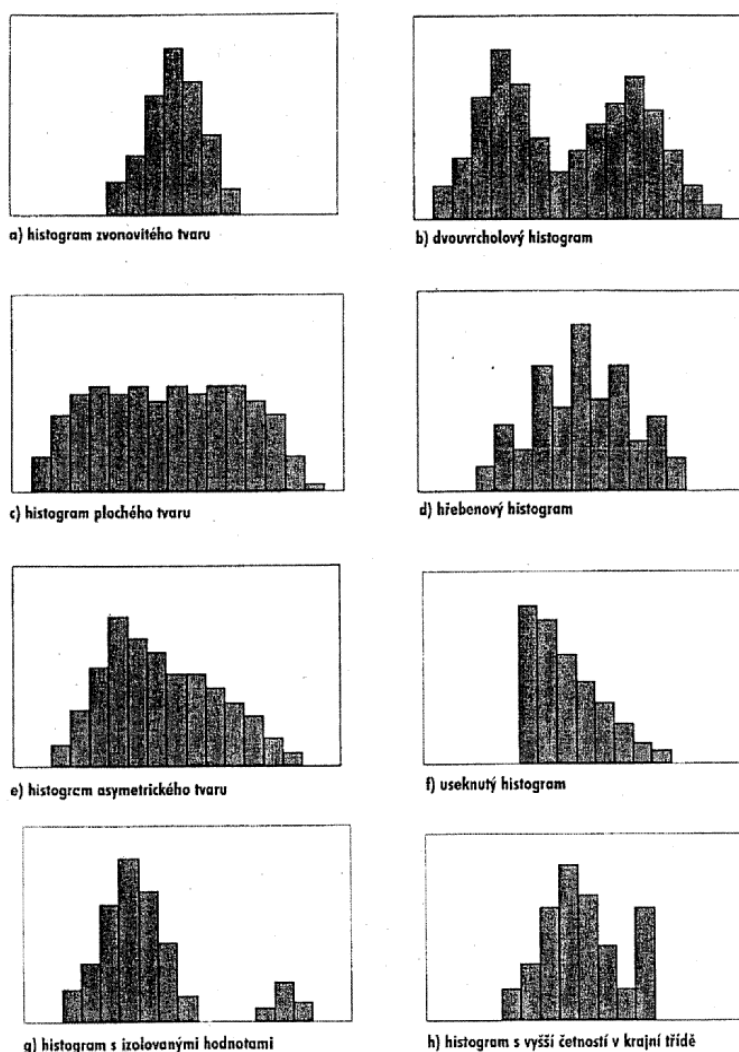


Obr. 2. Nejpoužívanější symboly vývojových diagramů

1.2.3 Histogram

Histogram je sloupcový diagram znázorňující rozdělení četnosti hodnot ve vhodně zvolených intervalech (třídách) a je považován za základní grafický nástroj hodnocení shromažďovaných údajů. Je potřeba upozornit, že sestavení diagramu má smysl až od určitého počtu hodnocených údajů (minimálně cca 30 hodnot). U méně rozsáhlých souborů lze ke grafickému hodnocení rozdělení sledovaného znaku využít například krabicový diagram.

Analýza sestaveného histogramu se soustřeďuje zejména na centrování histogramu, které charakterizuje střední hodnotu sledovaného znaku, na šířku histogramu, která charakterizuje variabilitu hodnot a na jeho tvar, který umožňuje odhalit některé vymezené (zvláštní) příčiny variability. Některé základní tvary histogramu jsou uvedeny na obr. 3.



Obr. 3. Typické tvary histogramů

Nejčastěji se lze setkat s *histogramem zvonovitého tvaru*, který je obrazem normálního rozdělení.

Dvouvrcholový či *vícevrcholový histogram* signalizuje, že analyzovaný soubor údajů vznikl spojením dvou či více souborů získaných za různých podmínek (různé suroviny, různé technologie, různé směny atd).

Histogram plochého tvaru vzniká obvykle v případech kdy údaje byly shromážděny za proměnlivých podmínek, tedy jako by bylo spojeno několik dílčích souborů, jejichž histogramy se navzájem překrývají.

Histogram hřebenového tvaru je charakteristickým pravidelným střídáním vyšších a nižších hodnot četností v jednotlivých intervalech.

Asymetrický tvar histogramu většinou signalizuje případ, kdy hodnoty sledovaného znaku leží v blízkosti hranice, která vymezuje obor hodnot znaku.

Tzv. „*useknutý histogram*” je charakteristický jednostranným či oboustranným prudkým ukončením.

Histogram s izolovanými hodnotami obvykle signalizuje přítomnost odlehlých hodnot.

Histogram s vyšší četností hodnot v krajní třídě obvykle signalizuje úmyslné zkreslování naměřených údajů tak, aby nebyly překročovány stanovené toleranční meze.

Z histogramu lze číst následující informace:

- odhad polohy a rozptýlenosti hodnot sledovaného znaku jakosti či parametru procesu
- odhad tvaru rozdělení sledovaného znaku jakosti či parametru procesu
- identifikace změn procesu –
 - a) srovnání histogramů mezi sebou a porovnáním odhadů polohy a rozptýlenosti
 - b) analýzou tvaru histogramu
- prvotní informaci o způsobilosti procesu

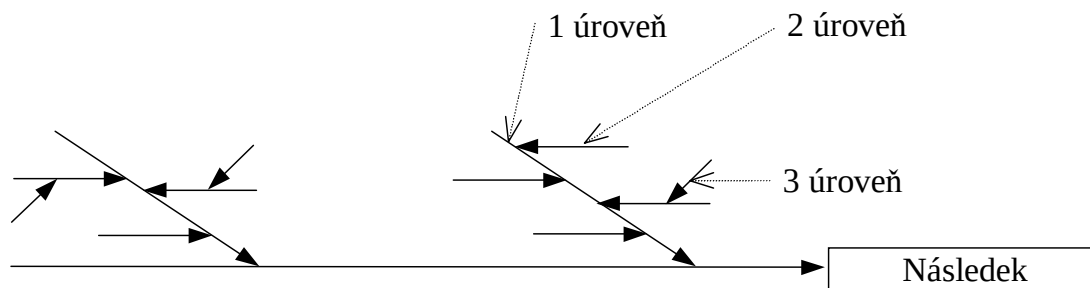
1.2.4 Diagram příčin a následku

Tento nástroj je základním jednoduchým nástrojem shromažďování informací o procesech, výsledcích, výkonnosti procesu za účelem zdokonalování procesů. Podle svého tvůrce je rovněž nazýván *Ishikawův diagram* nebo diagram rybí kosti (vzhledem ke svému tvaru). Svou povahou je tento nástroj předurčen pro týmovou práci. Je snadno pochopitelný, a proto použitelný na všech úrovních řízení a lze jej všude okamžitě uplatnit při řešení všech potencionálních problémů

Při aplikaci na oblast řízení jakosti lze diagram příčin a následků pojmát jako metodu analýzy variability procesu. Pomocí něj lze odhalovat vztahy mezi příčinami a následky.

V praxi se používají tři skupiny diagramů příčin a následků, a to diagramy

- 1) pro anlýzu variability procesu
- 2) pro klasifikaci procesu
- 3) pro vyšetřování příčin



Obr. 4. Diagram příčin a následku

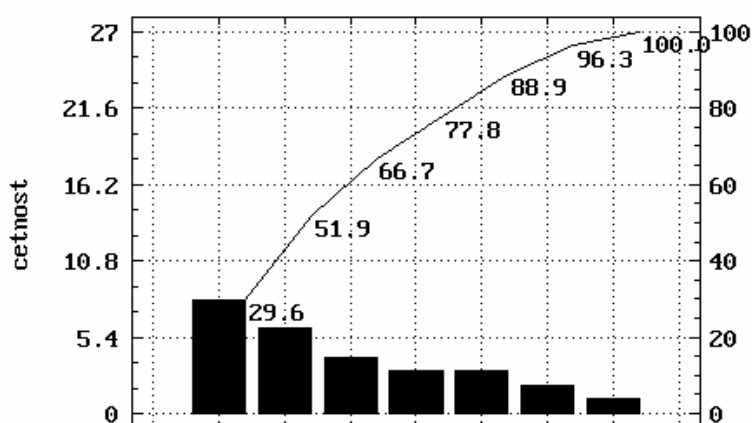
1.2.5 Paretův diagram

Paretův diagram je jednoduchá grafická metoda pro seřazení položek od nejčetnější po nejméně četnou. Paretův diagram je založen na Paretově principu, podle kterého na většinu následků působí pouze několik položek.

Největší zlepšení s vynaložením nejmenšího úsilí se dosáhne odlišením nejdůležitějších položek od méně důležitých.

Paretův diagram zobrazuje v klesajícím sledu relativní příspěvek každé položky na celkovém následku. Relativní příspěvek může spočívat v počtu výskytu, nákladech nebo jiných mírách dopadu na následek.

Ke znázornění relativního příspěvku každé položky se používají sloupce, pro znázornění kumulativního příspěvku položek se používá kumulativní křivka četnosti.



Obr. 5. Paretův diagram

Postup:

- 1) Rozhodnutí, které položky sledovat a jak provádět sběr dat. Určení kategorií dat (vady). Volba období, za které budeme provádět sběr dat, podle období, ve kterém se objevují problémy.

Vlastní sběr dat.

Výpočet kumulativních součtů hodnot ukazatele.

Tab. I Princip výpočtu

Pořadové číslo	Název vady	Počet vad (četnost)	Kumulativní četnosti	Relativní kumulovaná četnost (%)
1	Vada 1	a	a	$a / (\sum \text{cet} / 100)$
2	Vada 2	b	a+b	$(a+b) / (\sum \text{cet} / 100)$
3	Vada 3	c	a+b+c	$(a+b+c) / (\sum \text{cet} / 100)$
	Atd.			
	$\sum \text{vad}$	$\sum \text{cet}$		

2.) Sestavení Paretova diagramu

- osu x rozdělíme na stejné intervaly tak, že jejich počet odpovídá počtu druhů neshod (Σvad);
- levou vertikální osu (y) označíme stupnici od 0 do $\Sigma čet$ (tj. celkový počet odhalených neshod);
- na pravou vertikální osu (y) vyznačíme stupnici relativních kumulovaných součtů od 0% do 100%;
- sestrojíme sloupcový graf (1 sloupec = 1 druh vady, výška sloupce odpovídá četnosti daného druhu neshody) ;
- sestrojíme křivku kumulovaných četností v procentním vyjádření (tzv. „Lorenzovu křivku“). Tato je spojnici bodů, jejichž souřadnice odpovídají hodnotě pravé hranice daného intervalu a hodnotě kumulované četnosti v procentech odpovídající danému intervalu.

