

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI VÝROBNÍHO
PROCESU TEFLONOVÁNÍ**

Hejkrlík Lukáš

Praha 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci Vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu teflonování vypracoval samostatně pod vedením Ing. BcA. Jana Podaného, Ph.D. a použil jsem pouze literaturu uvedenou v přiloženém seznamu použité literatury.

V Praze dne:

.....

Podpis autora:

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D. za odborné rady, připomínky a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti KYB Manufacturing Czech s.r.o. za poskytnutí potřebných informací, praktické rady a ochotný přístup.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu teflonování pro společnost KYB Manufacturing Czech s.r.o. (KMCZ). Pro správné vyhodnocování způsobilosti procesu byly v praxi využity zpracované teoretické poznatky. Před samotným začátkem hodnocení způsobilosti procesu byl analyzován výrobní proces, identifikovány jeho důležité vstupy, výstupy a faktory, které ho nejvíce ovlivňují. Následně prvním krokem byla volba znaku kvality z výrobní dokumentace. Před začátkem shromažďování potřebných hodnot pro analýzy systémů měření (MSA) byla ověřena normalita procesu. Podle výsledků analýz systémů měření byla zvolena ta nejvhodnější. Poté bylo ověřeno statistické zvládnutí procesu sledovaného znaku kvality pomocí regulačních diagramů a na závěr porovnány vypočtené indexy způsobilosti s požadovanými hodnotami.

Klíčová slova

hodnocení způsobilosti procesu, analyzování výrobního procesu, volba znaku kvality, analýza systému měření (MSA), ověření normality procesu, statistická zvládnutelnost procesu, regulační diagramy, indexy způsobilosti

Abstract

Purpose of this bachelor thesis is capability evaluation of banding process for the manufacturing company KYB Manufacturing Czech s.r.o. (KMCZ). For the correct capability evaluation of process, the theoretical knowledge was used in practice. Before the beginning of capability evaluation of process, the production process was analyzed, identified its important inputs, outputs and factors that the most affect its. Subsequently, the first step was a choice of quality sign from the production documentation. Before the collection of the necessary values for the measurement systems analysis (MSA), the normality of process was verified. According to the results of the measurement systems analysis, the most appropriate one was chosen. Then, the statistical mastery of the process of the observable quality sign was verified by the control charts and in conclusion, the calculated capability indexes with the required values were compared.

Keywords

capability evaluation of process, analysis of production process, choice of quality sign, measurement system analysis (MSA), verification of process normality, statistical mastery of the process, control charts, capability indexes

Použité symboly a jednotky

Symbol	Jednotka	Význam
A_2	-	Koeficient pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů měření
D_3	-	Koeficient pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů měření
D_4	-	Koeficient pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů měření
d_2	-	Koeficient pro výpočet regulačních mezí Shewhartových regulačních diagramů měření
d_2^*	-	Koeficient závislý na hodnotách parametrů m a g

Použité zkratky

Zkratka	Význam
ČSN	Česká technická norma
ISO	The International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
CWQC	Company Wide Quality Control (široká podniková kontrola)
TQM	Total Quality Management (celkové řízení kvality)
ISM	Integrované systémy managementu
SPC	Statistical Process Control (statistická regulace procesu)
CL	Central Line (centrální přímka)
UCL	Upper Control Limit (horní regulační mez)
LCL	Lower Control Limit (dolní regulační mez)
MSA	Measurement System Analysis (analýza systému měření)
EV	Equipment Variation (opakovatelnost měření)
AV	Appraiser Variation (reprodukovatelnost měření)
R&R	Repeatability & Reproducibility (opakovatelnost a reprodukovatelnost měření)
GRR	Gage Repeatability & Reproducibility (opakovatelnost a reprodukovatelnost měření)
PV	Part Variation (variabilita mezi měřenými kusy)
TV	Total Variation (celková variabilita)
USL	Upper Specification Limit (horní toleranční mez)
LSL	Lower Specification Limit (dolní toleranční mez)

Obsah

Úvod.....	10
1 Historický vývoj managementu kvality.....	11
2 ČSN EN ISO 9000:2016	13
3 Sedm základních nástrojů managementu kvality.....	16
3.1 Vývojový diagram	17
3.2 Diagram příčin a následků	18
3.3 Formulář pro sběr údajů.....	19
3.4 Paretův diagram.....	20
3.5 Histogram	23
3.6 Bodový diagram	26
3.7 Regulační diagram.....	27
4 Statistická regulace měření.....	31
4.1 Přípravná fáze	31
4.2 Fáze analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu.....	32
4.3 Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu	39
4.4 Vlastní statistická regulace	39
5 Hodnocení způsobilosti a výkonnosti	40
5.1 Hodnocení způsobilosti výrobního zařízení.....	40
5.2 Hodnocení způsobilosti procesu.....	41
5.2.1 Index způsobilosti C_p	43
5.2.2 Index způsobilosti C_{pk}	45
5.2.3 Index způsobilosti C_{pm}	47
5.2.4 Vyhodnocení indexů způsobilosti	50
5.3 Hodnocení výkonnosti procesu.....	50

6	Analýza systému měření	52
6.1	Hodnocení systému měření pomocí indexů způsobilosti	57
6.2	Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření	57
7	Ověření normality sledovaného znaku kvality	68
8	Představení KYB Manufacturing Czech s.r.o.....	73
9	Hodnocení způsobilosti výrobního procesu teflonování.....	75
9.1	Analýza výrobního procesu	75
9.2	Volba znaku kvality pístu.....	79
9.3	Ověření normality procesu	80
9.4	Analýzy systémů měření.....	80
9.4.1	MSA pro profilprojektor.....	80
9.4.2	MSA pro profilprojektor s přípravkem	87
9.4.3	MSA pro mikrometr	92
9.4.4	Hodnocení laserového měřicího zařízení.....	95
9.5	Získávání údajů.....	111
9.6	Rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu.....	114
9.7	Indexy způsobilosti procesu.....	128
10	Závěr.....	131
	Použitá literatura.....	134
	Seznam obrázků.....	135
	Seznam tabulek.....	138
	Přílohy	139

Úvod

Vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu je součástí managementu kvality. S kvalitou neboli jakostí se lidstvo setkávalo už před naším letopočtem. Důkazem je nejstarší definice připisována Aristotelovi. Je možné se setkat s několika odlišnými definicemi jako:

„Kvalita je způsobilost k užití.“ (Juran),

„Kvalita je shoda s požadavky.“ (Crosby),

„Kvalita je to, co za ni považuje zákazník.“ (Feigenbaum),

„Kvalita je stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik objektu.“ (norma ČSN EN ISO 9000:2016).

Cílem této bakalářské práce je vyhodnotit způsobilost výrobního procesu teflonování pro společnost KYB Manufacturing Czech s.r.o. Pro správné vyhodnocování bylo postupováno pomocí jednotlivých kroků podle zpracovaných teoretických i získaných praktických poznatků. Ještě před samotným začátkem hodnocení způsobilosti procesu byl analyzován výrobní proces, identifikovány jeho důležité vstupy, výstupy a faktory, které ho nejvíce ovlivňují. Následně prvním krokem byla volba znaku kvality z výrobní dokumentace. Před začátkem shromažďování potřebných hodnot pro analýzy systémů měření byla ověřena normalita procesu. Podle výsledků analýz systémů měření byla zvolena ta nejvhodnější. Poté proběhlo ověření statistické zvládnutelnosti procesu sledovaného znaku kvality a na závěr porovnány vypočtené indexy způsobilosti s požadovanými hodnotami.

1 Historický vývoj managementu kvality

Aristotelova definice kvality je důkazem toho, že zájem člověka o kvalitu není pouze v dnešní době. Přesto systémy managementu kvality prošly v minulém století mnoha změnami, které jsou znázorněny na obrázku 1.1.

Model:	Období:	Charakteristika:
Řemeslná výroba	1900	Dělník
Výroba s technickou kontrolou	1920	Technické kontroly
Výroba s výběrovou kontrolou	1940	Statistické metody v technické kontrole
Regulace procesů	1960	CWQC
Koncepce TQM	1975	Všechny procesy v organizaci
Kriteriální standardy	1987	Norma ISO ř. 9000
Integrace systémů	1999	ISM

Obrázek 1.1: Historie managementu kvality ve 20. století [1]

Model řemeslné výroby byl založen na tom, že dělník (např. obuvník) přicházel do přímého styku se zákazníkem, se kterým diskutoval o jeho požadavcích a následně se je snažil co nejlépe splnit, aby byl zákazník spokojen. Zde byla od zákazníka okamžitá zpětná vazba, avšak nízká produktivita práce.

Ke zvýšení produktivity došlo až ve dvacátých letech minulého století, kdy byly do výroby zavedeny první výrobní linky. A tím byly výrobní linky ve Fordových závodech. V této době vznikaly také nové profese, jimiž byly speciální funkce technických kontrolorů. Jednalo se o nejzkušenější zaměstnance, kteří byli zodpovědní za kvalitu produktů. Později se toto stalo i nevýhodou, protože dělníci začali mít pocit, že kvalita není součástí jejich povinností, když mají technické kontroly.

Ve třicátých letech minulého století se díky Američanům, jako byli Romig a Shewhart, objevily první statistické metody kontroly, model výrobních procesů a výběrová kontrola.

Nicméně tyto metody se začaly v civilní sféře výrazněji využívat až po druhé světové válce, a to především v Japonsku, kde se zaváděly statistické regulace a statistické přejímky. Následně Japonci tyto metody rozšířili i do předvýrobních etap až vznikl moderní systém managementu kvality, který je označován jako Company Wide Quality Control (CWQC). Zdokonalováním tohoto přístupu se došlo až k totálnímu managementu kvality (TQM), který se vyvíjí i v současné době.

Od roku 1987 se v managementu kvality využívají i normy ISO řady 9000, které se snaží dokumentovat všechny procesy organizace. Obsahují různé modely systémů managementu kvality.

Kromě norem ISO řady 9000 se časem staly v mnoha organizacích na celém světě důležitými i další podobné standardy, jako jsou systémy zabývající se environmentálním managementem a managementem bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Koncem minulého století se tyto systémy začaly začleňovat k systémům managementu kvality. [1]

2 ČSN EN ISO 9000:2016

Norma ČSN EN ISO 9000:2016 Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník, platná od března 2016, je českou verzí evropské normy EN ISO 9000:2015, která byla schválena dne 14. září 2015. Touto normou se nahrazuje norma ČSN EN ISO 9000:2006 z dubna 2006. Překlad byl zajištěn Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a má stejný status jako oficiální verze zmíněné evropské normy. Změnou oproti předchozí normě je revidování z hlediska aktuální terminologie.

Tato mezinárodní norma obsahuje základní pojmy, zásady a slovník pro systémy managementu kvality a je podkladem pro další normy systému managementu kvality, které jsou použitelné pro organizace snažící se získat důvěru a udržet si úspěch tím, že budou splňovat požadavky na produkty a služby. Také pro zákazníky usilující o produkty a služby, jež budou vyhovovat jejich požadavkům.

Účelem je pomoci uživatelům pochopit obsah normy tak, aby byli schopni efektivně a účinně zavádět systém managementu kvality a následně využít další normy systému managementu kvality.

Organizacím se snaží pomoci realizovat jejich cíle. Je určena pro všechny organizace bez ohledu na jejich velikost, složitost nebo podnikatelský model. Jejím cílem je zvýšit povědomí organizace o jejich povinnostech, závazcích a dosahování spokojenosti s jejími produkty a službami při plnění požadavků zákazníků.

Kvalitou produktů a služeb se rozumí, že organizace je schopna uspokojovat zákazníky nejen funkcí a výkonností, ale také jejich vnímatelnou hodnotou a přínosem, který je též důležitý pro zákazníka.

Do systému managementu kvality se zahrnují činnosti, podle nichž organizace pozná své cíle, určuje procesy a zdroje potřebné pro dosahování žádoucích výsledků. Následně řídí tyto vzájemně působící procesy a zdroje potřebné pro poskytování hodnot a dosahování výsledků pro zákazníky. Systém managementu kvality umožňuje vrcholovému vedení optimalizovat využívání zdrojů s ohledem na dlouhodobé a krátkodobé důsledky jeho rozhodnutí.

Podporou systému managementu kvality ze strany vrcholového vedení a angažovanosti lidí si umožníme zajištění přiměřených lidských a jiných zdrojů, u kterých monitorujeme procesy a výsledky, z nichž určíme a vyhodnotíme rizika a následně můžeme zavádět vhodná opatření.

Zaměstnanci jsou hlavními zdroji v organizaci, protože na nich závisí výkonnost organizace. To je podmíněno tím, jak se zaměstnanci chovají v systému, v němž pracují. Systém managementu kvality je nejefektivnější, když ho všichni zaměstnanci pochopí a aplikují dovednosti, vzdělání a zkušenosti potřebné pro plnění svých rolí a odpovědností. Musí mít povědomí o tom, jak jejich odpovědností a aktivitou přispívají k dosahování cílů celé organizace.

Zásadou managementu kvality není pouze plnění požadavků zákazníka, ale hlavně usilování o překročení jeho očekávání. Plněním požadavků si organizace získává a udržuje důvěru zákazníků. Překročením očekávajících požadavků se zvýší hodnota produktu či služby pro zákazníka a s tím i spokojenost a loajalita. Tímto si organizace buduje svoji dobrou pověst, získává nové zákazníky. Nakonec se zvýší příjmy a zvětší se podíl organizace na trhu.

Vedení managementu vytváří podmínky pro to, aby se zaměstnanci mohli zapojit při dosahování cílů kvality, která je důležitá pro organizaci. Podmínkami se myslí poslání organizace, její vize, strategie, politika, procesy, celková kultura organizace. A především vedení musí jít zaměstnancům jako dobrý příklad, snažit se je inspirovat, povzbuzovat, komunikovat s nimi a uznávat jejich výkony. Zapojení lidí při dosahování cílů organizace neboli angažovanost lidí zvyšuje schopnost organizace vytvářet lepší hodnotu. Důležité je si vážit všech zaměstnanců na všech pozicích a zapojit je. Výsledkem je vyšší motivace, spokojenost, spolupráce a tím i efektivnost zaměstnanců.

Procesním přístupem jsou činnosti pochopeny a řízeny jako vzájemně provázané procesy, které fungují jako spojitý systém. Což znamená, že výstupy z jednoho procesu jsou vstupy do dalších procesů a jsou vzájemně propojeny. U procesů se musí určit cíle, které chceme dosáhnout, a také musí být hlídána rizika jednotlivých procesů, aby nedocházelo k ovlivnění výstupů těmito riziky. Díky tomuto přístupu je možné se lépe soustředit na klíčové procesy a jejich

zlepšování. Můžeme optimalizovat výkonnost a efektivitu řízení procesů a využívání zdrojů potřebných pro tyto procesy.

Pro vytvoření a udržení úspěšné organizace na trhu je důležité neustálé zlepšování neboli zvyšování výkonnosti, které pomáhá organizaci se lépe vypořádat s vnitřními a vnějšími riziky. Organizace se snaží inovovat. Mezi zlepšování patří zdokonalování cílů procesů, a také vzdělávání a školení zaměstnanců.

K hodnocení efektivnosti systému managementu kvality se využívá audit. Během auditu se zjišťují rizika a plnění daných požadavků. Pro efektivní audity jsou potřebné hmotné i nehmotné důkazy. Výsledky získané audity mohou vést k inovacím a zvýšení výkonnosti systému managementu kvality. [2]

3 Sedm základních nástrojů managementu kvality

Sedm základních nástrojů managementu kvality je důležitou skupinou metod a nástrojů, na jejichž rozvoji se podíleli především Kaoru Ishikawa a William Edwards Deming. Tyto metody a nástroje se používají často při řešení problému operativního řízení a zlepšování kvality.

Mezi těchto sedm základních nástrojů managementu kvality patří:

- 1) vývojový diagram,
- 2) diagram příčin a následků,
- 3) formulář pro sběr údajů,
- 4) Paretův diagram,
- 5) histogram,
- 6) bodový diagram,
- 7) regulační diagram.

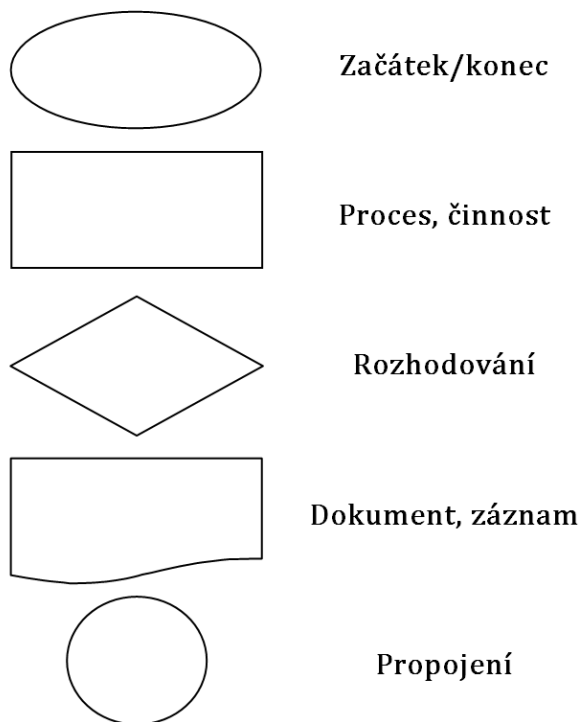
Pořadí těchto sedmi základních nástrojů bývá různé, a to podle toho, jak často používáme určitý nástroj pro dané řešení problému s kvalitou. Vývojový diagram slouží k poznání analyzovaného procesu, u kterého rozpoznáme dílčí kroky, vstupy, výstupy a spojitost mezi jednotlivými činnostmi. Pomocí diagramu příčin a následků získáme všechny možné příčiny problému, které se snažíme vyřešit. Pro zjištění všech těchto příčin je důležité naplánování sběru údajů, jež jsou potřeba pro vyhodnocení a řešení problému. Získané údaje se shromažďují do předem zpracovaných formulářů pro sběr údajů. Analýzou získaných údajů můžeme zjistit, že daný problém je způsoben mnoha faktory. Pokud se nemůžeme zabývat všemi faktory, tak je nutné stanovit hlavní, které se nejvíce podílejí na vzniku problému. K tomu nám slouží Paretův diagram. Z histogramu získáme informace o charakteru rozdělení sledovaného znaku a můžeme rozpoznat příčiny jeho variability (rozptýlenosti). Pro zjištění vlivu stanovených faktorů se používá bodový diagram. Regulační diagram nám umožňuje rozlišit variabilitu sledovaného znaku vyvolanou vymezitelnými a náhodnými příčinami. [3]

3.1 Vývojový diagram

Vývojový neboli postupový diagram znázorňuje pomocí grafického zobrazení posloupnost a návaznost všech kroků určitého existujícího nebo navrhovaného procesu. S tímto diagramem můžeme udělat analýzu celého procesu, který se skládá z jednotlivých kroků a uzlů. Následně je možné odhalit oblasti, kde mohou vznikat problémy a podle toho určíme místa pro provedení kontrol. Někdy je možné na základě vývojového diagramu odstranit zbytečné činnosti.

