



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

HODNOCENÍ KVALITY PNEUMATICKÝCH LINEÁRNÍCH POHONŮ

QUALITY ASSESSMENT OF PNEUMATIC LINEAR DRIVES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ PECL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ BUDÍK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Pecl

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Kvalita, spolehlivost a bezpečnost (2341T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Hodnocení kvality pneumatických lineárních pohonů

v anglickém jazyce:

Quality assessment of pneumatic linear drives

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výzkum a ověření vhodných metod hodnocení kvality pneumatických lineárních pohonů ve výrobě.

Cíle diplomové práce:

Analýza současného stavu hodnocení kvality pneumatických lineárních pohonů (dále jen PLP) u zvoleného výrobce.

Analýza procesu měření vybraných parametrů PLP.

Popis konstrukce a funkce testovacího zařízení PLP.

Analýza vhodnosti testovacího zařízení PLP pro měření zvolených parametrů.

Návrh optimalizace procesu měření zvolených parametrů PLP.

Seznam odborné literatury:

1. CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M., Meranie technických veličín. Bratislava, STU 1999. ISBN 80-227-1275-2
2. TICHÁ, Š., Strojírenská metrologie část 1. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-0671-6
3. TNI 01 0115. Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Praha, ÚNMZ 2009
4. ČSN EN ISO 10 012. Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení. Praha, ČNI 2003
5. ČSN ISO 8258. Shewhartovy regulační diagramy. Praha, ČNI 1993
6. Shewhart, W.A.: Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. Dover Publications, INC., New York, 1986

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Budík


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 21.11.2014




doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu


doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá hodnocením kvality pneumatických lineárních pohonů. V teoretické části je popsána problematika v oblasti pneumatických válců a statistických metod pro vykonání analýzy. Praktická část obsahuje vykonání a vyhodnocení statistických analýz procesu měření a výrobního procesu pneumatických válců, také přidává doporučení k optimalizaci procesu měření. Jako metody byly použity analýza Gage R&R, analýza regulačními diagramy a analýza dat pomocí způsobilosti procesu. Studie byla provedena pro účely zlepšení testovacího zařízení společnosti Norgren, s.r.o. s pomocí statistického softwaru Minitab a MS Excel.

Klíčová slova


opakovatelnost, reprodukovatelnost, měřicí zařízení, Gage R&R, regulační diagramy, způsobilost procesů, pneumatické lineární pohony


ABSTRACT

This Master's thesis deals with the evaluation of quality pneumatic linear drives. The theoretical part describes the problems in the field of pneumatic cylinders and statistical methods to perform the analysis. The practical part includes the execution and evaluation of the statistical analysis of the measurement process and pneumatic cylinders, also brings recommendations to optimize the measurement process. The methods used included analysis Gage R & R, Analysis control charts and data analysis using the process capability. The study was made for the purpose of improving test equipment Norgren Ltd. Used computer programs was Minitab Statistical Software and MS Excel.

Key words

repeatability, reproducibility, measuring equipment, Gage R & R, control charts, process capability, pneumatic linear drives

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PECL, T. Hodnocení kvality pneumatických lineárních pohonů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Budík.




PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vykonal samostatně na základě konzultací s vedoucím diplomové práce Ing. Tomášem Budíkem, konzultací s pracovníkem společnosti Norgren, s.r.o. Ing. Janem Havlíčkem a s použitím citované odborné literatury.


V Brně dne: 29.5.2015

Tomáš Pecl

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat za možnost vytvoření diplomové práce Ing. Janu Havlíčkovi ze společnosti Norgren, s.r.o. Dále velice děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomáši Budíkovi za velmi přínosné konzultace a rady spojené s vykonáním práce. Velké poděkování také patří doc. Ing. Róbertu Jankových, CSc. za významnou pomoc v situaci, kdy mi pomohl se odrazit dále a pokračovat v práci. Touto formou bych také velmi rád poděkoval mé rodině a přátelům za podporu při studiu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

**OBSAH**

Úvod.....	11
1 Společnost Norgren	13
2 Pneumatické mechanizmy	13
2.1 Základní parametry pneumatických mechanismů.....	14
2.2 Pneumatické pohony	15
2.2.1 Pneumatické pohony přímočaré.....	16
2.2.2 Pneumatické pohony pro pohyb otáčivý a kývavý	18
3 Tester na měření pneumatických válců	19
3.1 Popis měřícího zařízení	19
3.2 Vyobrazení a technická data zařízení.....	20
3.3 Testované pneumatické válce	22
4 Analýza systému měření.....	23
4.1 Kvalita naměřených dat.....	23
4.2 Statistické vlastnosti systému měření	23
4.3 Variability procesu měření	24
4.4 Zdroje variability.....	24
4.5 Variabilita polohy.....	24
4.5.1 Strannost.....	25
4.5.2 Stabilita	25
4.5.3 Linearita	25
4.6 Variabilita šíře.....	26
4.6.1 Opakovatelnost.....	26
4.6.2 Reprodukovatelnost.....	26
4.6.3 Citlivost.....	27
4.6.4 Konzistence	27
4.6.5 Uniformita	27
4.7 Variabilita systému.....	27
4.7.1 Způsobilst.....	27
4.7.2 Výkonnost	28
4.7.3 Nejistota měření	28
4.8 Postupy analýzy systému měření	28
4.8.1 MSA atributivní	28
4.8.2 MSA pro spojitá data	28
4.8.3 Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	29
4.8.4 Metody k určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti	29
4.8.5 Kritéria přijatelnosti pro analýzu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti	30
5 Gage R&R přes metodu ANOVA	31
5.1 Kroky studie	31
6 Regulační diagramy	32
6.1 Princip regulačních diagramů	32
6.2 Regulační diagramy pro řízení měřením.....	34
6.2.1 Regulační diagramy \bar{x} , R	35
6.2.2 Regulační diagramy pro individuální hodnoty x_i , R_k	36
7 Způsobilst procesu.....	39
7.1 Indexy způsobilsti procesu.....	39



7.2	Způsobilý a nezpůsobilý proces.....	42
8	Analýza dat metodou gage R&R.....	44
8.1	Ověření normality.....	44
8.2	Výstupy z Gage R&R a vyhodnocení.....	46
8.2.1	Analytické výsledky.....	46
8.2.2	Grafické výsledky.....	48
9	Analýza dat metodou regulačních diagramů.....	53
9.1	Regulační diagram pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí.....	54
10	Analýza dat pomocí způsobilosti procesu měření.....	56
	Závěr.....	57
	Seznam použitých zdrojů.....	59
	Seznam použitých obrázků.....	60
	Seznam tabulek.....	61
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	62
	Seznam příloh.....	64



ÚVOD

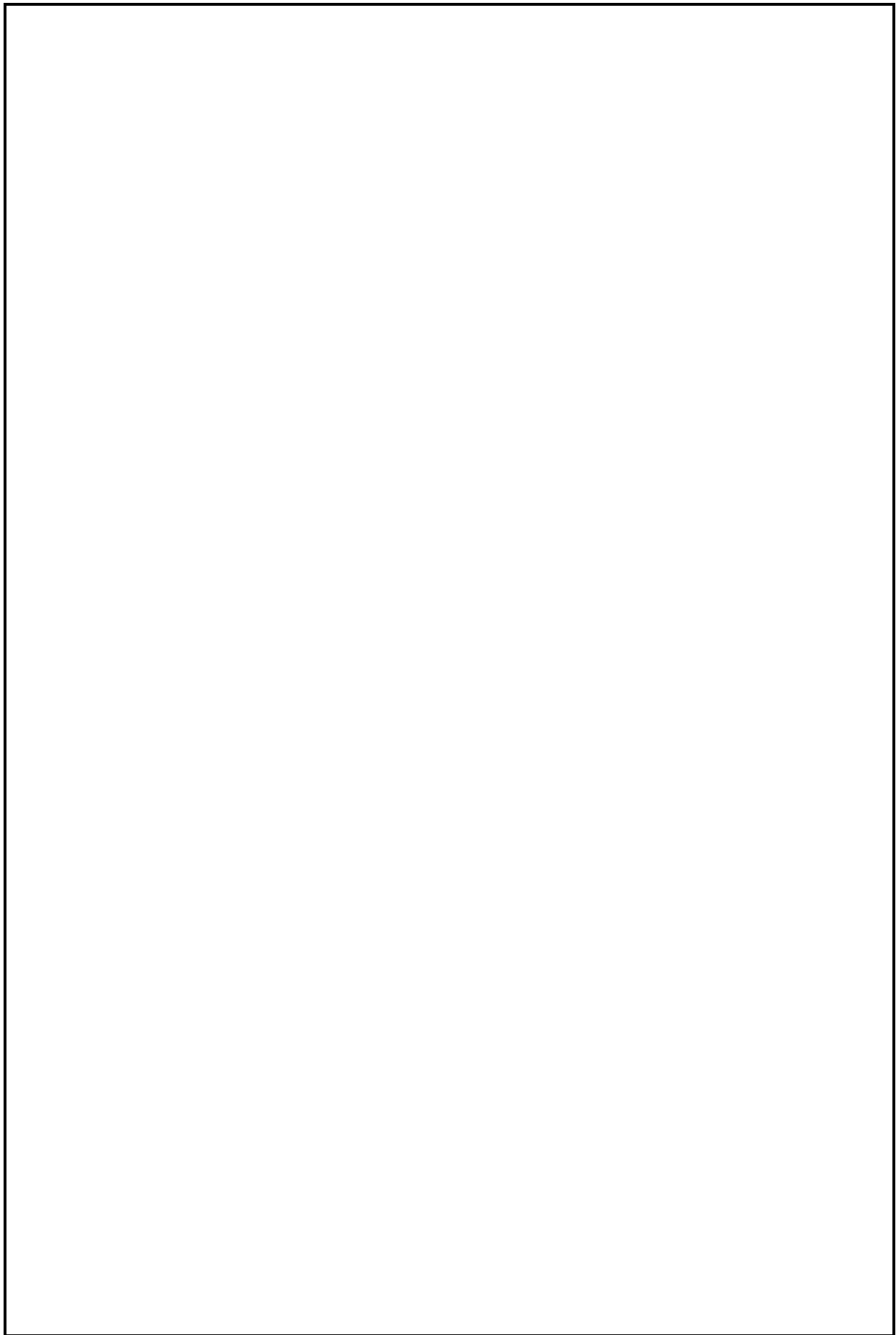
V dnešní době, kdy je kladen velký důraz na zákazníka, je velice důležité snažit se o neustálé vylepšování vlastních služeb či produktů. Zákazník vytváří v systému firem a organizací určitý tlak, který je reprezentován možností výběru, kde se bude zajímat o získání nabízených služeb. Tímto postojem zákazníka jsou jednotlivé firmy nuceny svádět konkurenční boj, který není jen otázkou ceny, ale v poslední době je hlavně otázkou kvality nabízených služeb a produktů. Na trh se tedy dostávají stále levnější a zároveň kvalitnější formy výrobků a jednotlivé firmy jsou nuceny se podle síly trhu zařídit, neboť je nezbytné zákazníka získat, ale ještě důležitější si ho udržet a plnit jeho požadavky a přání.


Abychom byli schopni snižovat cenu a zároveň udržet standard naší firmy, jsme nuceni vylepšovat výrobní proces, dbát na kvalitu a její řízení. Nejdůležitějším bodem při splňování předem daných specifikací je prevence, neboť ta nepřímo snižuje cenu produktu a dopomáhá snižovat míru zmetkovitosti v naší výrobě. Snahou se tedy stává tlak na snížení zmetkovitosti a zlepšení výrobních parametrů natolik, abychom uspokojili nebo dokonce předčili potřeby zákazníka. Dalšími významnými kroky jsou zvýšení produktivity a efektivnosti našeho podniku.

Nejčastějším místem, kde máme možnost získat údaje o procesu a jeho kvalitě, je výstupní kontrola. Na ní zjišťujeme, jestli dosahujeme předepsaných tolerancí, rozměrů a jiných specifikací. Tato kontrola nám udává poměr mezi splněním požadavků zákazníka a hodnotou udávající zmetkovitost našeho výrobního procesu. Cílem jakékoliv firmy je být co nejefektivnější a tím pádem vyrábět jen shodné kusy, abychom zabránili zbytečným dalším výdajům, ke kterým může dojít vlivem opravování neshodných kusů v zakázce. Můžeme říci, že žádný proces není dokonalý a žádný proces neprodukuje jen kusy, které splňují požadavky a specifikace na 100%, právě proto provádíme kontrolu a zvyšujeme tlak na prevenci v našich procesech. [1]

Tato diplomová práce se zabývá vyhodnocením výrobního procesu měřícím systémem, který je určen ke sledování kvalitativních znaků pneumatických válců. Zaměřuje se na analýzu měřícího systému prostřednictvím aplikované statistiky s pomocí výpočetního statistického softwaru Minitab a programu MS Excel. Je důležité zmínit, že díky metodám statistických analýz systémů jsme schopni za velice nízké náklady vyhodnotit proces jako celek a to díky aplikaci zkušeností a závěrů ze zkoumaného souboru hodnot, který reprezentuje kvalitativní znaky napříč celou výrobní kapacitou. Jako analytická metoda ke zkoumání měřícího systému, která by nám měla pomoci k bližšímu pochopení zákonitostí ve výrobním procesu, byla vybrána metoda Gage R&R, vyvinutá americkými automobilovými závody v zastoupení společností Chrysler, Ford a General Motors. Dále bude výrobní proces zkoumán a vyhodnocen prostřednictvím regulačních diagramů a způsobilosti procesu měření.

Celková analýza a její vyhodnocení bude vypracováno pro potřeby společnosti Norgren, kde v její výrobní hale budou naměřena data pro potřeby zkoumání. Cílem analýzy bude nabídnutí celistvého pohledu na měřící proces pro testování pneumatických válců a jeho vyhodnocení. Dále závěrem analýzy budou případné návrhy na zlepšení procesu měření a nastínění stavu výrobního procesu jako celku.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 SPOLEČNOST NORGREN

Společnost Norgren se řadí mezi přední světové firmy v technologii řízení pohybu médií. Hlavním směrem, kterým se firma ubírá, je rozvoj a poskytování inovací. Firma byla založena na počátku 20. století, kdy Carl Norgren založil první podnik v Denveru v Coloradu. Dnes je Norgren součástí celosvětového IMI a jeho potenciál tkví ve snaze o vytvoření technických výhod pro 21. století. [14]

Společnost se řadí mezi světové dodavatele pro řízení pneumatického pohybu a médií. Po celém světě se nachází 22 výrobních lokalit a prodejní a servisní síť má společnost vybudovanou v 75 zemích. [14]

Organizace nabízí široký sortiment vysoce kvalitních výrobků pro řízení pneumatiky a hydrauliky, jako pohony, zařízení pro přípravu vzduchu, šroubení a ventily. Zásadou osvědčených značek výrobků, mezi které patří Lintra, Excelon, Pneufit, Martonair, Enots, Herion, FAS a Buschjost, je výrobkové portfolio Norgrenu jedno z nevýznamnějších v tomto průmyslu. [14]

Mezi nejvíce zastoupená odvětví této společnosti se řadí:

- komerční vozidla,
- energetika,
- potraviny a nápoje,
- průmyslová automatizace,
- medicínská technika,
- železnice. [14]



Obr. 1.1 Logo společnosti Norgren [14]

2 PNEUMATICKÉ MECHANIZMY

Pneumatické mechanizmy jsou součástí větší skupiny, do které bychom mohli zahrnout i mechanizmy hydraulické (pneumatické a hydraulické mechanizmy se řadí do společné kategorie mechanismů tekutinových), elektrické a tuhé. Všechny uvedené mechanizmy se uplatňují hlavně při konstrukci strojů a dalších výrobních zařízeních. [4]

Největším podílem vyráběného sortimentu pneumatických systémů na trhu jsou přímočaré pneumomotory a řídicí prvky, jako jsou ventily, rozvaděče. Pneumatické mechanizmy se díky své rozmanitosti používají ve všech odvětvích strojírenství v konstrukci výrobních strojů, manipulačních a dopravních zařízení a prostředky (železniční vagon, autobusy), dále pro konstrukci robotů, u manipulátorů, montážních a balících zařízení, k pohonu pneumatických kladiv a utahováků. Mimo strojírenství se ale pneumatické systémy a jejich prvky používají ve stavebnictví jako součást stavebních strojů a apod. [4]

Na území České republiky se s výrobou pneumatických prvků setkáváme už v 50. a 60. letech, kdy tuzemští výrobci zajišťovali běžný sortiment v oblasti pneumatických prvků realizací jednoduchých pneumatických systémů ve strojírenské výrobě, ve stavebnictví i v dopravních prostředcích. V 90. letech se na našem území zaznamenává výrazný posun



ve zlepšení zabezpečení pneumatických prvků pro rozvíjející se možnosti použití. Není to jen rozvojem výroby jednotlivých prvků u nás, ale i díky vzrůstajícím možnostem využití zařízení od zahraničních výrobců, jako jsou např. firmy BOSCH, FESTO, NORGREN a dalších. [4]

Díky této příznivé situaci vznikl prostor pro pokračující rozvoj aplikací pneumatických mechanismů vysoké technické úrovně do velké oblasti průmyslu. [4]

Pneumatika jako technická disciplína se zabývá přípravou a používáním stlačeného vzduchu při řízení a pohonu strojů a mechanismů. Pneumatické mechanismy jsou definovány jako systém pro přenos a transformaci energie a informace pomocí nositele energie (nejčastějším médiem pro přenos energie zde je stlačený vzduch). [3], [4]

Vezmeme-li v potaz hydraulické mechanismy, tak jeho nositel energie je kapalný a spolu s pneumatickými mechanismy spadají do kategorie tekutinových mechanismů. Tyto dva druhy mechanismů jsou si v mnoha ohledech velmi podobné, jako je používaná teorie nebo konstrukční řešení jednotlivých prvků, nicméně se liší v aplikaci. Pneumatické mechanismy se používají především pro přenos informace a řízení a jen pro malé až střední výkony, což je dáno jeho konstrukčními vlastnostmi a především nositelem energie, kterým je zde stlačený vzduch. [4]

2.1 Základní parametry pneumatických mechanismů

U výpočtů pneumatických mechanismů se stlačeným vzduchem užíváme principu, použití tří forem energie pro konání mechanické práce, a to potenciální, deformační a kinetické. [4]

Platí zde Bernoulliho rovnice:

$$g * h + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 = konst., \quad (2.1)$$

kdy zde postupně po členech máme energii potenciální, tlakovou a kinetickou. Pro praktické využití dále počítáme jen s druhým a třetím členem, tedy energií tlakovou a kinetickou, protože tíhová energie je zanedbatelně malá a prakticky nevyužitelná. [4]

Výkon pneumatického mechanismu je určen svými základními parametry, tlakem p a objemovým průtokem Q . Stlačený plyn (vzdušinu) při výpočtech pneumatických mechanismů považujeme pro zjednodušení výpočtů za ideální plyn, je to dostačující. Každý okamžik stavu v našem přenosném médiu tedy můžeme popsat stavovou rovnicí plynu

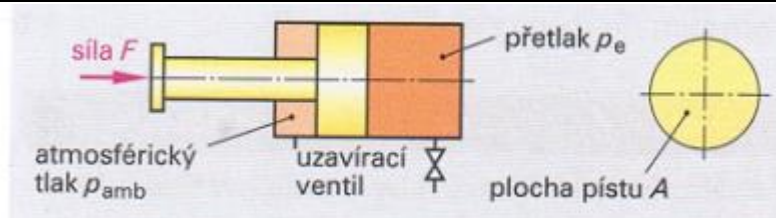
$$p * v = r * T \quad (2.2)$$

nebo

$$p * V = m * r * T, \quad (2.3)$$

pro m kg stlačeného vzduchu o objemu V [m³], kdy zahrnujeme do výpočtů i teplotu T . [3], [4]

Tlak v pneumatických mechanismech rozlišujeme na *tlak absolutní* a *přetlak*. Absolutní tlak p_a získáme jako součet tlaku atmosférického p_{at} a přetlaku p , který se změřil například manometrem připojeným na pneumatický prvek. [3]



Obr. 2.1 Přetlak v pneumatickém válci[3]

Objemový průtok Q je zde nazýván také jako „spotřeba vzduchu“, která je v pneumatických systémech závislá na tlaku a teplotě a uvádí se v tzv. normálním (normovaném) stavu tj. množství vzduchu, které při teplotě $T_N \doteq 293 \text{ K}$ a atmosférickém tlaku $p_N = p_{at} \doteq 100 \text{ kPa}$ zabírá objem $V_N = 1 \text{ m}^3$. [3], [4]

S využitím stavových rovnic a jejich následným zjednodušením dostaneme rovnice pro výpočet normálního objemu a normálního objemového průtoku:

$$V_N = V * p_a \quad \text{a} \quad Q_N = Q * p_a, \quad (2.4)$$

kde p_a je absolutní tlak v kPa. [3], [4]

Parametr, který je dále velice důležitý v termodynamických výpočtech je termodynamická teplota T . Je to prvek stavové rovnice a udává se v jednotkách K (Kelvin). Jakákoliv změna teploty doprovází vždy každou expanzi, která se děje v pneumatickém mechanismu a tudíž se vždy vystavujeme riziku, že změna teploty, i když byla jen na krátkou chvíli, může způsobit vznik krystalků ledu z vlhkosti vzduchu a způsobit škody. Za předpokladu izochorické přeměny (změny, kdy objem zůstává konstantní) plyne ze stavové rovnice tzv. Charlesův zákon: [4]