3) Označení diagramu

Zápis důležitých údajů (název diagramu, období sběru dat, název procesu, jméno tvůrce diagramu, apod.).

4) Vyhodnocení Paretova diagramu

Na základě volby kritéria pro výběr „*životně důležitých*“ neshod stanovíme, na které neshody (obecně příčiny odpovídající jakosti) je třeba zaměřit pozornost a provést jejich hlubší analýzu s cílem snížit počet neshodných výrobků. Volba kritéria se řídí zejména účelem analýzy a možnostmi (finančními, technickými, personálními) realizace nápravných opatření. Pro prvotní orientaci postačí kritérium 50% (tj. 50%-ní podíl kumulovaných součtů sestupně seřazených hodnot ukazatele).

Nejpoužívanější je kritérium 80%. Chceme-li provést analýzu pečlivěji a jsme-li schopni zaměřit své síly na více příčin, volíme tzv. „*kritérium průměrné hodnoty*“ zvoleného ukazatele (např. průměrný počet neshod na jeden druh neshody).

Hranici „*životně důležitých*“ neshod stanovíme v tomto případě tak, že postupně porovnáváme hodnotu zvoleného ukazatele u jednotlivých příčin s průměrnou hodnotou

tohoto ukazatele. Příčina, kde je hodnota daného ukazatele menší než průměrná hodnota, již nepatří do „*životně důležitých*“ neshod.

Pro případ průměrného počtu neshod na jeden druh neshody platí:

Průměrný počet neshod na jeden druh neshody $\Sigma_{cet} / \text{počet vad}$

vada1: $a < \Sigma_{cet} / \text{počet vad}$

vada2: $b < \Sigma_{cet} / \text{počet vad}$

vada3: $c < \Sigma_{cet} / \text{počet vad}$ atd.

Vady, u nichž je četnost výskytu neshody větší než průměrná hodnota (tj. $\Sigma_{cet} / \text{počet vad}$), zařazujeme do skupiny „*životně důležitých*“ příčin.

Celý postup analýzy by se měl realizovat vícenásobně. Volíme postupně různá zkoumání. Toto opatření nám umožní postihnout možné souvislosti mezi příčinami.

Závěrečnou fází Paretovy analýzy je všestranné posouzení dílčích závěrů a zhodnocení jejich vzájemného působení. U „*životně důležitých*“ nositelů negativních jevů je zapotřebí provést další hluboké šetření, odhalit příčiny a připravit nápravná opatření.

K tomu je nutno vytvořit tým, v němž budou zúčastnění zástupci všech profesí, jejichž činnosti s daným jevem souvisí.

1.2.6 Bodový diagram

Bodový diagram je grafickou metodou pro studium vztahů mezi dvěma proměnnými. Pomocí bodového diagramu lze posuzovat například vzájemnou souvislost mezi dvěma znaky jakosti výrobku, souvislosti mezi určitým znakem jakosti výrobku a jednotlivými parametry procesu, posuzovat jak dalece údaje měřidla odpovídají referenčním hodnotám apod.

Rozmístění bodů v bodovém diagramu, které odpovídají jednotlivým dvojicím hodnot příslušných proměnných, charakterizuje směr, tvar a míru těsnosti závislosti mezi sledovanými proměnnými. Ve většině případů se v praxi setkáváme s volnými závislostmi, které jsou charakteristické určitým rozptylem bodů. Příčinou tohoto rozptylu je nejčastěji působení dalších vlivů, jako je například variabilita parametrů procesu, vnějších podmínek, vlastností použitých materiálu apod. Na rozptylu bodů se rovněž podílí nepřesnost stanovení hodnot odpovídajících proměnných, kterou ovlivňuje řada parametrů, například nepřesnost metody stanovení, nepřesnost měřícího zařízení, nepřesnost obsluhy apod.

Základní typy stochastické závislosti jsou uvedeny na obrázku 6.

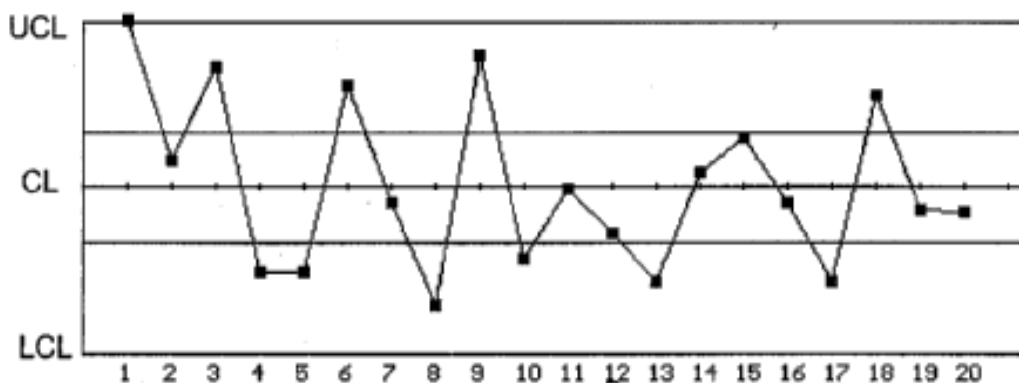


Obr. 6. Příklady závislostí

1.2.7 Regulační diagram

Regulační diagramy jsou hlavními nástroji statistické regulace procesu. Jde o grafickou pomůcku umožňující oddělit identifikovatelné (zvláštní) příčiny od náhodných (obecných) příčin variability procesu.

Konstrukce regulačních diagramů má matematicko – statistický základ. Regulační diagramy využívají provozních údajů pro stanovení mezí, uvnitř kterých lze očekávat budoucí pozorování, není-li proces ovlivňován vymezitelnými nebo zvláštními příčinami.



Obr. 7. Regulační karta

Na ose x se vynášejí pořadová čísla podskupin, na ose y hodnoty výběrových charakteristik sledovaného znaku jakosti či parametru procesu (např. výběrového průměru $\bar{x}_i$, výběrového rozpětí R_i , výběrové směrodatné odchylky s_i , apod.), které vypočteme z chronologicky za sebou jdoucích hodnot znaku jakosti získaných při provádění pravidelných výběrových kontrol. Minimální doporučený počet podskupin, pro stanovení regulačních mezí, je 20 – 25 podskupin s rozsahem minimálně 4 – 5 jednotek (měření n).

Regulační diagram dále obsahuje střední přímkou (CL), horní a dolní regulační meze (UCL, LCL). Regulační meze vymezují pásmo, v němž leží, s předem zvolenou pravděpodobností, hodnoty výběrových charakteristik jednotlivých podskupin, za předpokladu, že na zkoumaný proces působí v daném časovém úseku jen náhodné příčiny variability procesu. Pak lze při stanovení regulačních mezí vycházet z pravděpodobnostního rozdělení příslušných výběrových charakteristik. Nejčastěji se uvedená pravděpodobnost volí na úrovni 0,9973, což znamená, že regulační meze jsou vzdáleny od centrální čáry 3 směrodatné odchylky z dané výběrové charakteristiky na obě strany.

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{x}_{q\bar{q}} + A_2 \cdot R_q \quad (1)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{x}_{q\bar{q}} - A_2 \cdot R_q \quad (2)$$

$$UCL_R = D_4 \cdot R_q \quad (3)$$

$$LCL_R = D_3 \cdot R_q \quad (4)$$

Princip využívání regulačních diagramů:

- v pravidelných časových intervalech provádíme náhodně odběr určitého předem stanoveného pevného počtu produktů tvořících tzv. podskupinu;
- u odebraných produktů (stejného druhu, vyrobených za stejných podmínek) se měří či zjišťuje stejný znak jakosti X (např. určitý rozměr);
- u naměřených či jinak zjištěných hodnot znaku jakosti se vypočte pro každou podskupinu jedna nebo více výběrových charakteristik ($x_i, R_i, s_i, \dots$);
- hodnoty vypočtených výběrových charakteristik se chronologicky zakreslí do regulačního diagramu a provede se analýza diagramu.

Regulační diagram se využívá k analýze procesu a je rovněž základním nástrojem statistické regulace procesu (SPC - Statistical Process Control). Statistická regulace procesu představuje systém zpětné vazby, jehož základním cílem je dosažení a udržení stavu,

ve kterém proces probíhá na stabilní úrovni a trvale poskytuje výrobky, které vyhovují požadovaným kritériím jakosti.

Statistická regulace výrobního procesu

Statistická regulace výrobního procesu je založena na strategii prevence, která předchází vzniku neshodných výrobků, neboť svoji pozornost soustřeďuje tam, kde jakost vzniká a lze ji ještě ovlivnit.

Při zavádění statistické regulace se nejprve analyzuje, zda variabilita procesu je vyvolána pouze náhodnými příčinami nebo i působením vymezitelných příčin. K odhalení vlivu vymezitelných příčin se využívá regulační diagram.

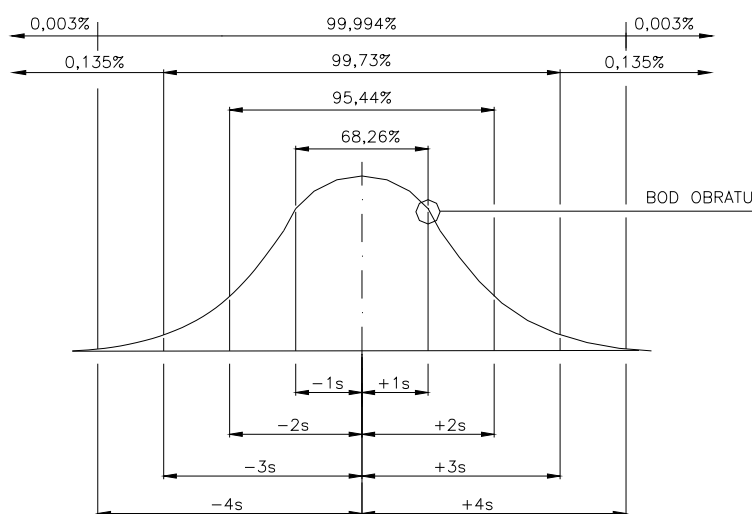
V případě, že jsou zjištěny signály působení vymezitelných příčin, je potřeba tyto příčiny identifikovat a odstranit, tak aby proces dostal do stavu, ve kterém jeho variabilitu vyvolávají pouze náhodné příčiny.