Postup označovaný jako Imagineering se využívá k nalezení problému a následnému návrhu, jak tento problém vyřešit, a skládá se ze dvou vývojových diagramů. Prvním vývojovým diagramem je popis procesu, jak doopravdy probíhá, a druhým je popis, jak by měl správně probíhat. Z následné analýzy obou diagramů je možné určit místa, kde vznikají problémy, a navrhnout nápravu. Na tomto postupu by se měli podílet zaměstnanci, kteří daný proces využívají.

Při tvorbě vývojového diagramu je důležité si pokládat otázky, jako jsou např.: „Co musí předcházet této činnosti?“ nebo „Co následuje, nastane-li tato situace?“ Pro konstrukci takového diagramu se využívají symboly. Některé z nejpoužívanějších symbolů jsou zobrazeny na obrázku 3.1. [3][4]



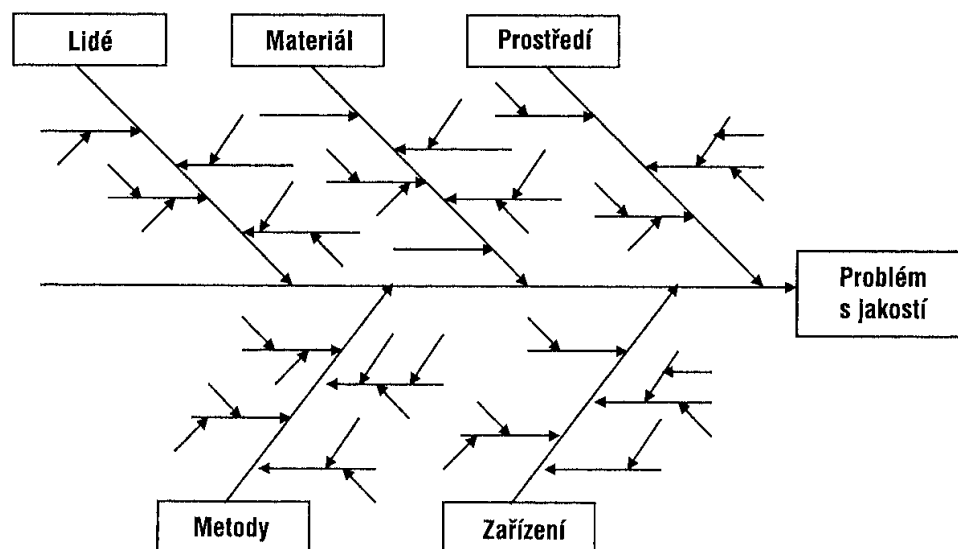
Obrázek 3.1: Některé z nejpoužívanějších symbolů vývojového diagramu [3]

3.2 Diagram příčin a následků

Diagram příčin a následků je grafický nástroj využívaný pro analýzu všech příčin daného následku, kterým je problém s kvalitou. Tento diagram je možné označovat jako Ishikawův diagram, protože ho poprvé použil v roce 1943 Japonec jménem Kaoru Ishikawa, nebo jako diagram rybí kosti z důvodu jeho grafického zobrazení. Při řešení problému, který může být vyvolán více příčinami, by se měl diagram příčin a následků použít jako první krok k řešení tohoto problému. Díky jednoduchosti tohoto diagramu je možné při vypracování zapojit širší okruh zaměstnanců a řešit problém formou týmové práce.

Jako první se stanoví existující nebo možný následek, tedy problém s kvalitou. Tento následek se zapíše na pravou stranu a vlevo od něho se zakreslí vodorovná linie. Dále se určí hlavní kategorie, kterými v případě problému s kvalitou výrobku bývají často metody, lidé, materiál, zařízení, prostředí, měření nebo přímo vedení, jako je příkladně zobrazeno na obrázku 3.2.

Tyto hlavní kategorie se stanou hlavními větvemi vedoucími směrem kvodorovné linii. Poté se u každé hlavní kategorie analyzují všechny možné příčiny zvoleného následku do čím dál větší podrobnosti. Nakonec se dělají příčiny příčin, tak aby se dosáhlo kořenových příčin následku. Za kořenové příčiny se berou příčiny, které není potřeba více rozebírat a je možné jejich odstranění. [3][4]



Obrázek 3.2: Zobrazení možné struktury diagramu příčin a následků [3]

3.3 Formulář pro sběr údajů

Formuláře pro sběr údajů neboli kontrolní záznamníky se využívají k systematickému sbírání údajů za účelem zlepšování kvality. Sběr dat je potřeba naplánovat, a to tím způsobem, aby bylo zřejmé, které informace se musí získat. Není to pouze o počtu získaných dat, ale především o vhodně zvoleném sledovaném znaku kvality, a pokud se jedná o jeho měření, musí být zvolen správný postup měření a měřicí zařízení.

Jelikož jsou pro nás získávané údaje důležité, je nutné se vyvarovat takovým, které jsou neúplné, opožděné nebo zkreslené.

Za neúplné údaje můžeme označit ty, které byly získány na základě neúplných informací a nejsou tedy použitelné pro zpracování. Pokud dojde k pozdnímu zpracování údajů a tyto údaje nebudou včas k dispozici, tak se údaje označují za zpožděné. Zkreslené údaje jsou špatně zjištěné nebo zpracované.

Formuláře pro záznam údajů musí být srozumitelné, přehledné a s dostatečným místem pro získávané údaje. Dále musí obsahovat část pro záznam důležitých údajů o podmínkách, za jakých byla daná data získávána. Těmito údaji se myslí čas, místo, zařízení, jméno zaměstnance, druh sběru a záznamu, použitá měřicí metoda, druh měřicího zařízení, identifikace výrobní dávky, parametry výroby a další údaje, které jsou pro daný sběr důležité.

Třídění neboli stratifikace dat je možné podle druhu zjištěné neshody, vymezení oblasti, kde byla neshoda zjištěna, příčiny vzniku neshody, druhu použitého materiálu, časového úseku výroby, výrobní linky, obsluhy, technologických parametrů výroby nebo prostředí, použitého měřicího zařízení, času mezi opravami a údržbou výrobního zařízení, atd.

Pro stanovení sběru dat je možné pomocí diagramu příčin a následků, ze kterého získáme všechny možné příčiny řešeného problému, stanovit jaké informace pro dané řešení problému potřebujeme získat.

Navržený formulář pro sběr údajů by se měl před zavedením vyzkoušet, protože případné nedostatky se často projeví až během praktického použití. [3][4]

3.4 Paretův diagram

S pomocí Paretova diagramu můžeme stanovit priority, když se snažíme řešit problém s kvalitou. Využívá se pro znázornění problému při prezentování.

Tento diagram byl pojmenován podle italského ekonoma jménem Vilfredo Pareto. Tento muž popsal nepravidelné rozložení bohatství mezi obyvateli a to tak, že většinový podíl celkového bohatství vlastní pouze malé procento těchto obyvatel. Později J. M. Juran využil Paretův princip v oblasti řízení kvality. Jeho formulace byla, že 80 % problémů způsobuje pouze 20 % příčin. Z toho procentuálního vyjádření se princip označuje jako pravidlo 80/20.

Z aplikace Paretova principu můžeme stanovit, že na vznikajících problémech se podílí jen určitá skupina výrobků z celého výrobního programu, jen některé neshody ze všech vyskytujících se neshod, jen některé příčiny ze všech působících příčin, jen některá výrobní zařízení ze všech používaných a jen někteří pracovníci ze všech, kteří ovlivňují kvalitu výrobku. Tyto skupiny činitelů se označují za životně důležitou menšinu, zbylá část je označena jako užitečná menšina. Pomocí Paretova diagramu a jeho analýzy můžeme životně důležitou menšinu rozpoznat a soustředit pozornost na činitele, které se podílejí nejvíce na problému.

Vstupní údaje pro vytvoření Paretova diagramu jsou informace o výskytu neshod nebo jejich příčin za určitou dobu. Tyto údaje se třídí, např. podle druhu výrobku, neshody nebo příčiny. U tříděných údajů se zjišťuje četnost jejich výskytu. Ale pouhá četnost není příliš vhodná, protože různé neshody nebo příčiny mají různou závažnost. Proto se četnost jednotlivých neshod nebo příčin musí vynásobit daným koeficientem, který byl určen podle stupně závažnosti. Z praktického hlediska se jednotlivé četnosti vyjádří v nákladových položkách. Potom pro nás má největší závažnost ta četnost, která je pro nás nejdražší z hlediska finančních nákladů.

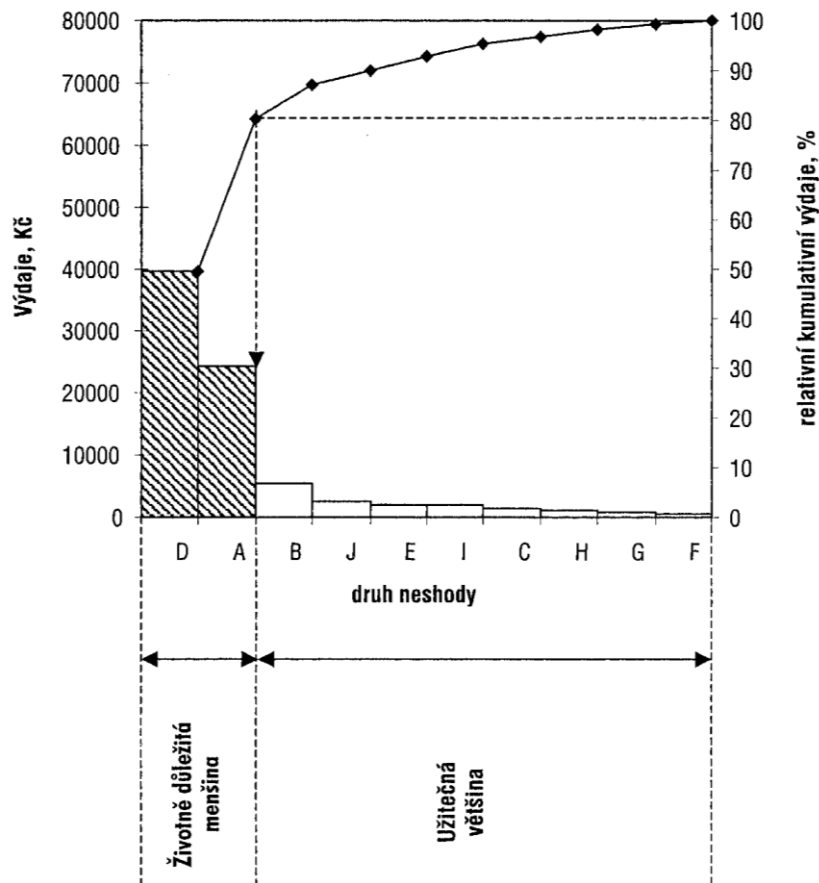
Využití Paretova principu lze použít také například při prodeji určitého výrobku, kdy podstatnou část prodeje realizuje jen malá část zákazníků z jejich celkového počtu. Příkladem je aplikace Paretova principu pro vymezení životně důležité menšiny zákazníků. Tento příklad je zobrazen na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Aplikace Paretova principu pro vymezení životně důležité menšiny zákazníků [3]

Na obrázku 3.4 je zobrazeno zpracování Paretova diagramu pro různé druhy neshod a jejich finančních nákladů neboli výdajů. Diagram byl vytvořen ze seřazených jednotlivých výdajů od nejvyšší k nejnižší hodnotě, ze kterých byly vypočteny kumulativní součty těchto výdajů. Kumulativní součty se vyjádřily v procentech celkových výdajů vzhledem ke všem výdajům daných neshod.

Diagram je tvořen z uspořádaného sloupcového grafu zobrazující jednotlivé neshody v závislosti na výdaje. Relativní kumulativní součty těchto výdajů se zobrazí lomenou křivkou nazývanou Lorenzova křivka.



Obrázek 3.4: Paretův diagram zobrazující životně důležitou menšinu při pravidlu 80/20 [3]

Zvolená hodnota relativního kumulativního součtu v procentech je podle Juranovy formulace Paretova principu pro životně důležitou menšinu 80 % kumulativního součtu. Často se používá kumulativní součet roven 50 %.

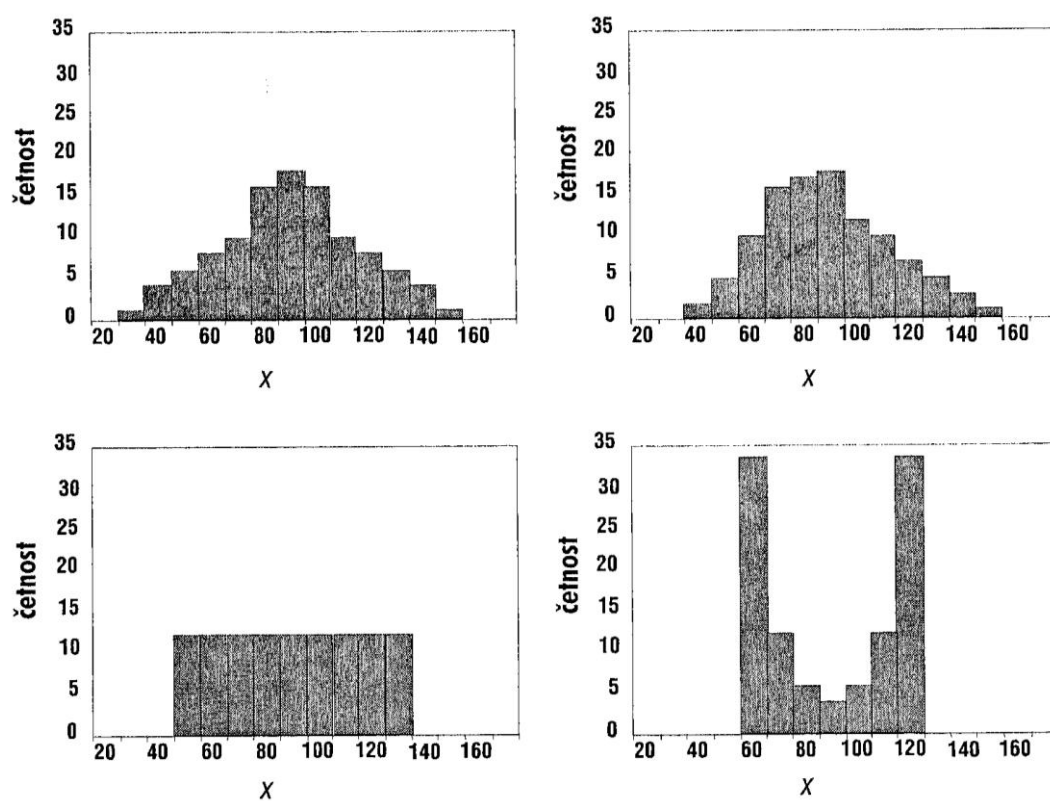
Životně důležitou menšinu je možné vyhodnotit i graficky. Ze zvolené hodnoty relativního kumulativního součtu se vede rovnoběžka s osou x a po střetnutí s Lorenzovou křivkou se spustí kolmice na osu x . Neshody ležící nalevo od kolmice, včetně zasažených, patří do životně důležité menšiny.

Z obrázku 3.4 je patrné, že do životně důležité menšiny pro zvolenou hodnotu relativního kumulativního součtu 80 % patří neshody D a A. Při snížení těchto neshod bychom dosáhli úspory 80 %.

Tento diagram odpovídá pravidlu 80/20, protože 80 % celkových výdajů spojených s neshodami je způsobeno 20 % neshod z celkového počtu. [3][4]

3.5 Histogram

Data získaná z formulářů nám dávají hrubou představu o sledovaném znaku kvality. Vypočtením aritmetického průměru a směrodatné odchylky získáme představu o statistické charakteristice polohy a variability. Podrobnější informace o struktuře získáme až při vytvoření histogramu ze získaných dat. Důkaz, že vypočtené hodnoty číselných charakteristik nedávají přesnou představu o rozdělení znaku kvality, je zobrazen na obrázku 3.5. Na obrázku se nacházejí 4 histogramy o stejném aritmetickém průměru \bar{x} a směrodatné odchylce s , ale s různým rozdělením neboli struktuře získaných hodnot.

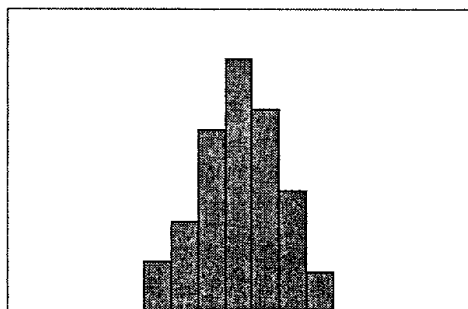


Obrázek 3.5: Histogramy různých rozdělení sledovaného znaku kvality se stejným aritmetickým průměrem a směrodatnou odchylkou ($\bar{x} = 85$; $s = 25,8$) [3]

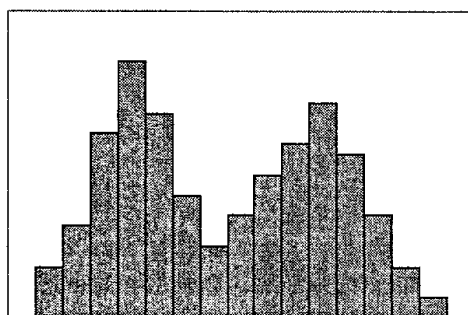
Histogram je sloupcový diagram, který zobrazuje četnosti v určitých intervalech neboli třídách. Je to základní grafický nástroj pro vyhodnocení získaných údajů. Aby mělo vytvoření histogramu smysl, potřebujeme získat minimálně 30 údajů.