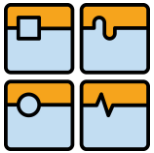
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (2.5)$$

2.2 Pneumatické pohony

Pneumatické mechanismy jsou používány hlavně kvůli svým speciálním přednostem, jako je stupňovité nastavování síly a rychlostí pístu ve válci, možnost dosahování velkých rychlostí a otáček, několikanásobně vyšší rychlost produkce s porovnáním mechanismů hydraulických, možnost nebezpečí přetížení systému bez hrozby poškození a velkou výhodou jsou i skladovací možnosti stlačeného vzduchu v zásobnících. [4]

Nicméně mezi nevýhody pneumatických motorů patří neschopnost dosáhnout velkých sil jako u hydraulických motorů, nebo nemožnost dosáhnout rovnoměrného pohybu pístu, přičemž v pneumatickém válci nejsme schopni dosáhnout pevných dorazů a tedy nelze docílit přesného vystavování válců. Neopominutelnou nevýhodou je také hlučnost při vyfukování při výfucích vzduchu a nutnost patřičné úpravy vzduchu pro spolehlivou činnost, kdy musí být stlačený vzduch zbaven všech nečistot, vlhkosti a vody a je dále upraven olejovou mlhou důležitou pro zabezpečení mazání pohybujících se pneumatických prvků pneumatického mechanismu. [3], [4]

Při srovnání prvků pneumatických a hydraulických systémů jsou pneumatické prvky konstrukčně mnohem jednodušší, což je dáno i podstatně nižšími hladinami pracovních tlaků stlačeného vzduchu (do 1 MPa). Vyrábí se velké množství různých konstrukčních provedení. [4]



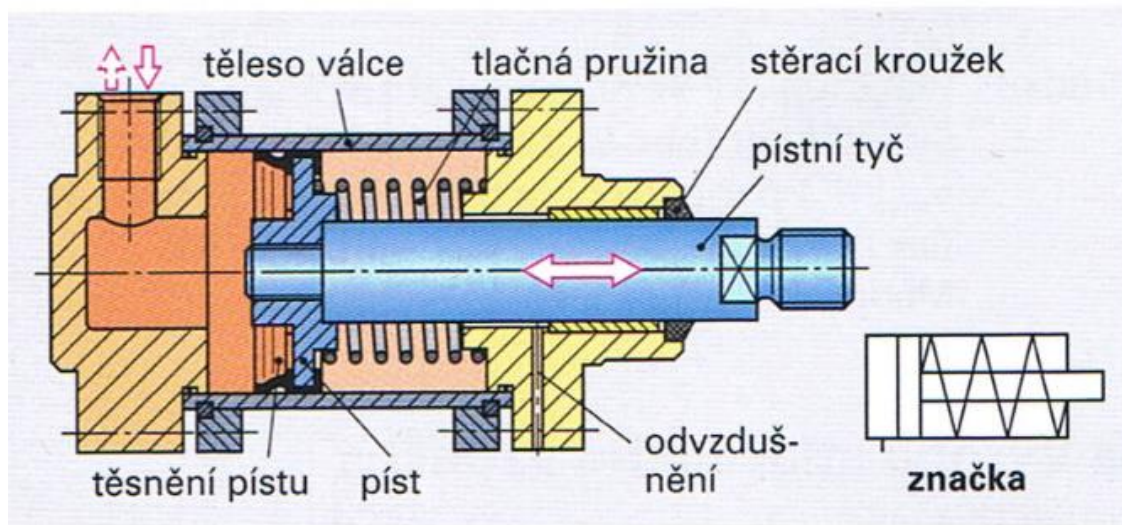
2.2.1 Pneumatické pohony přímočaré

Za hlavní část přímočarého pneumatického motoru jsou válec, jeho přední a zadní víko, píst s těsněním a pístnice. Tyto přímočaré pneumatické pohony zastupují velkou část výroby pneumatických prvků. Na rozdíl od hydraulických přímočarých motorů mají pneumatické několik významných výhod, jako jsou: již zmíněná jednoduchá konstrukce, menší technologická náročnost na výrobu, možnost dosažení vyšších zdvihových rychlostí a v neposlední řadě je to možnost práce v prostředí náročném na udržení čistoty, či naopak v prostředí prašném i s nebezpečím výbuchu. Po vyjmenování nejdůležitějších výhod je ale důležité zmínit i nevýhody, se kterými je nutno počítat. Výhoda možnosti rychlých zdvihových rychlostí s sebou nese i její nepřesnou možnost regulace a také složité řízení poloh pístu mezi krajními polohami. [4]

Rozdělení pneumatických válců

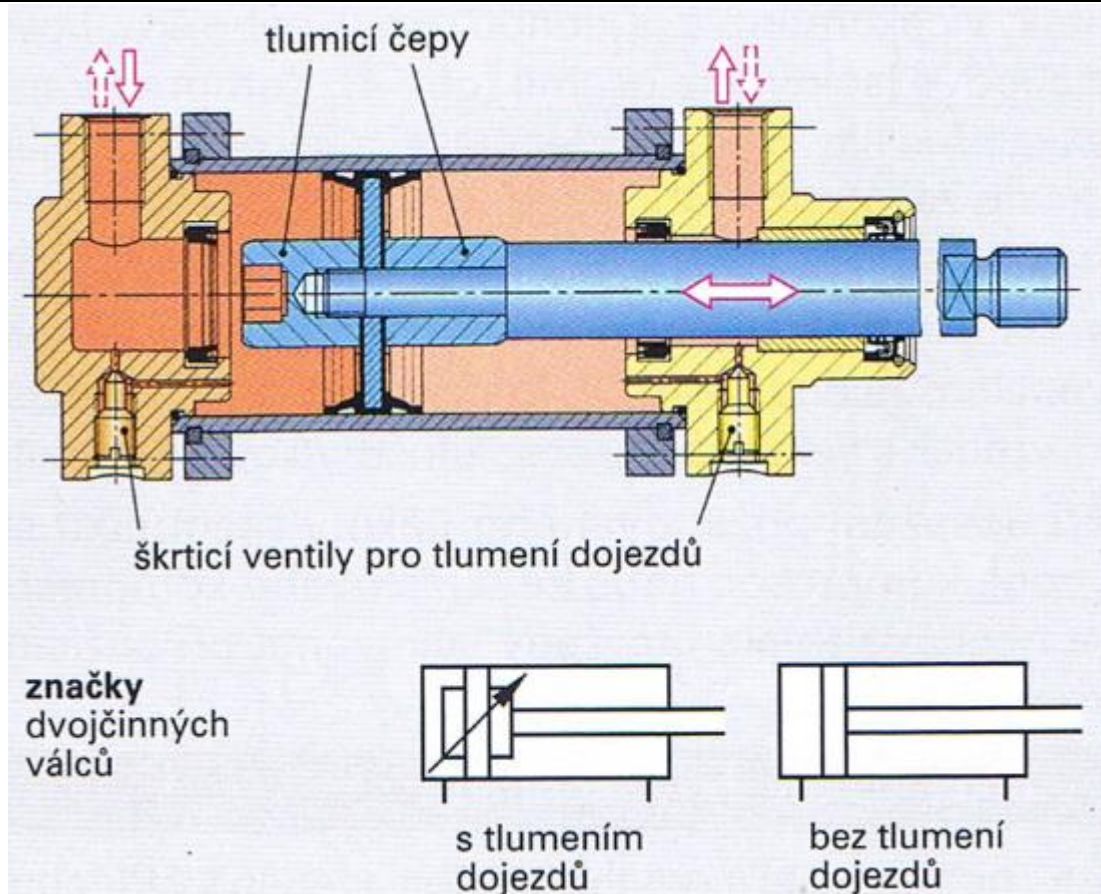
V praxi rozlišujeme pneumatické válce jednočinné a dvojčinné podle toho, jestli se píst válce posouvá při svém pohybu jen jedním směrem nebo směry oběma, tedy jestli vykonává práci jedním směrem nebo dvěma směry. Také se pneumatické válce rozlišují podle typu pístnice na válce s jednostrannou pístnicí nebo pístnicí průběžnou. [3]

V jednočinném válci se píst pohybuje jen jedním směrem (Obr. 2.2). Zpět do výchozí polohy je navrácen za pomoci pružiny. [3]



Obr. 2.2 Jednočinný válec [3]

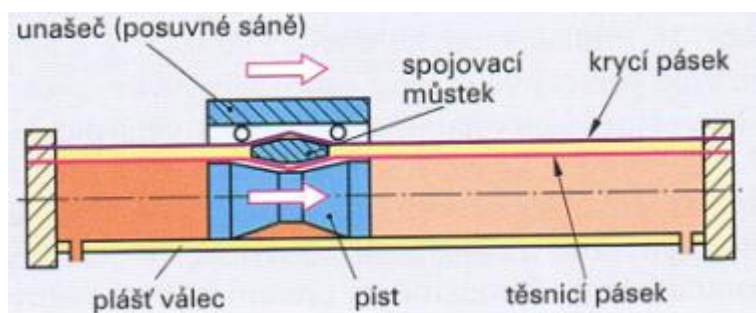
Dvojčinný válec funguje na principu pohybu oběma směry (Obr. 2.3). Rychlost pohybujícího se pístu jedním směrem může být plynule snižována tlumícími brzdami, kdy se píst postupně zpomaluje. Do koncové polohy dojíždí jen s malou rychlostí, díky vzniklému protitlaku, který vzniká, protože vzduch tlačенý před pístem nemůže proudit jinou cestou než přes škrťací ventil, který se zde nachází právě pro brždění dojezdů a nastavení rychlosti dojezdů. [3]



Obr. 2.3 Dvojčinný válec[3]

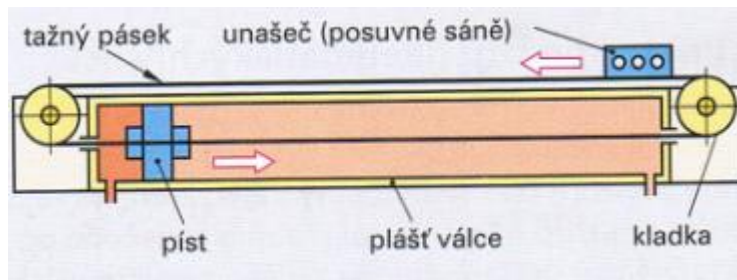
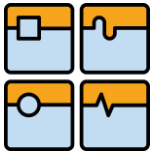
Koncové polohy pístu ve válci mohou být bezkontaktně snímány za přítomnosti magnetu. Tento magnetický kroužek je zapuštěný na pístu a zvenčí je snímán magnetickým snímačem, který po vyhodnocení může určit stávající polohu pístu. [3]

Dále mohou být válce bez pístní tyče, kdy pohyb pístu je přenášen magneticky nebo mechanicky. Při mechanickém pohybu se ve válci na pístu nachází spojovací můstek a unášec, přes který je mechanický pohyb vykonáván (Obr. 2.4). [3]



Obr. 2.4 Pneumatický válec bez pístní tyče – pohyb přenášen přes spojovací můstek [3]

Můstek se zde pohybuje po drážce kryté ocelovým plátkem. Lze využívat i jiného principu a to za pomoci tažných lan, které přes pohybující se kladku přenáší síly působící na válec. Tažná lana jsou rozpořívána vnějším unáščem, který se pohybuje ve vedení na válci (Obr. 2.5). [3]

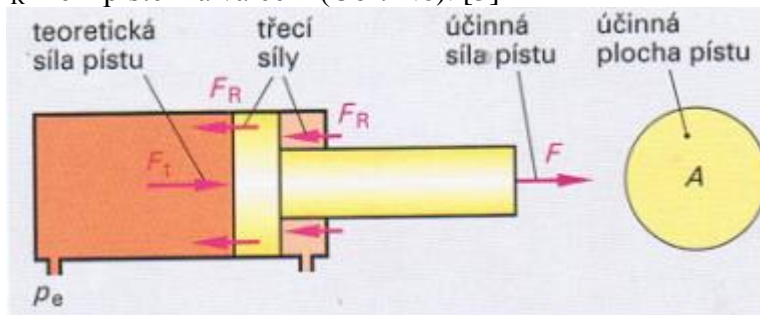


Obr. 2.5 Pneumatický válec bez pístní tyče – pohyb přenášen tažnými lany [3]

Pro pohyb pístu ve válci je důležité alespoň nastítnit působící síly na píst. Účinná síla pohybujícího se pístu ve válci se značí F a je to teoretická síla vyvolaná tlakem vzduchu

$$F_t = p_e \cdot A, \quad (2.6)$$

zmenšená o tření F_R mezi pístem a válcem (Obr. 2.6). [3]



Obr. 2.6 Působení sil v pneumatickém válci [3]

Vliv tření se také vyjadřuje pomocí účinnosti válce η , kdy účinná síla pístu je:

$$F = F_t - F_R, \quad (2.7)$$

$$F = F_t \cdot \eta, \quad (2.8)$$

$$F = p_e \cdot A \cdot \eta. \quad (2.9)$$

[3]

2.2.2 Pneumatické pohony pro pohyb otáčivý a kývavý

Mezi další pneumatické pohony řadíme pneumatické motory pro kývavý pohyb a pneumatické motory pro pohyb otáčivý. Nejčastěji používanými typy jsou pístové motory, lamelové motory a turbínové motory. Velký rozsah použití těchto motorů je hlavně díky malé hmotnosti i přes vysoký výkon, který mohou nabídnout a snadnou obsluhu, kdy jsou používány jako součásti různých druhů nářadí používaných operátory ve výrobě, jako jsou různé pneumatické utahováky a šroubováky a také použití nalezneme například na zvedacích zařízeních či jiných mechanismech. [3]



3 TESTER NA MĚŘENÍ PNEUMATICKÝCH VÁLČŮ

3.1 Popis měřicího zařízení

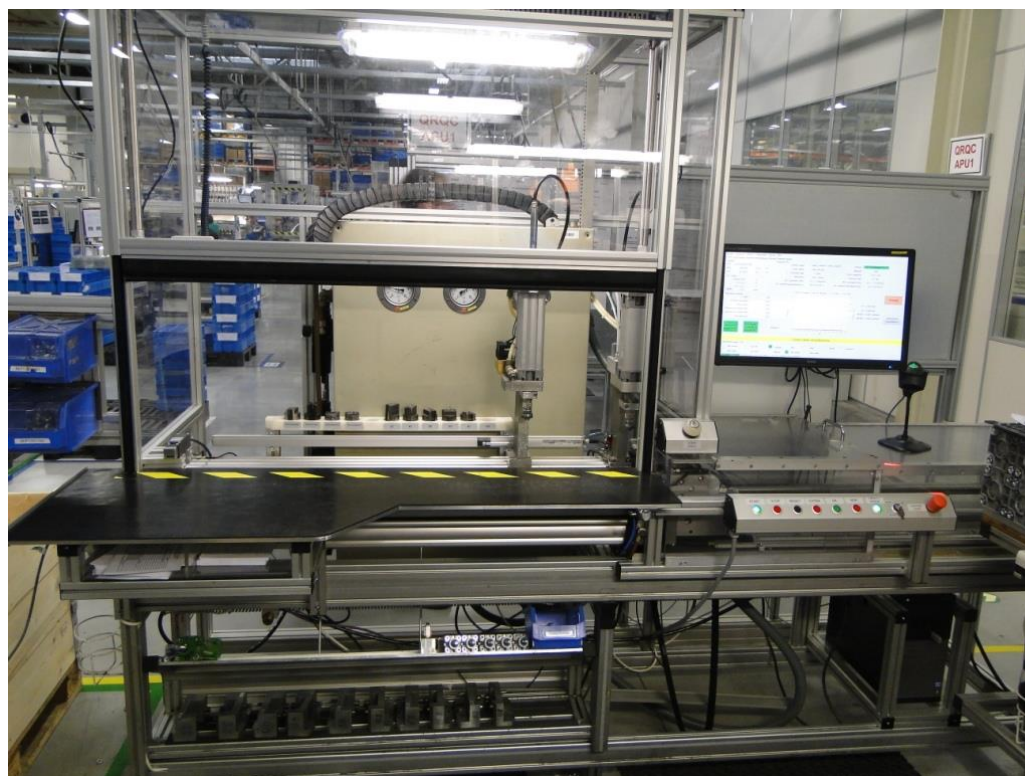
PRA - EOL tester je poloautomatické testovací zařízení určené pro testování pneumatikých válců. Vkládání a vyjmutí testovaného kusu se provádí ručně. Po vložení válce do držícího přípravku a spuštění testeru se nejprve otestuje jedna strana válce (Rear End Cover, zkráceně R.E.C.) a posléze druhá strana válce (Front End Cover, zkráceně F.E.C.). Funkce testovacího zařízení spočívá v měření úniku na jedné a druhé straně válce při tlaku 6 bar. Povolené hodnoty úniku jsou dle interních směrnic stanoveny na maximální hodnotu úniku pro stranu válce s Rear End Cover 10 ccm/min, maximální hodnota úniku pro stranu válce s Front End Cover je 15 ccm/min. Interně tyto hodnoty úniku později sníženy na 9 ccm/min pro R.E.C. a 13 ccm/min pro F.E.C.

Dále testovací zařízení měří, vyhodnocuje a zaznamenává přítomnost nebo nepřítomnost magnetu ve válci a také zdvih válce dle interních směrnic.

Tester je vybaven ochrannými kryty a samo uzavíratelnými dveřmi se zámekem.

V případě úspěšného otestování shodného kusu se na ovládacím panelu testeru rozsvítí zelené světlo, dojde k uvolnění kusu a vysunutí dveří. V případě otestování neshodného kusu se na ovládacím panelu rozsvítí červené světlo, testovaný kus je stále upnut a bliká tlačítko spuštění cyklu, dokud se nestlačí toto tlačítko, nedojde k uvolnění válce.

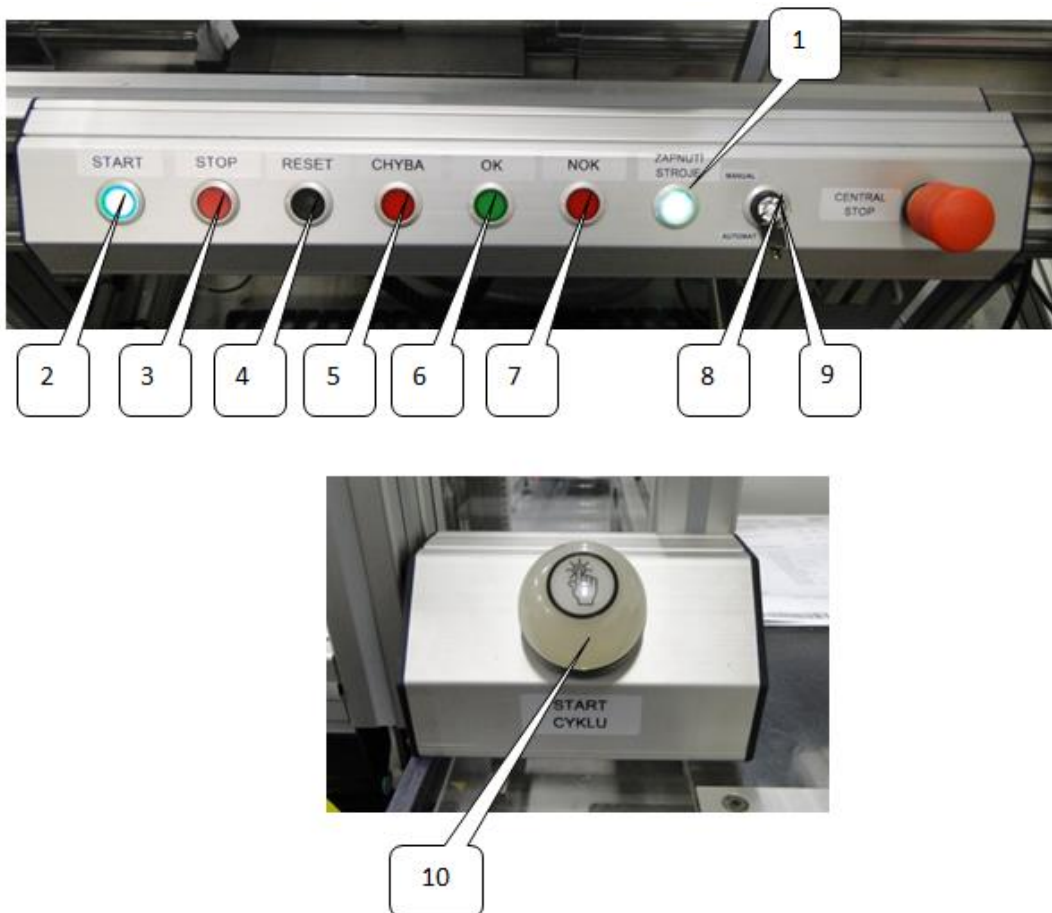
Testovací zařízení je řízeno pomocí PLC typ S7-300 od výrobce Siemens/VIPA, které zpracovává analogové a digitální signály z převodníků umístěných na testeru.