Z hlediska vlastní regulace výroby rozeznáváme tři typy výrobního procesu:

- * výrobní proces regulovaný – stabilní A
- * výrobní proces regulovaný – nestabilní B
- * výrobní proces neschopný regulace – nestabilní C

Cílem kontroly jakosti v oblasti statistické regulace je vytvářet proces A. Tříděním součástí na dobré a vadné lze v procesu B zabezpečit požadovanou jakost pouze krátkodobě. Nestabilní proces typu B lze lepším řízením převést do stavu A, protože lze nalézt příčiny nestability a provést jejich odstranění. Zvláštní a neodkladné řešení vyžadují procesy, které jsou nestabilní a nelze je v daném stavu regulovat.

Jako míru pro přirozené rozptýlení procesu či stroje používáme hodnotu $6s$. Příčina volby $6s$ je odůvoditelná tím, že u normálního rozdělení četností 99,73% naměřených údajů v oblasti $x \pm 3s$, pouze tři naměřené hodnoty z 1000 budou ležet mimo $6s$, což se všeobecně považuje za dostatečnou přesnost.



Obr. 8. Regulace výroby

Způsobilost procesu

Je informace o schopnosti procesu dodržovat toleranční meze v delší časové perspektivě za spolupůsobení různých faktorů. Studie způsobilosti procesu se používá pro dlouhodobé výrobní série a kombinuje se s regulačním diagramem.

Schopnost procesu či stroje vyrábět jednotky, které leží mezi tolerancemi HTM – DTM (HTM – horní toleranční mez, DTM – dolní toleranční mez), lze vyjádřit pomocí koeficientů:

$$c_p = (HTM - DTM) / 6s \quad (5) \quad c_m = (HTM - DTM) / 6s \quad (6)$$

c_p ukazatel způsobilosti procesu (procesí)

c_m ukazatel způsobilosti stroje (machine)

c_p a c_m jsou míry, které říkají, zda proces či stroj může pracovat v tolerancích, avšak neříkají, zda tam skutečně pracoval. Výpočet ukazatelů c_p a c_m nestačí pro posouzení schopnosti stroje nebo procesu vyrábět v tolerancích. c_p a c_m pouze udávají, jakou část zabírá přirozené rozptýlení $6s$ z tolerančního pole, a neříká nic o poloze průměru $\bar{x}$ vzhledem ke jmenovité (cílové) hodnotě JH.

Charakteristikou, která určuje polohu výrobního procesu vzhledem ke středu tolerančního pole (ke jmenovité hodnotě JM) je ukazatel správnosti nastavení c_{pk} , resp. c_{mk} .

Tento ukazatel lze vyjádřit:

$$c_{pk} = \min \left[\frac{HTM - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - DTM}{3s} \right] \quad (7)$$

Za výslednou hodnotu se bere hodnota minimální.

Charakteristické hodnoty ukazatele c_{pk} :

$c_{pk} = 1,0$ proces má rozptýlení v šířce tolerančního pole

$c_{pk} \geq 1,33$ (resp. 1,67) proces má rozptýlení menší než je šířka tolerančního pole.

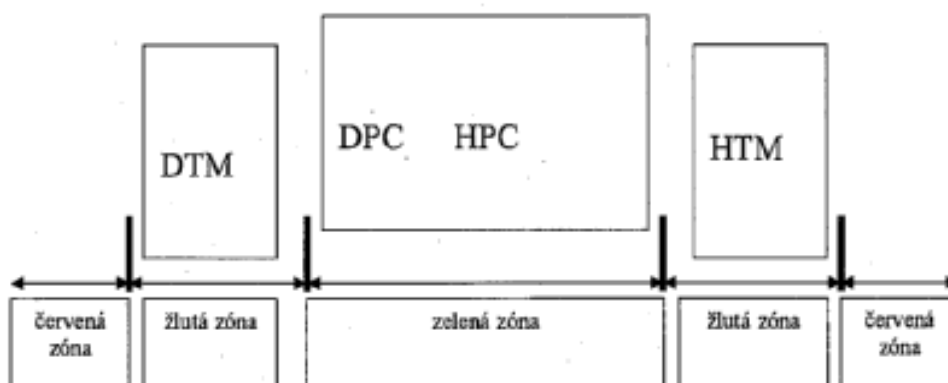
Podle způsobu hodnocení znaku jakosti rozdělujeme metody regulace na:

- 1) regulace měřením (tj. je-li znak jakosti vyjádřen spojitou kvalitativní veličinou – např. rozměrem;

- 2) regulace srovnáním (tj. je-li kontrolovaný kus pouze tříděn – nejčastěji do dvou tříd (vyhovující, nevyhovující) pak jde o tzv. znak alternativní, resp. můžeme třídit do tří skupin vzhledem k hornímu meznímu rozměru: neshodný – dobrý – opravitelný).

1.3 Metoda „Precontrol“

Metoda začíná rozdělením vlastního tolerančního pole výrobku tak, že jeho šířku vydělím čtyřmi. Toleranční pole je tedy rozděleno na čtyři stejné části. Hranice střední části tolerančního pole odpovídá $2/4$ šíře tolerančního pole a určují tak tzv. PRECONTROL (PC) mez. Tato část tolerančního pole se nazývá zelená zóna. Část tolerančního pole mezi horní PC mezí a horní toleranční mezí, popř. mezi dolní PC mezí a dolní toleranční mezí, se nazývají žluté zóny. Plochy nad horní, resp. dolní toleranční mezí jsou označovány jako červené zóny.



Obr. 9. Schéma rozdělení tolerančního pole pro metodiku Precontrol

Kontrola způsobilosti a řízení procesu na který je aplikována metoda Precontrol

Způsobilost procesu je nutné ověřit tak, že se provede výběr pěti po sobě jdoucích jednotek. Je-li hodnota naměřeného parametru u všech pěti jednotek v zelené zóně, předpokládáme, že je daný proces pod kontrolou a je možné v něm pokračovat. Je-li jedna hodnota parametru mimo zelenou zónu signalizuje, že výrobní proces není pod kontrolou a je třeba vyhledat a odstranit příčiny. Je-li proces pod kontrolou a probíhá-li bez zásahů provádí se další regulace na základě periodických výběrů o velikosti dvou jednotek, ve vhodném časovém intervalu.

Regulace výrobního procesu na který je aplikována metoda Precontrol

Body v zelené zóně

Je-li hodnota měřeného jakostního parametru u obou jednotek uvnitř zelené zóny, výrobní proces může pokračovat bez zásahů.

Body v zelené a žluté zóně

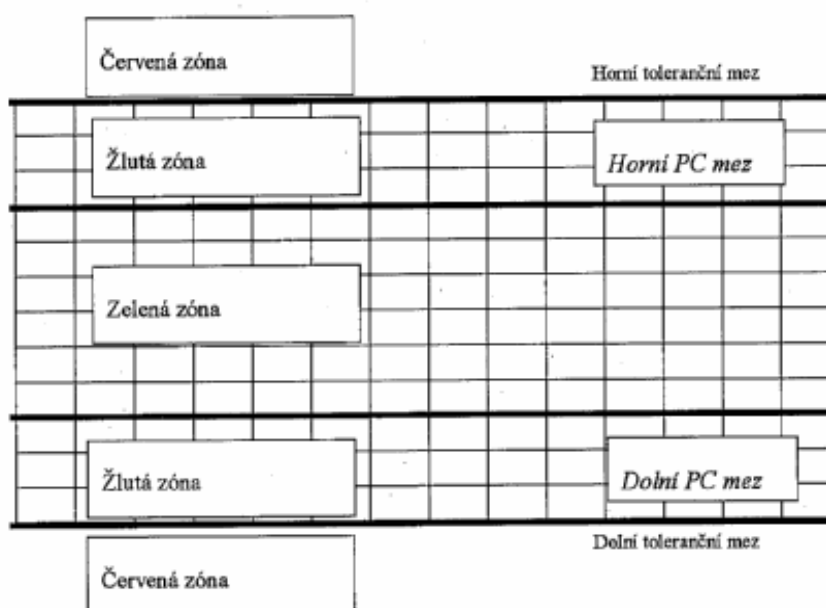
Jestliže hodnota parametru u jedné jednotky je v zelené zóně a u druhé se nachází v některé ze žlutých zón předpokládáme, že výrobní proces je stále pod kontrolou a stále nevyrábíme neshodné výrobky. Je možné vyrábět bez zásahu dále.

Body v žluté zóně

Jestliže se obě hodnoty parametru objevují v jedné nebo v obou žlutých zónách, předpokládáme, že výrobní proces je mimo kontrolu a výroba se musí zastavit. Je nutné vyhledat a odstranit příčiny této variability. Potom následuje opět postup ověření způsobilosti výrobního procesu.

Bod v červené zóně

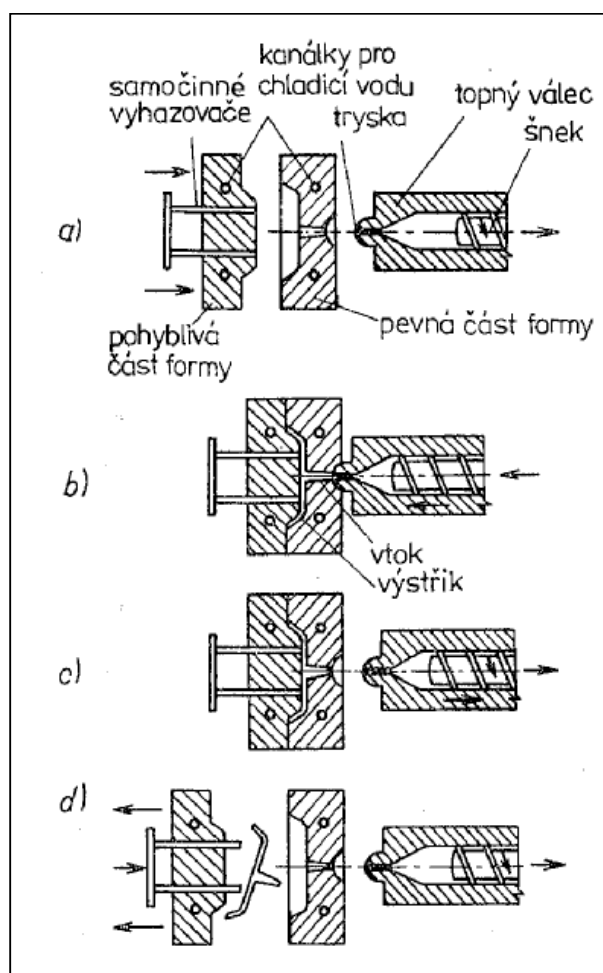
Jestliže jedna hodnota měřeného parametru se objeví v červené zóně znamená to, že proces je nejen mimo kontrolu, ale že byl taktéž vyroben neshodný výrobek. Výroba musí být tedy zastavena, musí se odstranit příčina neshodnosti a potom opět následuje ověření způsobilosti výrobního procesu.