Analýzou vytvořeného histogramu získáme centrování, šířku a tvar histogramu. Centrování histogramu charakterizuje střední hodnota znaku kvality, šířka

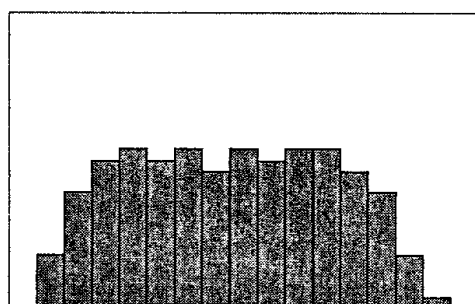
charakterizuje variabilitu a pomocí tvaru můžeme zjistit příčiny variability. Některé tvary histogramů jsou zobrazeny na obr. 3.6. [3]



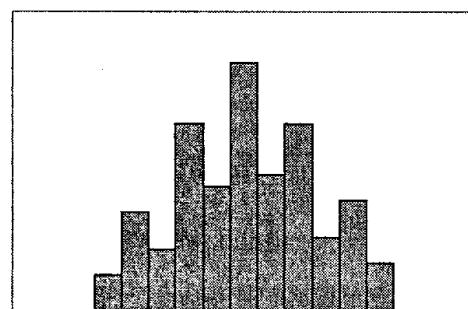
a) histogram zvonovitého tvaru



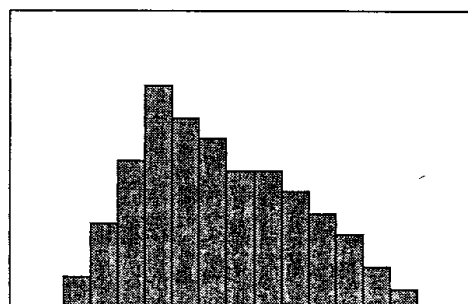
b) dvouvrcholový histogram



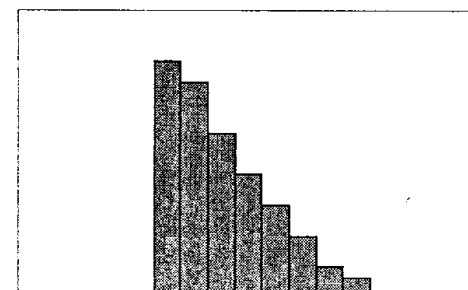
c) histogram plochého tvaru



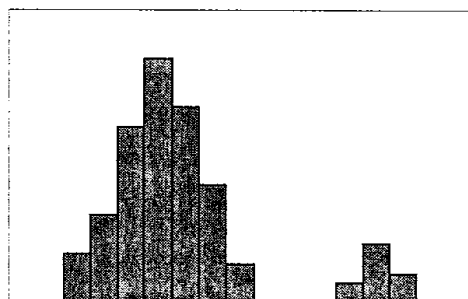
d) hřebenový histogram



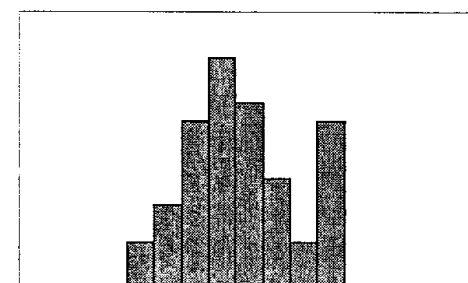
e) histogram asymetrického tvaru



f) useknutý histogram



g) histogram s izolovanými hodnotami



h) histogram s vyšší četností v krajní třídě

Obrázek 3.6: Zobrazení některých typů histogramů [3]

Zpracování údajů a sestavení histogramu

Zajímavým prvotním rozbohem při počátečním kroku ve zpracování naměřených hodnot může být jejich seřazení podle velikosti a nalezení maximální a minimální hodnoty. Pro lepší přehlednost je důležité naměřené hodnoty roztrždit do intervalů.

Pro stanovení počtu intervalů se používají různá pravidla. Jedno z nich je Sturgesovo pravidlo:

$$k = 1 + 3,3 \log n ; \quad (3.1)$$

kde:

k je počet intervalů,

n je celkový počet hodnot.

Někteří autoři uvádějí pravidlo:

$$k = 5 \log n . \quad (3.2)$$

Pro orientační stanovení šíře neboli délky intervalu je nutné vypočítat variační rozpětí, dle vzorce:

$$R = x_{max} - x_{min} ; \quad (3.3)$$

kde:

x_{max} je maximální hodnota z celkového počtu hodnot,

x_{min} je minimální hodnota z celkového počtu hodnot.

Orientační stanovení délky neboli šíře intervalu:

$$h \cong \frac{R}{k} ; \quad (3.4)$$

kde:

R je variační rozpětí,

k je počet intervalů.

Další pravidlo je vztahem pro šíři (délku) intervalu:

$$0,05 \cdot R \leq h \leq 0,08 \cdot R ; \quad (3.5)$$

$$0,05 \cdot R \leq h \leq 0,12 \cdot R ; \quad (3.6)$$

kde:

h je šíře intervalu,

R je variační rozpětí,

k je počet intervalů.

Hodnoty vypočtených šíří intervalů se využijí ke zvolení výsledné šíře intervalu, kterou ověříme pomocí vzorce na stanovení počtu intervalů, který vychází ze vztahu mezi variačním rozpětím a délkou intervalu:

$$k \cong \frac{R}{h}. \quad (3.7)$$

Nejčastěji volíme intervaly stejně velké, řádově od 7 do 20 intervalů, podle námi sledovaného znaku a rozsahu výběru. Jestliže je počet naměřených hodnot menší než 100, tak se volí početnější interval v případě, že je na výběr z více možných intervalů.

Výsledný histogram nesmí mít příliš mnoho nebo naopak málo intervalů, protože bychom neměli správnou analýzu získaných údajů.

Pokud je zvolená hodnota šíře intervalu vyhovující vzhledem ke stanovenému počtu intervalů, tak se tato hodnota rozdělí do intervalů o stejné šíři, kde první interval bude obsahovat x_{min} a součástí posledního intervalu bude hodnota x_{max} . Stanovené hranice intervalů by měly končit číslicí 5 a určí se o řád (desetinu) přesněji než naměřené hodnoty tak, aby se žádný údaj nemohl rovnat hranici intervalu a bylo zřejmé jeho zařazení.

Poté se sestaví tabulka četností s hranicemi intervalů, do kterých přiřadíme jednotlivé naměřené hodnoty, čímž stanovíme četnost v jednotlivých intervalech.

Posledním krokem je, že ze získaných hodnot se sestojí výsledný histogram.

3.6 Bodový diagram

Bodový diagram se využívá pro grafické zobrazení a následné analyzování závislosti dvou proměnných. Můžeme např. analyzovat závislost mezi dvěma znaky kvality výrobku nebo závislost znaku kvality na určitém parametru výrobního procesu. Umístění bodů v bodovém diagramu charakterizuje směr, tvar a míru

těsnosti závislosti mezi proměnnými hodnotami. Síla závislosti je zobrazena na obrázku 3.7.

Nejčastější jsou volné závislosti, jejichž charakteristikou je rozptyl bodu. Rozptyl je nejčastěji způsoben např. variabilitou parametru procesu, vnějšími podmínkami nebo vlastnostmi využitých materiálů při procesu. Dalšími příčinami rozptylu může být nepřesnost získávání údajů. Mezi tyto nepřesnosti můžeme zařadit např. nepřesnost metody stanoveného měření, nepřesnost měřicího zařízení nebo nepřesnost měření způsobenou lidským faktorem. Při analýze bodového diagramu je důležité soustředit pozornost na měřítka a jednotky jednotlivých os. [3][7]



Obrázek 3.7: Druhy závislostí bodových diagramů [7]

3.7 Regulační diagram

Regulační diagram je základní grafický nástroj, pomocí kterého můžeme rozeznat variabilitu procesu vzniklou náhodnými neboli přirozenými příčinami a variabilitu vyvolanou vymezitelnými neboli zvláštními příčinami. Díky tomu dokážeme zlepšit kvalitu.

Náhodné neboli přirozené příčiny jsou neidentifikovatelné příčiny, které se jednotlivě podílí na celkové variabilitě pouze z malé části, ale jejich součet

je už měřitelný a bere se jako přirozený jev procesu. Tyto příčiny jsou trvalé a předvídatelné, protože jejich působení se s časem nemění. Snížit působení těchto příčin je možné pouze změnou výrobního procesu. Touto změnou se myslí změna technologie, výrobního procesu nebo jeho řízení.

Vymezitelné neboli zvláštní příčiny způsobují variabilitu, kterou je nutné řešit změnou výrobního procesu. Tyto příčiny se dělí na nepředvídatelné a předvídatelné.

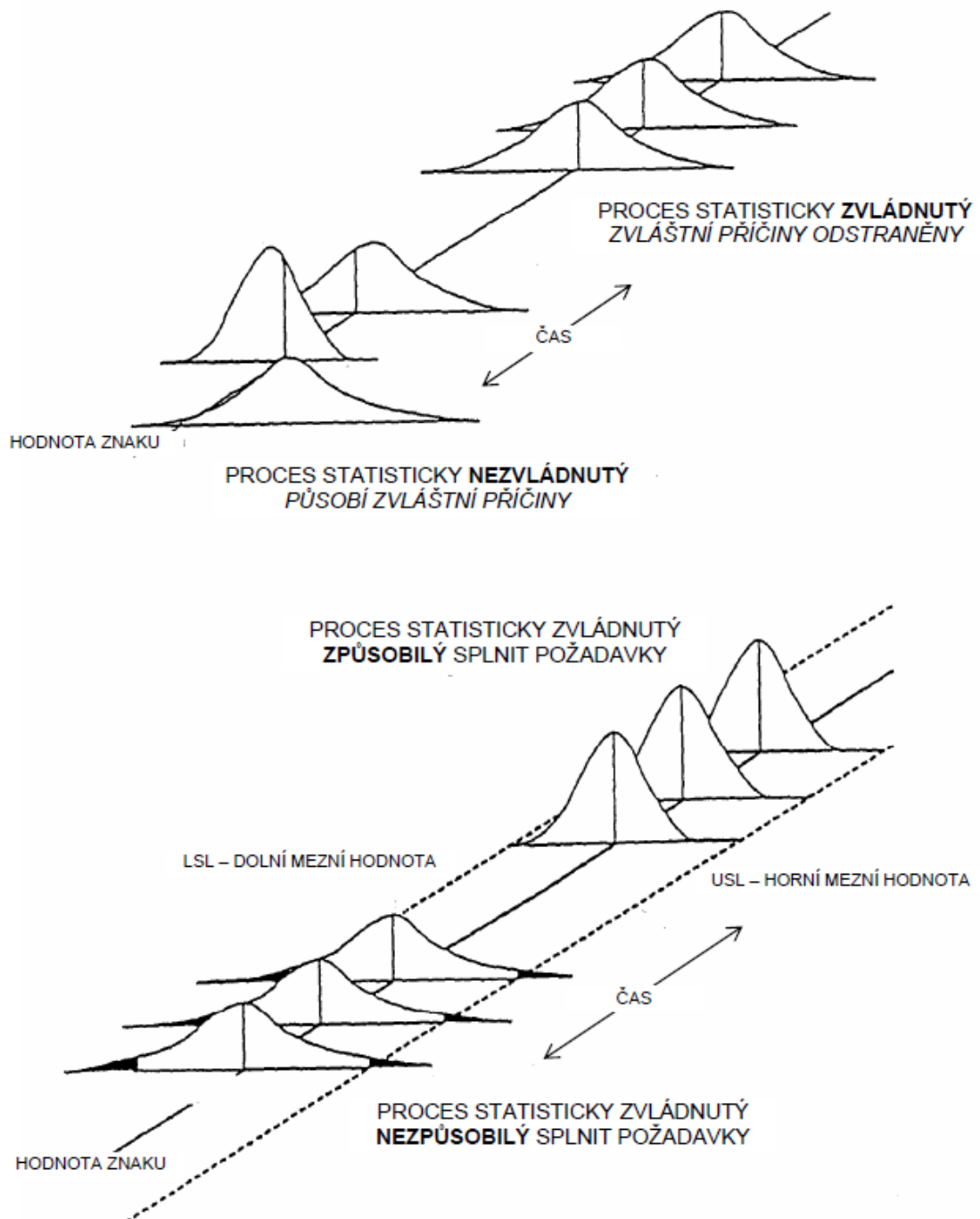
Nepředvídatelné vymezitelné příčiny nejsou přirozeným chováním procesu, působí nepravidelně, a proto by se měly odstranit. Většinou jsou identifikovatelné a díky tomu je můžeme z výrobního procesu odstranit pomocí nápravných opatření.

Předvídatelné vymezitelné příčiny jsou dány fyzikální podstatou určitého procesu jako např. opotřebení obráběcího nástroje. Vliv těchto příčin je možné omezit, ale nemůžeme je úplně odstranit.

Regulační diagram se používá pro analýzu procesu a je základním nástrojem statistické regulace procesu (SPC - Statistical Process Control). Cílem statistické regulace je udržet proces trvale na stabilní úrovni, aby produkty splňovaly požadovanou kvalitu. Statistická regulace se využívá při vzniku procesu, kdy je možné ovlivnit a předejít výrobě zmetků. Je to strategie prevence, jež snižuje náklady na kontrolu již vyrobených produktů, materiál, čas a mzdy, které by byly jinak využity na výrobu zmetků.

Při zavádění statistické regulace procesu se prvně analyzuje působení náhodných a vymezitelných příčin. K nalezení vymezitelných příčin se používá regulační diagram. Při nalezení vymezitelných příčin je nutné tyto příčiny odstranit, aby variabilitu tohoto procesu ovlivňovaly pouze náhodné příčiny. Proces ovlivňovaný pouze náhodnými příčinami se nazývá statisticky zvládnutý neboli stabilní proces. U tohoto procesu můžeme předvídat určitý znak kvality u výstupu z daného procesu (viz obrázek 3.8). Nicméně statisticky zvládnutý proces neznamená, že při procesu nevzniknou zmetky. To se hodnotí způsobilostí procesu, který ověřuje, zda produkt vyhovuje předepsaným kritériím kvality, jako jsou např. předepsané toleranční meze.

ŘÍZENÍ PROCESU



Obrázek 3.8: Znázornění statisticky zvládnutého a způsobilého procesu [6]

Rozlišují se dva druhy statistické regulace, které jsou dány charakterem daného znaku. Druhy statistické regulace jsou:

- statistická regulace měřením,
- statistická regulace srovnáváním.

Statistickou regulaci měřením je možné využít pouze, když daný znak kvality je měřitelnou hodnotou. Statistickou regulaci srovnáváním můžeme použít univerzálně. Pro její využití stačí pouze rozpoznat, zda je produkt neshodný. Pokud je možný výběr z těchto dvou regulací, je lepší použít statistickou regulaci měřením, protože vychází z naměřených údajů, které jsou spojeny přímo s kvalitou výrobku.

Statistickou regulaci srovnáváním můžeme využít při sledování určitých neshod, kde rozhodujeme, zda jsou výrobky shodné nebo neshodné. Tato regulace je jednodušší pro zavedení, ale pro její správné využití je potřeba zkontrolovat více produktů než u statistické regulace měřením. [3]

4 Statistická regulace měřením

Při využití regulačních diagramů, jejichž podkladem jsou hodnoty měřitelného znaku kvality, se musí splnit následující podmínky: naměřené hodnoty musí odpovídat normálnímu rozdělení, střední hodnota rozdělení průměrných hodnot znaku kvality v podskupinách se musí rovnat střední hodnotě jednotlivých hodnot ($\bar{\bar{x}} = \mu$).

Zavádění statistické regulace měřením u daného procesu můžeme rozdělit do čtyř fází. První fází je přípravná fáze, po ní následují fáze analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti a způsobilosti procesu. Pokud je proces statisticky zvládnutý a způsobilý, můžeme aplikovat poslední fázi, kterou je vlastní statistická regulace. [3][8]

4.1 Přípravná fáze

Během přípravné fáze se musí vytvořit vhodné podmínky pro zavádění statistické regulace a určit základní parametry, které jsou pro toto zavádění důležité.

1) Volba regulované veličiny

Volbou regulované veličiny často bývá znak kvality určeného produktu. Tato volba nám ovlivní míru efektivity statistické regulace. Nejvhodnější je výběr znaku kvality, který nejvíce vystihuje výrobní proces sledovaného produktu. V případě, když není možné zvolit vhodný měřitelný znak kvality jako regulovanou veličinu, můžeme zvolit některý důležitý parametr procesu, který je nejvíce spojen s kvalitou produktu během výroby.

2) Analýza procesu a volba systému měření

Cílem analýzy procesu je určit všechny příčiny, které ovlivňují průběh procesu, a tím i naši zvolenou regulovanou veličinu. Na základě získaných zdrojů variability můžeme provést nápravná opatření při tvorbě vlastní statistické regulace. Na základě analýzy a zvolené regulované veličině můžeme zvolit systém měření. Důležité je stanovit vhodný systém měření pro určení regulované veličiny, která

je stabilní a známe její přesnost. Před zavedením systému měření by se mělo ověřit, zda je tento systém vhodný pro námi zvolenou regulovanou veličinu.

3) Určení rozsahu podskupiny

Při statické regulaci se odebírají z procesu ve zvolených kontrolních intervalech určité počty produktů, které jsou označeny jako podskupina, a ta by měla být ovlivňována pouze náhodnými příčinami variability, čehož docílíme tím, že z procesu budeme odebírat určitý počet výrobků, které budou vyrobeny za sebou. U statické regulace měřením se doporučuje v podskupině volit 4 až 5 produktů. Při tomto počtu je možné odhadnout normální rozdělení aritmetických průměrů sledovaného znaku.

4) Volba kontrolního intervalu

Údaje podskupin, které získáváme z výrobního procesu, se zaznamenávají v pravidelných intervalech do regulačního diagramu. Pravidelný interval může být v jednotkách času či množství, např. každou hodinu nebo po určitém množství vyrobených kusů. Tyto intervaly nám mohou ovlivnit proces, a proto je nutné vzít v úvahu možný zásah do procesu a jeho případné ekonomické následky.

5) Volba typu regulačního diagramu

U statické regulace měřením se používají dva typy regulačních diagramů. Jedním je diagram, ve kterém se vyhodnocuje průběh zvolené míry střední polohy sledovaného znaku. Ve druhém se vyhodnocuje průběh zvolené míry variability. Jako míra střední hodnoty se využívá výběrový průměr \bar{x} nebo výběrový medián Me . Mírou variability může být výběrové variační rozpětí R či výběrová směrodatná odchylka s . V praxi se nejvíce využívají regulační diagramy (\bar{x}, R) a (\bar{x}, s) . [3][4]

4.2 Fáze analýzy a zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu

Cílem této fáze je analýza určitého procesu a následné zjištění, jestli je proces statisticky zvládnutý. Statistickým zvládnutím se myslí, že variabilita námi zvolené regulované veličiny, kterou může být znak kvality, je způsobena pouze náhodnými příčinami. Analýzu provádíme pomocí regulačního diagramu.

1) Shromáždění údajů

Údaje zvolené regulované veličiny ve zkoumaných podskupinách produktu by měly být získávány za určité období tak, aby byla zvolená regulovaná veličina ovlivněna všemi variabilitami, které se vyskytují ve sledovaném procesu. Pro analýzu by mělo být získáno minimálně 25 podskupin o rozsahu 4 až 5 kusů.