Obr. 3.1 Testovací zařízení pro měření pneumatikých válců



3.2 Vyobrazení a technická data zařízení



Obr. 3.2 Ovládací panel testovacího zařízení

Tab. 3.1 Popis ovládacího panelu testovacího zařízení

1	Zapnutí stanice	6	Zelené světlo – test OK
2	Start programu	7	Červené světlo – test NOK
3	Přerušení testu	8	Přepínač volby pro automatický a manuální režim
4	Reset	9	Central stop
5	Chyba testu	10	Start cyklu

Princip samotného testování na testeru určeného pro testování úniku pneumatických válců je započat zapnutím samotné stanice. Posléze se chvíli musí vyčkat, až dojde k nastartování programu, podle interních směrnic se v programu nastaví příslušné údaje podle typu pneumatického válce, který se testuje. V průběhu testu se může stát, že je testovaný vzorek špatně upnut v držících přípravcích a tester by tento jev měl rozpoznat. Zapne se výstražné upozornění a test je nutný opakovat za stisknutí tlačítka „RESET“. Tím by se mělo předcházet špatnému vyhodnocení pneumatického válce z důvodu špatného upnutí obsluhou. V programu lze také nastavit začátek testovaného cyklu a velikost souboru testovaných pneumatických válců, kdy počet testování můžeme vidět na monitoru.



Obr. 3.3 Výstupy programu testovacího zařízení

Tab. 3.2 Popis výstupů z programu testovacího zařízení

1	Kus uvolněn / neuvolněn	12	Počet NOK kusů
2	Zadání prostoje linky	13	FPY - průchodnost prvního kusu
3	Zahájení produkce / načtení zakázky	14	Informace o programu
4	Ukončení produkce (po ukončení zakázky)	15	Potvrzení kontroly komponent v kusovníku
5	Aktuální testovaný vzorky (Part number)	16	Potvrzení kontroly vzhledu a štítku kusu
6	Aktuálně načtena zakázka (Work Order)	17	Re-test - v případě NOK kusu
7	Testující operátor	18	Informace o průběhu testu
8	Celkový počet kusů v zakázce	19	Informační řádek
9	Osobní číslo operátora	20	Operátorský panel
10	Celkem otestováno kusů ze zakázky	21	Ovládací prvky programu
11	Počet OK kusů		

Na monitoru lze vidět všechny důležité údaje s hodnotami naměřené na testovaném vzorku. Pro hodnocení kvality měření pneumatických válců je pro nás nejdůležitější část vlevo uprostřed. V této oblasti jsou zobrazeny hodnoty naměřených úniků, zdvih a tlak v komoře válce, při kterém bylo prováděno měření.



Tab. 3.3 Technická data testovacího zařízení


Technická data stroje	
Testované jednotky	Všechny typy pneumatických válců
Testovací tlak	6 ± 0,2 bar
Teplota stroje	V závislosti na okolní teplotě
Délka automatického testovacího cyklu	Max. 90s
Vkládání testovaných kusů	Manuální
Vyjmutí otestovaných kusů	Manuální
Upínání testovaných kusů	Pneumatické, pomocí dvojčinného válce
Elektrické připojení	230V ac @ 50 – 60 Hz
Elektrické řízení	PLC VIPA 300S (S7-300)
Spotřeba el. proudu	Max. 1500 W
Pneumatické připojení	9 až 17 bar.
Hmotnost	500 kg
Průtokoměr	ALBORG GFM17A 10ccm/min, 100ccm/min
Těsné ventily měřicího obvodu	NORGREN, 1025304900002400, 1020294000000000
Tlakové snímače	KELLER PR-33X

3.3 Testované pneumatické válce

Sběr hodnot pro zvolenou analýzu byl vykonán na pneumatických válcích uvedených na obrázku, viz níže (Obr. 3.4).



Obr. 3.4 Testované pneumatické válce

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4 ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ

V dnešní době je obecně téměř každý výrobní proces závislý na naměřených datech, která jsou dále vyhodnocována statistickými metodami. Interpretace správných závěrů z vyhodnocených dat napomáhá k porozumění a následnému zlepšování procesů. K vyhodnocení všech závislostí data porovnáváme se statistickými regulačními mezemi. Vzniklé porovnání ukazuje, jestli je proces statisticky zvládnutý nebo ne. Tedy je nebo není potřeba provádět seřízení. Naměřená data a jejich vyhodnocování dále může pomoci stanovit, zda existuje určitý vztah mezi dvěma či více proměnnými vyskytujícími se v procesu měření. Může se proto z jednoho naměřeného souboru získat více informací, než se na první pohled zdá. [1]

Velice důležitým aspektem statistického vyhodnocování je kvalita naměřených dat, která je odrazovým můstkem pro budoucí přínos vykonaných analýz. Pro zajištění co největšího přínosu musíme zaměřit pozornost právě na co největší kvalitu sbíraných dat z procesu měření. [1]

4.1 Kvalita naměřených dat

Kvalita naměřených dat je obrazem jejího procesu měření a je definována statistickými vlastnostmi za stabilních podmínek. Systém měření se snažíme zhotovit pro získání vlastností určitého znaku. Jsou-li všechna měření podobná a při vyhodnocování se vyskytují v těsnosti kolem své průměrné hodnoty, můžeme konstatovat, že kvalita dat je vysoká. [1]


Nejčastějšími charakteristikami používanými pro popis kvality dat jsou *strannost* a *rozptyl* systému měření. Strannost je charakteristika udávající polohu dat vůči skutečné hodnotě a rozptyl nám popisuje výše zmíněnou „těsnost“ výskytu kolem své pravé hodnoty, neboli rozptýlení dat. Mezi další charakteristiky pro popis kvality naměřených dat patří variabilita procesu, kdy velký význam zde mohou mít interakce mezi samotným procesem měření a jeho prostředím. [1]

4.2 Statistické vlastnosti systému měření

V praxi můžeme říci, že ideální systém měření, který by nám dával jen správné výsledky z měření, tedy „dokonalá“ data neexistuje. Byla by to taková měření, která by se vyznačovala svojí nulovou stranností, nulovým rozptylem a nulovou pravděpodobností nesprávné klasifikace libovolného produktu, na kterém bylo měření prováděno. Mohli bychom v tomto případě považovat všechna měření za natolik dokonalá, že by vždy odpovídala hodnotám etalonu. Jenže praxe je taková, že se musíme spokojit s méně dokonalými charakteristikami a snažit se proces měření zdokonalit natolik, aby výsledky z interpretací dat byly uspokojivé jak pro nás, tak pro případné zákazníky. Kvalita systému měření je tedy určena statistickými vlastnostmi získaných dat. [1]

Prvotním cílem organizace je identifikace statistických vlastností, které jsou pro svůj účel ty nejdůležitější. Takové statistické vlastnosti jsou dále použity při volbě systému měření jako základ. Pro volbu správného systému měření je definováno několik základních vlastností, které je třeba splnit. [1]

- Systém disponuje odpovídajícím prahem citlivosti, který musí dokázat (etalon i měřicí systém).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- Statisticky zvládnutý stav systému měření neboli statistická stabilita, to znamená, že variabilita systému měření v opakovatelných podmínkách je způsobena pouze náhodnými vlivy.
- Malá variabilita procesu v porovnání s mezními hodnotami danými specifikací (při řízení produktu), statistické vlastnosti se shodují v očekávaném rozsahu a jsou adekvátní účelu měření.
- V případě regulace procesu je použita efektivní rozlišitelnost. [1]

4.3 Variability procesu měření

Často se setkáváme s předpokladem, že měření jsou přesná a všechny analýzy procesů vycházejí z tohoto předpokladu. Je ale třeba si uvědomit, že určitá variabilita v procesu měření vznikne vždy, a že interpretace analýz vzniklých z naměřených dat bude existencí variability ovlivněna. [1]

U většiny procesů se setkáváme s normálním rozdělením, které nám charakterizuje celkovou variabilitu měření a předpokládá standardní metody analyzování systému měření.

4.4 Zdroje variability

Protože nejsme schopni vypracovat takový systém měření, který by byl zcela bezchybný, musíme hledat příčiny odchylek objevujících se jako nedílná součást měření. Tyto odchylky je nutné analyzovat a vyhodnocovat. Díky nim, jsme schopni náš proces měření zdokonalovat a tím dosahovat i vyšší úrovně u vyhodnocování dat sbíraných procesem měření. Díky analýze systému měření existuje snaha dosáhnouti co nejlepšího reálného stavu, kdy jsme schopni identifikovat a vyhodnotit většinu zdrojů těchto odchylek, tedy zdrojů variabilit. [1]

Existuje šest základních zdrojů variability a pro jejich výčet se dá použít zkratka S.W.I.P.E., která tedy značí:

- etalon,
- obrobek,
- přístroj,
- osobu,
- postup,
- prostředí.

Systém měření je ovlivněn náhodnými i systematickými zdroji variability. Tyto zdroje se snažíme identifikovat, a když je to možné, tak je eliminovat nebo monitorovat. [1]

4.5 Variabilita polohy

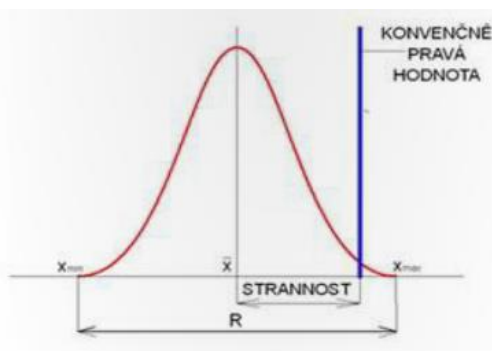
Variabilitu polohy rozdělení charakterizuje několik základních znaků:

- strannost,
- stabilita,
- linearita. [1]



4.5.1 Strannost

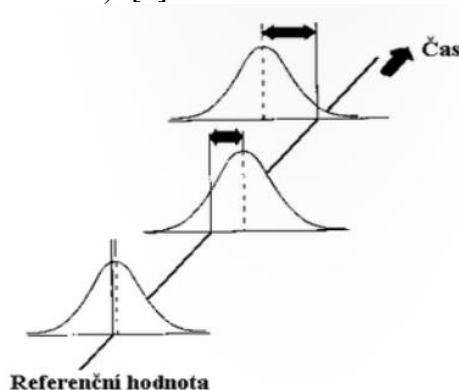
Strannost je charakteristika určující rozdíl mezi hodnotou pravou a pozorovanou průměrnou hodnotou měření, které jsou provedeny na stejném znaku jednoho dílu. Je to míra systematické chyby, která se může vyskytovat kvůli kombinaci více účinků zdrojů variability. Mezi možné příčiny tohoto jevu můžeme zařadit opotřebenost přístroje či přípravku, poškození etalonu, na který je přístroj navázán, špatně zvolené měřidlo pro danou aplikaci nebo například vykonání nesprávné kalibrace na přístroji. [1]



Obr. 4.1 Strannost [1]

4.5.2 Stabilita

Stabilitou rozumíme celkovou variabilitu výsledků měření, které jsou získány systémem měření pro stejný hlavní etalon nebo díly, pokud je měření jednoho znaku provedeno v dostatečně dlouhém časovém úseku. Možnými příčinami nestability mohou být opotřebenost přístroje či přípravku, poškození etalonu, na který je přístroj navázán, špatně zvolené měřidlo pro danou aplikaci nebo například vykonání nesprávné kalibrace na přístroji (tedy stejné příčiny jako u strannosti). [1]



Obr. 4.2 Stabilita [1]

4.5.3 Linearita

Linearita může být považována za změnu strannosti vzhledem k velikosti. Přesněji je to rozdíl strannosti v očekávaném pracovním rozsahu měřidla. Možné příčiny linearity jsou totožné jako u výše uvedených znaků variability polohy. [1]

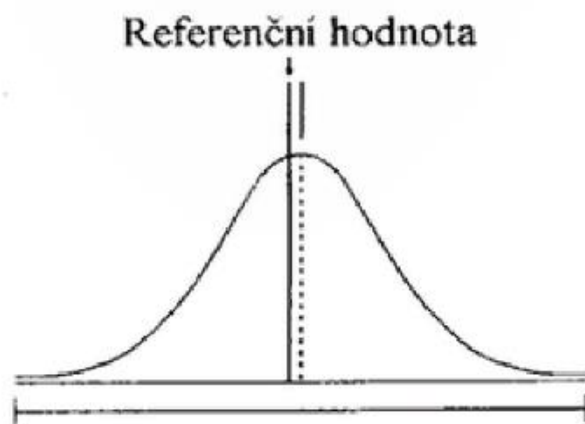


Obr. 4.3 Linearita [1]

4.6 Variabilita šíře

4.6.1 Opakovatelnost

V obecném pojetí lze opakovatelnost brát jako variabilitu měření operátora, kdy měření probíhá na identickém znaku stejného dílu stále za pomoci jednoho měřicího přístroje. Opakovatelnost je rozptylem vyvolaným náhodnými příčinami v po sobě následujících zkouškách prováděných za definovaných neměnných podmínek měření. [1]



Obr. 4.4 Opakovatelnost – pohyb hodnot kolem referenční hodnoty[1]

$$EV = \frac{\bar{R}}{d_2^*}, \quad (4.1)$$

kde:

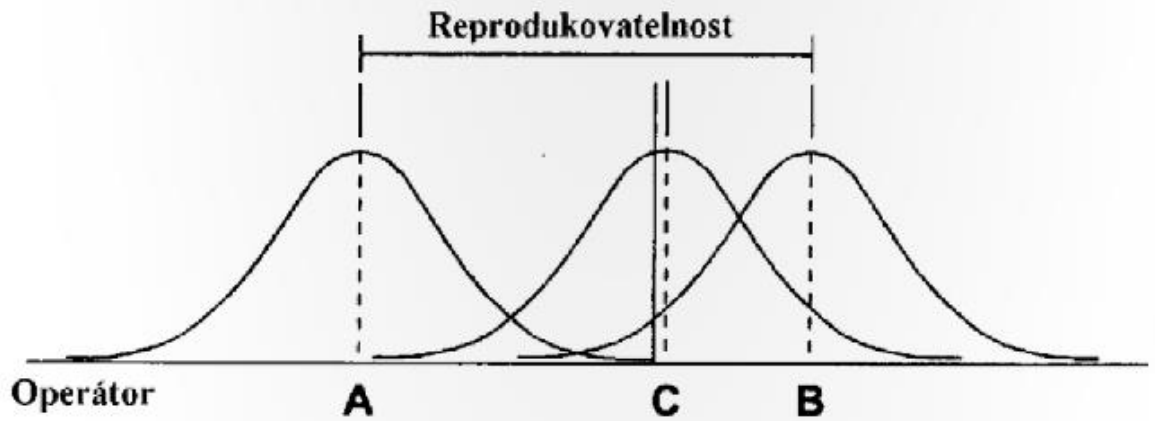
\bar{R} je průměrné rozpětí opakovaných měření všech operátorů, d_2^* je koeficient závislý na počtu opakovaných měření, součinu počtu měřených součástí a počtu operátorů. [1]

4.6.2 Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost se označuje variabilita „mezi operátory“. Definice této charakteristiky je udávána jako variabilita průměru měření získaných různými operátory za použití stejného měřicího přístroje při měření identického znaku na stejném dílu. Tento faktor je třeba brát v úvahu hlavně tehdy, když se operátor vyskytuje v procesu měření jako obsluha. Je tedy velmi závislá na odbornosti a způsobilosti právě obsluhy.



U automatizovaných systémů to nicméně neplatí, z tohoto důvodu je lepší reprodukovatelnost popsat jako průměrnou variabilitou mezi systémy nebo mezi podmínkami měření. [1]



Obr. 4.5 Reprodukovatelnost [1]

$$AV = \sqrt{\left(\frac{R_o}{d_2^*}\right)^2 - \left(\frac{(EV)^2}{n * r}\right)}, \quad (4.2)$$

kde:

R_o je variační rozpětí průměru opakovaných měření jednotlivých kusů jednotlivými operátory, r je počet měřených kusů, n je počet opakovaných měření, d_2^* je koeficient závislý na počtu operátorů. [1]

4.6.3 Citlivost

Citlivost můžeme popsat jako nejmenší vstup, který způsobí zjistitelný výstupní signál. Pro obecnější pochopení se dá konstatovat, že je to odezva systému měření na změny měřeného prvku. Mezi faktory ovlivňující citlivost lze zařadit schopnost utlumit přístroj, odbornost obsluhy, opakovatelnost měřicího zařízení, okolní podmínky prostředí a další. [1]

4.6.4 Konzistence

Konzistence je rozdíl ve variabilitě měření v čase, a může být i považována za opakovatelnost v čase. Je to znak, který se může v průběhu času změnit, jako je například zvyšování teploty dílů nebo jejich opotřebovávání v průběhu měření. [1]

4.6.5 Uniformita

Tento znak nám udává, jak se mění pracovní rozsah měřidla, jeho variabilita. [1]

4.7 Variabilita systému

4.7.1 Způsobilost

Jednoduchá způsobilost se skládá ze dvou hlavních složek a to jsou strannosti a nelinearity, a také opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (Gage R&R) včetně



krátkodobé konzistence. Způsobnost systému měření je odhadem kombinované variability chyb měření založených na krátkodobém vyhodnocení. Pokud chyby měření jsou náhodné a nezávislé, lze způsobnost vyjádřit jako:

$$\sigma_{Způsobnost}^2 = \sigma_{Strannost}^2 + \sigma_{GRR}^2. \quad (4.3)$$

[1]

4.7.2 Výkonnost

Je to celkový účinek všech významných a stanovených zdrojů variability v čase. Jde o kvantitativní dlouhodobé posuzování (na rozdíl od způsobnosti, která je založena na krátkodobém vyhodnocení) kombinovaných chyb měření (náhodných i systematických). Výkonnost je tedy složena hlavně ze složky způsobnosti a složky zahrnující stabilitu a konzistenci:

$$\sigma_{Výkonnost}^2 = \sigma_{Způsobnost}^2 + \sigma_{Stabilita}^2 + \sigma_{Konzistence}^2. \quad (4.4)$$

[1]

4.7.3 Nejistota měření

Je důležité zmínit, že analýza systému měření se zaměřuje na porozumění a zlepšování procesu měření, přičemž se stanovuje velikost chyby v procesu a posuzuje se adekvátnost použití systému měření pro konkrétní případ. Na druhou stranu nejistota je interval hodnot, který je spjat s výsledkem měření jako takovým a o němž lze tvrdit, že se nalézá v uvedeném intervalu (tedy pravá hodnota naměřené veličiny leží v intervalu hodnot, který je dán nejistotou). [1]

4.8 Postupy analýzy systému měření

Analýza systému měření má dva základní postupy pro vyhodnocování dat. Tyto postupy se liší v závislosti na získaných datech na MSA atributivní a MSA pro spojitá data. [1]

4.8.1 MSA atributivní

Analýza systému měření atributivních neboli diskrétních dat spočívá v principu vyhodnocování měřeného znaku jako dobrý/špatný, přičemž se používá číselného ohodnocení 1 pro dobrý znak a 0 pro znak špatný. Tato možnost použití MSA postačuje pro orientační zhodnocení kvality vyráběných výrobků. Ukazuje nám, jestli vyrábíme dobré nebo špatné kusy. Nicméně pro hlubší analýzu se používá druhá možnost (viz níže). [1], [7]

4.8.2 MSA pro spojitá data

Analýza systému měření pro spojitá data nám pomáhá porozumět procesu měření lépe a více do hloubky než metoda atributivní. Hlavní výhodou tohoto postupu je vyhodnocení znaků kvality našeho výrobku z pohledu již daných hodnot důležitých charakteristik, jako jsou rozměry, hmotnost, kvalita opracování a jiné. Ke kvalitativním znakům je přidružena číselná hodnota, data již mají větší vypovídající hodnotu a vyhodnocení analýzy bude mít vyšší vypovídající hodnotu. Díky tomuto zhodnocení můžeme kvalitněji posoudit jak měřicí přístroj, tak i celý systém měření. [1], [7]

4.8.3 Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Tato studie je součástí většího celku, který se zabývá analýzou systému měření. Díky nemožnosti dosáhnout dokonalého systému na výrobu součástí, které následně putují k zákazníkovi, existuje snaha firem dosáhnout takových výsledků, které budou alespoň uspokojivé a tyto výsledky se následně snaží zlepšovat pro dosažení co nejlepší reálné kvality. Hodně firem a organizací se i dnes spoléhá jen na systém měření, který má nízkou vypovídací hodnotu. Tímto systémem se rozumí rozhodování, jestli je výrobek dobrý nebo je to „zmetek“. Nicméně při nedodržení dostatečně vysoké kvality uvnitř firmy v ohledu na systém měření vyrobených součástí, se tak může stát, že dojde k zamítnutí výrobků shodných a k expedici neshodných výrobků k zákazníkovi. [1], [7]

R&R studie, tedy studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla se skládá ze dvou základních kroků. Při prvním kroku se provádí posloupnost pokusů, která slouží pro zhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Posléze v druhém kroku je analyzována úroveň variability na základě výsledků pokusů. Druhý krok vede ke zjištění, jakou měrou k variabilitě procesu přispívají operátoři, měřidla nebo samostatné měřené vzorky. [1], [7]

4.8.4 Metody k určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Nejpoužívanější metody pro analýzu spojitých proměnných jsou:

- metoda založená na rozpětí,
- metoda založená na průměru a rozpětí s použitím metody regulačních diagramů,
- metoda ANOVA. [1]

Metoda založená na rozpětí

Tato metoda je modifikací studií na základě spojitých proměnných. Umožňuje rychlou aproximaci variability měření. V metodě založené jen na rozpětí princip spočívá v ponechání variability na opakovatelnost a reprodukovatelnost jako jeden celek. Použití je zaměřeno na rychlou kontrolu, kdy nám je poskytnut pouze celkový obraz o systému měření. [1]

Metoda založená na průměru a rozpětí

Na rozdíl od první metody je tato zaměřena již na rozeznání a oddělení variabilit opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zvláště do samostatných celků, které mají větší vypovídající charakter. Tento způsob vytvoření analýzy se označuje jako \bar{X} &R. [1]



Metoda ANOVA – analýza rozptylu

Metoda ANOVA je standardní statistická metoda, která bývá používána při analyzování chyby měření a jiných zdrojů variabilit u systému měření. Analýza rozptylu spočívá v rozdělení rozptylu do čtyř kategorií:

- díly,
- operátoři,
- interakce mezi díly a operátory,
- chyba replikace způsobená měřidlem. [1]

Výhody této metody spočívají hlavně ve schopnosti vypořádání se s téměř jakýmkoli experimentálním seřízením, zajištění mnohem přesnějších odhadů rozptylů, a v neposlední řadě je to možnost získání daleko více údajů a informací, jak jsou například interakce mezi operátorem a jednotlivými díly, než u metod pro průměr a rozpětí. [1]

Její nevýhoda spočívá ve složitosti výpočtů, díky kterým se zde velice vyplatí použití profesionálního počítačového statistického programu jako je například Minitab. Další složitost se nachází v interpretaci výsledků, které vzešly ze zpracování dat, kdy je nutnost pokročilejších znalostí v ovládnutí tohoto programu, a také znalost v interpretacích závěrů.