Obr. 10. Tvar regulačního diagramu metody Precontrol

1.4 Vstřikování plastů

Vstřikování je vhodnou technologií pro hotové tvarové výrobky. Výrobní vstřikovací zařízení zahrnuje kromě řídicích přístrojů a pomocných zařízení především vstřikovací stroj a formu. Stroj a forma tvoří jediný technologický komplex a společně určují v průběhu vstřikovacího procesu vlastnosti a kvalitu výrobku. Vstřikovací proces má tyto hlavní fáze: *plastikace materiálu v tavící komoře stroje, vstříknutí taveniny do formy (dělí se na plnění formy a stlačení hmoty ve formě), dotlak a chládnutí hmoty ve formě*. Po této poslední fázi procesu nastává otevření formy, vyhození výstřiku a opětovné zavření formy. Průběh vstřikovacího cyklu je znázorněn na obr.11.



Obr. 11. Schéma vstřikování termoplastů

1.4.1 Plastikace

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

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

Je nutné udržovat teplotu taveniny, protože tato teplota přímo ovlivňuje viskozitu taveniny, velikost a průběh tlaku ve formě, dobu chládnutí výstřiku, stupeň orientace makromolekul aj., a tím i vlastnosti a rozměry výstřiku v jednotlivých výrobních cyklech stroje.

1.4.2 Vstříknutí taveniny do formy

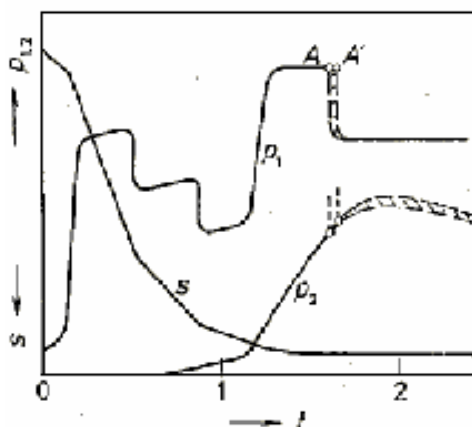
Účelem této fáze je dokonale naplnit tvarovou dutinu formy taveninou pod tlakem 50 až 200 MPa, podle viskozity taveniny a členitosti a tloušťce stěn výstřiku. Při vstřikování se šnek neotáčí, ale posune se hydraulicky vpřed a jako píst vytlačí taveninu z válce skrz trysku do formy. Fáze vstříknutí se dělí na plnění a stlačení hmoty ve formě.

Plnění formy

Plnění musí být dostatečně rychlé, aby se zabránilo předčasnému chladnutí a tuhnutí hmoty. Vysoká vstřikovací rychlost má příznivý vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku. V povrchových vrstvách je orientace sice mírně vyšší následkem zvýšeného smykového napětí, ale je podstatně menší v jádru průřezu, kde je následkem vyšší rychlosti nižší viskozita taveniny. Rychlost taveniny ve formě bývá zhruba 100 až 200 m.s⁻¹. Nadměrná rychlost způsobuje přehřátí a tepelnou degradaci materiálu.

Rychlost čela proudu taveniny ve formě má být v zásadě konstantní, aby se dosáhlo rovnoměrného a optimálního proudění s minimálními hydraulickými ztrátami. U jednoduchých výstřiků o stejné tloušťce stěny to vyžaduje přibližně konstantní rychlost posuvu šneku vpřed. Ale u výstřiku s rozdílnými průřezy je účelem měnit rychlost posuvu

šneku během vstřikovací fáze, aby rychlost proudu taveniny byla aspoň přibližně stejná. Na začátku výstřiku nemá rychlost taveniny dosáhnout skokem vysoké hodnoty, nýbrž její růst má být plynulý, aby nevznikala velká povrchová orientace, vnitřní pnutí a viditelné tokové čáry. Ke konci vstřiku je výhodné plynule zpomalit vstřikovací rychlost, aby mohl z formy uniknout vzduch a zabránilo se nadměrným tlakovým špičkám ve formě. Průběh posuvu šneku při vstřiku u moderních strojů je zřejmý z obr. 12.



Obr. 12. Průběh tlaků při vstřikování termoplastů

Popis obr. 12

p_1 - tlak hydraulické kapaliny posouvající šnek při vstřiku

p_2 - tlak taveniny ve formě

s – dráha posuvu šneku vpřed při vstřiku

t – čas

$A - A'$ - rozptyl okamžiku přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak v jednotlivých cyklech

Plnění formy je provázáno rychlými změnami tlaku, teploty a viskozity taveniny. Tyto změny jsou větší u složitějších tvarů a při vyšším poměru délky toku taveniny k tloušťce stěny. Mají za následek nehomogenitu a nerovnoměrnost struktury, orientaci, vnitřní pnutí apod. Tomu se dá do značné míry zabránit vhodným tvarem, případně úpravou výstřiku z hlediska optimálního proudění taveniny.

Stlačení hmoty ve formě

Po naplnění všech tvarových dutin formy nastává stlačování hmoty. Tlak taveniny prudce stoupne a vstřikovací rychlost náhle klesne. Jestliže by tlak oleje v hydraulickém válci ovládajícím posuv šneku zůstal na původní vysoké hodnotě (tzv. vstřikovací tlak), vznikla by ve formě tlaková špička, která by způsobila zvýšenou hmotnost a zvětšené rozměry výstřiku a navíc vysoké namáhání formy, které by mohlo vést až k jejímu pružnému prohnutí (tzv. dýchnutí formy) a z toho plynoucí přeplnění formy. Výstřik v přeplněné formě by byl po krátkodobém „dýchnutí“ pružně stlačen, po vyjmutí z formy by nepatrně expandoval a v jeho povrchových vrstvách by vzniklo tahové vnitřní pnutí. Kromě toho při náhlém poklesu tlakové špičky nastane jistý zpětný tok chladnoucí taveniny z formy ven k trysce, což zvyšuje orientaci makromolekul, zejména v okolí vtoku.

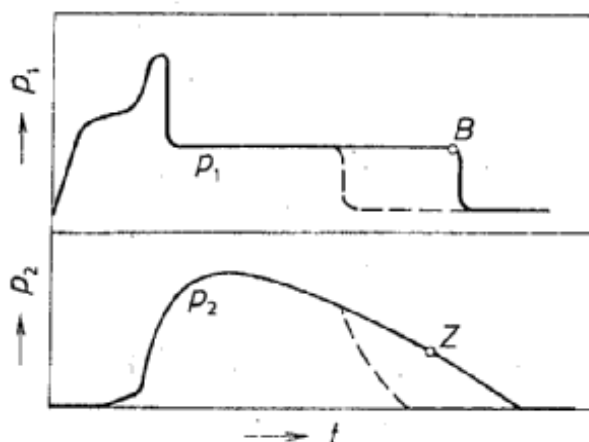
Aby se zamezily tyto nežádoucí jevy, je nutné v určitém okamžiku před dosažením tlakového maxima ve formě snížit vstřikovací tlak posouvající šnek na tzv. dotlak.

Moderní stroje mívají zabudován systém přesného přepínání vstřikovacího tlaku na dotlak, odvozený buď od posuvu šneku pomocí bezkontaktních snímačů, nebo od tlaku taveniny ve formě.

1.4.3 Dotlak

Účelem dotlaku je po ukončení vstřiku dotlačovat další taveninu do formy a nahrazovat tak úbytek objemu způsobený smršťováním materiálu během chladnutí, aby ve výstřiku nevznikly staženiny nebo povrchové propadliny. Dotlak má velký vliv na strukturu výrobku a časově se překrývá s fází chladnutí výstřiku ve formě. Velikost dotlaku a jeho trvání mají odpovídat postupu smršťování hmoty ve formě. Vyšší dotlak má za následek větší rozměry výstřiku a také vyšší stupeň orientace makromolekul v některých partiích, neboť ve fázi dotlaku má již chladnoucí tavenina poměrně vysokou viskozitu.

Dotlak má trvat tak dlouho, dokud neztuhne ústí vtoku, jímž se dotlačuje tavenina do formy. Ukončení dotlaku je znázorněno na obr. 13. bodem **B**, ztuhnutí ústí vtoku bodem **Z**.



Obr. 13. Průběh dotlaku při vstřikování termoplastů

Popis obr. 13

p_1 - tlak hydraulické kapaliny posouvající šnek při vstřiku

p_2 - tlak taveniny ve formě

t - čas

B – okamžik ukončení dotlaku, pokles na zpětný tlak,

Z – okamžik ztuhnutí vtoku

- - - průběh tlaku při předčasném ukončení dotlaku

1.4.4 Chladnutí hmoty ve formě

Proces chladnutí začíná již během vstřikovací fáze a pokračuje během dotlaku. V celém procesu chladnutí dochází ke značným časovým i místním změnám stavových veličin polymeru, tlaku (p), měrného objemu (V) a teploty (T). Průběh stavových veličin je v různých místech výstřiku odlišný a je ovlivněn tvarem výrobku, tloušťkou stěn, vstřikovacím tlakem a dotlakem, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny a teplotním polem formy. Změny stavových veličin potom přímo určují vznik struktury a jejich odlišností a ovlivňují hmotnost a rozměry výstřiku. Vzhledem k rychlým časovým změnám p , V , T zůstává většina oblasti struktury ve výstřiku ve stavu nerovnovážném. Nerovnovážnost

struktury a nehomogenita výstřiku jsou tedy dány podstatou vstřikovacího procesu a nelze se jim vyhnout.