2) Regulační diagram pro jednotlivé podskupiny - výpočet výběrových charakteristik, centrálních přímk a regulačních mezí

Ze shromážděných údajů v určitých podskupinách vypočítáme podle námi zvoleného regulačního diagramu dané výběrové charakteristiky, které následně do tohoto regulačního diagramu vyneseme. Jedná se např. o výběrové průměry, mediány, směrodatné odchylky a variační rozpětí.

Výběrové aritmetické průměry \bar{x}_j vypočítáme ze vztahu:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} ; \quad (4.1)$$

kde:

x_{ij} je jednotlivá i-tá hodnota znaku kvality v j-té podskupině,

n je celkový počet hodnot v podskupině.

Výběrové variační rozpětí:

$$R_j = \max x_{ij} - \min x_{ij} ; \quad (4.2)$$

kde:

$\max x_{ij}$ je maximální hodnota v j-té podskupině,

$\min x_{ij}$ je minimální hodnota v j-té podskupině.

K regulaci vypočtených výběrových charakteristik potřebujeme dopočítat úroveň centrální přímk CL (Central Line), dolní regulační meze LCL (Lower Control Limit) a horní regulační meze UCL (Upper Control Limit). V případě Shewhartového regulačního diagramu jsou regulační meze ve vzdálenosti tří směrodatných odchylek (3sigma) dané výběrové charakteristiky od centrální přímk CL a vymezují tak oblast přirozené (náhodné) variability.

2a) Centrální přímka a regulační meze pro diagram \bar{x}

V tomto diagramu se pracuje s výběrovými aritmetickými průměry \bar{x}_j vycházejících ze vzorce (4.1).

Hodnotu střední přímky CL vypočítáme jako aritmetický průměr z výběrových aritmetických průměrů jednotlivých podskupin:

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{j=1}^k \bar{x}_j}{k} ; \quad (4.3)$$

kde:

\bar{x}_j je výběrový průměr j-té podskupiny,

k je celkový počet podskupin.

Regulační meze vypočítáme ze vztahů:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} ; \quad (4.4)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} . \quad (4.5)$$

V praxi se často $3\sigma_{\bar{x}}$ odhaduje pomocí aritmetického průměru výběrových rozpětí \bar{R} a koeficientů A_2 stanovených v závislosti na rozsahu podskupiny n (viz příloha 1).

\bar{R} vypočítáme ze vztahu:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^k R_j}{k} ; \quad (4.6)$$

kde R_j je výběrové rozpětí v j-té podskupině, viz rovnice (4.2),

k je celkový počet podskupin.

Následné regulační meze vypočítáme ze vztahů:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R} ; \quad (4.7)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R} ; \quad (4.8)$$

kde A_2 je koeficient závislý na velikosti podskupiny (viz příloha 1).

2b) Centrální přímka a regulační meze pro diagram R

V tomto diagramu se pracuje s výběrovými rozpětími R_j vycházejících ze vzorce (4.2) a jeho cílem je odhalit změny ve variabilitě sledovaného znaku kvality během výrobního procesu.

Hodnotu střední přímky CL vypočítáme ze vztahu:

$$CL_R = \bar{R}; \quad (4.9)$$

kde \bar{R} je aritmetický průměr výběrových rozpětí z rovnice (4.6).

Regulační meze vypočítáme ze vztahů:

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R}; \quad (4.10)$$

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R}; \quad (4.11)$$

kde:

D_4 a D_3 jsou koeficienty závislé na velikosti podskupiny (viz příloha 1). [3][4][8]

3) Regulační diagram pro jednotlivé hodnoty - výpočet výběrových charakteristik, centrálních přímek a regulačních mezí

Pokud nastane případ, kdy z nějakého důvodu nejsou stanoveny podskupiny, je možné použít Shewhartův diagram pro jednotlivé hodnoty (x-individual). Místo využití průměrů se zde pracuje s naměřenými hodnotami x_i .

Regulačním diagramem je zde diagram R, u kterého se místo rozpětí podskupiny použije rozpětí mezi po sobě jdoucími hodnotami. Tato hodnota je nazývána jako klouzavé rozpětí MR (moving range).

Výpočet klouzavého rozpětí je:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|; \quad (4.12)$$

kde první hodnota MR_1 se nedefinuje.

Statistické vlastnosti klouzavého rozpětí jsou stejné jako u rozpětí podskupiny, tedy $n = 2$, takže koeficient d_2 pro následující výpočet je roven hodnotě 1,128, viz příloha 1.

3a) Centrální přímka a regulační meze pro diagram x

Výpočty CL, UCL a LCL pro diagram x:

$$UCL_x = \bar{x} + 3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2}; \quad (4.13)$$

$$CL_x = \bar{x}; \quad (4.14)$$

$$LCL_x = \bar{x} - 3 \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2}; \quad (4.15)$$

kde:

\bar{x} je aritmetický průměr ze všech naměřených hodnot x_i ,

\overline{MR} je aritmetický průměr klouzavých rozpětí MR_i ,

d_2 je koeficient o hodnotě 1,128.

3b) Centrální přímka a regulační meze pro diagram MR

Výpočty CL, UCL a LCL pro diagram MR:

$$UCL_{MR} = D_4 \cdot \overline{MR}; \quad (4.16)$$

$$CL_{MR} = \overline{MR}; \quad (4.17)$$

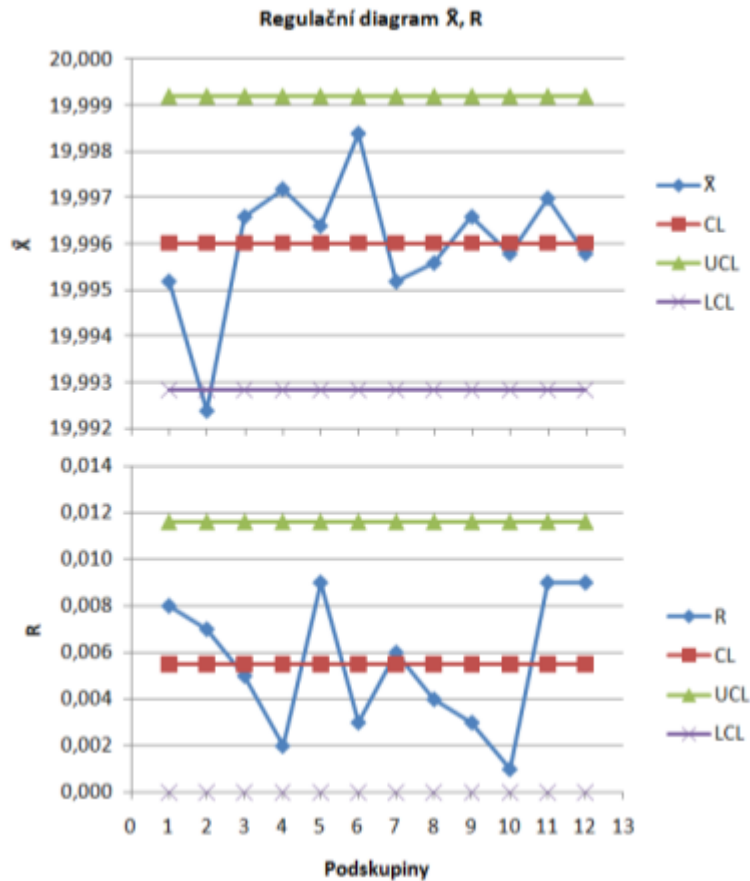
$$LCL_{MR} = 0; \quad (4.18)$$

kde:

D_4 je koeficient o hodnotě 3,267, stejně jako u rozsahu podskupiny pro $n = 2$, viz příloha 1. [8]

4) Sestrojení regulačních diagramů

Vypočtené výběrové charakteristiky, úroveň centrální přímky CL, dolní regulační meze LCL a horní regulační meze UCL vyneseme do námi zvoleného typu regulačního diagramu. Tento diagram se skládá ze dvou diagramů, přičemž z prvního dokážeme vyčíst změny střední polohy a z druhého změnu variability hodnot v jednotlivých podskupinách. Pro představu je na obrázku 4.1 zobrazen sestavený regulační diagram \bar{x}, R .



Obrázek 4.1: Příklad sestrojeného regulačního diagramu \bar{x} , R

5) Analýza regulačních diagramů

Analýzou regulačního diagramu dokážeme z výběrových charakteristik (nejčastěji aritmetických průměrů a variačních rozpětí) regulované veličiny zjistit případné působení vymežitelných příčin variability. Vymežitelné příčiny jsou body, které se nacházejí mimo regulační meze nebo jsou nenáhodně uskupeny v regulačním diagramu. Pokud jsou zaznamenány tyto vymežitelné příčiny pomocí analýzy, znamená to, že sledovaný proces není statisticky zvládnutý a je nutné využít takzvaný čistící proces.

Účelem čistícího procesu je rozpoznání vymežitelných příčin zjištěných z diagramu a následné zavedení nápravných opatření, která zabrání jejich opakování. Také můžeme odebrat určité podskupiny, u kterých byly při výrobním procesu shledány vymežitelné příčiny a provést následné vyhodnocení bez nich. S tím souvisí i přepočítání centrálních průměrů a regulačních mezí. Odstraněním podskupin ovlivněných vymežitelnými příčinami dokážeme získat centrální

přímky a regulační meze, které charakterizují přirozený proces, jenž je ovlivněn pouze náhodnými příčinami variability. Poté se nově sestrojený regulační diagram opět analyzuje. Čistící proces a analýza se opakují tak dlouho, dokud nejsou odstraněny všechny vymežitelné příčiny.

Při analýze se využívají obě části regulačního diagramu, ale vzhledem k tomu, že pro výpočet regulačních mezí v diagramu x se využívá hodnota aritmetického průměru variačních rozpětí \bar{R} , tak se přednostně začíná analýzou diagramu charakterizujícího změnu variability, tedy R-diagramem. Jestliže v R-diagramu nebudou nalezeny žádné vymežitelné příčiny, pokračuje se analýzou diagramu \bar{x} , který charakterizuje změnu střední polohy znaku kvality.

Postup analýzy R-diagramu

- Body leží uvnitř regulačních mezí.
- 7 jdoucích bodů za sebou se nachází na jedné straně od střední hodnoty.
- 7 jdoucích bodů za sebou má klesající nebo rostoucí tendenci.
- Nalezení a určení případných zvláštních příčin.
- Pokud byly nalezeny zvláštní příčiny, znamená to, že proces nebyl statisticky zvládnutý a všechny podskupiny obsahující zvláštní příčiny se vyloučí, následně se identifikují, odstraní a nápravná opatření se zahrnou do kontrolních předpisů.
- Ze zbylých podskupin se vypočtou nové hodnoty potřebné pro R-diagram a \bar{x} -diagram, včetně CL, UCL a LCL tak, aby bylo možné sestavit nové digramy.

Postup analýzy \bar{x} -diagramu

Tento postup je podobný předchozímu postupu analýzy R-diagramu, ale zde se před nalezením a určením zvláštních příčin ověřuje ještě následující pravidlo:

- zřejmá nenáhodná seskupení, např. 2/3 (asi 68 %) bodů, mají ležet uvnitř střední třetiny oblasti ohraničené regulačními mezemi.

V případě čistícího procesu vyloučené podskupiny neznamenají záměrné zlepšování procesu. U těchto podskupin je nutné dohledat, objasnit a odstranit

vymežitelné neboli zvláštní příčiny, aby se neopakovaly. V praxi se nejedná o dosažení dokonalého regulačního diagramu, ale o rozumnou a ekonomickou regulaci daného výrobního procesu. [3][6]

6) Rozšíření platnosti mezí na další období

Jestliže analýzou regulačního diagramu nebyly nalezeny vymežitelné příčiny a proces byl pomocí hodnocení způsobilosti stanoven za způsobilý, je možné použít regulační meze z tohoto regulačního diagramu v budoucnu pro vlastní statistickou regulaci. [3]

4.3 Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu

Je-li proces statisticky zvládnutý, tedy bez vymežitelných příčin, můžeme začít hodnotit jeho způsobilost (viz kapitola 5). Pokud se během analýzy zjistí, že daný proces není způsobilý, je nutné zavést nápravná opatření, aby mohla být hodnocena způsobilost. Po zavedení těchto opatření se musíme znovu vrátit k analýze a následnému zabezpečení statistické zvládnutelnosti procesu. [3]

4.4 Vlastní statistická regulace

Pro vlastní statistickou regulaci již můžeme využít regulační diagram se zakreslenými regulačními mezemi, u kterých byl proces prohlášen za statisticky zvládnutý (bez vymežitelných příčin) a způsobilý. Díky volbě kontrolního intervalu budeme z výrobního procesu odebírat podskupiny a získávat údaje regulované veličiny, kterou může být námi sledovaný znak kvality. Ze získaných údajů vypočteme výběrové charakteristiky v jednotlivých podskupinách. Tyto vypočtené hodnoty zaznamenáme přímo do regulačního diagramu se zakreslenými regulačními mezemi. Po zaznamenání hodnot do tohoto diagramu můžeme provést analýzu a odhalit případné vymežitelné příčiny. Jestliže budou nalezeny vymežitelné příčiny, musíme je rozpoznat a odstranit, abychom proces vrátili zpět do statisticky zvládnutého stavu. [3]

5 Hodnocení způsobilosti a výkonnosti

Hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu je součástí měření procesu, jenž je důležité pro management kvality, který se snaží o výrobu produktů splňujících požadované znaky kvality. Vyhodnocení způsobilosti není důležité pouze pro výrobce, který ho využívá pro plánování a zlepšování kvality, ale také pro zákazníka, který díky tomu zjistí, zda jeho produkt splňuje požadovaná kritéria kvality. Což tvoří nebo udržuje důvěru mezi zákazníkem a výrobcem. Hodnocení způsobilosti dokáže ušetřit výrobní náklady, když se využívá již při plánování kvality výrobku před zavedením jeho výroby. Zjistíme vhodnost výrobního procesu, jestli dokáže zajistit požadované znaky kvality výrobku, který navrhujeme. Také dokážeme odhadnout pravděpodobnost vyrobených vadných produktů. Během výroby je možné plánování údržby výrobních strojů a zařízení, které je možné určit díky vyhodnocení, kdy s rostoucím časem může docházet ke zhoršující se kvalitě, což je způsobeno např. vznikem vůle ve stroji. [3]

5.1 Hodnocení způsobilosti výrobního zařízení

U způsobilosti výrobního zařízení se sleduje opakovatelnost produktu, který je na výrobním zařízení vyráběn, a stanovuje se schopnost tohoto zařízení produkovat dané výrobky, jež budou splňovat požadované znaky kvality. Toto hodnocení probíhá před hodnocením způsobilosti výrobního procesu. Cílem je zjistit, zda je výrobní zařízení schopno vyrábět daný výrobek v požadovaných tolerancích, které udává výrobní dokumentace.

Vyhodnocení této způsobilosti je důležité pro rozhodování při nákupu. Dále se využívá po instalaci, po určité době provozu, kdy se během používání mění vlastnosti, po opravách, po modernizacích zařízení nebo před výrobou nového produktu. Pokaždé, když potřebujeme zjistit, jestli je zařízení stále způsobilé pro výrobu daného produktu. Způsobilost výrobního zařízení je informace, která společně se způsobilostí výrobního procesu určuje míru variability sledovaného znaku kvality a variability dalších zdrojů jako je např. materiál nebo obsluha.

Během shromažďování hodnot, které budou podkladem pro vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu, je nutné zajistit stálé výrobní podmínky. Těmito podmínkami je např. stejná obsluha, materiál, nastavení výrobního zařízení,

parametry výroby a prostředí. Získané hodnoty se zobrazí v časové závislosti a pomocí analýzy zjistíme, zda se ve výrobním procesu objevuje nepříznivý vývoj, jako je periodicitu nebo nepravidelnost chodu výrobního zařízení. Následně se určuje, jestli je proces statisticky zvládnutý. Pokud není, je nutné analyzovat a poté odstranit vymezené příčiny. Na závěr se vypočítají indexy způsobilosti, které jsou shodné s indexy způsobilosti procesu, pouze nesou jiné označení. Pro udržení námi požadovaného výsledku je důležité udržovat výrobní zařízení. [3]

5.2 Hodnocení způsobilosti procesu

Při hodnocení způsobilosti procesu se využívají indexy způsobilosti, pomocí kterých se porovnává povolená variabilita hodnot daná tolerančními mezemi vůči skutečné variabilitě sledovaného znaku kvality. Pro hodnocení je důležité získání úplných vstupních hodnot. Hodnoty musí být získány ze statisticky zvládnutého procesu. V případě měřitelných znaků kvality musí rozdělení sledovaného znaku odpovídat normálnímu rozdělení.

Před začátkem hodnocení způsobilosti procesu na základě měřitelných znaků kvality by se měl analyzovat výrobní proces se zaměřením na jeho charakter, důležité vstupy a výstupy, jež nejvíce ovlivňují výrobní proces. Ze získané výrobní dokumentace zvolíme znak kvality. Následně identifikujeme jednotlivé faktory nejvíce ovlivňující hodnoty sledovaného znaku kvality, které budeme získávat. Před začátkem shromažďování potřebných hodnot se musí provést analýzy systémů měření a zvolit ten nejvhodnější systém. Po ověření, že je proces statisticky zvládnutý, musíme ještě ověřit normalitu námi sledovaného znaku kvality. A na závěr, pokud bude vše v pořádku, můžeme vypočítat indexy způsobilosti a porovnat je s danými hodnotami, které potřebujeme dosáhnout.

1) Volba znaku kvality

Aby bylo možné provést hodnocení procesu, musí se v prvním kroku zvolit znak kvality výrobku sledovaného výrobního procesu. U měřitelných znaků kvality se za znak volí důležitá hodnota pro daný výrobek, jež může určovat přímo zákazník z hlediska návaznosti ve výrobním procesu nebo z hlediska vlastnosti, která musí být splněna pro správnou funkci výrobku. Hodnotu získáme z výrobní

dokumentace jako je výkres výrobku, na který se uvádějí např. toleranční meze nebo drsnosti.

2) Analýza systému měření

Před zahájením získávání údajů je nutné analyzovat systém měření a na základě této analýzy určit a ověřit, zda je zvolený systém měření vhodný pro zvolený znak. Jinak by mohlo dojít ke špatnému vyhodnocení způsobilosti procesu. Podrobněji je analýza systému měření popsána v kapitole 6.