Tab. 4.1 *Výhody a nevýhody metod k určení reprodukovatelnosti a opakovatelnosti*[11]

Metoda	Výhody	Nevýhody
Metoda založená na rozpětí.	Metoda s jednoduchými výpočty.	Vyhodnocuje jen celkový rozptyl – nezahrnuje rozptyly pro komponenty R&R.
Metoda založená na průměru a rozpětí.	Metoda s jednoduchými výpočty. Umožňuje odhad celkového rozptylu a rozptylu jednotlivých komponent.	Vyhodnocuje celkový rozptyl a rozptyly komponent, ale do vyhodnocení nezahrnuje odhad účinků interakcí.
Metoda ANOVA	Umožňuje odhady celkového rozptylu a rozptyly všech komponent včetně jejich interakcí. Vypočtené odhady mají větší přesnost. Tato metoda umožňuje statistické testování hypotéz.	Složitost podrobných výpočtů – je vyžadováno použití statistického SW.

4.8.5 Kritéria přijatelnosti pro analýzu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Pro analýzu systému měření z pohledu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti existují důležitá kritéria. Ta nám udávají, jestli je variabilita výrobního procesu vyhovující. Pro případ systému měření, jehož účelem je analyzování procesu, platí čistě praktická zásada. [1], [5]

- Kritérium, kdy je chyba širší než 10 % - se obecně považuje za přijatelný.
- Kritérium, kdy je chyba širší od 10 % po 30 % - může být systém přijatelný podle důležitosti použití, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, nákladů na opravu atd.
- Kritérium, kdy je chyba širší než 30 % - systém měření se považuje za nepřijatelný a veškeré úsilí se zde má vynaložit na zlepšení systému měření.

5 GAGE R&R PŘES METODU ANOVA

Analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla umožňuje stanovení variabilit v procesu a vyhodnocení, kolik ze zmíněných variabilit vzniká v důsledku variability systému měření. [1], [4], [9]

R&R reprezentuje 99,73% variability systému měření způsobené jak měřicím zařízením, tak i operátorem. Veličina R&R je obvykle procentní vyjádření z celkové variability (TV).

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{TV} \text{ resp. } \%R\&R = \frac{S_{\text{měřicího systému}}}{S_{\text{total}}} \quad (5.1)$$

Celková variabilita se skládá z R&R a z variability vzorků (PV).

$$TV^2 = (R\&R^2 + PV^2) \quad (5.2)$$

Pro začátek studie se musí nejdříve sesbírat data, která mají následovný charakter:

- 10 vzorků,
- 3 operátoři,
- 2 opakování.

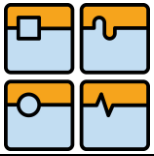
Máme tedy 6 měření na každý vzorek, který operátoři měřili v náhodném pořadí a přičemž každý vzorek nakonec změřili dvakrát (tento postup je standard programu minitab). [1], [4], [9]

5.1 Kroky studie

Jako první krok, je důležité si uvědomit, že tato analýza počítá se souborem dat, který odpovídá distribuci normálního rozdělení. Není možné se v tomto případě posunout k dalšímu kroku, pokud soubor dat nemá zmíněné normální rozdělení.

Druhým krokem je vytvoření samotné analýzy Gage R&R, která nám po zvolení testovaného souboru dat vypíše, jak analytické, tak i grafické výsledky.

Třetím důležitým krokem je vyhodnocení počtu „distinct categories“. Tento počet je ukazatelem rozlišitelnosti systému měření. Pro přijatelný a použitelný systém měření pro zlepšování procesu musí mít nejméně pět těchto kategorií, v ideálním případě nabývá rozlišitelnost systému hodnot deset a více. [1], [4], [9]



6 REGULAČNÍ DIAGRAMY

Další možností, která je mimochodem zakomponovaná i v MSA, pro kvalitativní zhodnocení procesu měření jsou regulační diagramy. Každý proces podléhá proměnlivosti. Pomocí střední hodnoty, směrodatné odchylky nebo rozpětí hodnot vybraného znaku kvality pneumatických lineárních pohonů, dokážeme tuto proměnlivost procesu statisticky popsat.

Určité kolísání hodnot znaku kvality, kdy variabilita hodnot znaku kvality je způsobena pouze náhodnými příčinami, je vždy nevyhnutné. Tento typ variability je způsoben řadou přesně neurčitelných příčin (náhodné příčiny), z nichž každá se podílí na celkové variabilitě jen velmi malou složkou a žádná z nich zároveň zpravidla nepřispívá významnou měrou. V souhrnu vlivů tak tvoří tzv. inherentní složku variability daného procesu. Takovýto proces je ze statistického hlediska reprodukovatelný, hodnota znaku kvality je statisticky předvídatelná, mluvíme pak proto o procesu ve statisticky zvládnutém (tj. stabilním) stavu.

Existuje ovšem takové kolísání hodnot znaku kvality, které nemůžeme nechat bez povšimnutí. Pokud je variabilita způsobena konkrétní příčinou, která se významnou měrou projeví na celkové variabilitě, pak tuto příčinu nazýváme speciální nebo vymežitelná (identifikovatelná, určitelná) příčina variability.

Statistické řízení procesu (Statistic Process Control, dále jen SPC) je jedním z nejučinnějších preventivních nástrojů pro řízení, který nám umožňuje včas odhalovat významné odchylky (způsobených vymežitelnými příčinami) v procesech. Pak můžeme realizovat zásahy do procesu dříve, než vznikne vadná součást.

Hlavním statistickým nástrojem SPC jsou tzv. regulační diagramy, které představují grafickou metodu znázornění a porovnání informací založených na posloupnosti výběrů hodnot zvoleného znaku kvality, představujících reálný stav procesu vůči regulačním mezím. Při stanovení regulačních mezí je vzata do úvahy inherentní složka variability procesu. Metoda regulačních diagramů umožňuje především zhodnotit, zda daný proces dosáhl statisticky zvládnutého stavu a vedením plynulého (trvalého) záznamu o kvalitě dosáhnout vysokého stupně stejnorodosti podstatných znaků vybraných námi měřených charakteristik pneumatického lineárního pohonu. Regulační diagramy nám tak umožňují provádět dlouhodobou statistickou kontrolu procesů a na základě jejich výsledků úspěšně procesy regulovat.

Používání regulačních diagramů, resp. jejich průběžná analýza, přispívá k lepšímu pochopení a úspěšnému hledání možností zlepšování procesů.

6.1 Princip regulačních diagramů

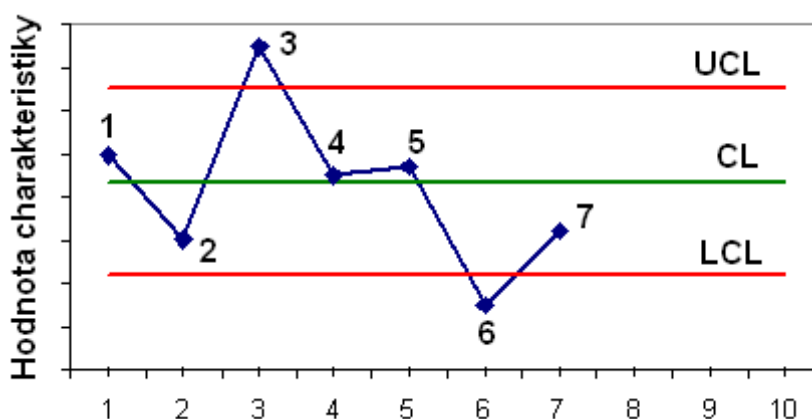
Následující kapitola byla s dovolením autora převzata z [6], dále byla přizpůsobena tématu diplomové práce.

Regulační diagramy znázorňují údaje získané přímo v procesu v přibližně pravidelných intervalech nebo ve shodných okamžicích procesu. Intervaly mohou být určeny v čase (například měření u „n“ pneumatických válců apod.), nebo v množství. Obvykle se každá podskupina skládá ze stejného počtu objektů, které mají stejné měřitelné charakteristiky a stejný rozsah podskupiny.

Regulační diagram je graf hodnot dané charakteristiky podskupiny proti pořadovému číslu podskupiny (viz obr. 6.1). Pro vlastní řízení vyhodnocujeme hodnoty dané charakteristiky podskupiny (například střední hodnota znaku kvality \bar{x} v podskupině, rozpětí hodnot R v podskupině, atd.) vůči centrální přímce CL (Central Line) a zejména vůči



dalším dvěma regulačním mezím – horní regulační mezi UCL (Upper Control Limit) a dolní regulační mezi LCL (Lower Control Limit). Tyto regulační meze jsou obecně v určité vzdálenosti na každou stranu od centrální přímký - například ve velikosti x -násobku směrodatné odchylky σ sledované charakteristiky podskupin. Směrodatná odchylka σ sledované charakteristiky podskupin je příslušná základnímu souboru hodnot této charakteristiky, z něhož se odebírají jednotlivé podskupiny. Ke statistickému odhadu směrodatné odchylky σ se používají výběrové směrodatné odchylky s nebo příslušné násobky výběrových rozpětí, které charakterizují kolísání hodnot charakteristiky uvnitř podskupin.



Obr. 6.1 Princip regulačního diagramu

Obecnou úvahou při vyhodnocování regulačních diagramů je předpoklad, že daný proces je ve statisticky zvládnutém vztahu, bude uvnitř regulačních mezí obecně přibližně p % hodnot příslušných podskupinám, a proto leží-li všechny body uvnitř pásma UCL a LCL , není požadován zásah do procesu. Možnost, že hodnota charakteristiky podskupiny padne mimo tyto regulační meze, se považuje za málo pravděpodobnou, a proto pokud takovýto případ nastane, je požadován zásah do procesu, jako v případě třetí a šesté hodnoty v obr. 6.1.

Přísně matematicky vzato to znamená, že při takovýchto regulačních diagramech jsou možné dva typy chyb v řízení. Chyba prvního druhu nastane v případě, že proces je sice ve statisticky zvládnutém stavu, ale hodnota výběrové charakteristiky náhodou padne mimo regulační meze. Pak vlastně nesprávně spustíme zásah pro úpravu procesu. Velikost této chyby závisí na volbě vzdálenosti regulačních mezí od centrální přímký.

Pokud zvolíme regulační meze ve vzdálenosti $\pm 2\sigma$, leží uvnitř regulačních mezí přibližně 95,45 % všech hodnot a chyba prvního druhu bude 4,55 %.

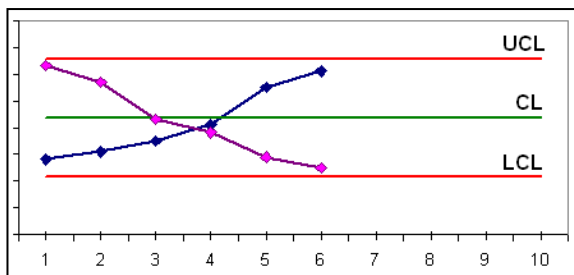
Pokud zvolíme regulační meze ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$, bude ležet uvnitř regulačních mezí přibližně 99,73 % všech hodnot a chyba prvního druhu bude pouze 0,27 %. Toto riziko je pro dnešní praxi považováno za přijatelné (dále jen riziko α).

Chyba druhého druhu nastane v případě, když hodnota výběrové charakteristiky náhodou padne mezi regulační meze. V tomto případě se nesprávně rozhodneme, že není nutné provést zásah v řízeném procesu. Riziko této chyby (dále jen riziko β) je funkcí tří faktorů – šíře regulačních mezí, rozsah u výběru a stupně, do něhož řízený proces vstupuje jako statisticky nezvládnutý.

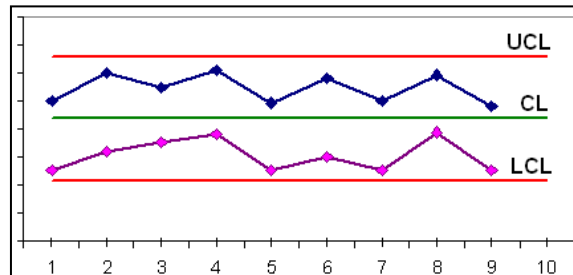
Pro regulační diagramy byla ještě vyvinuta další kritéria tzv. testy nenáhodných seskupení. Vyskytnou-li se v regulačním diagramu zvláštní seskupení bodů, je nutné takovou



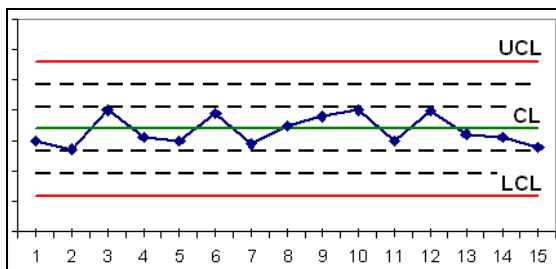
situaci považovat za málo pravděpodobnou, upozorňující na pravděpodobný výskyt systematického vlivu. Proto je v takovémto případě nutné provést zhodnocení procesu s cílem rozhodnout, zda se skutečně došlo k nedovolené změně v procesu a zda je tedy nutný zásah. Na následujícím obrázku jsou ukázka nevyhovujících rozmístění jednotlivých bodů v regulačním diagramu.



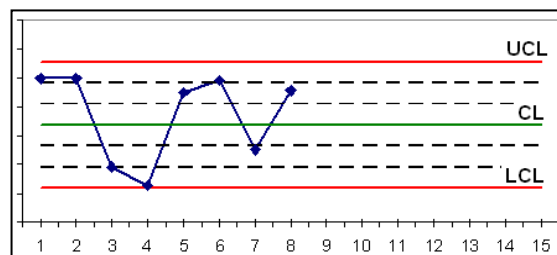
a) šest bodů v řadě stoupá nebo klesá centrální přímkou CL



b) devět bodů v řadě leží nad nebo pod



c) patnáct bodů v řadě leží ve vnitřní třetině pásma mezi regulačními mezemi tj. nad i pod centrální přímkou regulačními mezemi



d) osm bodů v řadě leží na obou stranách centrální přímkou CL , ale žádný z nich neleží ve vnitřní třetině pásma mezi

Obr. 6.2 Příklady nenáhodných seskupení hodnot

6.2 Regulační diagramy pro řízení měřením

Regulační diagramy pro řízení měřením se v praxi nejčastěji používají v následujících dvojicích:

a) regulační diagram pro průměr \bar{x} a rozpětí R (\bar{x} , R) nebo regulační diagram pro průměr \bar{x} a směrodatnou odchylku s (\bar{x} , s) hodnot znaků kvality v podskupinách,

b) regulační diagram pro individuální hodnoty x_i a klouzavé rozpětí R_k (x_i , R_k) hodnot znaků kvality.

Pozn.:1. Předpoklad normality pro hustotu pravděpodobnosti uvnitř výběru sledovaného znaku kvality, stejný předpoklad i pro odvození všech součinitelů pro výpočet regulačních mezí.

2. Musíme sledovat a regulovat vždy dvě charakteristiky, které představují polohu a variabilitu hodnot charakteristik znaků kvality.



3. Regulační diagramy se většinou používají jako empirický nástroj k přijetí rozhodnutí o zásahu do řízeného procesu, přijatelné odchylky od normality by neměly způsobit zamítnutí využívání regulačních diagramů.

4. Při odvozování dále uvedených vztahů pro centrální přímku i pro horní a dolní regulační mez předpokládáme riziko $\alpha = 0,27\%$, přičemž velikost rizika β nespecifikujeme. Všechny vztahy jsou odvozeny pro případ, že hodnoty regulovaných výběrových charakteristik ani základního souboru hodnot znaku kvality nejsou známy (nejsou předem stanoveny).

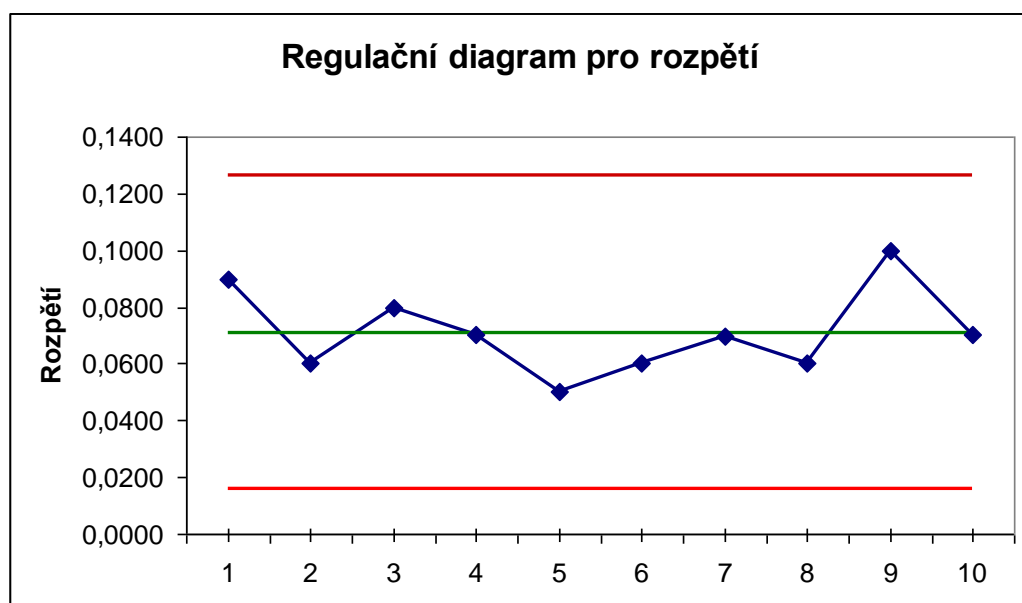
V dalších částech této kapitoly jsou uvedeny regulační diagramy pro průměr \bar{x} a rozpětí R (\bar{x} , R) a dále podrobněji vysvětlen regulační diagram pro individuální hodnoty x_i a klouzavé rozpětí R_k (x_i , R_k), který bude použit pro hodnocení kvality vybraných parametrů pneumatických lineárních pohonů, kdy hodnoty pro zpracování (data) budou brána z měřicího zařízení PRA EOL Testeru.

6.2.1 Regulační diagramy \bar{x} , R

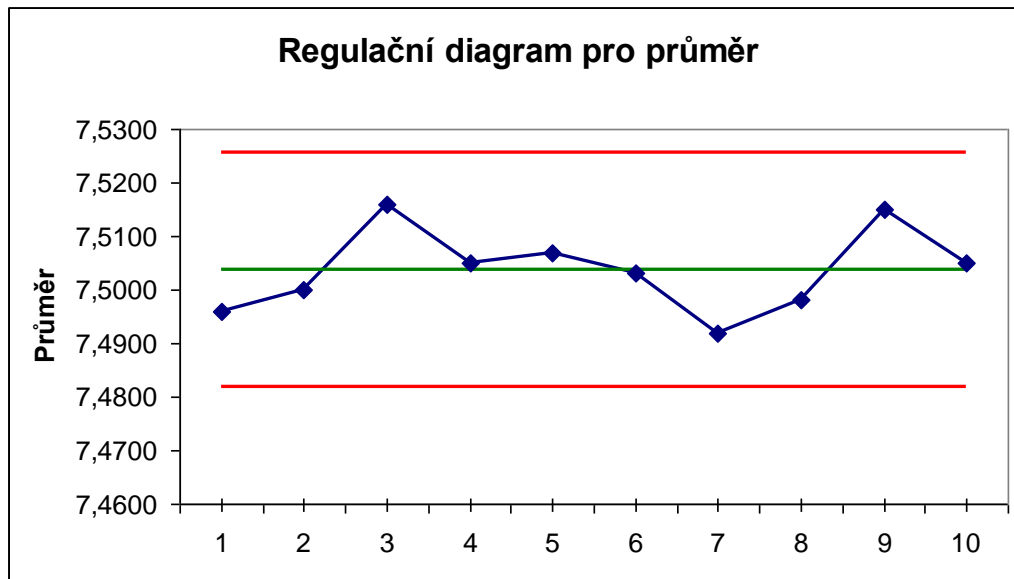
Regulační diagramy pro výběrový aritmetický průměr (dále jen výběrový průměr) \bar{x} a výběrové rozpětí R jsou nejrozšířenější dvojice regulačních diagramů. Nejvhodnější jsou pro situace, kdy se pracuje s rozsahy výběrů 2-10 jednotek v podskupině. Pro větší počty jednotek v podskupině je vhodnější dvojice regulačních diagramů pro výběrový průměr \bar{x} a výběrovou směrodatnou odchylku s (pak je již výběrové rozpětí méně přesným odhadem variability procesu).