Fáze chladnutí ovlivňuje také kvalitu povrchu výstřiku, zejména lesk. Povrchový lesk závisí na teplotě formy, na drsnosti stěn formy, na tekutosti taveniny a na její schopnosti přesně obtisknout všechny povrchové detaily ve formě. Vzhledové nedostatky výstřiku jako jsou tokové čáry, povrchové propadliny, šupinatý povrch, stříbřité šmouhy aj., bývají způsobeny nevhodnými technologickými podmínkami při zpracování, špatným tvarovým řešením výrobku, nevhodným typem nebo umístěním vtoku apod.

Fáze chladnutí končí otevřením formy a vyhozením výstřiku. Forma se otvírá krátce po ukončení dotlaku.

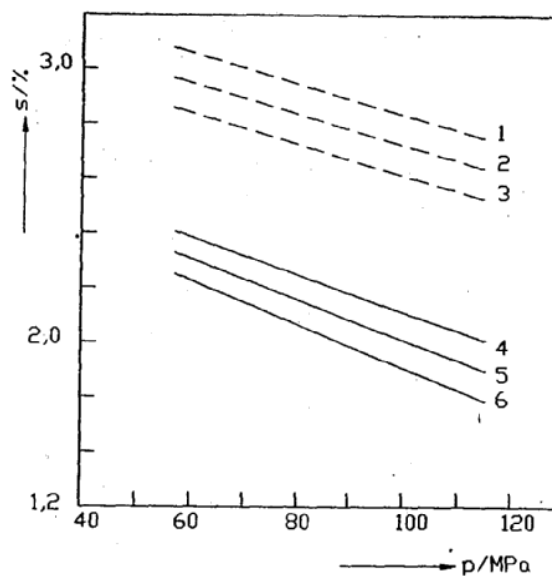
1.4.5 Smrštění

Smršťováním rozumíme zmenšování rozměrů výstřiku ochlazování polymerního materiálu ze zpracovatelské teploty na normální teplotu. Rozeznáváme smrštění ve formě a dodatečné smrštění, což je zmenšení rozměrů výstřiku během delšího časového období (např. při použití). Dodatečné smrštění je urychlováno zvýšenou teplotou. Smrštění je u amorfních polymerů dáno zmenšením měrného objemu polymeru při ochlazování a u semikrystalických polymerů se toto zmenšení objemu zvyšuje při krystalizaci. Proto amorfní polymery vykazují smrštění menší (0,3 až 0,5%) a semikrystalické polymery větší (0,8 až 4%). Krystalinita u posledně uvedených je i hlavně příčinou nerovnoměrného smršťování výstřiku.

Má-li být získán výstřik určitých rozměrů, je poměrně snadné upravit rozměry dutiny podle předpokládaného smrštění plastu, většinou udávaného výrobcem. Potíže však činí nerovnoměrné smršťování, významné zvláště u složitých výstřiků, které je hlavní příčinou rovnoměrných a tvarových chyb. Tyto chyby se mohou dále zvětšovat dodatečným smršťováním zvláště používáním výstřiku při vyšších teplotách.

Homogenita taveniny plastu, podmíněna správně zvolenou teplotou, zpětným tlakem a otáčkami šneku, umožňuje rovnoměrnou krystalizaci polymeru s rovnoměrným smrštěním výstřiku. Zvýšení vstřikovacího tlaku a dotlaku vede k vyššímu naplnění formy, vyvolává zmenšení volného objemu polymeru a zmenšení pohyblivosti makromolekul.

Tím se znesnadňuje jejich uložení do krystalů, a zmenšuje se tak i smrštění (obr. 14). Následnou temperací výstřiku se dosáhne rovnovážné krystalizace a smrštění vzroste.



Obr. 14. Závislost smrštění s na tlaku p v dutině formy při vstřikování

Popis obr. 14

1 – výstřik při teplotě 80°C

2 – výstřik při teplotě 100°C

3 – výstřik při teplotě 120°C

4 – teplota formy při vstřikování 120°C

5 – teplota formy 100°C

6 – teplota formy 80°C, tloušťka stěny 3,2mm

2. STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je aplikace statistických metod při vstřikování plastových vzorků. Při provádění analýz a diagnóz bude použit jeden ze sedmi nástrojů řízení jakosti, a to „Regulační diagram” (Shewhartův diagram) a metoda „Precontrol”.

2.1 Pracovní hypotéza

Vlastní práce bude rozdělena do hlavních témat.

První část bude zaměřena na vstřikování plastů ze třech různých materiálů:

čistý polypropylen (PP), polypropylen plněný 20% skleněných vláken (PP + 20%GF), polypropylen plněný 20% mastku (PP + 20%M).

Druhá část bude věnována vlastnímu měření šířky zkušebního vzorku, aplikaci statistických metod a způsobilosti procesu. Měření bude prováděno za použití digitálního posuvného měřidla.

Třetí část bude zaměřena na analytické ověřování způsobilosti procesu a vzájemného porovnávání výsledků použitých statistických metod.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použité materiály

3.1.1 Čistý polypropylen (PP)

Polypropylen je středně pevný, tuhý a houževnatý materiál. Jeho krystalinita bývá 50 až 70%. Hustota je 0,900 až 0,910 g.cm⁻³. Modul pružnosti v tahu $E = 1\,100$ až $1\,600$ MPa, napětí na mezi kluzu $R_e = 30$ až 38 MPa. Vzhledem ke své krystalinitě je PP neprůhledný. Bod tání čistého PP je 176°C. Polypropylen má v podstatě nepolární strukturu, takže vykazuje výborné elektroizolační vlastnosti v široké oblasti frekvencí. Odolnost proti korozi za napětí je značně vysoká. Vlastnosti PP závisejí na jeho izotakticitě, molekulové hmotnosti a stupni polydisperzity.

PP se zpracovává vstřikováním při teplotě 205 až 280°C a vytlačováním na trubky, desky, fólie a profily při teplotě 200 až 270°C. Index toku taveniny se pohybuje mezi 0,4 až 0,13 g za 10 min.

3.1.2 Polypropylen (PP) - plněné typy

Vliv plniv

Skleněná vlákna zvyšují tuhost (modul pružnosti) a pevnost při všech druzích namáhání, zmenšují kríp a teplotní roztažnost, značně zvyšují tvarovou stálost za tepla. Tím celkem zvyšují rozměrovou přesnost a tvarovou stabilitu. Na druhé straně však snižují značně tažnost a rázovou a vrubovou houževnatost a schopnost tlumení rázů a vibrací. Způsobují také orientaci vláken při vstřikování, a tím nestejněměrné smřštění v různých směrech a jistou anizotropii vlastností. Zhoršují znatelně dielektrické vlastnosti. Skleněná vlákna chemicky vázaná s polymerem zvyšují kromě toho podstatně pevnost v tahu. Skleněná vlákna patří také mezi dražší plniva.

Mastek a jiná minerální prášková plniva zvyšují tuhost, pevnost zvyšují jen málo, podstatně však snižují tažnost a rázovou a vrubovou houževnatost. Zhoršují dielektrické vlastnosti. Tato nevláknitá plniva však nezpůsobují orientaci a smřštění i vlastnosti výstřiku jsou izotropické, takže lze dosáhnout zvlášť vysoké rozměrové přesnosti a tvarové stability. Mastek a jiná běžná minerální plniva jsou levná.

Tab. II Mechanické vlastnosti plastů při teplotě 20°C

Zkratka plastu	Hustota (g.cm ⁻³)	Modul pružnosti v tahu E (MPa)	Smrštění při vstřikování (%)	Mez kluzu v tahu Re (MPa)	Mez pevnosti v tahu Rm (MPa)	Tažnost A (%)	Tepelná vodivost při λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
PP	0,90 - 0,91	1100 – 1600	1,5 – 2	30 – 38	10 – 20	300 – 800	0,22
PP + 20% GF	1,04	2400 – 3500	0,7 – 1,5	26 – 32	30 – 35	20 – 50	0,25
PP + 20% M	1,04	2300 – 3000	0,7 – 1,2	26 – 32	28 – 32	15 – 20	0,41

3.2 Použité přístroje a zařízení

Vstřikovací stroj

K výrobě zkušebních těles byl použit vstřikovací stroj DEMAG ERGOtech 50-200. Se vstřikovacím strojem lze pracovat v režimu ručním (pomocí tlačítek), poloautomatickém (po ukončení jednoho vstřikovacího cyklu se vstřikovací stroj zastaví) a automatickém. Šnek vstřikovací jednotky je poháněn elektromotorem přes převodovou skříň s měnitelnými stupni otáček. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje je hydraulickomechanická, čtyřsloupové konstrukce. Uzavírací síla je vyvozena pomocí kloubového mechanismu ovládaného hydraulickým válcem. Rozvod tlakové energie v hydraulickém obvodu je řízen elektromagneticky ovládanými šoupátkovými rozvaděči. Hydraulický obvod je chlazen čerpadlem rozváděnou vodou.

Vstřikovací stroj je vybaven pevnými a pohyblivými zábranami, bránícími obsluze v přístupu do nebezpečného prostoru při funkci stroje.

Na vstřikovacím stroji může pracovat jen osoba starší osmnácti let, která je pro příslušný druh práce zacvičena a dostatečně poučena. Pro bezpečnost práce platí v plném rozsahu norma Bezpečnostní předpisy pro hydraulické lisy ČSN 210701.

Tab. III Technická data vstřikovacího stroje DEMAG ERGOtech 50-200

Uzavírací síla	[kN]	500
Průměr šneku D	[mm]	30
Poměr L/D	-	20
Otáčky šneku	[min ⁻¹]	150
Vstřikovací tlak	[Mpa]	150
Zdvihový objem	[cm ³]	106
Počet temperačních zón	-	4

Poměr L/D je charakteristika šneku, je to poměr délky a průměru šneku.