3) Získávání údajů

Získávání údajů zvoleného znaku pomocí vhodného systému měření by mělo být z probíhajícího procesu v určitém časovém období. Toto období by mělo být tak dlouhé, aby se v něm projevil všechny zdroje variability, což znamená běžný výrobní proces se změnou obsluhy, různé šarže materiálu nebo polotovaru, prostředí, parametry výroby. Také by během tohoto procesu mělo dojít k údržbě a seřízení výrobního zařízení, protože způsobilost výrobního zařízení se časem také mění. V průběhu takového procesu se ve stanovených intervalech odebírají údaje alespoň 25 podskupin výrobků, kde každá podskupina při hodnocení způsobilosti procesu pro měřitelné znaky kvality by měla obsahovat 4 nebo 5 výrobků. Získávání údajů se nejčastěji používá pro hodnocení způsobilosti procesu ještě před zavedením výroby a následně po zavedení výroby za skutečných podmínek probíhajícího výrobního procesu.

4) Rozhodnutí (posouzení) o statistické zvládnutelnosti procesu

Před výpočtem indexů způsobilosti potřebných pro hodnocení způsobilosti procesu je potřeba uvést proces do statisticky zvládnuté fáze. Zjistíme-li, že získané hodnoty neobsahují pouze variabilitu náhodných příčin, ale vyskytuje se zde i variabilita vymezitelných příčin, je nutné tyto vymezitelné příčiny odstranit. K ověřování statické zvládnutelnosti procesu a odstraňování vymezitelných příčin se používají regulační diagramy, ze kterých je možné rozpoznat vymezitelné příčiny od náhodných.

5) Ověření normality sledovaného znaku kvality

Pro hodnocení způsobilosti se používají indexy způsobilosti, které je možno použít pouze za předpokladu, že sledovaný znak kvality splňuje normální rozdělení. Přibližné ověření normality sledovaného znaku kvality je možné z tvaru vytvořeného histogramu. Přesnější je test vyhodnocení špičatosti a šikmosti ze získaných hodnot. Některé testy normality jsou popsány v kapitole 7. Jestliže hodnoty sledovaného znaku kvality neodpovídají normálnímu rozdělení, je možné použít jiné. Zároveň je nutné využít jiné vztahy pro výpočet indexů způsobilosti.

6) Indexy způsobilosti procesu

K hodnocení způsobilosti procesu se využívají indexy způsobilosti, které udávají potenciální a skutečnou schopnost procesu trvale poskytovat výrobky ve vyhovujících tolerančních mezích. Těmito indexy způsobilosti jsou C_p , C_{pk} a C_{pm} . [3][6]

5.2.1 Index způsobilosti C_p

Index způsobilosti C_p je potenciální schopnost procesu udržet hodnotu sledovaného znaku kvality uvnitř oboustranných tolerančních mezí. Tento index je poměr mezi maximální dovolenou a skutečnou variabilitou získaných hodnot znaku kvality bez závislosti na tom, jak jsou umístěny uvnitř tolerančního pole. Ve výsledku tedy vyjadřuje, čeho můžeme dosáhnout.

Výpočet indexu způsobilosti C_p je:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} ; \quad (5.1)$$

kde:

USL je horní toleranční mez,

LSL je dolní toleranční mez,

σ je směrodatná odchylka, viz rovnice (5.2) až (5.4).

Jelikož většinou není k dispozici směrodatná odchylka základního souboru, tak se vypočítává z průměrné variability podskupin.

Výpočty směrodatné odchyly σ ze získaných hodnot z podskupin jsou:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} ; \quad (5.2)$$

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{C_4} ; \quad (5.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k s_j^2}{k}} ; \quad (5.4)$$

kde:

\bar{R} je aritmetický průměr z výběrových variačních rozpětí jednotlivých podskupin, viz rovnice (4.6),

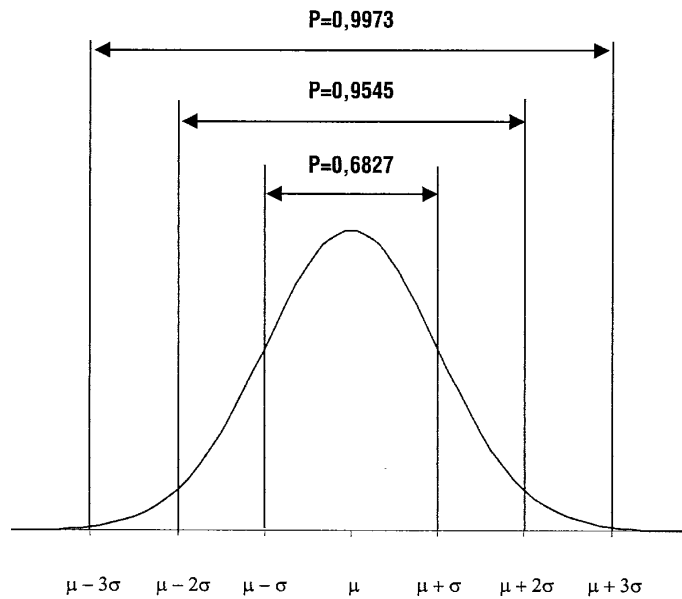
\bar{s} je aritmetický průměr z výběrových směrodatných odchylek jednotlivých podskupin, viz rovnice výpočtu výběrové směrodatné odchyly (7.2),

d_2 a C_4 jsou koeficienty závislé na rozsahu podskupiny (viz příloha 1),

s_j^2 je výběrový rozptyl hodnot v j -té podskupině, viz rovnice (7.8),

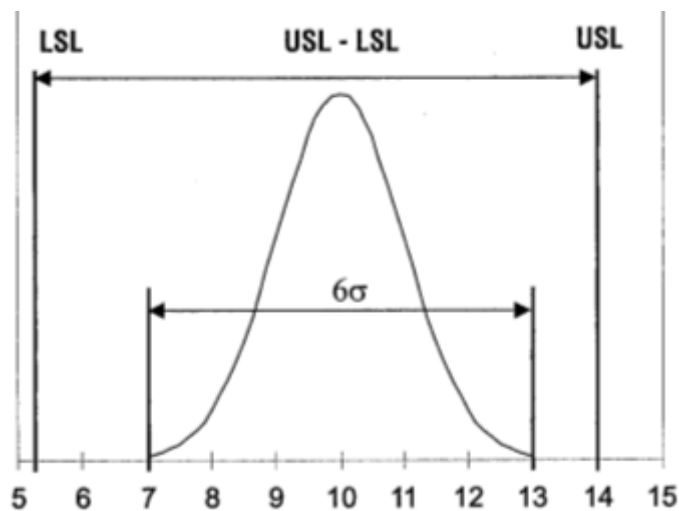
k je počet podskupin.

Z rovnice (5.1) je zřejmé, že skutečná variabilita sledovaného znaku kvality je 6σ , což při normálním rozdělení znamená pravděpodobnost, že 99,73 % hodnot leží v daném tolerančním rozmezí. V případě, kdy je index $C_p = 1$, víme, že střední hodnota sledovaného znaku kvality je ve středu tolerančního pole a pravděpodobnost neshodných kusů na výstupu z procesu je 0,27 %. Další pravděpodobnosti s rozdílnou vzdáleností od střední hodnoty jsou zobrazeny na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Zobrazení pravděpodobností výskytu hodnot v daných rozmezích při normálním rozdělení sledovaného znaku kvality [3]

Potřebné charakteristiky pro výpočet indexu způsobilosti C_p jsou graficky zobrazeny na obrázku 5.2. [3][6]



Obrázek 5.2: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_p [3]

5.2.2 Index způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} zobrazuje variabilitu sledovaného znaku kvality, stejně jako index způsobilosti C_p . Oproti indexu C_p zobrazuje dokonce i jeho polohu vzhledem k tolerančním mezím, což není potenciální charakteristika, ale skutečná

způsobilost procesu dodržovat určité toleranční meze. Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je poměr vzdálenosti střední hodnoty daného znaku kvality od bližší toleranční meze k polovině skutečné variability hodnot, proto je ho možné použít v případě oboustranné i jednostranné tolerance. Ve výsledku vyjadřuje, čeho jsme skutečně dosáhli.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pk} je:

$$C_{pk} = \min\{C_{pkU}; C_{pkL}\}; \quad (5.5)$$

kde:

C_{pU} je C_{pk} jednostranné tolerance, a to horní toleranční meze,

C_{pL} je C_{pk} jednostranné tolerance, a to dolní toleranční meze.

Dosazením vzorců pro výpočet indexů způsobilosti C_{pU} a C_{pL} získáme:

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right\}; \quad (5.6)$$

kde:

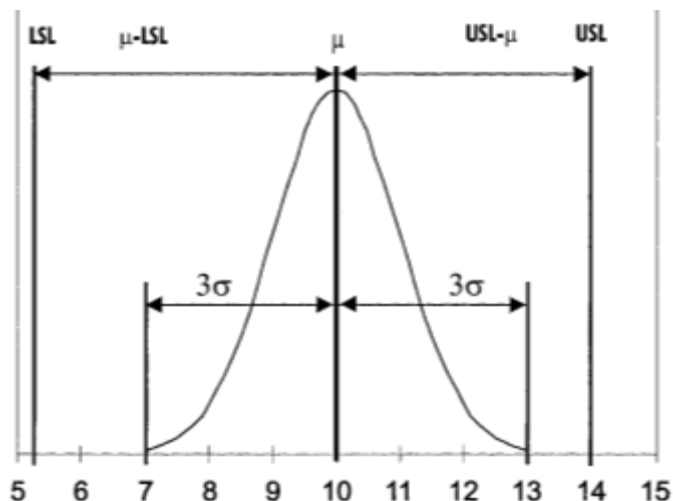
USL je horní toleranční mez,

LSL je dolní toleranční mez,

μ je střední hodnota sledovaného znaku kvality (např. aritmetický průměr z výběrových aritmetických průměrů \bar{x} , viz rovnice (4.3)),

σ je směrodatná odchylka, viz rovnice (5.2) až (5.4).

Potřebné charakteristiky pro výpočet indexu způsobilosti C_{pk} jsou graficky zobrazeny na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_{pk} [3]

Vztah mezi indexy způsobilosti C_{pk} a C_p je:

$$C_{pk} = C_p - \frac{|USL + LSL - 2\mu|}{6\sigma}; \quad (5.7)$$

z čehož je zřejmé, že mezi C_{pk} a C_p platí nerovnost:

$$C_p \geq C_{pk}. \quad (5.8)$$

Rozdíl mezi těmito indexy je tím vyšší, čím více je střední hodnota znaku kvality vzdálena od středu tolerančního pole. Z čehož plyne, že tyto dva indexy způsobilosti jsou si rovny jenom, když je střední hodnota znaku kvality přímo ve středu tolerančního pole. [3][6]

5.2.3 Index způsobilosti C_{pm}

Pomocí indexu způsobilosti C_{pm} je možné porovnat dovolenou variabilitu znaku kvality, která je daná šířkou tolerančního pole se skutečnou variabilitou cílové hodnoty T (většinou střed tolerančního pole). Je tedy možné sledovat variabilitu znaku kvality i míru toho, jak byla dosažena cílová neboli optimální hodnota. Využití tohoto indexu je pouze při oboustranné toleranci a zároveň by měla být cílová hodnota uprostřed tolerančního pole.

Výpočet indexu způsobilosti C_{pm} je:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \quad (5.9)$$

kde:

USL je horní toleranční mez,

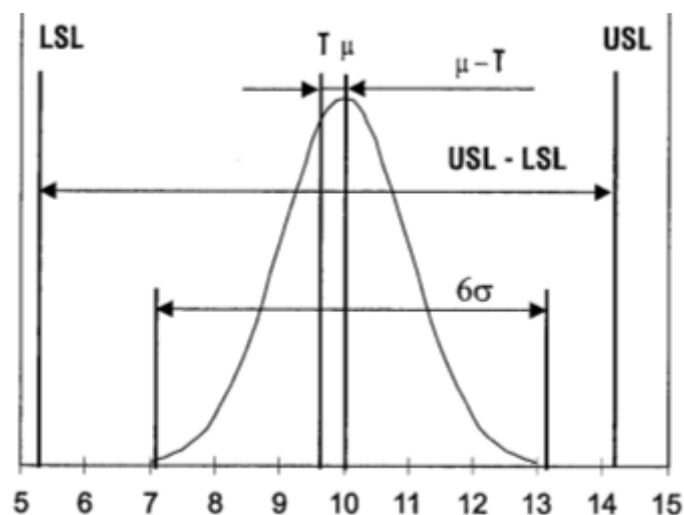
LSL je dolní toleranční mez,

σ je směrodatná odchylka, viz rovnice (5.2) až (5.4),

μ je střední hodnota sledovaného znaku kvality (např. aritmetický průměr z výběrových aritmetických průměrů \bar{x} , viz rovnice (4.3)),

T je cílová neboli optimální hodnota.

Potřebné charakteristiky pro výpočet indexu způsobilosti C_{pm} jsou graficky zobrazeny na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_{pm} [3]

Vztah mezi indexy způsobilosti C_{pm} a C_p je:

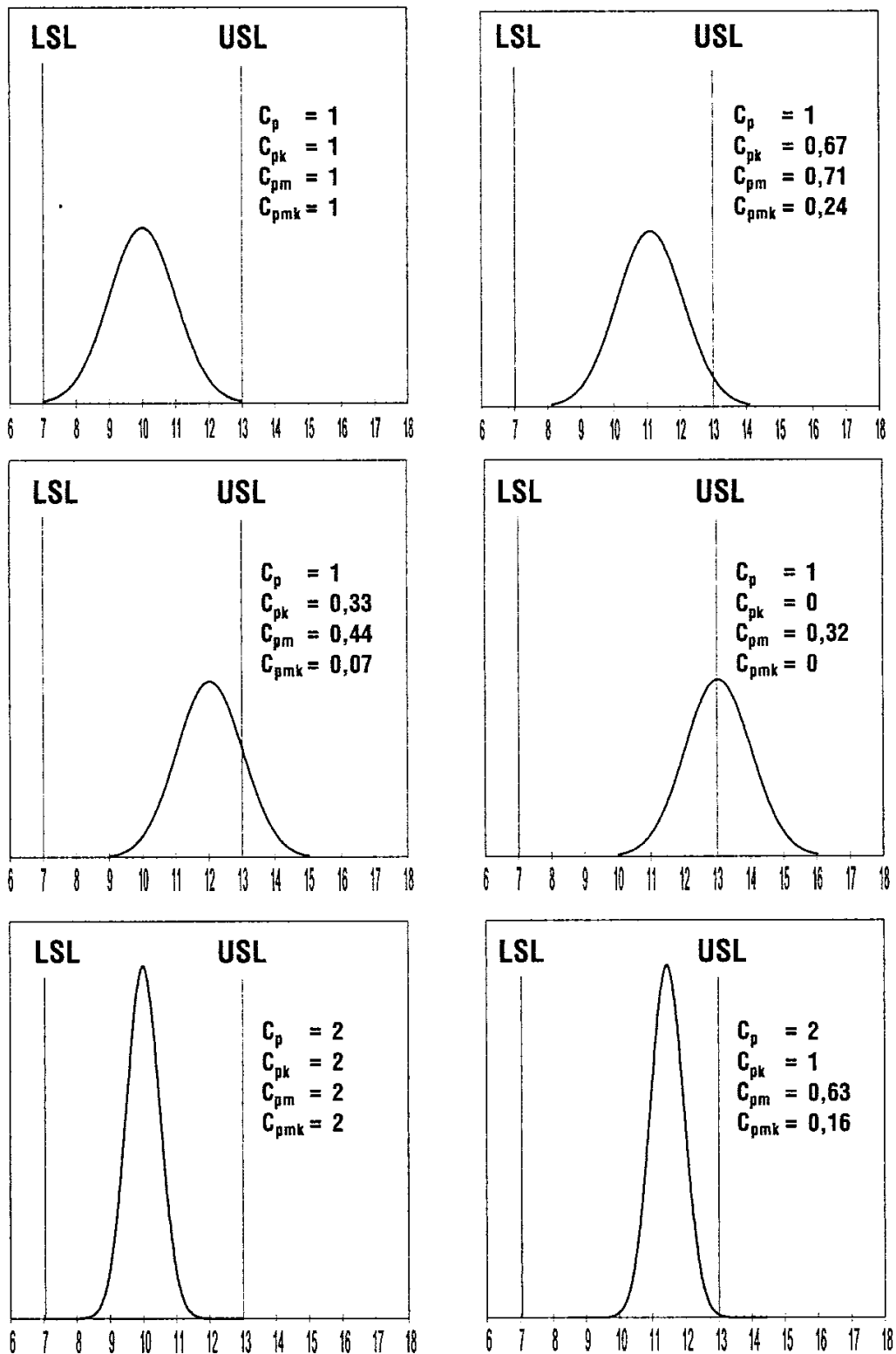
$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}} ; \quad (5.10)$$

z čehož je zřejmé, že mezi C_{pm} a C_p platí nerovnost:

$$C_p \geq C_{pm} ; \quad (5.11)$$

Tyto dva indexy způsobilosti jsou si rovny v případě, když je střední hodnota znaku kvality přímo v cílové hodnotě.

Rozdíly ve vypovídacích schopnostech indexů způsobilosti jsou zobrazeny na obrázku 5.5. [3][6]



Obrázek 5.5: Zobrazení odlišných rozdělení hodnot sledovaného znaku kvality v tolerančním rozmezí a k nim příslušné indexy způsobilosti v případě, kdy je cílová hodnota $T = 10$ [3]

5.2.4 Vyhodnocení indexů způsobilosti

Hodnocení způsobilosti se většinou vztahuje k hodnotě indexu způsobilosti C_{pk} , protože tento index je charakteristikou způsobilosti procesu vyrábět v předepsaných tolerančních mezích. V dnešní době se považuje proces za způsobilý, když je index $C_{pk} \geq 1,33$, což je požadavek na střední hodnotu, které v tomto případě musí ležet ve vzdálenosti nejméně 4σ od tolerančních mezí. Některé firmy mají požadavek na plnění indexu $C_p \geq 2$, který odpovídá hodnotě 6σ a připouští se kolísání střední hodnoty procesu o $\pm 1,5\sigma$ u hodnoty C_{pk} , což činí $C_{pk} \geq 1,5$.

Pokud není proces způsobilý, z důvodu posunutí střední hodnoty oproti středu tolerančních polí, když $C_p \geq 1,33$ a $C_{pk} < 1,33$, je možné proces lépe nastavit vůči tolerančním mezím, nejlépe na jejich střed. Pokud se jedná o vysokou variabilitu měřeného znaku kvality, když $C_p < 1,33$ a $C_{pk} < 1,33$, je nutné ji snížit. Snížení je možné dosáhnout změnou technologie. [3]

5.3 Hodnocení výkonnosti procesu

Jestliže proces není statisticky zvládnutý, nemůžeme vyhodnotit jeho způsobilost, ale lze vyhodnotit jeho skutečné chování pomocí výkonnosti procesu (proces performance). Jeho využití by mělo být aplikováno pouze v případě, pokud není možné zajistit statistickou zvládnutelnost. Ze získaných výsledků je možné zjistit, jak se proces v minulosti choval, nelze tedy předpovídat jeho chování v budoucnosti. I když bude proces výkonný, nemusí být způsobilý.