Regulační diagram pro výběrový průměr \bar{x} je určen pro sledování hodnot jednotlivých výběrových průměrů \bar{x}_i o konstantním rozsahu „ n “.

Regulační diagram pro výběrové rozpětí R je určen pro sledování hodnot jednotlivých výběrových rozpětí R_i o konstantním rozsahu „ n “. R_i představuje rozdíl maximální a minimální hodnoty znaku kvality pro i -tý výběr.



Obr. 6.3 Regulační diagram pro výběrový průměr \bar{x}_i



Obr. 6.4 Regulační diagram pro rozpětí R_i

6.2.2 Regulační diagramy pro individuální hodnoty x_i , R_k

Regulační diagramy pro individuální hodnoty x_i a klouzavé rozpětí R_k se používají v situacích, kdy je buď technicky nemožné, nebo ekonomicky příliš náročné vytváření logických podskupin. Typickým příkladem jsou nákladná nebo příliš dlouhá měření – například destruktivní zkouška. V jiných situacích existuje pouze jediná možná hodnota, jako například čtení z měřicího zařízení nebo vlastnost vstupního materiálu v dávce.

Jak již bylo řečeno, v případě regulačních diagramů pro individuální hodnoty neexistují logické podskupiny, které by umožňovaly odhady variability uvnitř těchto podskupin. Proto jsou regulační meze založeny na míře variability vypočtené z klouzavých rozpětí dvou po sobě následujících měření hodnot znaků kvality. Klouzavé rozpětí je absolutní hodnota rozdílu dvojice měření, tj. rozdílu mezi první a druhou, druhou a třetí atd. hodnotou, proto pokud je počet naměřených hodnot znaku kvality „ N “, existuje celkem „ $N-1$ “ klouzavých rozpětí.

Zásady, které je nutné brát do úvahy:

- regulační diagramy pro individuální hodnoty x_i a klouzavá rozpětí R_k nejsou tak citlivá na změny v procesech jako výběrový průměr \bar{x} a výběrové rozpětí R ,
- regulační diagram pro individuální hodnoty x_i je citlivý na odchylky rozdělení regulovaného znaku kvality od normálního rozdělení. Tedy, není-li rozdělení sledovaného znaku kvality v procesu normální, je toto nutno vyhodnotit při interpretaci závěrů z regulace.

**Regulační diagramy pro individuální hodnoty x_i**

Do tohoto typu regulačního diagramu se zaznamenávají jednotlivé naměřené hodnoty x_i ($i = 1, 2, \dots, N$). Centrální přímkou položíme proto rovnou aritmetickému průměru \bar{x} všech naměřených hodnot:

$$CL_x = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}. \quad (6.1)$$

Vztahy pro horní a dolní regulační mez pro x_i :

$$UCL_x = \bar{x} + 3\sigma, \quad (6.2)$$

$$LCL_x = \bar{x} - 3\sigma, \quad (6.3)$$

kde σ je směrodatná odchylka základního souboru, kterou odhadneme pomocí průměrného klouzavého rozpětí:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}_k}{d_2} = \frac{\bar{R}_k}{1,128}, \quad (6.4)$$

kde d_2 je Hartleyova konstanta, která je závislá na rozsahu výběru.

\bar{R}_k je průměrné klouzavé rozpětí, které vypočteme dle vztahu:

$$\bar{R}_k = \frac{\sum_{l=1}^{N-1} R_{k_l}}{N-1}, \quad (6.5)$$

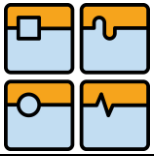
kde

$$R_{k_l} = |x_l - x_{l+1}|. \quad (6.6)$$

Dosazením (6.4) do vztahů (6.2) a (6.3) dostaneme:

$$UCL_x = \bar{x} + 3 \frac{\bar{R}_k}{d_2} = \bar{x} + \frac{3}{1,128} \bar{R}_k = \bar{x} + 2,66\bar{R}_k, \quad (6.7)$$

$$LCL_x = \bar{x} - 3 \frac{\bar{R}_k}{d_2} = \bar{x} - \frac{3}{1,128} \bar{R}_k = \bar{x} - 2,66\bar{R}_k. \quad (6.8)$$



Regulační diagram pro klouzavé rozpětí R_k je určen pro sledování hodnot jednotlivých klouzavých rozpětí R_{k_i}

Hodnotu centrální přímký CL_R stanovíme na velikosti průměrného klouzavého rozpětí \bar{R}_k .

Pro stanovení regulačních mezí v regulačním diagramu pro klouzavé rozpětí použijeme analogické vztahy, jaké by byly odvozeny pro regulační diagram pro rozpětí:

$$UCL_{R_k} = D_4 \bar{R}_k = 3,267 \bar{R}_k, \quad (6.9)$$

$$LCL_{R_k} = D_3 \bar{R}_k = 0. \quad (6.10)$$

7 ZPŮSOBILOST PROCESU

Následující kapitola byla s dovolením autora převzata z [6], dále byla přizpůsobena tématu diplomové práce.

Vhodným kritériem pro hodnocení jakosti procesů je jejich způsobilost, kterou lze posuzovat na základě analýzy celkové variability zvoleného jakostního znaku.

Pod pojmem způsobilost procesu (process capability) chápeme schopnost procesu trvale dosahovat stanovené hodnoty znaků kvality pneumatických lineárních pohonů.

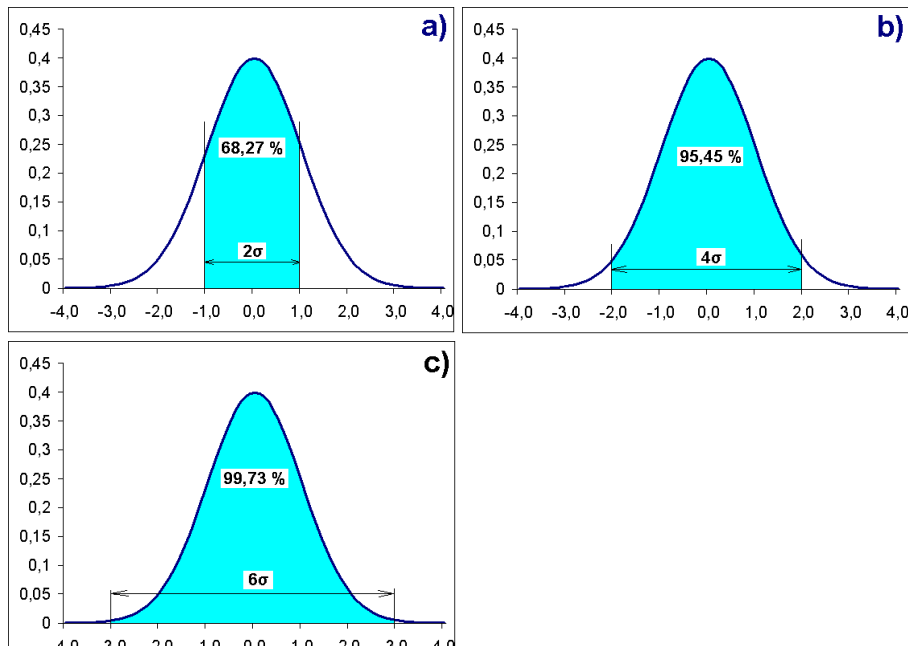
Znalost způsobilosti všech řízených procesů je velmi důležitou informací také pro dodavatele. Na jejím základě může management dodavatele hodnotit například stabilitu jednotlivých výrobních operací, posuzovat účinnost přijímaných opatření, odhalovat riziko vzniku neshodných výrobků a zvýšených nákladů ve výrobě, plánovat investice do nových strojů a technologií s cílem dalšího zlepšování vlastností, příp. zdokonalování svých procesů, atd.

7.1 Indexy způsobilosti procesu

Při hodnocení způsobilosti procesů se v současnosti nejvíce používají indexy způsobilosti (capability indexes), které se sice liší způsobem výpočtu, vlastnostmi i podmínkami použitelnosti, ale které vždy představují poměr povolené (požadované) variability procesu (např. předepsané, normované, výkresové apod.) a skutečně dosahované velikosti variability procesu. Index způsobilosti procesu c_p můžeme nejobecněji vyjádřit jako poměr požadavku na variabilitu a velikosti variability.

$$c_p = \frac{\text{požadavek na variabilitu procesu}}{\text{velikost variability procesu}} \quad (7.1)$$

Variabilita procesu je určena intervalem, ve kterém se zadanou pravděpodobností leží všechny hodnoty procesu. V případě, že variabilita procesu podléhá normálnímu rozdělení, můžeme interval určit pomocí násobků směrodatné odchylky (viz. Obr. 7.1).



Obr. 7.1 Variabilita procesu jako násobek směrodatné odchytky σ

Tab. 7.1 Variabilita procesu jako násobek směrodatné odchytky σ

Hodnocení variability procesu na základě počtu směrodatných odchylek	
počet směrodatných odchylek	% hodnot v procesu
$\pm 1\sigma$	68,27 %
$\pm 2\sigma$	95,45 %
$\pm 3\sigma$	99,73 %

Velikost intervalu $\pm 3\sigma$ byla ve světě přijata jako standard pro posuzování variability procesu, protože představuje míru, kterou můžeme považovat za dostatečně přesnou pro určení indexu způsobilosti libovolného procesu.

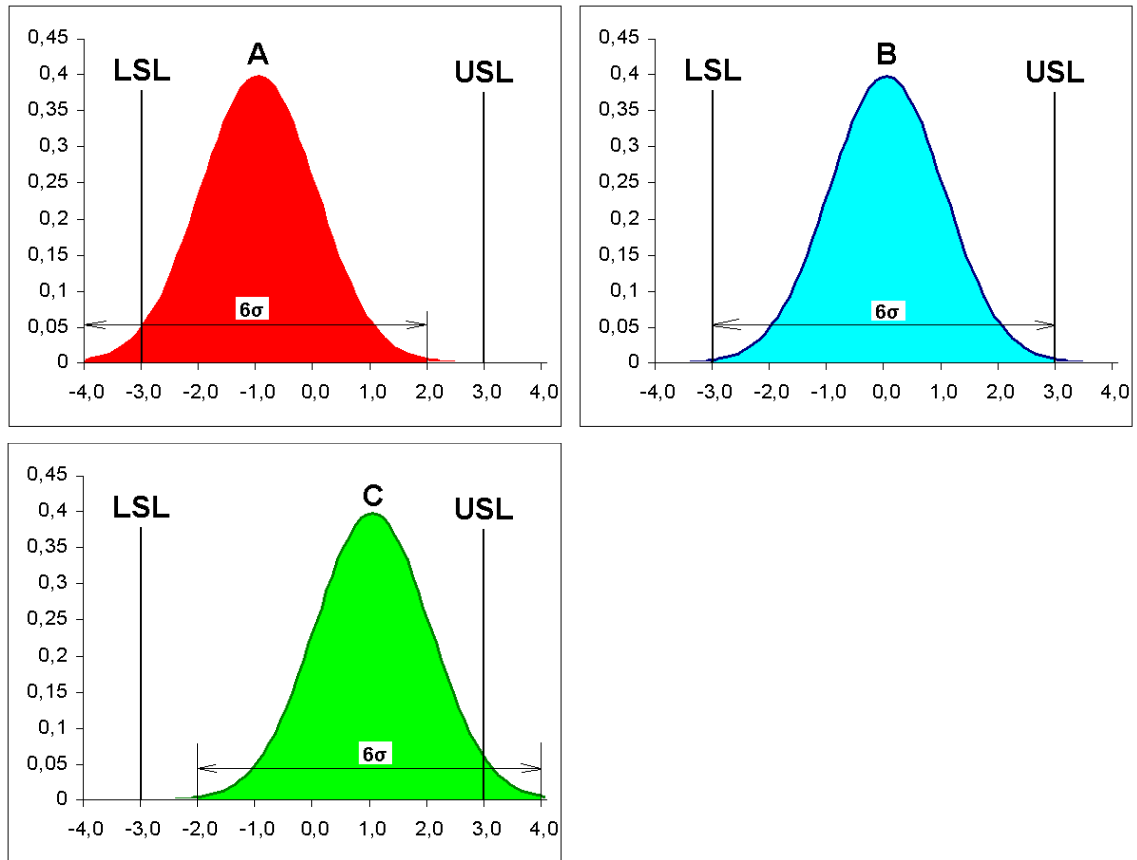
Při zjišťování indexu způsobilosti procesu zaznamenáme hodnoty znaku kvality výrobků vyrobených v tomto procesu za určitou dobu (minimálně několik týdnů). Prakticky postupujeme tak, že z procesu získáváme údaje o hodnotách znaku jakosti například z každé série, z každé směny tak, aby v průběhu zkoumání došlo ke změnám všech důležitých faktorů, které se v procesu objevují.

Po uspořádání všech získaných hodnot provedeme statistické ověření normality dat. V případě nezamítnutí hypotézy, že kolísání hodnot znaku jakosti podléhá normálnímu rozdělení, vypočteme odhad indexu způsobilosti procesu c_p dle vztahu:

$$\hat{c}_p = \frac{USL - LSL}{6s_p}. \quad (7.2)$$



Na obrázku 7.2 jsou znázorněny tři různé procesy A, B, C se shodnou hodnotou indexu způsobilosti $c_p = 1,00$.



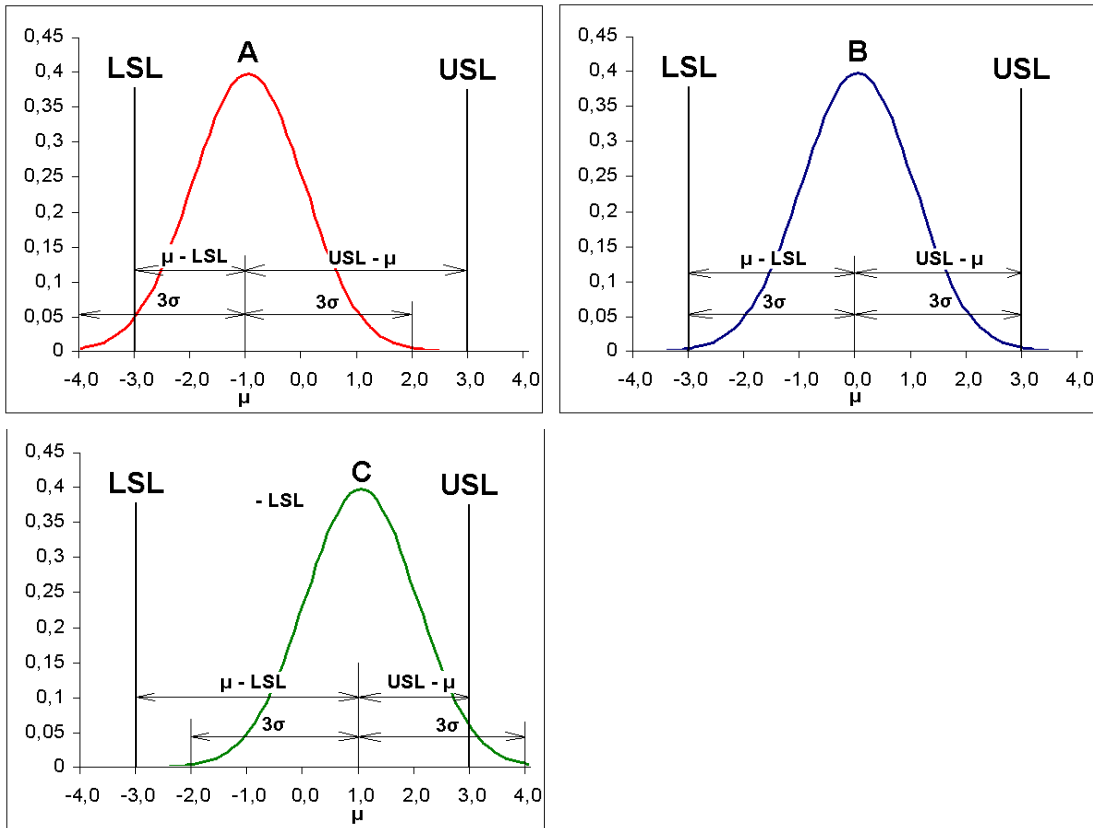
Obr. 7.2 Tři procesy se shodným indexem způsobilosti c_p

Index způsobilosti procesu c_p je vyjádřením míry schopnosti procesu dosáhnout ideálního centrování, při působení pouze náhodných příčin variability a udržení tohoto stavu v čase. Jinými slovy c_p charakterizuje krajní možnost procesu a není schopen vyjádřit polohu procesu vzhledem k požadavku na variabilitu procesu (předepsanému tolerančnímu poli). Pro potřeby řízení je proto nutné vytvořit další druhy indexů způsobilosti procesů.

Kritický index způsobilosti procesu c_{pk} , který bere do úvahy střední polohu variability procesu vzhledem k požadavku na proces (viz obr. 7.3) je další možností sledování způsobilosti procesu. Jeho odhad vypočteme podle následujícího vztahu:

$$\hat{c}_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{x}}{3s_p}, \frac{\bar{x} - LSL}{3s_p} \right\}, \quad (7.3)$$

kde \bar{x} je střední hodnota (aritmetický průměr) znaku jakosti.

Obr. 7.3 Vstupní údaje pro výpočet indexu způsobilosti c_{pk}

Při výpočtu kritického indexu způsobilosti procesu c_{pk} postupujeme tak, že vypočteme hodnoty obou výrazů uvedených v závorce vztahu (Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.) a za index c_{pk} určíme tu hodnotu, která je menší. Pro procesy A, B, C z br. 7.3 můžeme tak konstatovat:

$$c_{pk}(A) = c_{pk}(C) = 0,67, \quad (7.4)$$

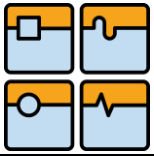
$$c_{pk}(B) = c_p(B) = 1. \quad (7.5)$$

7.2 Způsobilý a nezpůsobilý proces

Existuje přímá souvislost mezi indexy způsobilosti procesu a zmetkovitostí produkce. Proto kritéria na schopnost procesu se historicky vyvíjela – např. první požadavky na hodnoty indexů způsobilosti výrobních procesů se pohybovaly kolem hodnoty 1,00. Tento požadavek znamenal, že za kritické bylo považováno, pokud proces produkoval 0,27 % neshodných (vadných) jednotek (t.j. jednotek, kterých hodnoty znaku jakosti překročily stanovené meze USL nebo LSL).

Tab. 7.2 Kritéria pro posuzování hodnoty indexu způsobilosti

Indexy způsobilosti procesu	Hodnocení procesu	Opatření	Kontrolní opatření při dalším ověřování procesu
$c_p, c_{pk} < 1,00$	Nezpůsobilý	Zastavení produkce, odstranění příčin nezpůsobilosti procesu. 100% - ní ověření produktu.	100% - kontrola výrobků po stanovenou dobu.
$1,00 \leq c_p, c_{pk} < 1,33$	Podmíněně způsobilý	Pokračování produkce. Zvýšená periodická kontrola produktu.	Analýza možností zvýšení způsobilosti procesu.
$c_p, c_{pk} \geq 1,33$	Způsobilý	Pokračování produkce při standardní periodické kontrole.	Analýza možností snižování variability procesu.



8 ANALÝZA DAT METODOU GAGE R&R

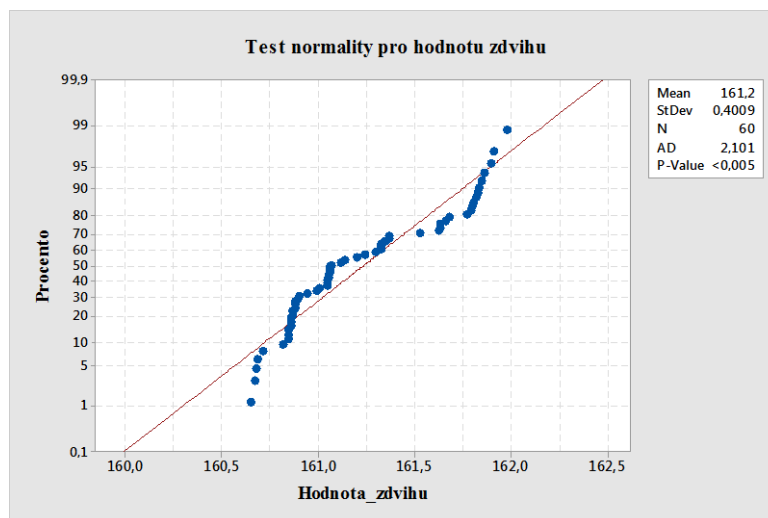
8.1 Ověření normality

Ověření normálního rozdělení získaného souboru hodnot je velice důležité. Ještě důležitější je to v případě, že používáme statistické metody, které pro správné vyhodnocení souboru dat normální rozdělení souboru hodnot požadují. Pro vyhodnocení stavu měřicího procesu na testeru pneumatických válců jsem zvolil metodu popsanou v teoretické části, a to metodu Gage R&R, tedy metodu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Tato metoda předpokládá soubor naměřených hodnot normálního rozdělení. První krok této studie tedy zákonitě musí být test normality datového souboru. Analýza je provedena ve statistickém programu Minitab. V tomto programu si můžeme zvolit několik možností jakou metodou test normality provést. Mezi vybrané metody, které používá Minitab patří Kolmogorov-Smirnov test, Ryan-Joyner test, nebo nejpoužívanější Anderson-Darling, který jsem si pro test normality vybral.