Tab. IV Nastavené parametry na vstřikovacím stroji

Materiál	-	PP s 0, 5, 10, 15, 20 % GF
Čas cyklu	[s]	90,8
Otáčky šneku	[min ⁻¹]	150
Vstřikovací tlak	[MPa]	94
Vstřikovací rychlost	[mm.s ⁻¹]	30
Dotlak	[MPa]	93
Čas působení dotlaku	[s]	70
Teperace formy	[°C]	Netemperovaná forma
Teplota v zóně plnění	[°C]	80
Teplota ve vstupní zóně MH1	[°C]	190
Teplota v přechodové zóně MH2	[°C]	220
Teplota ve výstupní zóně MH3	[°C]	230
Teplota v zóně vstřikovací trysky	[°C]	240

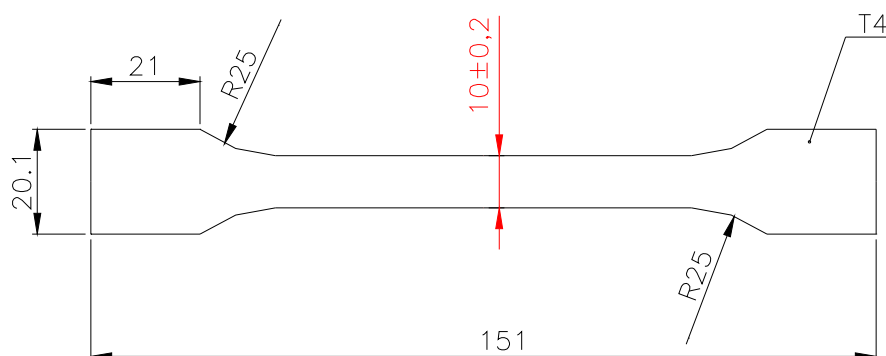
Vstřikovací forma

Ke vstřikování zkušebních těles byla použita jednonásobná vstřikovací forma. Vstřikovací forma byla chlazená a případně současně temperována olejem. Vyhození výstřiku z formy po ochlazení bylo provedeno pomocí válcových vyhazovačů ukotvených v kotevní desce formy.

Digitální posuvné měřidlo:

- přesnost: 0,01mm
- rozsah: 0 – 150mm

3.3 Schéma měřené součásti:



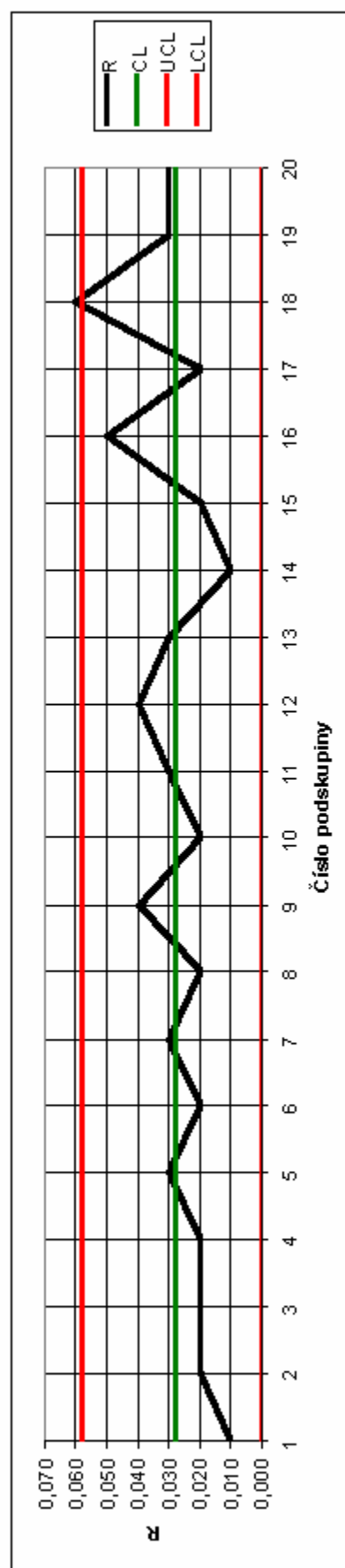
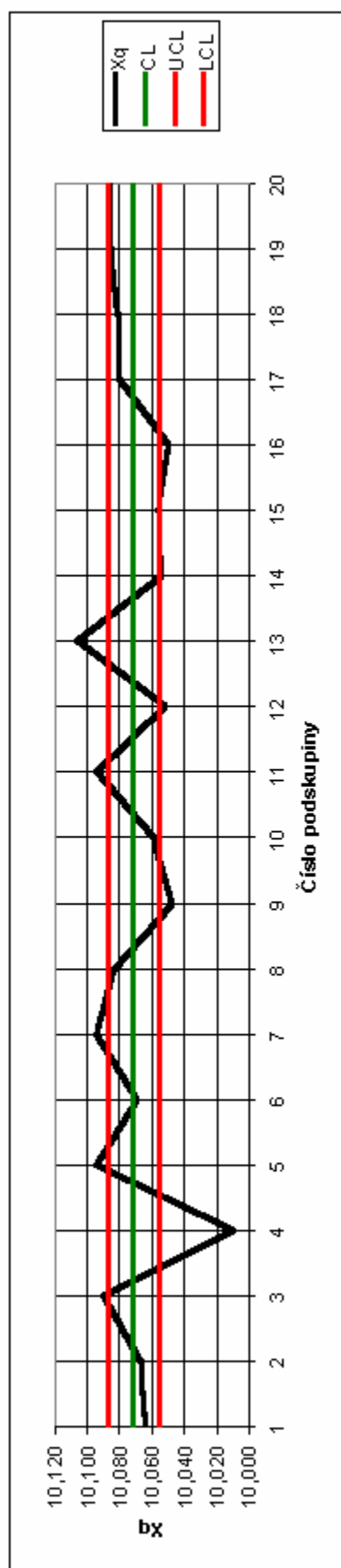
Obr. 15. Schéma měřené součásti

3.4 Vlastní měření

3.4.1 Regulační diagram (Shewhartův diagram)

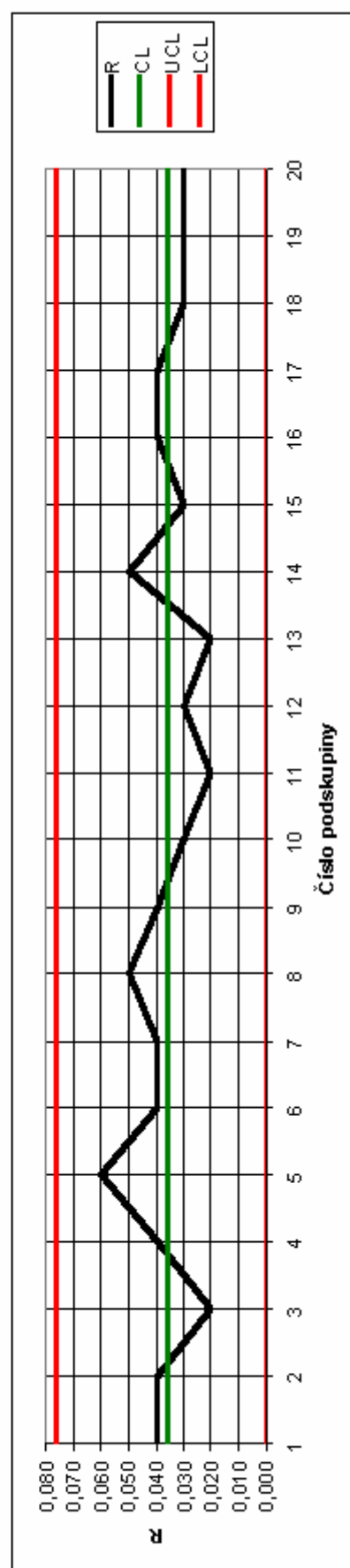
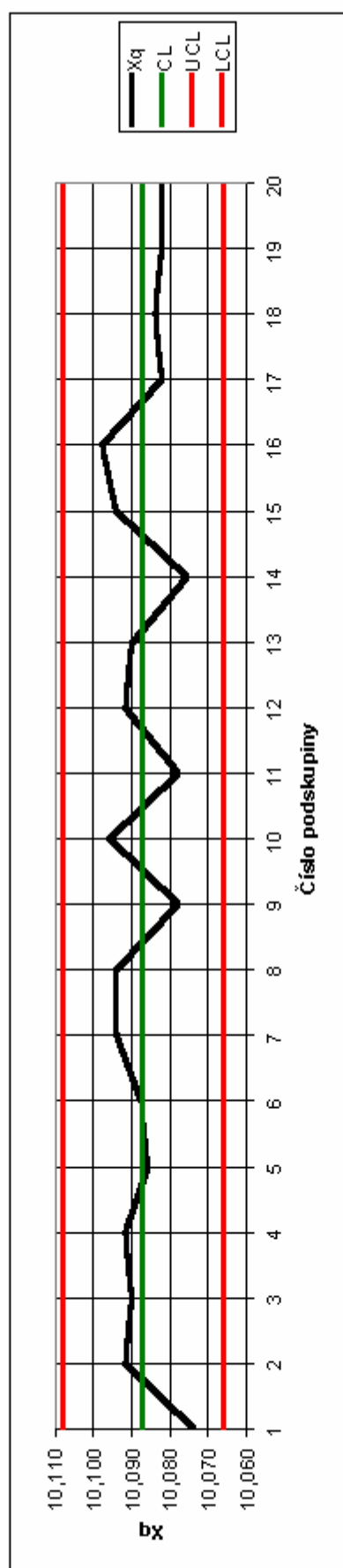
Měření se provádělo za použití digitálního posuvného měřidla, a to v 20 podskupinách součástí po 5 měřeních v různých místech měřeného úseku.