Při hodnocení výkonnosti procesu se dodržují stejné postupy jako u hodnocení způsobilosti procesu až na výjimku splnění podmínky statistické zvládnutelnosti. Nicméně ověření normality pro výpočet indexů výkonnosti je zde stejně důležité jako u indexů způsobilosti, což může být problém, není-li splněna statistická zvládnutelnost, protože působení vymezitelných příčin, které zde zůstávají, obvykle narušují normalitu vyhodnocovaných dat. Pokud je splněna normalita sledovaného znaku kvality, mohou se indexy způsobilosti vypočítat podle podobných vztahů jako indexy způsobilosti. S rozdílem výpočtu směrodatné

odchylky, která se vypočítá pomocí výběrové směrodatné odchylky (totální neboli celkové):

$$\sigma_{tot} \approx s_{tot} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad (5.12)$$

kde:

$\bar{x} = \mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ je aritmetický průměr všech naměřených hodnot.

n je celkový počet naměřených hodnot.

Indexy výkonnosti:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{tot}}; \quad (5.13)$$

$$P_{pk} = \min\{P_{pU}; P_{pL}\} = \min\left\{\frac{USL - \mu}{3\sigma_{tot}}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{tot}}\right\}; \quad (5.14)$$

$$P_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sqrt{\sigma_{tot}^2 + (\mu - T)^2}}. \quad (5.15)$$

Uvedené vzorce jsou pro výpočet parametrů v případě, že se jedná o statistický soubor bez podskupin.

Vždy platí:

$$P_p \geq P_{pk}; P_p \geq P_{pm}; \quad (5.16)$$

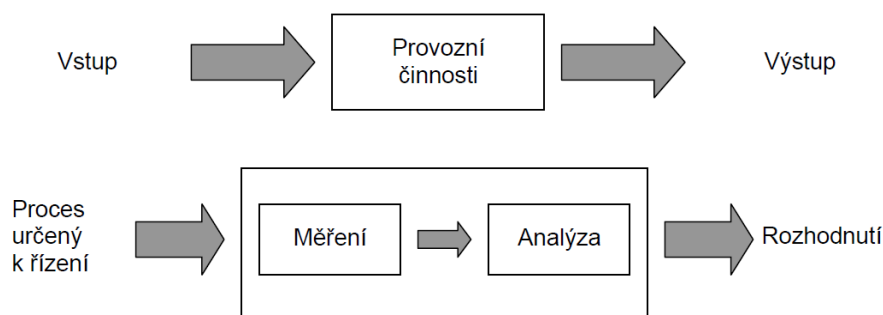
$$C_p \geq P_p; C_{pk} \geq P_{pk}; C_{pm} \geq P_{pm}. \quad (5.17)$$

Jednotlivé parametry jsou okomentovány v podkapitolách 5.2.1 až 5.2.3. [3][6]

6 Analýza systému měření

Analýza systému měření, známá jako MSA (Measurement System Analysis) je důležitá k efektivnímu řízení výrobního procesu, kdy je potřeba znát, jak má vypadat ideální proces, jak se má chovat, co ho může ovlivňovat a jak se doopravdy tento proces chová. To, jak má vypadat ideální proces na výstupu, definují specifikace a technické požadavky ve výrobní dokumentaci výrobku. Hodnocením parametrů nebo výsledků procesu zjistíme, jak se proces doopravdy chová. Tyto parametry procesu získáme pomocí kontrolní činnosti, která se využívá s použitím etalonů a měřících zařízení při kontrole rozpracovaných nebo již dokončených výrobků. Výslednou analýzou získaných dat zjistíme, zda je proces stabilní a jeho variabilita je přijatelná s cílovou hodnotou.

Kontrolní činnost je proces, u kterého je vstupem proces určený k řízení. Provozní činnost se skládá z měření a analýzy. Konečnou částí je výstup v podobě rozhodnutí. Kontrolní činnost jako proces je zobrazena na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1: Schéma kontrolní činnosti jako procesu [6]

Důležitou podmínkou analýzy systému měření je operátor-metrolog, který musí být zkušený a vědět, jak správně zacházet s měřícím zařízením, analyzovat získaná data a interpretovat konečné výsledky.

Při pečlivém dodržení podmínek měření se mohou naměřené hodnoty od sebe i od cílové hodnoty lišit. Z tohoto důvodu dělíme chyby měření na hrubé, vymezipitelné a náhodné. Hrubé chyby jsou často způsobeny operátorem, který chybně odečítal, zapisoval, nebyl pozorný nebo zkušený. Další hrubé chyby mohou být způsobeny měřícím zařízením při vzniku závady, vůle nebo nečistoty, a také okolními vlivy jako je teplota, vlhkost, otřesy atd. Pokud taková chyba nastane

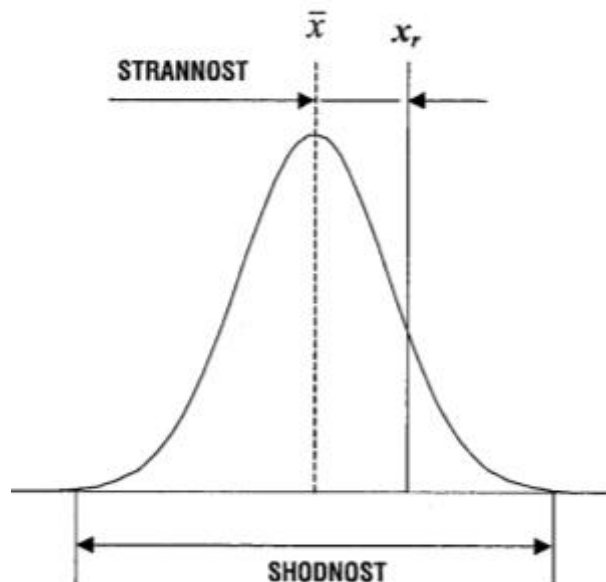
a známe její příčinu, je nutné ji odstranit a zabránit jejímu opakování. Poté se musí provést nové měření.

Ověříme-li, že získané hodnoty mají normální rozdělení, je možné pracovat s výběrovými charakteristikami. Nejlepší možné odhady parametrů, které charakterizují polohu souboru, jsou aritmetický průměr nebo medián. Za odhady parametrů charakterizující rozptýlení hodnot okolo hodnoty charakterizující polohu se považuje výběrová směrodatná odchylka nebo výběrové rozpětí. [6]

Kvalita systému měření, čímž se rozumí soubor operací, postupů, měřidel, atd. potřebných k získávání údajů o měření, se posuzuje podle statistických vlastností, kde jednotlivé druhy chyb lze rozlišovat jako odchylky. Tyto nejčastější odchylky jsou charakterizovány jako strannost, shodnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, stabilita a linearita.

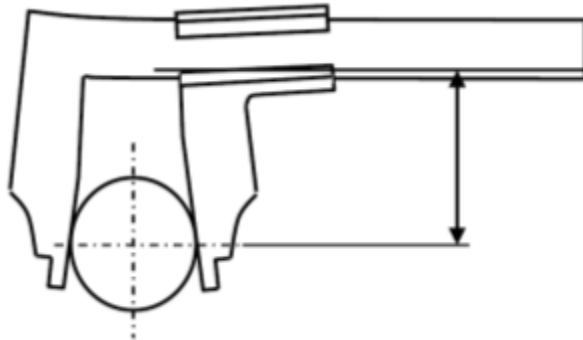
Strannost

Strannost neboli vychýlení měření je rozdíl mezi aritmetickým průměrem naměřených hodnot a cílovou neboli referenční hodnotou, zobrazeno na obrázku 6.2. Naměřené hodnoty musí být získány z opakovaného měření jednoho znaku kvality.



Obrázek 6.2: Strannost a shodnost, kde \bar{x} je aritmetický průměr opakovaných měření a x_r je referenční hodnota [3]

Strannost měření představuje celkovou systematickou chybu měření a může být způsobena špatným seřízením nebo opotřebením měřícího zařízení, což je možné eliminovat pomocí kalibrace měřícího zařízení. Příčinou může být i operátor, který hodnoty zaokrouhloval směrem nahoru nebo dolů. Při odečítání z ručičkových měřidel mohlo nastat, že operátor odečítal hodnoty ze špatného úhlu a jeho získané hodnoty byly zkresleny, čemuž se říká paralaxní chyba. Další chybou může být při dotykovém měření použitá měřicí síla, která způsobí deformaci měřeného objektu nebo přímo měřícího zařízení, které je zobrazeno na obrázku 6.3.



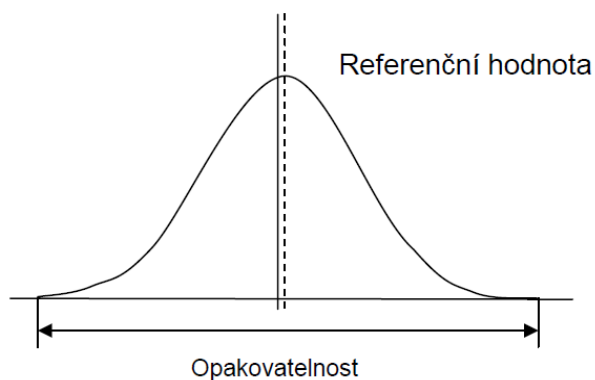
Obrázek 6.3: Zobrazení možné deformace u posuvného měřítka, podobně je možné u dalšího měřícího zařízení jako např. mikrometr [6]

Shodnost

Shodnost měření představuje variabilitu výsledků opakovaného měření stejného znaku kvality. Mírou shodnosti tohoto měření je jeho neshodnost, která je vyjadřována pomocí směrodatné odchylky z výsledků měření popřípadě oblasti skutečné variability výsledků měření (např. 6σ). Jedná se tedy o charakteristiku působení náhodných chyb při měření. Shodnost je zobrazena na obrázku 6.2.

Opakovatelnost

Opakovatelnost měření je shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti, kde podmínky opakovatelnosti jsou podmínky, kdy měřené hodnoty jsou získávány stejným operátorem, za stejných definovaných podmínek, stejnou metodou měření, ze stejného znaku kvality, v co nejkratším časovém rozmezí a při použití stejného měřícího zařízení. Opakovatelnost je zobrazena na obrázku 6.4.

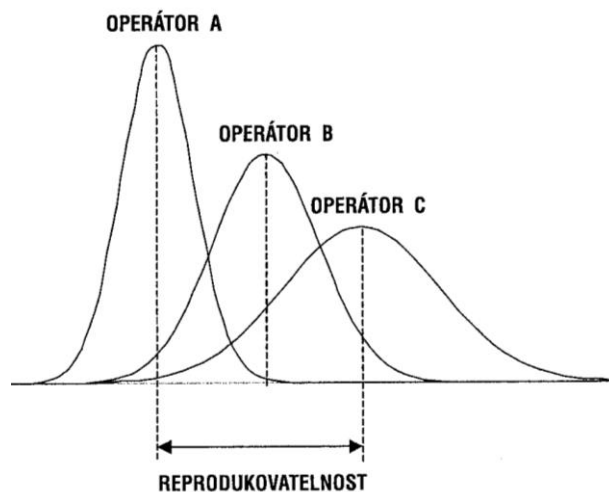


Obrázek 6.4: Opakovatelnost měření [6]

Opakovatelnost měření nelze eliminovat, protože je vyvolána náhodnými příčinami, ale v některých případech je možné ji zlepšit např. stabilními podmínkami jako je stálá teplota, vlhkost, měřicí síla, potlačení případných vibrací, atd.

Reprodukovatelnost

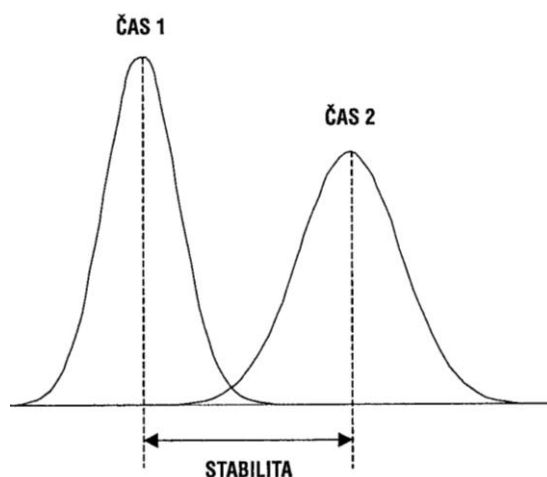
Reprodukovatelnost měření vyjadřuje variabilitu středních hodnot (např. aritmetických průměrů) u opakovaných měření stejného znaku kvality, ale za odlišných podmínek. Jako nejčastější odlišnou podmínkou bývají různí operátoři, kteří provádějí měření, zde se jedná o variabilitu mezi operátory. Ostatní podmínky už musejí být stejné tak, aby jediné co není možné eliminovat, byly individuální vlivy operátorů. Toto platí pouze pro ruční měřicí zařízení, které mohou ovlivnit operátoři, nikoliv pro procesy měření s automatizovanými systémy, kde není operátor hlavní příčinou vzniku variability. Možnou situací je, že jeden operátor měří pomocí různých měřidel nebo na různých měřicích pracovištích. Reprodukovatelnost je zobrazena na obrázku 6.5.



Obrázek 6.5: Reprodukovanost měření [3]

Stabilita

Stabilitou neboli stálostí se rozumí udržení předem nastavené hodnoty na určité úrovni. Jedná se o celkovou variabilitu naměřených hodnot stejného znaku kvality v delším časovém rozmezí. Počet měření může omezovat stabilita měřidla, která může být závislá např. na čase, teplotě, atd. Pokud je stabilita měřidla malá, je nutné časté kalibrování. Stabilita je zobrazena na obrázku 6.6.



Obrázek 6.6: Stabilita měření [3]

Linearita

Linearita měření je rozdíl mezi hodnotami strannosti v určitém pracovním rozsahu měřidla a vztahuje se pouze k některým typům měřidel (např. indukční snímače délek), kde dochází ke snížení pracovního rozsahu zvyšující se rozlišovací schopností, která nemusí mít pouze lineární průběh.

Hodnocení systému měření

K analýze a následnému hodnocení systému měření se používají různé postupy. Jeden z nich je zaměřen na hodnocení způsobilosti systému měření v podmínkách opakovatelnosti, druhý je orientován na analýzu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. [3][6]

6.1 Hodnocení systému měření pomocí indexů způsobilosti

Hodnocením systému měření pomocí indexů způsobilosti lze posoudit strannost a shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti, což je důležité pro rozhodování o vhodnosti daného systému měření k měření určitého znaku kvality v daných tolerancích, což bývá označováno jako hodnocení způsobilosti měřícího zařízení. Při tomto postupu se získávají hodnoty opakovaným měřením etalonu, u něhož odpovídá jmenovitá hodnota středu tolerančního rozpětí. Tato metoda vyžaduje alespoň 25 opakovaných měření.

Získaná data se prvně zobrazí v průběhovém diagramu, pomocí kterého je možné zjistit, jestli měření není ovlivněno vymežitelnými (nenáhodnými) příčinami variability, zda průběh získaných hodnot nevykazuje např. trendy, periodicitu, atd. Pokud naměřené hodnoty vykazují vymežitelné příčiny, je potřeba je rozpoznat, odstranit a zajistit, aby se již neopakovaly. Poté se soubor měření provede znovu. V případě, že hodnoty nevykazují vymežitelné příčiny, je před výpočtem indexů způsobilosti podmínkou ověření normality naměřených hodnot. [3]

6.2 Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření

Během praktické realizace měření často není možné zajistit stálé podmínky měření, tedy podmínky opakovatelnosti. Nejčastěji mění se podmínkou je změna

operátora, který provádí dané měření. Pokud k takové situaci dojde, provádí se hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření.

Jednou z metod hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření je metoda průměru a rozpětí (variability) výrobního procesu. Tato metoda se skládá z přípravné fáze, vlastního měření a vyhodnocení analýzy.

Přípravná fáze

Přípravná fáze analýzy systému měření slouží k ověření, zda je měřena správná veličina. K měření by se mělo použít měřidlo o dostatečné rozlišovací schopnosti, tedy alespoň o jednu desetinu přesnější odečítání než je variabilita sledovaného znaku. Dále je potřeba určit základní parametry analýzy systému měření, čímž se myslí počet operátorů, kteří budou měřením získávat data pro analýzu, počet měřených kusů a počet opakovaných měření každého kusu. Nejčastěji se jedná o 3 operátory, 10 kusů a 2 až 3 opakování. Měřené kusy, které budou součástí analýzy měření systému, se před vlastním měřením zřetelně očíslojí, aby nedošlo k jejich záměně.

Vlastní měření

Vlastní měření daných kusů se již provádí na pracovišti s měřícím zařízením za předpokladu, že všichni operátoři budou používat stejný postup měření. Měření probíhá v náhodném pořadí, aby operátoři nevěděli při opakovaném měření, který kus měří a neznali tak jeho předchozí naměřený rozměr. Pro splnění těchto podmínek je potřeba, aby dohlížel na měření pověřený pracovník, který bude zároveň zapisovat získané hodnoty.

Jednotlivá označení naměřených hodnot ve tvaru x_{ijk} , kde:

$i \in \langle 1; h \rangle$ je označení operátora a h je celkový počet operátorů,

$j \in \langle 1; r \rangle$ je číslo měřeného kusu a r je celkový počet měřených kusů,

$k \in \langle 1; n \rangle$ je pořadí opakovaného měření a n je celkový počet opakovaného měření stejného kusu a stejným operátorem.