Vybrané parametry pro vykonání analýzy byly:

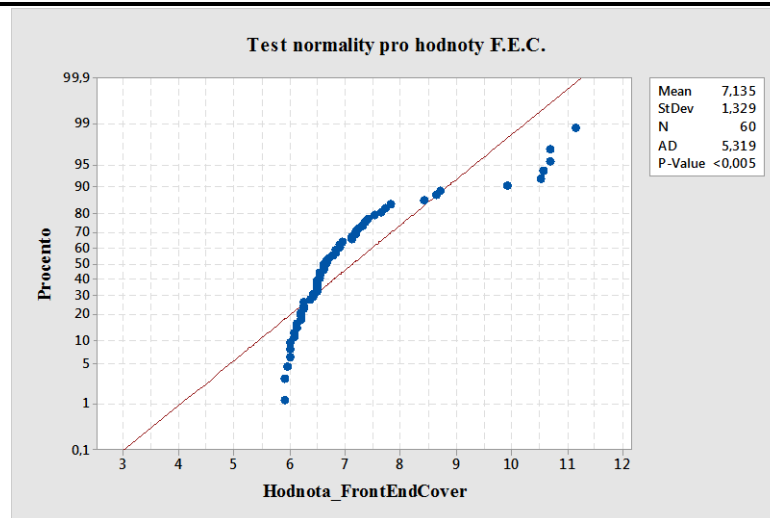
- únik plynu na zadní části pneumatického válce,
- únik plynu na přední části pneumatického válce,
- zdvih pístu.

Test normálního rozdělení dat byl vykonán pro všechny vybrané parametry. Hladina významnosti pro test normálního rozdělení byla zvolena na 5%, tedy P-hodnota na zvolené hladině významnosti musí být větší než 0,05 pro nezamítnutí hypotézy o normálním rozdělení.



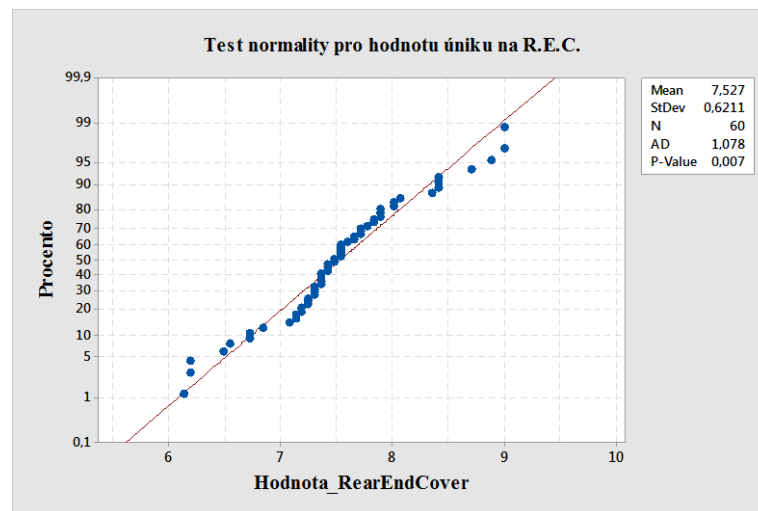
Obr. 8.1 Test normality pro soubor hodnot zdvihu

P-hodnota pro soubor hodnot zdvihu je menší než 0,005 a tedy je i menší než mezní hodnota $P=0,05$. Data nesplnila podmínku normality, neboť hypotéza, že data mají normálního rozdělení, musí být zamítnuta



Obr. 8.2 Test normality pro soubor hodnot úniku plynu na přední části pneumatického válce

P-hodnota pro soubor hodnot úniku plynu na přední části pneumatického válce je menší než 0,005 a tedy je i menší než mezní hodnota $P=0,05$. Data nespĺnila podmínku normality, neboť hypotéza, že data mají normálního rozdělení, musí být zamítnuta



Obr. 8.3 Test normality pro soubor hodnot úniku plynu na zadní části pneumatického válce

Bohužel i třetí zkoumaný parametr vykazuje hodnotu P nižší než 0,05.

Ze všech testů je patrné že ani jeden soubor hodnot neprošel testem normálního rozdělení pro zvolenou hladinu významnosti. Všechny testy vykazují P-hodnotu mnohem nižší než 0,05, a tedy musíme zamítnout hypotézu o normálním rozdělení u všech zkoumaných parametrů.

Nezbývá než konstatovat, že s naměřenými soubory hodnot pro jednotlivé parametry nemůžeme přejít k analýze Gage R&R, neboť ta předpokládá normalitu dat.

Pro předělání souboru hodnot do normálního rozdělení existuje několik statistických postupů, jako je například transformace dat, či odebrání a nahrazení hodnot jinými. To by ale znamenalo, že budeme operovat s hodnotami, které již nejsou odebrány přímo z měření a charakter souboru by se mohl velmi změnit, a tím i výstupy a závěry analýzy.



Nicméně pro nastínění této analýzy bude vybrán jeden parametr, který bude rozebrán s předpokladem splnění podmínky normality dat. Je důležité si v této situaci uvědomit, že jakékoliv závěry a předpoklady nemusí být platné a tedy vykonaná analýza a interpretace dat nemusí být průkazná a správná.

8.2 Výstupy z Gage R&R a vyhodnocení

Pro vykonání analýzy byl vybrán parametr zdvihu, který by mohl poukazovat alespoň na některé závislosti a interakce v procesu.

8.2.1 Analytické výsledky

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Díl	9	8,75660	0,972955	73,0632	0,000
Operator	2	0,07138	0,035688	2,6800	0,096
Díl * Operator	18	0,23970	0,013317	0,9629	0,521
Repeatability	30	0,41490	0,013830		
Total	59	9,48257			

Obr. 8.4 výstup analytických výsledků z Minitabu – tabulka ANOVA

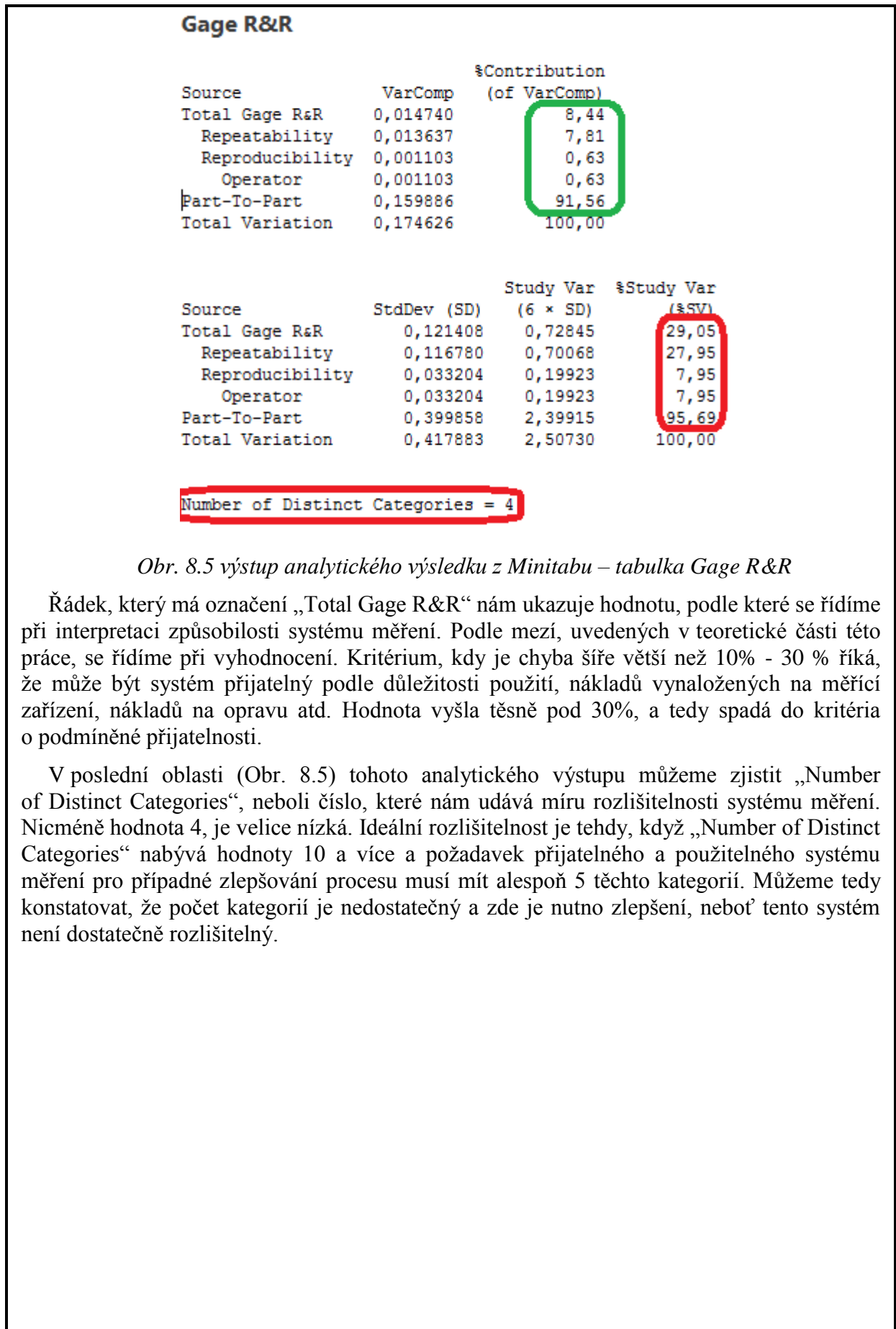
Z analytického výstupu (Obr. 8.4) se můžeme dozvědět, jestli má nějaký konkrétní faktor vliv na náš proces měření. Jediný faktor, který má P-hodnotu nižší než 0,05 je faktor „díl“. Lze tedy konstatovat, že faktor „díl“ má významný vliv na řadu hodnot naměřených testem. P-hodnota u faktoru „operátor“ a interakce mezi operátorem a dílem je větší, než mezní hodnota $P=0,05$, tedy na hladině významnosti 95% můžeme konstatovat, že tyto dva faktory nemají významný vliv na řadu hodnot naměřených testem.

Pro vyhodnocení významnosti vlivu faktoru „díl“ je pozitivní, že jako jediný má vliv na naměřenou datovou řadu, což je žádoucí a poukazuje na vlastnost měřicího zařízení, že jeho činnost a správnost by neměla být ovlivněna operátorem.

Jako další analytický výstup z Minitabu je tabulka Gage R&R (Obr. 8.5). Ta nám ukazuje procentuální příspěvky složek variability. Kdy postupně řádky z vrchu dolů znamenají:

- celková variabilita systému měření,
- příspěvek opakovatelnosti,
- příspěvek reprodukovatelnosti,
- vlastní podíl operátora,
- variabilita mezi vzorky.

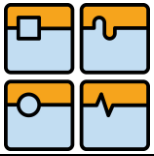
V druhé části (Obr. 8.5) se z hodnot dozvídáme, jestli je systém měření přípustný, podmíněně přípustný, nebo systém měření vyžaduje zlepšení.



Obr. 8.5 výstup analytického výsledku z Minitabu – tabulka Gage R&R

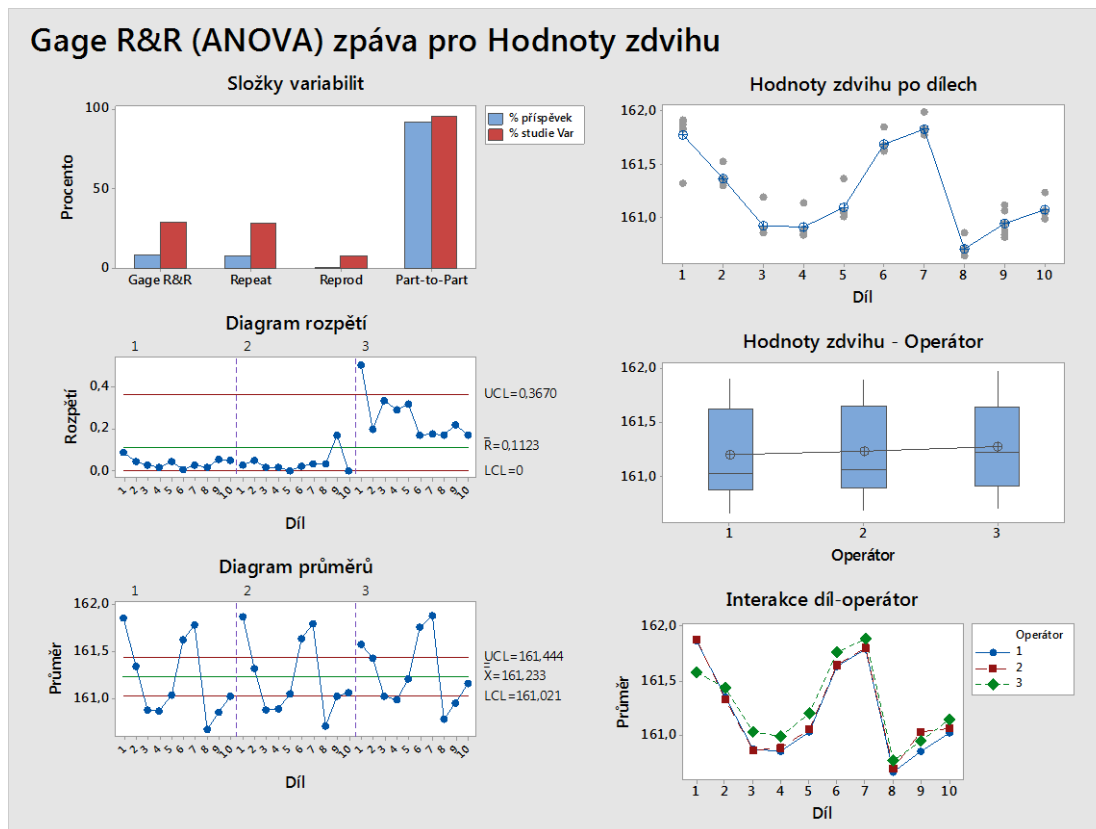
Řádek, který má označení „Total Gage R&R“ nám ukazuje hodnotu, podle které se řídíme při interpretaci způsobilosti systému měření. Podle mezí, uvedených v teoretické části této práce, se řídíme při vyhodnocení. Kritérium, kdy je chyba širší větší než 10% - 30 % říká, že může být systém přijatelný podle důležitosti použití, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, nákladů na opravu atd. Hodnota vyšla těsně pod 30%, a tedy spadá do kritéria o podmíněné přijatelnosti.

V poslední oblasti (Obr. 8.5) tohoto analytického výstupu můžeme zjistit „Number of Distinct Categories“, neboli číslo, které nám udává míru rozlišitelnosti systému měření. Nicméně hodnota 4, je velice nízká. Ideální rozlišitelnost je tehdy, když „Number of Distinct Categories“ nabývá hodnoty 10 a více a požadavek přijatelného a použitelného systému měření pro případné zlepšování procesu musí mít alespoň 5 těchto kategorií. Můžeme tedy konstatovat, že počet kategorií je nedostatečný a zde je nutno zlepšení, neboť tento systém není dostatečně rozlišitelný.

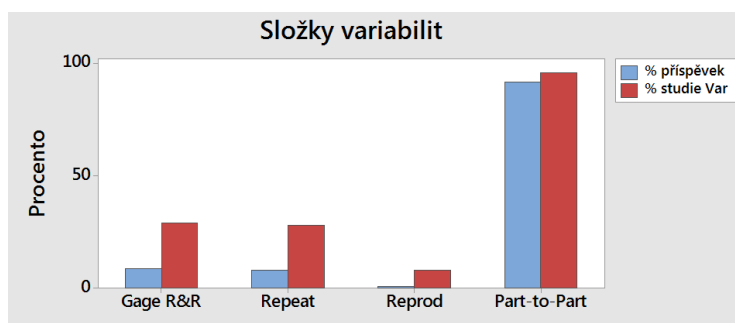


8.2.2 Grafické výsledky

Minitab z dat vygeneroval přehlednou Gage R&R zprávu (Obr. 8.6), ve které uvádí šest základních grafických výstupů. Tyto grafické výstupy nám ukazují závislosti z šesti různých hledisek. Dále jsou rozebrány jednotlivé grafické výstupy (Obr. 8.7. – 8.12.).



Obr. 8.6 Gage R&R zpráva vygenerovaná Minitabem



Obr. 8.7 Diagram složek variabilit

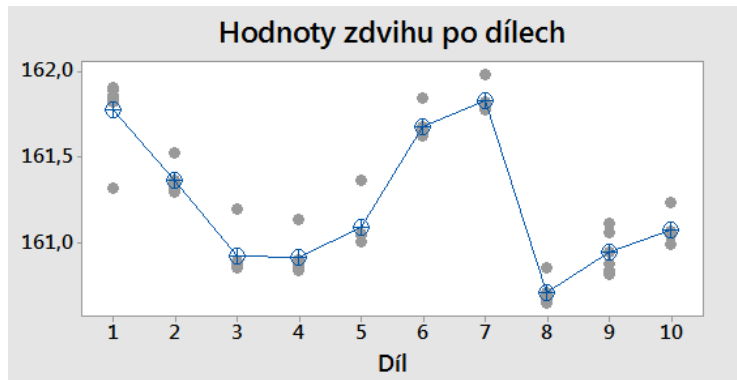
U tohoto diagramu je znázorněn příspěvek jednotlivých variabilit. Z konkrétního diagramu můžeme vyčíst, že z pohledu jednotlivých variabilit zde existují určité vztahy.

- Co největší rozdíl by měl být vidět při porovnání sloupce Gage R&R se sloupcem Part-to-Part. Významný rozdíl se zde nachází. Sloupce Gage R&R jsou v porovnání sloupců Part-to-Part menší, a to je výhodné pro náš proces.



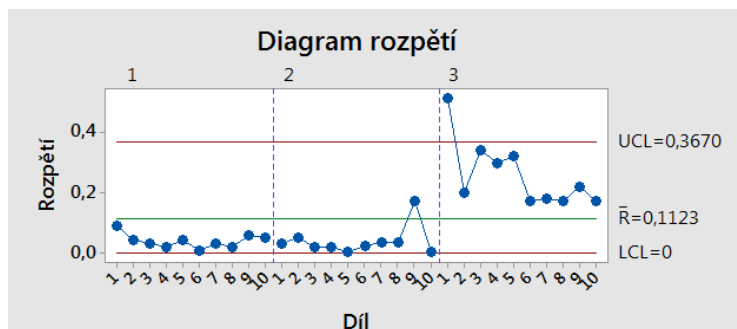
DIPLOMOVÁ PRÁCE

- Sloupce Repeat a Reprod znázorňují podíly složek Opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Zde bychom se měli více zaměřit na podíl opakovatelnosti, který je výrazně vyšší než sloupec reprodukovatelnosti.



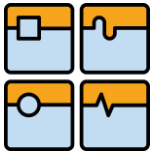
Obr. 8.8 Hodnoty zdvihu po dílech

Z tohoto diagramu je patrné, že se od sebe jednotlivé měřené pneumatické válce liší. Při pohledu na diagram a na jednotlivé měření pneumatických válců můžeme vyčíst, že vždy nejméně jedna hodnota z měření součásti se významně odlišuje od ostatních. Tedy při porovnávání jednotlivých vzorků se zde nachází odlehlá hodnota. Úkol je, přijít na důvod, proč se hodnota vždy nachází nad těmi ostatními. Pro bližší a konkrétnější vyhodnocení je nutné vytvořit průběhový diagram měření operátorů (Obr. 8.13), ze kterého bude patrné, který z operátorů je zodpovědný za zmíněné odlehlé hodnoty měření.

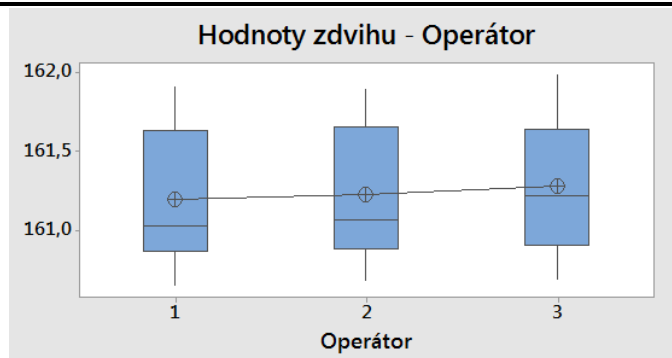


Obr. 8.9 Diagram rozpětí

Z hodnot rozpětí z naměřených dat je vidět, že první dva operátoři mají hodnoty rozpětí mezi jednotlivými vzorky minimálních hodnot, to je žádoucí. Ovšem u operátora číslo 3 mají vzorky mezi sebou hodnoty rozpětí výrazně vyšší a u prvního vzorku se naměřené hodnoty dostávají dokonce mimo meze. První vzorek se zdá pro třetího operátora být těžko měřitelný, ale jinak všechny hodnoty spadají do určených mezí LCL a UCL. Nicméně při spojení závěrů ze dvou diagramů dohromady (diagramy na obr. 8.8 a 8.9) se zdá, že naměřené hodnoty operátora číslo 3 vykazují větší variabilitu. Je třeba se tedy v dalších diagramech na operátora číslo 3 zaměřit.