Č. odb.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x1	10,070	10,060	10,090	10,010	10,090	10,060	10,110	10,090	10,030	10,050	10,100	10,030	10,110	10,050	10,050	10,030	10,080	10,050	10,100	10,100
x2	10,060	10,060	10,100	10,010	10,110	10,080	10,110	10,090	10,070	10,070	10,110	10,050	10,110	10,060	10,060	10,040	10,090	10,070	10,100	10,100
x3	10,070	10,070	10,100	10,020	10,100	10,080	10,090	10,080	10,050	10,060	10,090	10,050	10,120	10,050	10,050	10,050	10,080	10,080	10,080	10,080
x4	10,060	10,070	10,080	10,010	10,090	10,070	10,080	10,090	10,050	10,060	10,090	10,060	10,100	10,050	10,070	10,050	10,080	10,100	10,080	10,080
x5	10,060	10,080	10,080	10,000	10,080	10,060	10,080	10,070	10,040	10,060	10,080	10,070	10,090	10,060	10,050	10,080	10,070	10,110	10,070	10,070
Suma x	50,320	50,340	50,450	50,050	50,470	50,350	50,470	50,420	50,240	50,300	50,470	50,260	50,530	50,270	50,280	50,250	50,400	50,410	50,430	50,430
xq	10,064	10,068	10,090	10,010	10,094	10,070	10,094	10,084	10,048	10,060	10,094	10,052	10,106	10,054	10,056	10,050	10,080	10,082	10,086	10,086
R	0,010	0,020	0,020	0,020	0,030	0,020	0,030	0,020	0,040	0,020	0,030	0,040	0,030	0,010	0,020	0,050	0,020	0,060	0,030	0,030



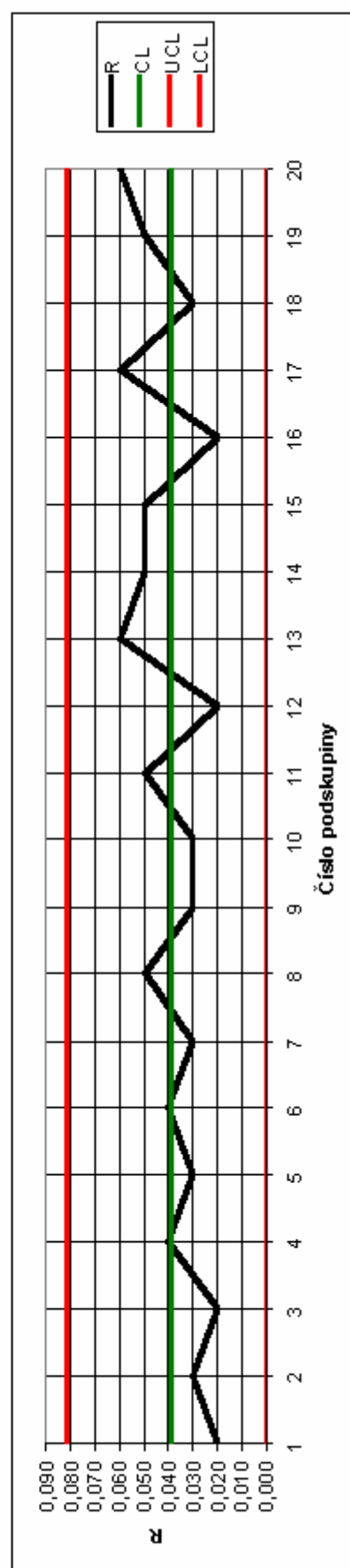
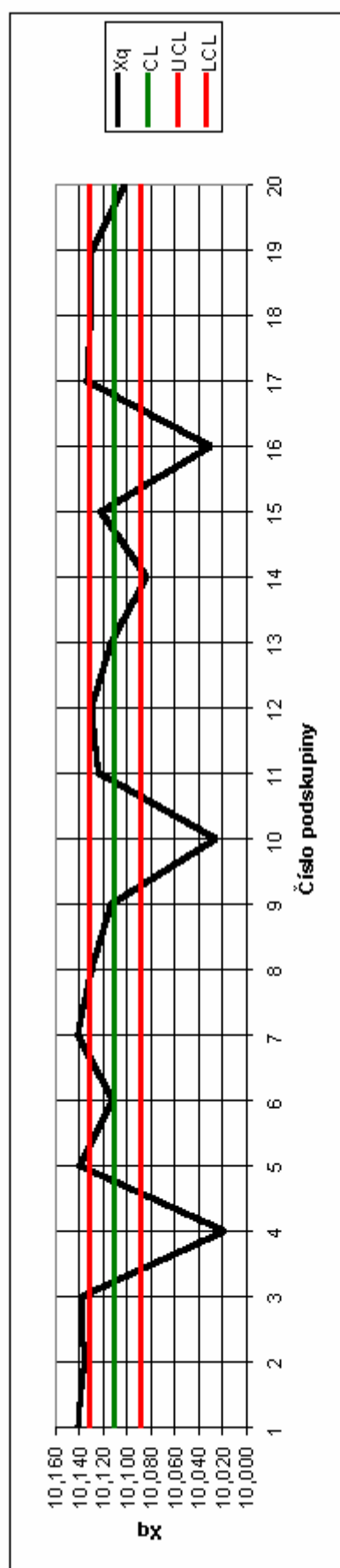
Obr. 16. Regulační karta PP

Č. odb.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x1	10,050	10,070	10,100	10,070	10,050	10,070	10,070	10,060	10,050	10,100	10,080	10,100	10,090	10,050	10,100	10,100	10,060	10,080	10,070	10,070
x2	10,070	10,080	10,100	10,080	10,080	10,080	10,090	10,090	10,080	10,110	10,080	10,110	10,100	10,070	10,110	10,120	10,080	10,100	10,080	10,070
x3	10,080	10,100	10,080	10,100	10,090	10,080	10,100	10,100	10,090	10,100	10,070	10,080	10,100	10,080	10,100	10,100	10,080	10,090	10,080	10,080
x4	10,080	10,100	10,090	10,100	10,100	10,100	10,110	10,110	10,080	10,080	10,090	10,080	10,080	10,080	10,080	10,090	10,090	10,070	10,080	10,090
x5	10,090	10,110	10,080	10,110	10,110	10,110	10,100	10,110	10,090	10,090	10,070	10,080	10,080	10,100	10,080	10,080	10,100	10,080	10,100	10,100
Suma x	50,370	50,460	50,450	50,460	50,430	50,440	50,470	50,470	50,390	50,480	50,390	50,460	50,450	50,380	50,470	50,490	50,410	50,420	50,410	50,410
xq	10,074	10,092	10,090	10,092	10,086	10,088	10,094	10,094	10,078	10,096	10,078	10,092	10,090	10,076	10,094	10,098	10,082	10,084	10,082	10,082
R	0,040	0,040	0,020	0,040	0,060	0,040	0,040	0,050	0,040	0,030	0,020	0,030	0,020	0,050	0,030	0,040	0,030	0,030	0,030	0,030



Obr. 17 .Regulační karta PP + 20% GF

Č. odb.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x1	10,120	10,130	10,140	10,000	10,150	10,110	10,140	10,100	10,130	10,010	10,100	10,130	10,080	10,060	10,100	10,020	10,100	10,110	10,100	10,070
x2	10,140	10,150	10,150	10,010	10,150	10,130	10,160	10,120	10,130	10,020	10,110	10,130	10,110	10,080	10,110	10,040	10,130	10,120	10,110	10,090
x3	10,130	10,140	10,130	10,010	10,140	10,120	10,150	10,140	10,100	10,030	10,130	10,140	10,110	10,080	10,110	10,040	10,140	10,140	10,140	10,110
x4	10,150	10,140	10,130	10,030	10,140	10,110	10,130	10,140	10,100	10,030	10,130	10,130	10,130	10,090	10,140	10,030	10,140	10,140	10,150	10,110
x5	10,170	10,120	10,140	10,040	10,120	10,090	10,130	10,150	10,110	10,040	10,150	10,120	10,140	10,110	10,150	10,020	10,160	10,140	10,150	10,130
Suma x	50,710	50,680	50,690	50,090	50,700	50,560	50,710	50,650	50,570	50,130	50,620	50,650	50,570	50,420	50,610	50,150	50,670	50,650	50,650	50,510
xq	10,142	10,136	10,138	10,018	10,140	10,112	10,142	10,130	10,114	10,026	10,124	10,130	10,114	10,084	10,122	10,030	10,134	10,130	10,130	10,102
R	0,020	0,030	0,020	0,040	0,030	0,040	0,030	0,050	0,030	0,030	0,050	0,020	0,060	0,050	0,050	0,020	0,060	0,030	0,050	0,060



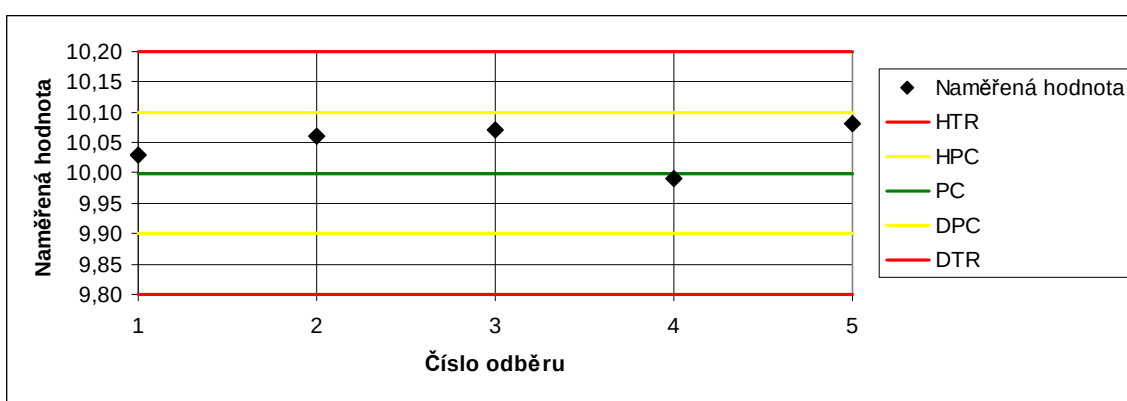
Obr. 18. Regulační karta PP + 20% M

3.4.2 Regulační diagram metody Precontrol

Měření se provádělo za použití digitálního posuvného měřidla, a to výběrem pěti po sobě jdoucích jednotek (výrobků). U každé jednotky (výrobku) se provedlo pouze jedno měření v měřeném úseku.