Tabulka 1: Tabulka pro naměřené hodnoty a jejich vyhodnocení při analýze opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření v případě 2 operátorů, 10 měřených kusů a 2 opakovaných měření každého kusu [3]

Operátor (i)	Pořadí měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										\bar{x}_{ik}	\bar{x}_i \bar{R}_i
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	1	x_{111}	x_{121}	x_{131}	x_{141}	x_{151}	x_{161}	x_{171}	x_{181}	x_{191}	x_{1101}	\bar{x}_{11}	
	2	x_{112}	x_{122}	x_{132}	x_{142}	x_{152}	x_{162}	x_{172}	x_{182}	x_{192}	x_{1102}	\bar{x}_{12}	
	\bar{x}_{ij}	\bar{x}_{11}	\bar{x}_{12}	\bar{x}_{13}	\bar{x}_{14}	\bar{x}_{15}	\bar{x}_{16}	\bar{x}_{17}	\bar{x}_{18}	\bar{x}_{19}	\bar{x}_{110}		\bar{x}_1
	R_{ij}	\bar{R}_{11}	\bar{R}_{12}	\bar{R}_{13}	\bar{R}_{14}	\bar{R}_{15}	\bar{R}_{16}	\bar{R}_{17}	\bar{R}_{18}	\bar{R}_{19}	\bar{R}_{110}		\bar{R}_1
2	1	x_{211}	x_{221}	x_{231}	x_{241}	x_{251}	x_{261}	x_{271}	x_{281}	x_{291}	x_{2101}	\bar{x}_{21}	
	2	x_{212}	x_{222}	x_{232}	x_{242}	x_{252}	x_{262}	x_{272}	x_{282}	x_{292}	x_{2102}	\bar{x}_{22}	
	\bar{x}_{ij}	\bar{x}_{21}	\bar{x}_{22}	\bar{x}_{23}	\bar{x}_{24}	\bar{x}_{25}	\bar{x}_{26}	\bar{x}_{27}	\bar{x}_{28}	\bar{x}_{29}	\bar{x}_{210}		\bar{x}_2
	R_{ij}	\bar{R}_{21}	\bar{R}_{22}	\bar{R}_{23}	\bar{R}_{24}	\bar{R}_{25}	\bar{R}_{26}	\bar{R}_{27}	\bar{R}_{28}	\bar{R}_{29}	\bar{R}_{210}		\bar{R}_2
	\bar{x}_j	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	\bar{x}_5	\bar{x}_6	\bar{x}_7	\bar{x}_8	\bar{x}_9	\bar{x}_{10}		

Vyhodnocení analýzy

Nejprve se vyhodnocuje, zda je proces měření z hlediska variability opakování měření, který je měřen jednotlivými operátory, statisticky zvládnutý. Pro takové vyhodnocení se využívá regulační diagram pro hodnoty variačního rozpětí opakovaných měření.

Z již naměřených hodnot se prvně vypočítají variační rozpětí opakovaných měření u jednotlivých kusů naměřených jednotlivými operátory, které budou vynášeny do regulačního diagramu. Výpočet tohoto variačního rozpětí:

$$R_{ij} = \max x_{ijk} - \min x_{ijk} ; k \in \langle 1; n \rangle ; \quad (6.1)$$

kde:

$\max x_{ijk}$ je maximální hodnota zopakovaných měření určitého kusu daným operátorem,

$\min x_{ijk}$ je minimální hodnota zopakovaných měření určitého kusu daným operátorem.

Dále se vypočítají aritmetické průměry z variačních rozpětí opakovaných měření získané jednotlivými operátory podle vztahu:

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{j=1}^r R_{ij}}{r}; \quad (6.2)$$

kde:

R_{ij} jsou variační rozpětí opakovaných měření jednotlivých kusů danými operátory,

r je celkový počet měřených kusů.

Centrální přímka CL regulačního diagramu je rovna aritmetickému průměru variačního rozpětí opakovaných měření pro všechny operátory a vypočítá se podle vzorce:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{i=1}^h R_i}{h}; \quad (6.3)$$

kde:

R_i jsou hodnoty aritmetického průměru z variačních rozpětí opakovaných měření získané měřením jednotlivými operátory.

h je celkový počet operátorů.

Horní regulační mez UCL a dolní regulační mez LCL regulačního diagramu pro variační rozpětí opakovaných měření se počítají jako:

$$UCL = D_4 \cdot \bar{\bar{R}}; \quad (6.4)$$

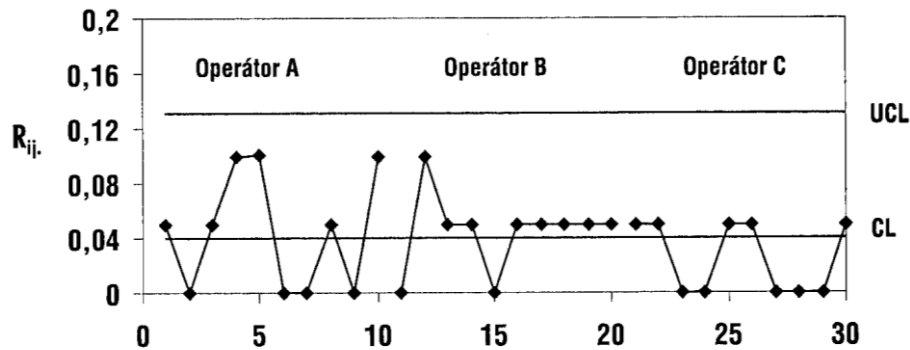
$$LCL = D_3 \cdot \bar{\bar{R}}; \quad (6.5)$$

kde:

D_4, D_3 jsou koeficienty, které odpovídají danému rozsahu podskupiny, tedy počtu opakovaných měření jednotlivých kusů danými operátory, nejčastěji je n rovno 2 nebo 3. Obvykle, když je počet opakovaných měření jednotlivých kusů menší nebo rovno 6, tedy $n \leq 6$, je koeficient D_3 roven nule a tím pádem se dolní regulační mez LCL nezobrazuje. Dané koeficienty pro příslušné rozsahy podskupin jsou součástí přílohy 1.

Nakonec se regulační meze, centrální přímka a variační rozpětí opakovaných měření získaných od jednotlivých operátorů vynesou do regulačního diagramu

a provede se analýza. Aby se mohl proces měření prohlásit za statisticky zvládnutý, musí všechna variační rozpětí ležet mezi regulačními mezemi, jak je zobrazeno na obrázku 6.7.



Obrázek 6.7: Regulační diagram variačních rozpětí využívaný pro rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu měření z pohledu variability opakovaných měření [3]

Pokud se v procesu měření objeví vymezitelné příčiny, tak proces není statisticky zvládnutý. Jestliže je problém pouze u jednoho operátora, je možné, že použil jinou metodu měření a je nutné ji sjednotit a tento operátor by měl měření provést znovu. Pokud se vymezitelné příčiny objevují u všech operátorů, je nejspíše systém měření příliš citlivý na činnost operátora a je potřeba provést jeho nápravu.

Opakovatelnost měření

V případě, že je systém měření statisticky zvládnutý, lze pokračovat ve výpočtu opakovatelnosti měření (EV – Equipment Variation) dle vztahu:

$$EV = \sigma_e = \bar{\bar{R}} \cdot K_1 = \bar{\bar{R}} \cdot \frac{1}{d_{2(EV)}^*}; \quad (6.6)$$

kde:

σ_e je směrodatná odchylka opakovatelnosti,

$\bar{\bar{R}}$ je aritmetický průměr variačního rozpětí opakovaných měření pro všechny operátory,

$d_{2(EV)}^*$ je koeficient d_2^* , který je závislý na počtu opakování měření m a celkovému počtu měřených kusů násobený počtem operátorů g , viz příloha 2.

Ve starších publikacích jako např. zdroj [3] mají konstanty K_1 , K_2 , K_3 odlišné hodnoty od hodnot uváděných v novějších publikacích, protože jejich výpočet vycházel ze vztahu:

$$K_i = \frac{5,15}{d_2^*}; \quad (6.7)$$

kde:

hodnota 5,15 vychází z předpokladu 5,15 sigma, ale ve skutečnosti tato hodnota měla být 2,575, protože 99 % celé plochy pod křivkou normovaného normálního rozdělení představují na vodorovné ose body $-2,575\sigma$ a $2,575\sigma$. Z tohoto důvodu se v novějších publikacích uvádí klasický odhad směrodatné odchylky pomocí výběrového rozpětí jako:

$$\sigma = \bar{R} \cdot \frac{1}{d_2^*}. \quad (6.8)$$

Reprodukovatelnost měření

Dalším krokem je výpočet a vyhodnocení reprodukovatelnosti měření, která charakterizuje variabilitu mezi operátory. Nejprve se stanoví aritmetické průměry opakovaných měření jednotlivých kusů daných operátorů podle vzorce:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n x_{ijk}}{n}; \quad (6.9)$$

kde:

x_{ijk} jsou hodnoty získané opakovaným měřením určitého kusu daným operátorem,

n je celkový počet opakovaného měření stejného kusu stejným operátorem.

Následně se určí aritmetické průměry u měření všech kusů jednotlivými operátory, které využívají aritmetické průměry opakovaných měření jednotlivých kusů danými operátory, dle vztahu:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^r \bar{x}_{ij}}{r}; \quad (6.10)$$

kde:

\bar{x}_{ij} jsou aritmetické průměry opakovaných měření jednotlivých kusů daných operátorů,

r je celkový počet měřených kusů.

Z těchto výsledků můžeme určit variační rozpětí aritmetických průměrů u měření všech kusů jednotlivými operátory:

$$R_0 = \max \bar{x}_i - \min \bar{x}_i ; i \in \langle 1; h \rangle ; \quad (6.11)$$

kde:

$\max \bar{x}_i$ je maximální hodnota z aritmetických průměrů měření všech kusů jednotlivými operátory,

$\min \bar{x}_i$ je minimální hodnota z aritmetických průměrů měření všech kusů jednotlivými operátory,

h je celkový počet operátorů.

Díky hodnotě variačního rozpětí aritmetických průměrů R_0 je možné vyhodnotit reprodukovatelnost měření (AV – Appraiser Variation) jako:

$$AV = \sqrt{\sigma_0^2 - \frac{(EV)^2}{r \cdot n}} = \sqrt{(R_0 \cdot K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{r \cdot n}} = \sqrt{\left(\frac{R_0}{d_{2(AV)}^*}\right)^2 - \frac{(EV)^2}{r \cdot n}} ; \quad (6.12)$$

kde:

σ_0 je směrodatná odchylka reprodukovatelnosti,

R_0 je variační rozpětí aritmetických průměrů u měření všech kusů jednotlivými operátory,

$d_{2(AV)}^*$ je koeficient d_2^* , který je závislý na počtu operátorů $m, g = 1$, viz příloha 2,

EV je opakovatelnost měření,

r je celkový počet měřených kusů,

n je celkový počet opakovaného měření.

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měření

Ze získaných hodnot opakovatelnosti měření EV a reprodukovatelnosti měření AV můžeme vyhodnotit opakovatelnost a reprodukovatelnost měření R&R (Repeatability & Reproducibility), známé také jako GRR (Gage Repeatability & Reproducibility), které se vypočítá podle vztahu:

$$R\&R = GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}. \quad (6.13)$$

R&R je tedy celkový rozptyl naměřených hodnot vyvolaný opakovatelností a reprodukovatelností, který odpovídá součtu rozptylu opakovatelnosti a rozptylu reprodukovatelnosti.

Podíl opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

S pomocí již získaných hodnot EV, AV, R&R můžeme rozhodnout, jakým podílem se na celkovém rozptylu daném opakovatelností a reprodukovatelností podílí pouze samostatná opakovatelnost a samotná reprodukovatelnost. Výsledné podíly je možné vyjádřit i v procentech.

Výpočet podílu opakovatelnosti:

$$p_{EV} = \frac{(EV)^2}{(R\&R)^2} \cdot 100 [\%]. \quad (6.14)$$

Výpočet podílu reprodukovatelnosti:

$$p_{AV} = \frac{(AV)^2}{(R\&R)^2} \cdot 100 [\%]. \quad (6.15)$$

Součtem obou podílů platí:

$$p_{EV} + p_{AV} = 100 [\%]. \quad (6.16)$$

Pokud je vysoký podíl opakovatelnosti p_{EV} , je potřeba hledat příčiny variability v použitém měřicím zařízení, metodě měření nebo nestabilních podmínkách měření.

Jestliže je vysoký podíl reprodukovatelnosti p_{AV} , potom je nutné najít příčiny variability v odlišných přístupech jednotlivých operátorů, jakými jsou např. jejich zkušenosti, znalosti správného měření, odečítání měřených hodnot atd.

Variabilita mezi měřenými kusy

Pouze samotná hodnota opakovatelnosti a reprodukovatelnosti R&R nevyovídá o vhodnosti či nevhodnosti analyzovaného systému měření, protože se nevztahuje k celkové variabilitě. Z tohoto důvodu je potřeba vypočítat variabilitu mezi měřenými kusy, která charakterizuje výrobní rozpětí sledovaného znaku kvality.

Abychom mohli tuto variabilitu vypočítat, potřebujeme v první řadě stanovit aritmetické průměry všech měřených kusů, což je možné s využitím průměrných hodnot opakovaných měření jednotlivých kusů danými operátory:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^h \bar{x}_{ij}}{h}; \quad (6.17)$$

kde:

\bar{x}_{ij} jsou aritmetické průměry opakovaných měření jednotlivých kusů daných operátorů,

h je celkový počet operátorů.

Z těchto výsledků můžeme určit variační rozpětí aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů:

$$R_p = \max \bar{x}_j - \min \bar{x}_j; \quad j \in \langle 1; r \rangle; \quad (6.18)$$

kde:

$\max \bar{x}_j$ je maximální hodnota z aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů,

$\min \bar{x}_j$ je minimální hodnota z aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů,

r je celkový počet měřených kusů.

Výsledné stanovení variability mezi měřenými kusy (PV – Part Variation) se stanoví ze vzorce:

$$PV = \sigma_p = R_p \cdot K_3 = R_p \cdot \frac{1}{d_{2(PV)}^*}; \quad (6.19)$$

kde:

σ_p je směrodatná odchylka hodnot znaku kvality naměřených kusů,

R_p je variační rozpětí aritmetických průměrů všech měření jednotlivých kusů,

$d_{2(PV)}^*$ je koeficient d_2^* , který je závislý na počtu měřených kusů m , $g = 1$, viz příloha 2.

Celková variabilita

Celkovou variabilitu (TV - Total Variation) vzhledem k variabilitě (proměnlivosti) procesu, tedy variabilitě výrobku, lze vypočítat díky předem získaným hodnotám opakovatelnosti EV, reprodukovatelnosti AV a variability mezi měřenými kusy PV dle vzorce:

$$TV = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (PV)^2} = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}; \quad (6.20)$$

nebo vzhledem k tolerančnímu poli výrobku:

$$TV = \frac{USL - LSL}{6}; \quad (6.21)$$

kde:

USL je horní toleranční mez,

LSL je dolní toleranční mez.

Poslední částí vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření je vyjádření opakovatelnosti EV, reprodukovatelnosti AV, variabilita mezi měřenými kusy PV a opakovatelnosti a reprodukovatelnosti R&R měření v procentech z celkové variability TV. Toto vyhodnocení lze vypočítat pomocí vztahů:

$$\%EV = \frac{EV}{TV} \cdot 100 [\%]; \quad (6.22)$$

$$\%AV = \frac{AV}{TV} \cdot 100 [\%]; \quad (6.23)$$

$$\%PV = \frac{PV}{TV} \cdot 100 [\%]; \quad (6.24)$$

$$\%R\&R = \%GRR = \frac{R\&R}{TV} \cdot 100 [\%]. \quad (6.25)$$

Součet těchto podílů neudává dohromady 100 %, protože hodnoty směrodatných odchylek není možné sčítat. Sčítají se tedy pouze hodnoty rozptylů.

Pro závěrečné posouzení vhodnosti systému měření je nejdůležitější procentuální vyjádření podílu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti z celkové variability, tedy %R&R, protože podle této hodnoty se rozhoduje, zda je analyzovaný systém měření přijatelný. Kritéria hodnocení jsou zobrazeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Kritéria hodnocení analyzovaného systému měření [3]

$\%R\&R \leq 10$	System měření je přijatelný.
$10 < \%R\&R \leq 30$	System měření může být přijatelný (důležitost, náklady)
$\%R\&R > 30$	System měření je nutné zlepšit.

Důležité informace při vyhodnocování analyzovaného systému měření zjistíme také z procentuálního výsledku samotné opakovatelnosti měření a samotné reprodukovatelnosti měření, pomocí kterého je možné rozpoznat příčiny variability u používaného systému měření. Další informace o analyzovaném systému měření mohou ukázat grafická znázornění, jako jsou regulační diagramy. [3][6]

7 Ověření normality sledovaného znaku kvality

Variační koeficient

Variační koeficient je ukazatelem variability neboli proměnlivosti, který srovnává variabilitu statistického souboru vzhledem k aritmetickému průměru. Jeho výsledná hodnota je bezrozměrná, takže ji je možné uvádět v procentech. Tato výsledná hodnota variačního koeficientu by neměla překročit 25 %.

Před stanovením variačního koeficientu je potřeba vypočítat aritmetický průměr \bar{x} a výběrovou směrodatnou odchylku s .

Výpočet aritmetického průměru:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (7.1)$$

kde:

n je celkový počet měřených kusů.

Aritmetický průměr charakterizuje symetrická až mírně nesymetrická rozdělení.

Jako směrodatná odchylka se v praxi a v normách používá výběrová směrodatná odchylka, která je vždy větší než směrodatná odchylka základního souboru σ . Pokud je počet měřených kusů n větší než 30, tak se obě směrodatné odchylky přibližně rovnají, tedy $n > 30$, pak $\sigma \cong s$.

Výpočet výběrové směrodatné odchylky:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}. \quad (7.2)$$

Stanovení variačního koeficientu je potom tedy dle vztahu:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]. \quad (7.3)$$

Šikmost a špičatost

Koeficient šikmosti neboli asymetrie a špičatosti neboli koncentrace je možné odvodit z prostého výběrového momentu centrálního k -tého řádu, který vychází ze

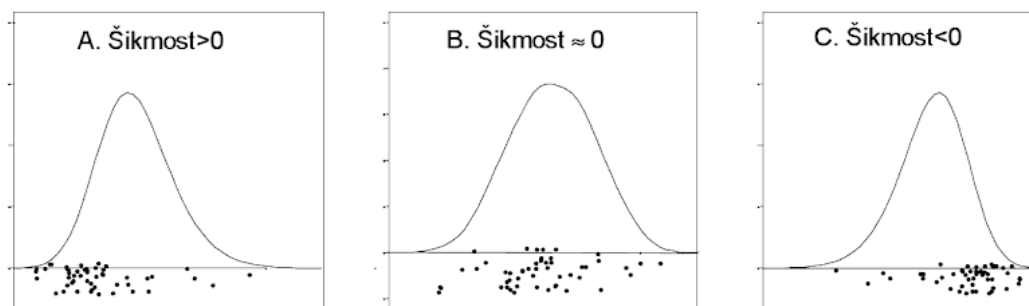
všech hodnot statistického výběru. Tento prostý centrální moment se vypočítá podle vzorce:

$$m_k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k}{n}. \quad (7.4)$$

S využitím prostého centrálního momentu třetího řádu, který souvisí se souměrností rozdělení lze vypočítat koeficient asymetrie (šikmosti) jako:

$$a_3 = \frac{m_3}{s^3}. \quad (7.5)$$

Jestliže je $a_3 > 0$, jedná se o levostranné nesymetrické rozdělení, je-li $a_3 < 0$, potom se jedná o pravostranné nesymetrické rozdělení. Pokud nastane, že $a_3 = 0$, rozdělení je symetrické, jako tomu je u normálního rozdělení. Tyto špičatosti jsou zobrazeny na obrázku 7.1.