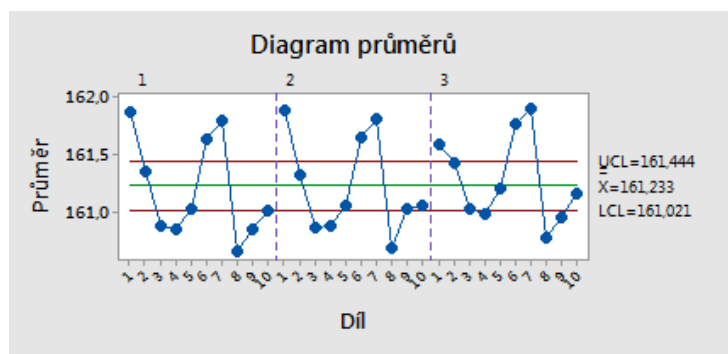


DIPLOMOVÁ PRÁCE



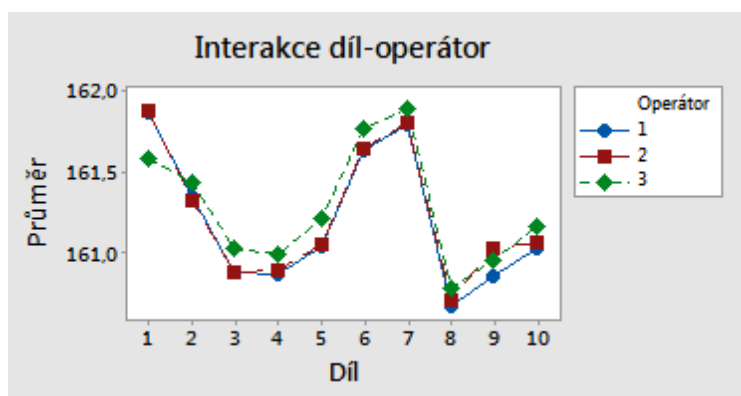
Obr. 8.10 Diagram interakce mezi operátorem a naměřenou hodnotou

Z dalšího diagramu, který nám ukazuje průměrné hodnoty vztažené na operátory lze usoudit, že i zde je vysoká variabilita. Úsečky spojující jednotlivé průměrné hodnoty by správně měly být vodorovné, ale je vidět, že tento závěr nemůžeme konstatovat. Průměrná hodnota měření se u každého operátora liší, kdy nejnižší hodnotu můžeme pozorovat i u prvního operátora, dále u druhého a nakonec nejvyšší průměrnou hodnotu z měření jsme zaznamenali u operátora číslo 3. Z rozložení hodnot zde můžeme tvrdit, že první dva operátoři se svými měřeními velmi blíží a třetí operátor se zase odlišuje.



Obr. 8.11 Diagram průměrů

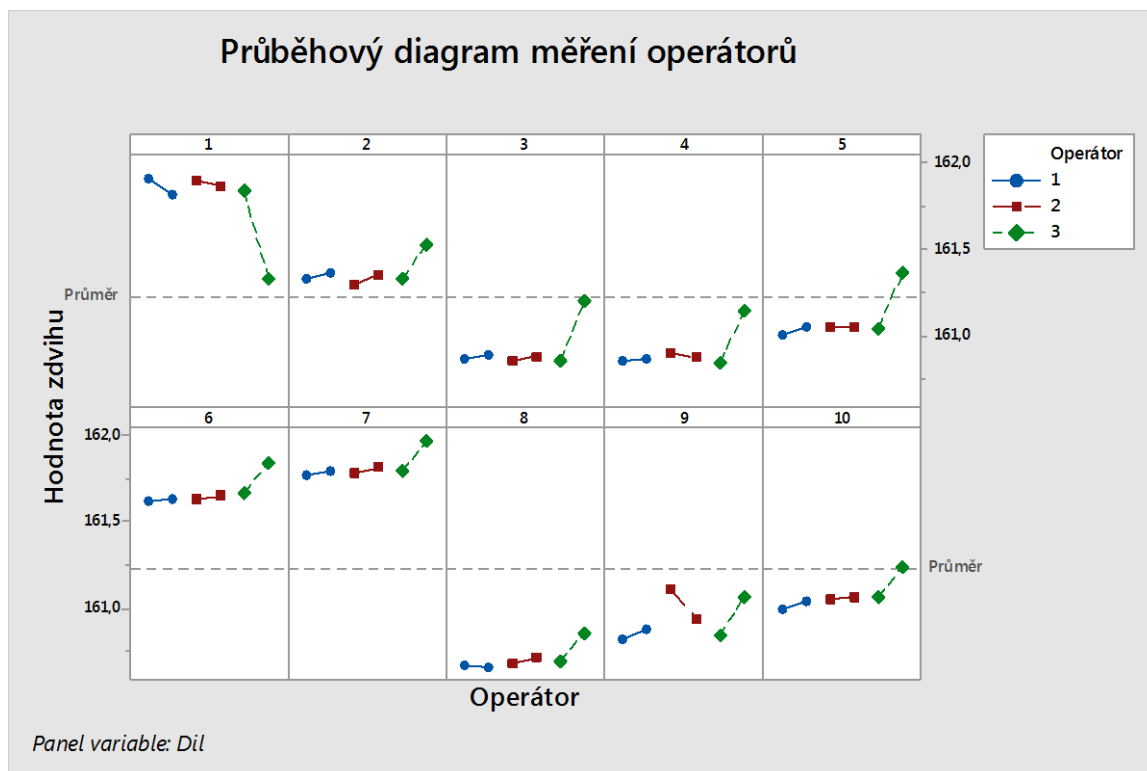
Diagram (Obr. 8.11), která je výše, porovnává a vyhodnocuje variabilitu vzorků. Lze tu konstatovat, že čím více vzorků se pohybuje mimo regulační meze, tím se nám ukazuje vyšší variabilita mezi vzorky, které podléhaly procesu měření. Mimo regulační meze se pohybuje šest až sedm hodnot změřených každým operátorem. V tomto ohledu se dosáhlo žádoucího stavu, systém měření je schopen jednotlivé vzorky od sebe odlišit. Variabilita systému měření je oproti variabilitě mezi vzorky dostatečně malá.



Obr. 8.12 Diagram Interakce mezi dílem a operátorem



Poslední diagram, který vychází přímo ze zprávy Gage R&R, je diagram popisující interakce mezi jednotlivými vzorky a operátory. Z průběhů jednotlivých křivek můžeme vidět, že všechny mají přibližně stejný charakter, což je správný stav, nicméně hodnoty prvního vzorku měřeného třetím operátorem jsou odlišné než u prvních dvou operátorů. Z toho bychom mohli usuzovat, že uvedený vzorek, se třetímu operátorovi neměřil dobře.



Obr. 8.13 Průběhový diagram měření operátorů

Z průběhového diagramu můžeme zjistit, zda všichni operátoři měřili zhruba stejně, respektive jestli z pohledu jednoho operátora můžeme vyčíst nějaké odchylky vůči jeho vlastnímu opakování měření, a dále jestli existuje variabilita mezi jednotlivými operátory na jednom vzorku. Z průběhu měření operátorů lze vyčíst, že charakter měření u prvních dvou operátorů je téměř totožný (kromě měření prováděného na vzorku číslo 9), jak již bylo řečeno při zhodnocení předešlých diagramů, nicméně u třetího operátora je významný rozdíl mezi měřeními prováděnými v prvním a druhém opakování. Tento rozdíl by mohl být chápán jako nedostatečná péče v upínání pneumatického válce do testeru. Bylo by tedy příhodné proškolit třetího operátora v průběhu měření, popřípadě ho upozornit na chybu, která během měření vznikala díky jeho špatného upínání válce. Špatné upnutí válce pravděpodobně bylo způsobeno příliš vysokou rychlostí výměny jednotlivých pneumatických válců mezi jednotlivými měřeními. Operátor nevěnoval dostatečnou péči a pozornost umístění, ve kterém se nacházel válec před započítáním testu. Pneumatický válec se mohl nacházet v pozici, která sice povolovala provedení testu, ale samotný válec musel být v poloze odlišné mezi jednotlivými opakováními.

Způsob upnutí by tedy byl možný vylepšit, aby se předcházelo variabilitám způsobeným stejnými důvody jako v této analýze. Mohlo by dojít k posunutí naměřených hodnot u druhého opakování třetího operátora a tím by se mohly hodnoty z měření jednotlivých operátorů při porovnávání sjednotit, ale to jsou předběžné domněnky, které by bylo nutné ověřit opakováním analýzy.



Po interpretaci výsledků je namístě ovšem znovu zdůraznit, že data neodpovídají normálnímu rozdělení a také nebyl splněn požadavek rozlišitelnosti systému, kdy počet „distinct categories“ není roven alespoň pěti. Z těchto důvodů tedy nejsme schopni říci, zda jsou závěry z této analýzy vůbec přínosné a zda mají patřičný vypovídající charakter.

Dále by bylo dobré stejným způsobem vyhodnotit i zbývající parametry, které také neodpovídali hodnotám normálního rozdělení. Závěry analýz by neměly vypovídající hodnotu a nedaly by se s velkou pravděpodobností aplikovat na zlepšení procesu.

Dalším postupem by nyní mělo být provést znovu naměření hodnot a aplikovat znovu analýzu Gage R&R při zvětšené rozlišitelnosti systému. Pokud by pořád docházelo k souboru hodnot, které nepodléhají normalitě, doporučil bych udělat stejnou analýzu při zvětšeném počtu vzorků. Naměřené hodnoty vybraných vzorků totiž nepřesahovaly meze určené zákazníkem ani meze, které byly zpřísněny interními směrnici. Nicméně při této analýze bude nutné počítat s větší variabilitou výsledků měření, neboť hodnoty úniků vzduchu se mohou lišit, kvůli velmi náchylnému měření průtokoměry, kdy může docházet ke ztrátám v průběhu měření.

Dále bych doporučil zkontrolování všech spojů, kterými je veden vzduch pro tlakování pneumatických válců, protože zde může docházet k výše uvedeným ztrátám. Popřípadě by bylo vhodné rozvaděče média vyměnit, kdyby byly ztráty prokázány.

Kdyby neustále nedocházelo ke zlepšení, bylo by nutné se zamyslet nad fyzikálními vlastnostmi a zákonitostmi, které jsou součástí pohybu plynného média. Například vhodnou metodou pro zjišťování úniku pneumatických válců při testování by se mohla zdát metoda vyhodnocování na principu rozdílu tlaků na začátku a na konci měření. Průtokoměr je o mnoho složitější a náchylnějším měřidlem na možnosti výskytu ztrát než snímače tlaku, které by porovnávali rozdíl tlaku. Rozdíl tlaku by posléze mohl být přes fyzikální závislosti přepočítán na hodnotu úniku vzduchu.

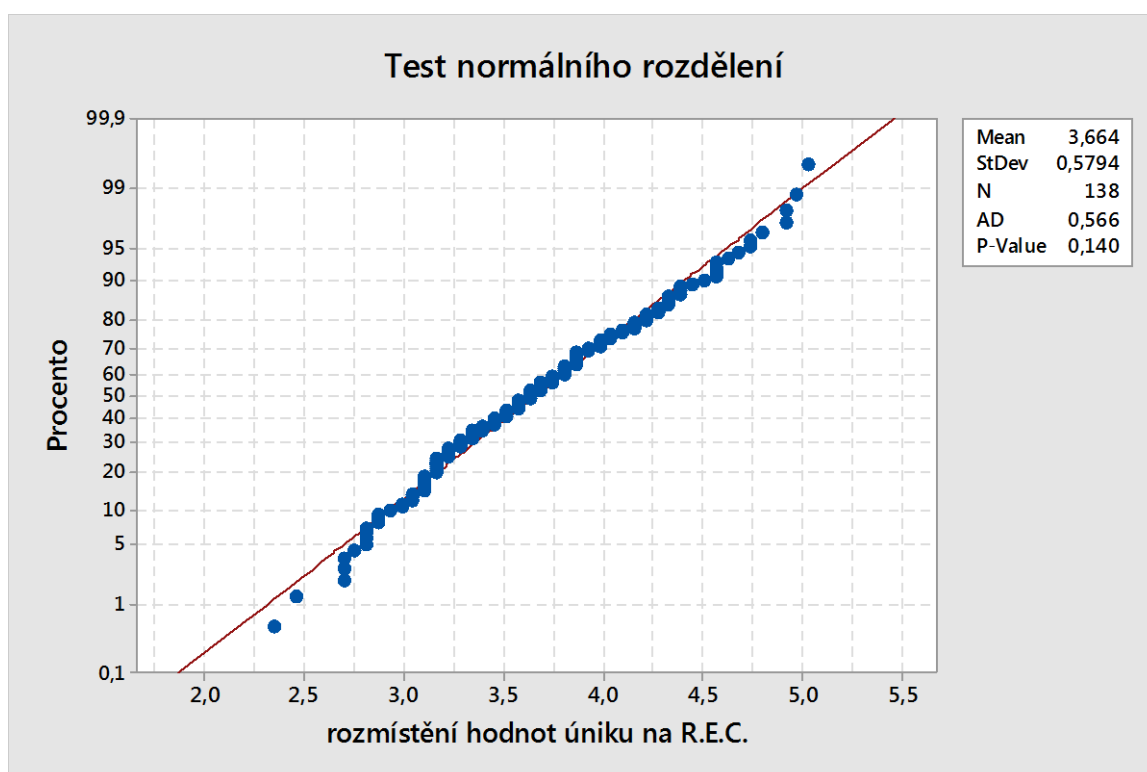
Kvůli časové náročnosti nemohlo dojít k opakování naměření souboru hodnot s více vzorky podle principů R&R analýzy. Je tedy nutné dát se jinou cestou a tou je po rozhodnutí analýza dat metodou regulačních diagramů. Jakékoliv naměřené hodnoty jsou ukládány do tabulky, která obsahuje data sesbíraná z měření pneumatických válců v průběhu času. Za časové období šesti týdnů byla vybrána data, která vytvořila soubor 138 hodnot od jednoho stejného válce. Soubor hodnot dostatečně odpovídá svojí velikostí a je tedy možné provést analýzu pomocí regulačních diagramů



9 ANALÝZA DAT METODOU REGULAČNÍCH DIAGRAMŮ

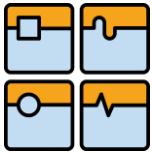
Princip funkce testeru spočívá v okamžité kontrole vyrobených kusů pneumatických válců ihned po zkompletování vzorku. Nejedná se tedy o soubor válců vyrobených za jeden den ve velkém počtu, jedná se o malé série. Není možné tedy vytváření logických podskupin ze souboru shromážděných dat. Je nutné proto zvolit odpovídající regulační diagram, kterým je regulační diagram pro individuální hodnoty a pro klouzavé rozpětí.

Pro regulační diagramy stejně jako u analýzy Gage R&R existuje předpoklad normality dat, který je nutné splnit, a proto prvním krokem bude zase test normálního rozdělení pro sesbíraný soubor hodnot (Obr. 9.1).



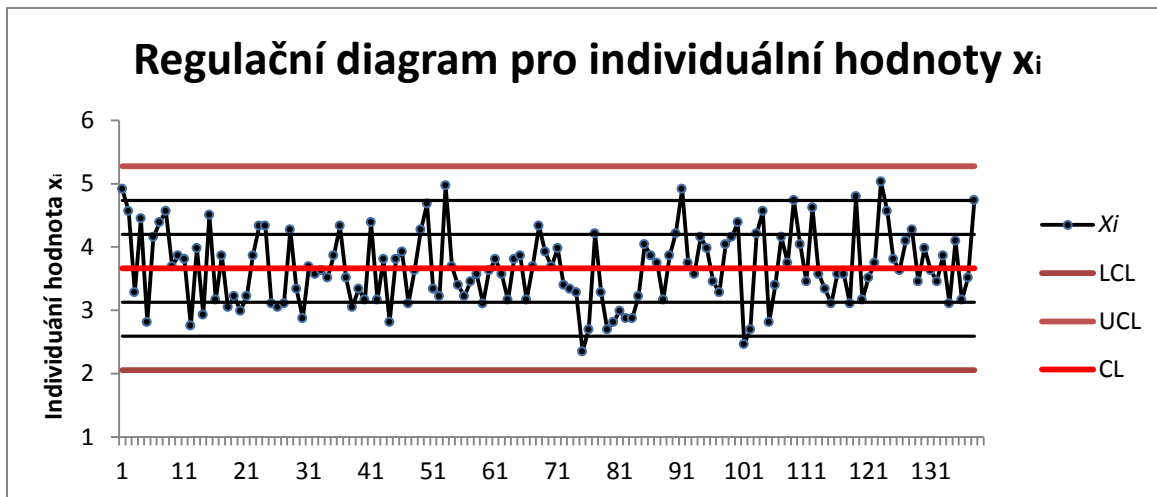
Obr. 9.1 Ověření normality nového souboru dat

P-hodnota má hodnotu 0,140 a je větší než mezní hodnota 0,05. Můžeme proto konstatovat, že nezamítáme nulovou hypotézu při významnosti 5% o tom, že data mají normální rozdělení. Můžeme pokračovat k dalšímu kroku a to k vytvoření regulačních diagramů.

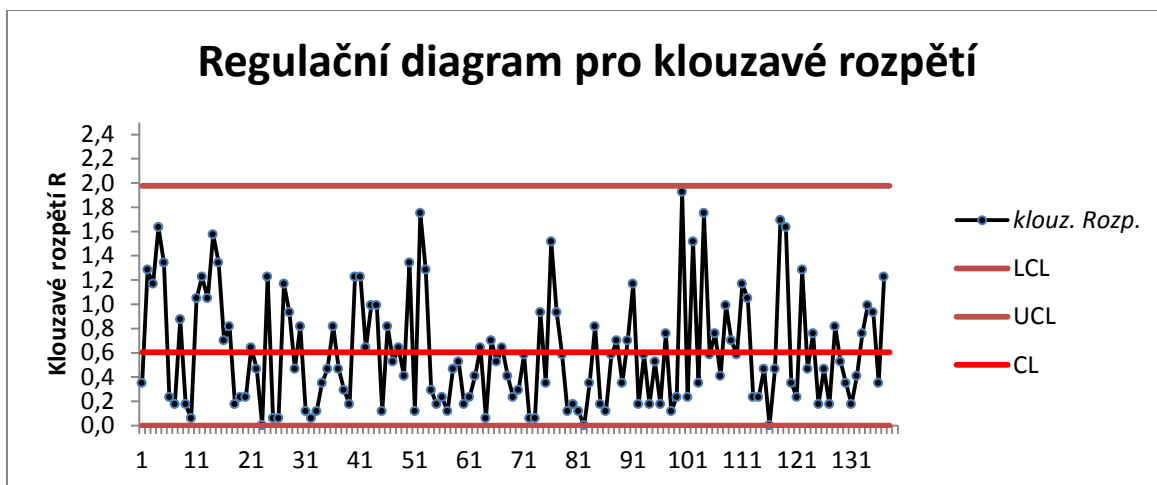


9.1 Regulační diagram pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí

Výpočet hodnot k vytvoření regulačních diagramů byl uskutečněn pomocí programu Excel od Microsoftu. Podle zákonitostí uvedených v normě byly stanoveny potřebné součinitele, díky kterým byly vytvořeny regulační diagramy. Z regulačních diagramů jsme schopni analyzovat dlouhodobou stabilitu procesu.




Obr. 9.2 Regulační diagram pro individuální hodnoty



Obr. 9.3 Regulační diagram pro klouzavé rozpětí

Regulační diagram pro individuální hodnoty byl rozdělen do šesti oblastí podle pokynů normy. Po provedení všech osmi testů vymezených příčin (viz. ČSN ISO 8258 – *Shewhartovy regulační diagramy*) a konstatování, že v regulačním diagramu jsou pouze náhodné vlivy ovlivňující proces, můžeme říci, že proces je statisticky stabilní.

Regulační diagramy jsou velice užitečný nástroj pro analýzu výrobního procesu. Jenže vždy se objevují určitá omezení. K vyhodnocení těchto diagramů je potřeba vykonat sběr dat, následně vypočítat potřebné hodnoty a díky nim přejít k sestavení diagramů. Po těchto několika náročných krocích se teprve přichází k přínosné části, a to k interpretaci výsledků ze samotného regulačního diagramu. Velice výhodný stav by nastal, kdyby bylo možné dojít k určitému stupni automatizace. Ta by obsahovala všechny uvedené kroky až k vytvoření regulačních diagramů, které by bylo jen potřeba vyhodnotit a interpretovat z nich výsledky. Takový stav by bylo možné dosáhnout za předpokladu vytvoření statistické funkce

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

v softwarovém rozhraní testovacího zařízení. Jako výstup z této funkce by mohlo být vykreslování diagramů v reálném čase.