Tab. V Měření vzorku **PP**

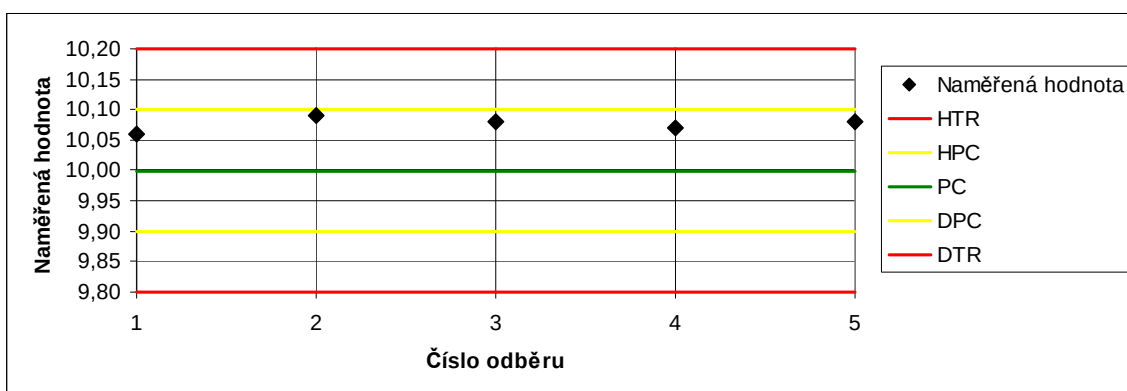
Číslo odběru	1	2	3	4	5
Naměřená hodnota	10,030	10,060	10,070	9,990	10,080



Obr. 19. Regulační diagram metody Precontrol pro **PP**

Tab. VI Měření vzorku **PP + 20% GF**

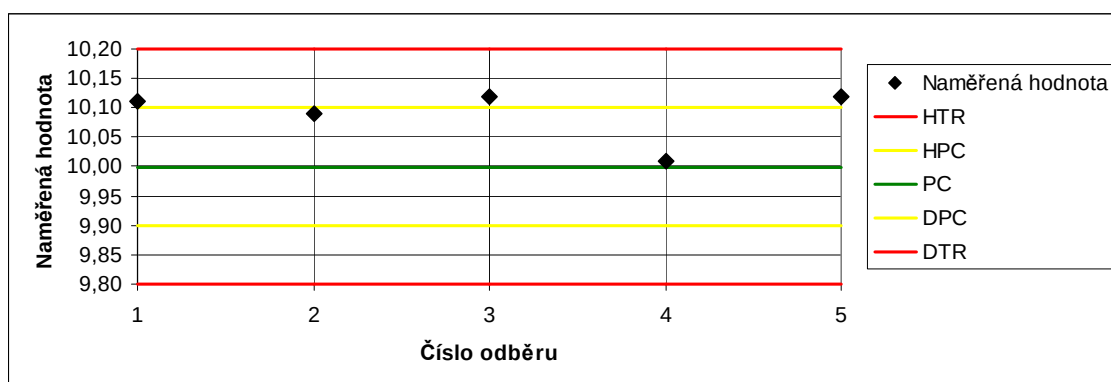
Číslo odběru	1	2	3	4	5
Naměřená hodnota	10,06	10,09	10,08	10,07	10,08



Obr. 20. Regulační diagram metody Precontrol pro **PP + 20% GF**

Tab. VII Měření vzorku **PP + 20% M**

Číslo odběru	1	2	3	4	5
Naměřená hodnota	10,11	10,09	10,12	10,01	10,12

Obr. 21. Regulační diagram metody Precontrol pro **PP + 20% M**

4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

4.1 Výsledky měření: Regulační (Shewhartův) diagram

Tab. VIII Výsledky měření pro Regulační diagram

Název	PP	PP + 20% GF	PP + 20% M
JH	10,000	10,000	10,000
HTR	10,200	10,200	10,200
DTR	9,800	9,800	9,800
UCL_x	10,087	10,108	10,132
LCL_x	10,056	10,066	10,088
CL_x	10,071	10,087	10,110
UCL_R	0,058	0,076	0,081
LCL_R	0,000	0,000	0,000
CL_R	0,028	0,036	0,039
s_{a-1}	0,024742	0,015129	0,041572
C_p	2,70	4,41	1,60
C_{pk}	1,73	2,49	0,72

4.2 Výsledky měření: Regulační diagram metody Precontrol

Tab. IX Výsledky měření pro metodu Precontrol

HTR	10,200
HPC	10,100
PC	10,000
DPC	9,900
DTR	9,800

ZÁVĚR

Předmětem bakalářské práce byla aplikace různých statistických metod při vstřikování plastů a jejich vzájemné porovnání. Získané výsledky je možno považovat za obecně platné pro všechny materiály, které byly vstřikovány, a to jak pro PP, PP + 20% GF a PP + 20% M.

Vstřikovací proces byl hodnocen pomocí **regulačního diagramu** (Shewhartova diagramu) a **metody Precontrol**. Z analýzy regulačního (Shewhartova diagramu) a metody Precontrol se získají údaje o tom, zda je či není sledovaný výrobní proces „statisticky zvládnutý“, tj. statisticky stabilní a pod kontrolou.

U **regulačního diagramu** (Shewhartova diagramu) je stav, kdy proces není „statisticky zvládnutý“ signalizován body ležícími mimo regulační meze (UCL, LCL) nebo skupina bodů tvořícími nenáhodná seskupení.

Tento stav „statisticky nezvládnutého“ procesu nastal u čistého polypropylenu (PP) a polypropylenu obsahující plnivo mastek (PP + 20% M). V takovém případě, je třeba provést analýzu procesu, vyhledat a odstranit vymezené příčiny, které signalizovanou nestabilitu způsobily.

U polypropylenu se skleněnými vlákny (PP + 20% GF) je podle regulačního diagramu (Shewhartova diagramu) proces statisticky zvládnutý. I indexy způsobilosti procesu (C_p , C_{pk}) dokázaly, že je proces dostatečně stabilizován.

U **metody Precontrol** je proces pod kontrolou, je-li hodnota měřeného parametru u všech pěti jednotek v zelené zóně. Zelená zóna odpovídá střední části tolerančního pole, což představuje jeho 2/4 šíře. Zelená zóna je ohraničena horní a dolní Precontrol mezí (HPC, DPC).

Čistý polypropylen (PP) a polypropylen se skleněnými vlákny (PP + 20% GF) toto kritérium splňují, a tak výrobní proces vstřikování může pokračovat bez zásahu.

Jen u polypropylenu obsahující plnivo mastek (PP + 20% M) leží naměřené hodnoty mimo zelenou zónu, což signalizuje, že proces není pod kontrolou a je třeba vyhledat
a odstranit příčiny nestability.

Při porovnání výše uvedených metod je zřejmé, že regulační diagram (Shewhartův diagram) v našem případě poskytuje přesnější informace o tom, zda je proces pod kontrolou než metoda Precontrol.

Regulační diagramy nachází nejlepší využití ve velkosériové, v automatizované výrobě (tam, kde je omezen zásah lidského činitele do výroby). Zavádění regulačního diagramu je spojeno v důsledku zajištění vyhodnocovací techniky se zvýšením investičních nákladů. Toto zvýšení by mělo být eliminováno snížením nákladů na vadnou výrobu
a vlastní kontrolu jakosti.

Metoda Precontrol vzhledem k jejímu malému počtu výběrů nachází nejlepší uplatnění v malosériové výrobě. Výhody této metody jsou: je velmi jednoduchá, má jasná pravidla pro regulaci výrobního procesu, není náročná na vybavení výpočetní technikou, je časově a finančně nenáročná.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Juran (1954), citované dílo
- (2) Deming, W.: Základní principy statistického řízení jakosti. 2.upr. vydání Tokio: JUSE, 1952, str.3
- (3) Tošenovský, J.: Statistika v řízení jakosti. Ostrava, DTO 1995, 67 s.
- (4) Noskievičová, D.: Statistické metody v řízení jakosti. Ostrava, VŠB-TU 1996,99 s.
- (5) Noskievičová, D.: Statistická regulace a zlepšování procesu. Automatizace, 1997, č.10, s. 639-643.
- (6) Meloun, M. – Militký, J.: Statistické zpracování experimentálních dat. Praha, Plus 1994, 839 s.
- (7) Horálek, V.: Shewhartovy regulační diagramy a jejich aplikace. In: Použití statistické regulace v systému zabezpečování jakosti dle norem ISO řady 9000. Praha, CSJ 1991, s. 7-49.
- (8) Kuta, A.: Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů, VŠCHT Praha, 1999
- (9) Kolouch, J.: Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním, SNTL Praha, 1986

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CL	Střední přímka.
DPC	Dolní Precontrol mez.
DTR	Dolní toleranční rozměr.
HPC	Horní Precontrol mez.
HTR	Horní toleranční rozměr.
JH	Jmenovitý rozměr.
LCL	Dolní regulační mez.
PC	Střední Precontrol přímka.
PP	Polypropylen.
T	Teplota.
UCL	Horní regulační mez.
c_m	Ukazatel způsobilosti stroje.
c_p	Ukazatel způsobilosti procesu.
c_{pk}	Ukazatel správnosti nastavení.
P	Tlak.
s_{n-1}	Výběrová směrodatná odchylka.
t	Čas.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Demingův okruh	7
Obr. 2. Nejpoužívanější symboly vývojových diagramů	10
Obr. 3. Typické tvary histogramu	11
Obr. 4. Diagram příčin a následku	13
Obr. 5. Paretův diagram	14
Obr. 6. Příklady závislostí	17
Obr. 7. Regulační karty	18
Obr. 8. Regulace výroby	20
Obr. 9. Schéma rozdělení tolerančního pole pro metodiku Precontrol	22
Obr. 10. Tvar regulačního diagramu metody Precontrol	23
Obr. 11. Schéma vstřikování termoplastů	24
Obr. 12. Průběh tlaku při vstřikování termoplastů	26
Obr. 13. Průběh dotlaku při vstřikování termoplastů	28
Obr. 14. Závislost smrštění s na tlaku p v dutině formy při vstřikování	30
Obr. 15. Schéma měřené součásti	35
Obr. 16. Regulační karta PP	36
Obr. 17. Regulační karta PP + 20% GF	37
Obr. 18. Regulační karta PP + 20% M	38
Obr. 19. Regulační diagramy metody Precontrol pro PP	39
Obr. 20. Regulační diagramy metody Precontrol pro PP + 20% GF	39
Obr. 21. Regulační diagramy metody Precontrol pro PP + 20% M	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Princip výpočtu.....	14
Tab. 2 Mechanické vlastnosti plastů při teplotě 20°C	33
Tab. 3 Technická data vstřikovacího stroje DEMAG ERGOtech 50 - 200	34
Tab. 4 Nastavené parametry na vstřikovacím stroji	34
Tab. 5 Měření vzorku PP	39
Tab. 6 Měření vzorku PP + 20% GF	39
Tab. 7 Měření vzorku PP + 20% M.....	40
Tab. 8 Výsledky měření pro regulační diagram	41
Tab. 9 Výsledky měření pro metodu Precontrol.....	41