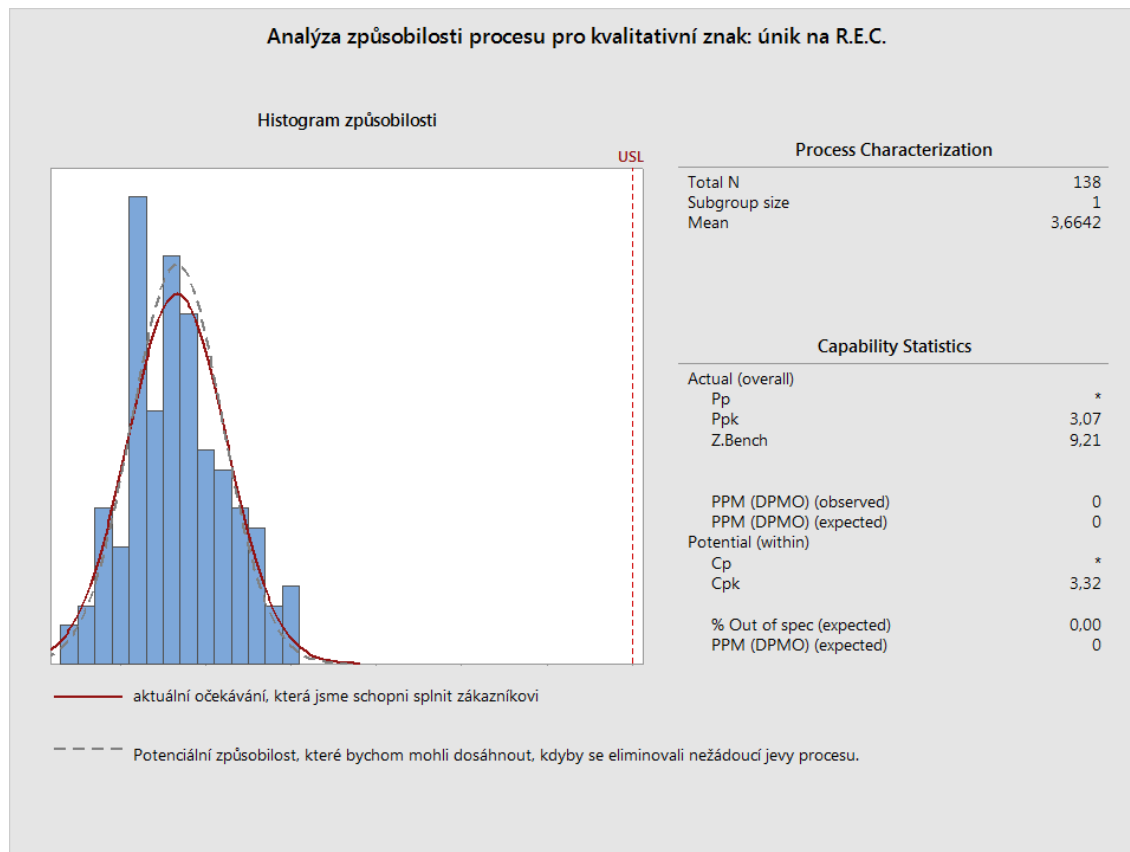
Proškolené obsluze testeru by se ihned po změření vzorku ukázalo vyhodnocení v regulačním diagramu, kde by bylo velice jednoduché poznat, zda se naměřené hodnoty nacházejí v mezích regulačního diagramu či nikoli.

Jako druhá výhoda by byla velice zjednodušená práce pro inženýra kvality, který by diagramy nemusel sám tvořit, ale díky vykreslování v reálném čase by viděl všechny zákonitosti procesu, v jakékoli chvíli by bylo zapotřebí. Následné interpretace výsledků by mohli pomoci ke zlepšení výrobního procesu o to víc, že by k nim byl jednodušší přístup. Vrcholovému managementu by výsledky z hodnocení mohly být poskytnuty v podstatě kdykoliv, kdy by o ně bylo požádáno.



10 ANALÝZA DAT POMOCÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU MĚŘENÍ

Způsobilost procesu je velice důležitý parametr, který nám říká, nakolik jsme schopni splňovat požadavky zákazníka a také uvádí představu o zmetkovitosti procesu. Popis analýzy byl uveden v teoretické části diplomové práce v kapitole 7.




Obr. 10.1 Analýza způsobilosti procesu pro únik na zadní straně pneumatického válce

Pro nás je velice důležitá hodnota indexu Ppk , protože proces máme omezen jen maximální hodnotou úniku, tedy vrchní mezí, která je stanovena zákazníkem na $10 \text{ cm}^3/\text{min}$. Interní specifikace uvádějí dokonce i nižší hodnotu maximálního úniku a to $9 \text{ cm}^3/\text{min}$. Hodnota Ppk , která je vypočítaná Minitabem činí hodnotu 3,07 a tedy je vyšší než uvádí předpoklad pro způsobilý proces, kdy naše hodnota Ppk by měla být vyšší než hodnota 1,33, což je splněno s velkou rezervou. Program Minitab dokonce jako jeden z výstupů uvádí parametr PPM, který stanovuje počet zmetků v produkci v souboru jednoho milionu vzorků. Za předpokladu vypočítané způsobilosti by v milionu kusů neměl být ani jeden zmetek.

Nicméně doba sbírání dat po dobu šesti týdnů nedokáže popsat chování procesu. Jako doporučení bych tedy rád zmínil sběr dat po několik měsíců a provést analýzu pomocí regulačních diagramů znovu.

Také bych doporučil provést analýzu způsobilosti na více typech pneumatických válců, přičemž v této práci je analýza způsobilosti provedena pouze na jednom typu. Zvýšil by se vypovídající charakter.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ZÁVĚR

Nejdůležitějším cílem této diplomové práce byla analýza současného stavu hodnocení kvality lineárních pneumatických pohonů, dále analýza procesu měření vybraných parametrů, popis konstrukce, funkce a vhodnosti testovaného zařízení pro měření zvolených parametrů ve výrobě firmy Norgren, s.r.o., dnes již společnosti IMI International, s.r.o. Závěrem měla být navržena případná optimalizace procesu měření zvolených parametrů pneumatických lineárních pohonů, zahrnující vize na zlepšení.

Testovací zařízení ve výrobní hale bylo podrobena analýze Gage R&R, tedy analýze opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření. V první řadě byla naměřená data všech vybraných parametrů (tj. testovaný únik na jedné i druhé straně pneumatického válce a jeho zdvih) podrobena testem normality, abychom mohli přejít k další fázi analýzy. Nicméně naměřená data ani u jednoho ze tří parametrů nevykazovala normální rozdělení. P-hodnota pro jednotlivé parametry ani jednou nesplňovala mez $P=0,05$, která by nám řekla, že nezavrhujeme hypotézu o normálním rozdělení.

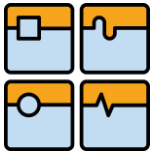
Byl tedy vybrán alespoň jeden parametr pneumatického válce, konkrétně zdvih, a ten byl zvolenou Gage R&R analýzou podroben pro zlepšení představy o měřícím procesu. Tento jediný parametr se alespoň blížil předpokladu rozlišitelnosti systému, i když i zde bylo možné rozlišit jen čtyři kategorie, zatímco předpoklad pro vykonání analýzy počítá alespoň s pěti. Zde bylo nutné zdůraznit, že interpretace výsledků z analýzy by mohla mít matoucí až nevyhovující charakter. Nicméně z této analýzy plynula jasná doporučení, co dělat dále a na co se zaměřit. Jako doporučení pro pokračování v provádění analýzy bylo uvedeno, že dané soubory hodnot všech parametrů by bylo žádoucí změřit znovu s větším počtem zkoumaných vzorků a Gage R&R aplikovat podruhé při snaze dosáhnout větší rozlišitelnosti systému.

Z provedené analýzy bylo viditelné, že naměřené hodnoty vybraných vzorků nepřesahovaly meze určené zákazníkem ani meze, které byly zpřísněny interními směrnici. Nicméně při této analýze bude nutné počítat s větší variabilitou výsledků měření, neboť hodnoty úniků vzduchu se mohou lišit, kvůli velmi náchylnému měření průtokoměry, kdy může docházet ke ztrátám v průběhu měření.

Dalším bodem by mělo být zkontrolování všech spojů, kterými je veden vzduch pro tlakování pneumatických válců, protože zde může docházet k výše uvedeným ztrátám. Popřípadě by bylo vhodné rozvaděče média vyměnit, kdyby byly ztráty prokázány.

Kdyby neustále nedocházelo ke zlepšení, bylo by nutné se zamyslet nad fyzikálními vlastnostmi a zákonitostmi, které jsou součástí pohybu plynného média. Například vhodnou metodou pro zjišťování úniku pneumatických válců při testování by se mohla zdát metoda vyhodnocování na principu rozdílu tlaků na začátku a na konci měření. Průtokoměr je o mnoho složitější a náchylnějším měřidlem na možnosti výskytu ztrát než snímače, které by porovnávali rozdíl tlaků. Tento rozdíl by posléze mohl být přes fyzikální závislosti přepočítán zpět na hodnotu úniku vzduchu. Po vykonání těchto částí optimalizace by se pravděpodobně při opětovném vykonání analýzy zvýšila i rozlišitelnost systému měření a z analýzy by byly průkaznější závěry.

V mém případě bohužel došlo k situaci, kdy se měnily podmínky ve společnosti a můj přístup do výrobní haly byl značně omezen a komunikace s vyšším managementem firmy zaznamenala zhoršené situace. Za těchto podmínek nebylo možné provést opakovanou analýzu a byl jsem nucen, přejít k formě sběru dat z automatického zápisu hodnot prováděných testem. Hodnoty byly úspěšně získány, výběru dat však již nebylo možné




přiřadit operátory a jiné charakteristiky, které by bylo pro pokračování analýzy Gage R&R zapotřebí. Bylo nutné přejít k jiné metodě, která by měla určitý vypovídající charakter. Díky velkému počtu hodnot získaných po dobu šesti týdnů cestou zpětného dohledávání byl získán dostatečně velký soubor dat, který bylo možné zanalyzovat metodou Regulačních diagramů.

Z analýzy pomocí regulačních diagramů plynul závěr, že výrobní proces má stabilní charakter a ze zkoumaného souboru dat bylo patrné, že maximální hodnoty úniku stanovené interními směrnici na $9\text{cm}^3/\text{min}$, by bylo možné zpřísnit až na hodnotu $6\text{cm}^3/\text{min}$ a tím provést zásadní zkvalitnění výsledného produktu i mezi zákazníky.

Jako doporučení po vykonané analýze regulačními diagramy by bylo neustále pokračování v analyzování co největších souborů dat a sledovat, jestli se mění charakter výrobního procesu, či nikoli. Například neanalyzovat soubor hodnot sesbíraných po dobu několika týdnů, ale provést průzkum dopadu na analýzu, kdyby sběr dat probíhal v řádu několika měsíců. Dále by analýzou mělo být podrobena více vyráběných typů pneumatických válců. Byla by tím získána celistvější představa o výrobě společnosti jako celku. Jako návrh optimalizace procesu měření byla uvedena myšlenka na vytvoření statistického podprogramu v softwarovém rozhraní testeru. Tato vytvořená statistická pomůcka by vykreslovala na displej regulační diagramy ze změřených parametrů pneumatických válců. Vykreslování diagramů by mohlo probíhat v reálném čase a analýza souboru dat za pomoci regulačních diagramů by byla velmi zjednodušena.

Poslední formou celkové analýzy byla metoda výpočtu způsobilosti procesu měření. Zde byla nejdůležitější hodnota indexu způsobilosti, který vyšel mnohem vyšší, než je mez způsobilosti procesu 1,33 a dá se tedy s jistotou konstatovat, že kdyby nastavený trend souborem testovaných hodnot vykazoval i nadále stejný charakter napříč výrobou všech druhů pneumatických válců, tak by zmetkovitost takové výroby byla velice malá, až téměř nulová. Nicméně i u této analýzy bych dále doporučoval její opětovné provedení po získání většího souboru hodnot, který by byl průkaznější a mohl by domněnku o způsobilosti procesu potvrdit.

Dá se tedy říci, že analýzy a jejich závěry provedené ke zhodnocení kvality pneumatických lineárních pohonů byly přínosné a společnost vyrábějící tyto produkty dostala náměty a doporučení pro zlepšení jak už výrobního procesu, tak i procesu měření testovacím zařízením. Tímto již nezbyvá nic jiného než popřát firmě hodně štěstí a mnoho úspěchů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Analýza systému měření (MSA): příručka*. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003, 233 s. ISBN 80-020-1562-2.
- [2] FIALA, Alois. *Statistické řízení jakosti: Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 1997, 92 s. ISBN 80-214-0895-2.
- [3] DILLINGER, Josef a kol. *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. 1.vyd. Praha: Nakl. Europa – Sobotáles cz .s.r.o., 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1
- [4] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanizmy. Díl I., Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1998, 265 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [5] CORPORATION., DaimlerChrysler.. *Measurement systems analysis: reference manual*. 4th ed. Detroit, Mich: DaimlerChrysler, 2010, 128 s. ISBN 978-160-5342-115.
- [6] JANKOVÝCH, R. a MAJTANÍK, J., *Jakost a používání zbraňových systémů I*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2008. 82 s. ISBN 978-80-7231-541-3. (podíl 50 %).
- [7] MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to statistical quality control*. 5th ed. Hoboken: John Wiley, 2005, xvi, 759 s. ISBN 04-716-6122-8.
- [8] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Metrologie a řízení kvality: učební text*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2771-1.
- [9] Minitab User's Guide 2: Data Analysis and Quality tools. USA, 2000.
- [10] SAHAY, Amar. *Six Sigma Quality: Concepts & Cases-Volume I, Statistical Tools and Applications in Six Sigma DMAIC Process using MINITAB: Measurement System Analysis Gage Repeatability & Reproducibility (Gage R&R) Study*. [online]. 2013. Dostupné z: <http://realleansixsigmaquality.com/cms/images/ch7svol1.pdf>
- [11] HEALY, Sandra a Michael WALLACE, *Gage Repeatability and Reproducibility Methodologies Suitable for Complex Test Systems in Semi-Conductor Manufacturing*. [online]. 2011 [cit. 2015-5-7]. Dostupné z: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/17412.pdf>
- [12] SHANU, Syed. *A Study of Gauge Repeatability and Reproducibility for Automated Measuring Systems using VB.NET*. [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.codeproject.com/Articles/621318/A-Study-of-Gauge-Repeatability-and-Reproducibility>
- [13] ČSN ISO 8258. *Shewhartovy regulační diagramy*. Český normalizační institut, Praha, 1998.
- [14] Norgren [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: www.norgren.com

**SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ**

Obr. 1.1 Logo společnosti Norgren	13
Obr. 2.1 Přetlak v pneumatickém válci	15
Obr. 2.2 Jednočinný válec	16
Obr. 2.3 Dvojitý válec	17
Obr. 2.4 Pneumatický válec bez pístní tyče – pohyb přenášen přes spojovací můstek	17
Obr. 2.5 Pneumatický válec bez pístní tyče – pohyb přenášen tažnými lany	18
Obr. 2.6 Působení sil v pneumatickém válci	18
Obr. 3.1 Testovací zařízení pro měření pneumatických válců	19
Obr. 3.2 Ovládací panel testovacího zařízení	20
Obr. 3.3 Výstupy programu testovacího zařízení	21
Obr. 3.4 Testované pneumatické válce	22
Obr. 4.1 Strannost	25
Obr. 4.2 Stabilita	25
Obr. 4.3 Linearita	26
Obr. 4.4 Opakovatelnost – pohyb hodnot kolem referenční hodnoty	26
Obr. 4.5 Reprodukovatelnost	27
Obr. 6.1 Princip regulačního diagramu	33
Obr. 6.2 Příklady nenáhodných seskupení hodnot	34
Obr. 6.3 Regulační diagram pro výběrový průměr \bar{x}_i	35
Obr. 6.4 Regulační diagram pro rozpětí R_i	36
Obr. 7.1 Variabilita procesu jako násobek směrodatné odchylky σ	40
Obr. 7.2 Tři procesy se shodným indexem způsobilosti c_p	41
Obr. 7.3 Vstupní údaje pro výpočet indexu způsobilosti c_{pk}	42
Obr. 8.1 Test normality pro soubor hodnot zdvihu	44
Obr. 8.2 Test normality pro soubor hodnot úniku plynu na přední části pneumatického válce	45
Obr. 8.3 Test normality pro soubor hodnot úniku plynu na zadní části pneumatického válce	45
Obr. 8.4 Výstup analytických výsledků z Minitabu – tabulka ANOVA	46
Obr. 8.5 Výstup analytického výsledku z Minitabu – tabulka Gage R&R	47
Obr. 8.6 Gage R&R zpráva vygenerovaná Minitabem	48
Obr. 8.7 Diagram složek variabilit	48
Obr. 8.8 Hodnoty zdvihu po dílech	49
Obr. 8.9 Diagram rozpětí	49
Obr. 8.10 Diagram interakce mezi operátorem a naměřenou hodnotou	50
Obr. 8.11 Diagram průměrů	50
Obr. 8.12 Diagram Interakce mezi dílem a operátorem	50
Obr. 8.13 Průběhový diagram měření operátorů	51
Obr. 9.1 Ověření normality nového souboru dat	53
Obr. 9.2 Regulační diagram pro individuální hodnoty	54
Obr. 9.3 Regulační diagram pro klouzavé rozpětí	54
Obr. 10.1 Analýza způsobilosti procesu pro únik na zadní straně pneumatického válce	56

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Popis ovládacího panelu testovacího zařízení	20
Tab. 3.2 Popis výstupů z programu testovacího zařízení	21
Tab. 3.3 Technická data testovacího zařízení	22
Tab. 4.1 Výhody a nevýhody metod k určení reprodukovatelnosti a opakovatelnosti.....	30
Tab. 7.1 Variabilita procesu jako násobek směrodatné odchylky σ	40
Tab. 7.2 Kritéria pro posuzování hodnoty indexu způsobilosti.....	43

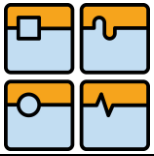


SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
<i>R.E.C.</i>	-	zadní část pneumatického válce
<i>F.E.C.</i>	-	přední část pneumatického válce
<i>g</i>	[m/s ²]	tíhové zrychlení
<i>h</i>	[mm]	výška
<i>p</i>	[Pa]	tlak (přetlak)
ρ	[g/cm ³]	hustota
<i>v</i>	[m/s ¹]	rychlost
<i>Q</i>	[m ³ /s]	objemový průtok
<i>r</i>	[mol]	látkové množství
<i>T</i>	[K]	termodynamická teplota
<i>m</i>	[Kg]	hmotnost
<i>V</i>	[M ³]	objem
<i>p_a</i>	[Pa]	absolutní tlak
<i>p_{at}</i>	[Pa]	atmosférický tlak
<i>F_t</i>	[N]	teoretická síla vyvolaná tlakem vzduchu
<i>A</i>	[mm ²]	účinná plocha pístu
<i>F_R</i>	[N]	třecí síla
η	-	účinnost válce
<i>p_e</i>	[Pa]	tlak vzduchu
<i>EV</i>	-	variabilita opakovatelnosti
\bar{R}	viz parametr	průměrné rozpětí opakovaných měření všech operátorů
<i>d₂[*]</i>	-	koeficient závislý na počtu operátorů
<i>AV</i>	-	variabilita reprodukovatelnosti
<i>R₀</i>	viz parametr	variační rozpětí průměru opakovaných měření jednotlivých kusů jednotlivými operátory
<i>n</i>	-	počet opakování měření
σ^2	viz parametr	rozptyl procesu (základního souboru)
<i>R&R</i>	-	ukazatel představující opakovatelnost a reprodukovatelnost
<i>TV</i>	-	celková variabilita procesu
<i>s</i>	viz parametr	směrodatná odchylka (základního souboru)
<i>CL</i>	viz parametr	centrální přímková regulačního diagramu
<i>UCL</i>	viz parametr	horní mez regulačního diagramu
<i>LCL</i>	viz parametr	spodní mez regulačního diagramu



\bar{x}	viz parametr	průměr hodnot
R	viz parametr	rozpětí
R_k	viz parametr	klouzavé rozpětí
x_i	viz parametr	individuální hodnota měření
UCL_x	viz parametr	horní mez regulačního diagramu pro individuální hodnoty
LCL_x	viz parametr	spodní mez regulačního diagramu pro individuální hodnoty
CL_x	viz parametr	centrální přímka regulačního diagramu pro individuální hodnoty
$\hat{\sigma}$	viz parametr	směrodatná odchylka
\bar{R}_k	viz parametr	průměr klouzavých rozpětí
d_2	-	hartleyova konstanta
$UCLR_k$	viz parametr	spodní mez pro regulační diagram klouzavého rozpětí
$LCLR_k$	viz parametr	horní mez pro regulační diagram klouzavého rozpětí
CL_R	viz parametr	hodnota centrální přímky pro regulační diagram klouzavého rozpětí
c_p	-	index způsobilost
c_{pk}	-	kritický index způsobilosti
$\bar{\bar{x}}$	viz parametr	střední hodnota znaku jakosti
A, A_2, A_3	-	součinitele pro výpočet přímek regulačních mezí
$d_{\bar{x}}, D_1, D_2, D_3, D_4$	-	součinitele pro výpočet přímek regulačních mezí
B_3, B_4, B_5, B_6	-	součinitele pro výpočet přímek regulačních mezí
C_4	-	součinitel pro výpočet přímek regulačních mezí
P_{pk}	-	zápis c_{pk} statistickým programem Minitab (c_{pk} se v něm uvádí jako potenciálně dosažitelné po aplikování opatření)



SEZNAM PŘÍLOH

- [1] CD s elektronickou verzí práce