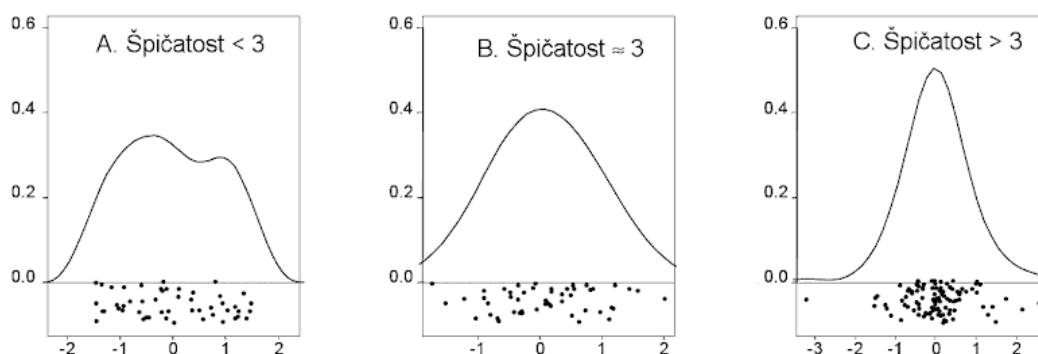


Obrázek 7.1: Šikmost s rozložením hodnot – kladná, nulová a záporná [8]

Díky prostému centrálnímu momentu čtvrtého řádu, jež je charakteristikou koncentrace hodnot v okolí aritmetického průměru, se vypočítá koeficient špičatosti (koncentrace) podle:

$$a_4 = \frac{m_4}{s^4}. \quad (7.6)$$

Jestliže je $a_4 > 3$, jedná se o rozdělení četností špičatější a je-li $a_4 < 3$, potom je rozdělení četností plošší než u Gaussova (normálního) rozdělení. Pokud nastane, že $a_4 = 3$, rozdělení je symetrické, jako tomu je u normálního rozdělení. Někdy je možné se setkat s charakteristikou $a_4 = 3$, tzv. exces, kdy je symetrické rozdělení při platnosti $a_3 = 0$. [5]



Obrázek 7.2: Špičatost s rozložením hodnot – plošší, normální a špičatější [8]

Testy normality

Testů normality je mnoho, a každý má jinou vážnost, jako např. Bartlettův test, Cochranův test, test rovnosti středních hodnot a další. Tyto testy normality závisí na testování hypotézy H_0 , která vychází z toho, že náhodný výběr hodnot všech podskupin pochází ze základního souboru s normálním rozdělením se stejnou střední hodnotou a stejným rozptylem. Opakem je alternativa H_1 , která značí, že výběr pochází ze základního souboru s jiným rozdělením, jenž není normální. V případě, kdy se při opakovaném měření stejného znaku kvality neprokáže normální rozložení, znamená to, že na výrobní proces působí nenáhodné neboli vymezitelné vlivy (zvláštní příčiny variability). Příčina popř. příčiny těchto vlivů je nutné dohledat a odstranit, protože předpokladem uplatnění Shewhartových regulačních diagramů je statisticky zvládnutý proces neboli stabilní a normální rozdělení pravděpodobnosti sledovaného znaku kvality, aby se střední hodnota (těžiště procesu) a rozptyl (variabilita procesu) sledovaného znaku kvality v čase neměnily.

V programu Minitab jsou k dispozici tři testy normality o různých hodnotách β : Anderson-Darling (A-D test), Ryan-Joiner (R-J test) a Kolmogorov-Smirnov (K-S test). U těchto testů se vypočte testová statistika a srovná se s příslušnou p-hodnotou. V případě, kdy je p-hodnota větší než zvolená hladina významnosti α , platí hypotéza H_0 . Pokud je p-hodnota menší než zvolená hladina významnosti, tak se přikláníme k alternativní hypotéze H_1 a hypotéza H_0 se tedy zamítá.

Nejčastěji používaná hladina významnosti α je 0,05. Tato hodnota znamená, že test s normálním rozdělením hodnot přesně v 5 % chybně rozhodne pro

alternativu H_1 . Hladina významnosti α není závislá na velikosti výběru, tedy počtu získaných hodnot. Pokud by se nejednalo o normální rozdělení získaných hodnot, tak při $\alpha = 0,05$ test přesně v $100 \cdot \beta$ % případů chybně rozhodne pro H_0 . Velikost β závisí na počtu získaných hodnot. Čím je více hodnot, tím je β nižší. Také je možné použít hladinu významnosti α rovnu 0,01. [6][9][10][11]

Ryan-Joiner test

Tento test je podobný testu Shapiro-Wilks (S-W test), který je poměrně silný (lze použít i při slabší normalitě) pro testování normality získaných dat o velikosti výběru 3 až 5000 hodnot. Čím více se korelační koeficient RJ blíží hodnotě 1, tím máme větší jistotu, že se jedná o normální rozdělení daného výběru. Program Minitab dokáže přepočítat tento koeficient na p-hodnotu, kterou poté můžeme porovnat s námi zvolenou hladinou významnosti α , jak již bylo popsáno.[11][12]

Výpočet korelačního koeficientu RJ:

$$RJ = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n q_i^2} ; \quad (7.7)$$

kde:

x_i je naměřená hodnota,

\bar{x} je aritmetický průměr,

q_i je kvantil splňující rovnici $\phi(q_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$. [9]

Cochranův test

Cochranův test je možné použít v případě, když máme k podskupin o stejném rozsahu n hodnot. Tímto testem se snažíme ověřit, že všechny podskupiny, ve kterých se vypočítají výběrové rozptyly s_i^2 , jsou ze základního souboru, v němž platí hypotéza rovnosti rozptylů $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$.

Výpočet výběrového rozptylu pro jednotlivé podskupiny:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} ; \quad (7.8)$$

kde:

x_i je hodnota,

\bar{x} je aritmetický průměr (střední hodnota),

n je celkový počet hodnot v dané podskupině. [5]

V dalším kroku vypočítáme statistiku G :

$$G = \frac{s_{(k)}^2}{\sum_{i=1}^k s_i^2}; \quad (7.9)$$

kde:

$$s_{(k)}^2 = \max\{s_1^2, s_2^2, \dots, s_k^2\},$$

s_i^2 je výběrový rozptyl.

Následně se vypočítá kritická hodnota $G_{1-\alpha}(k, v)$:

$$G_{1-\alpha}(k, v) = \frac{F_{1-\alpha/k}(v, (k-1)v)}{(k-1) + F_{1-\alpha/k}(v, (k-1)v)}; \quad (7.10)$$

kde:

$$v = n - 1,$$

k je celkový počet podskupin,

α je zvolená hladina významnosti,

$F_p(v_1, v_2)$ je p -kvantil F -rozdělení o v_1 a v_2 vstupních volnostech.

Tuto kritickou hodnotu je také možné zjistit z tabulek podle zvolené hladiny významnosti α , celkového počtu hodnot n v dané podskupině a celkového počtu podskupin k . Další možností je vypočítat $G_{1-\alpha}(k, v)$ v programu Excel pomocí funkce FINV.

Hypotéza rovnosti rozptylů $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$ platí v případě, když:

$$\text{statistika } G < G_{1-\alpha}(k, v).$$

Poté nemáme důvod považovat i ten největší rozptyl za odlehlý. [6]

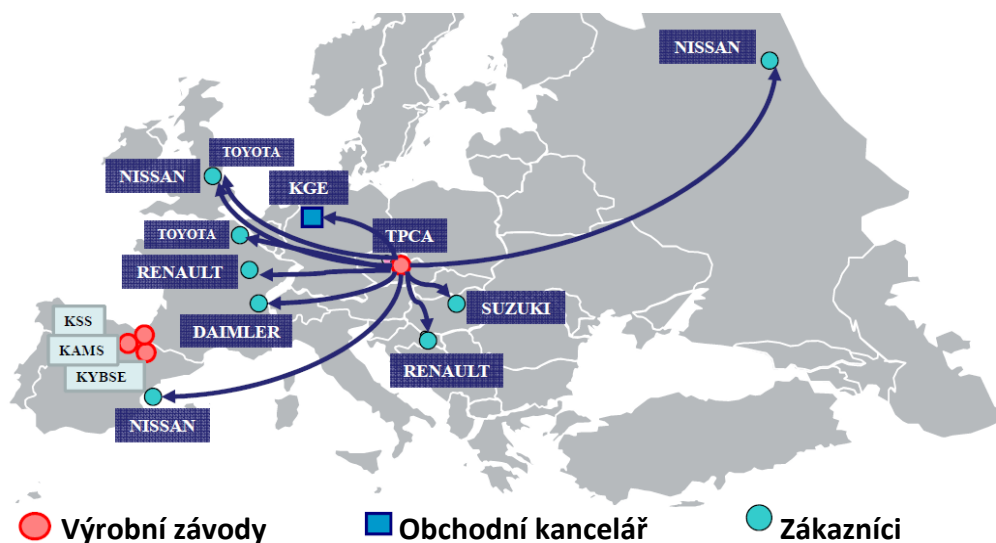
8 Představení KYB Manufacturing Czech s.r.o.

Společnost KMCZ (KYB Manufacturing Czech s.r.o.) je jedním z největších výrobních závodů automobilových tlumičů a jejich komponentů na světě, jež sídlí v městské průmyslové zóně v Pardubicích, Starých Čivčích. Je součástí japonské nadnárodní společnosti KYB (Kayaba Industry Co., Ltd.), existující téměř 100 let, která zaměstnává okolo 15 000 lidí. Výrobní závod společnosti KMCZ byl založen v roce 2003 a v dnešní době zaměstnává přes 650 lidí a vyrobí přes 4 mil. tlumičů za rok.



Obrázek 8.1: Sídlo společnosti KMCZ [13]

Tlumiče a jejich komponenty se zde vyrábějí především pro značky jako Toyota, Peugeot, Citroen, Suzuki, Nissan, Renault a Daimler. Vyrobené náhradní díly jsou distribuovány sesterskou společností KGE pro celou Evropu, Jižní Ameriku, střední východ a Rusko.



Obrázek 8.2: Hlavní zákazníci společnosti KMCZ [13]



Obrázek 8.3: Některé osobní automobily obsahující produkty společnosti KMCZ [13]



Obrázek 8.4: Některé z produktů společnosti KMCZ [13]

9 Hodnocení způsobilosti výrobního procesu teflonování

Cílem práce je vyhodnotit způsobilost procesu teflonování ve společnosti KMCZ. Aby bylo vyhodnocování správné, je potřeba se řídit jednotlivými kroky. Ještě před samotným začátkem hodnocení způsobilosti procesu by se měl analyzovat výrobní proces, identifikovat jeho důležité vstupy, výstupy a faktory, které ho nejvíce ovlivňují. Následně je prvním krokem volba znaku kvality z výrobní dokumentace. Před začátkem shromažďování potřebných hodnot pro analýzy systémů měření se musí ověřit normalita procesu. Podle výsledků analýz systémů měření se zvolí ta nejvhodnější. Poté se ověřuje statistické zvládnutí procesu sledovaného znaku kvality a na závěr se porovnají vypočtené indexy způsobilosti s požadovanými hodnotami.

9.1 Analýza výrobního procesu

Výrobní linkou SUBASSY v montážním procesu teflonování jsou dva stroje: Washer press označený číslem stroje 4072 a Banding machine vedený pod číslem CZ4071. Vstupními polotovary tohoto procesu jsou písní kroužky a teflonové kroužky. Výstupními výrobky jsou píсты.

Na obrázku 9.1 je v pravé dolní části vidět vstup do procesu, vkládání pístů na tyče. Následně navazuje 1. buňka s výrobním strojem Washer press, což je současně vstupní místo pro vkládání teflonových kroužků do zásobníku.



Obrázek 9.1: Výrobní linka SUBASSY – vstup

Tato buňka je propojena s 2. buňkou, ve které je výrobní stroj Banding machine. Následuje dopravník s laserovým měřicím zařízením, výstupní tyče pro píсты a vizuální kontrola (viz obrázek 9.2).



Obrázek 9.2: Výrobní linka SUBASSY – výstup



Obrázek 9.3: Pístní kroužek a teflonový kroužek (vpravo)

Na vstupu operátor vloží pístní kroužky na tyče a teflonové kroužky do zásobníku. Od této chvíle operátor nezasahuje do procesu výroby. Vložené polotovary si již přebírají manipulační zařízení stroje. Pístní kroužky jsou na dopravníku přepravovány na desku dorazu, kde je manipulátor jednotlivě přemísťuje do misky. Poté jsou na ně nasazeny kuželovité trny, přes které jsou pomocí lisovací pryže na pístní kroužky navlečeny teflonové kroužky. Toto je prováděno v první komoře, ve které se udržuje předepsaná teplota. Z komory zkompletované písty putují na dalším dopravníku do druhé komory. Zde jsou pomocí podavače písty postupně vkládány do formy, v níž je udržována také předepsaná konstantní teplota a dochází tak k zalisování navlečeného teflonového kroužku do drážek v pístním kroužku (zobrazení drážek v detailu Q na obrázku 9.5). Vyroběné písty jsou umísťovány na poslední dopravník, na němž probíhá kontrola pomocí laserového měřicího zařízení, které kontroluje vnější průměr pístu. V případě, že je vyrobený píst mimo stanovené toleranční pole, tak je vyřazený. V opačném případě jsou písty dopraveny do výstupních tyčí, odkud jsou přebrány operátorem. Před vkládáním vyrobených pístů do plastové proložky (viz výstup na obrázku 9.2) jsou ještě operátorem vizuálně zkontrolovány podle přiložených kontrolních bodů pro kontrolu kvality v procesu. Pokud stroj zaznamená nějakou abnormalitu pomocí senzorů, proces výroby automaticky přeruší.



Obrázek 9.4: Vyrobený píst

Před zahájením výroby musí být výrobní zařízení určitý čas zapnuté, aby v první komoře a v nástroji umístěném ve druhé komoře byla dosažena předepsaná procesní teplota. Mezitím je operátor povinen zkontrolovat tlakoměr, PLC panel, ovládací panely, digitální ovladač teploty, generátor horkého vzduchu, vybrané součásti stroje a laserové měřicí zařízení společně s panelem měřicí jednotky. Další kontroly jsou prováděny jednou za měsíc nebo při alarmu a vztahují se ke kontrole částí strojů. Při zahájení a ukončení výroby operátor zapíše strojem naměřené rozměry prvních a posledních pěti vyrobených kusů, také zkontroluje měřicí zařízení s laserem pomocí kalibračního válečku. Během procesu se musí operátor řídit přiloženými pokyny pro provoz zařízení. Procesní parametry může nastavovat a měnit pouze procesní inženýr.

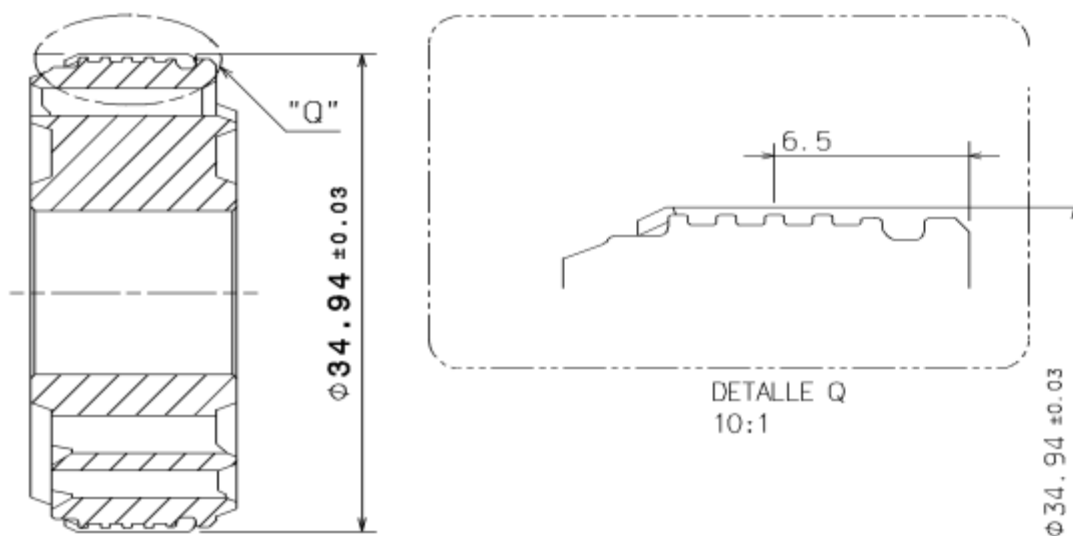
Nejčastěji měněnou součástí stroje je lisovací pryž, která je opotřebovávána a může společně s předepsanou teplotou nejvíce ovlivnit požadovanou kvalitu výrobku, proto je nutná její výměna v předepsané frekvenci, jakou je stanovený počet vyrobených kusů. Součástí je preventivní údržba všech součástí stroje v určitých časových intervalech.

Operátor může tento proces ovlivnit pouze chybnou kontrolou zařízení a jeho nastavením před zahájením výroby. Dále může ovlivnit proces při vstupu, když do stroje zakládá polotovary, které mají dle pokynů předepsané správné vložení. Jedná se o orientaci a pozici vložení polotovarů tak, aby nebyly vloženy špatnou

stranou. Pokud k takové situaci dojde, stroj na ni při kontrole narazí a proces pozastaví.

9.2 Volba znaku kvality pístu

Za měřitelný znak kvality jsem zvolil vnější průměr, který je ve výrobní dokumentaci zobrazen jako $\varnothing 34,94 \pm 0,03$ mm, viz obrázek 9.5. Zvolil jsem pouze jeden znak kvality, protože výrobní proces je již v provozu. Pokud by se jednalo o zavádění výrobního procesu nebo docházelo k problémům, bylo by nutné zvolit více znaků kvality, které by byly sledovány.



Obrázek 9.5: Část výkresu obsahující zvolený znak kvality [13]

Zvolený znak kvality je jedním z nejdůležitějších znaků u pístu, který může ovlivnit požadované vlastnosti, jež musí být splněny pro správnou funkci tlumiče. Píst je uvnitř vnitřní trubky (válce) a nesmí mezi ním být příliš velká vůle. V případě, že by měl píst menší rozměr, nedocházelo by ke správnému těsnění a olej by protékal mezi pístem a stěnou válce, tím by nedocházelo ke správnému propouštění oleje pomocí ventilů. Kdyby byl větší než předepsaný rozměr, docházelo by mezi pístem a stěnou válce k většímu tření a s ním spojené nežádoucí vyšší tlumení při nízkých rychlostech a rychlejší opotřebení součástí.

Tlumič je v automobilu umístěn mezi karoserií a zavěšením kol. Během jízdy dochází k odlišné frekvenci kmitání mezi karoserií a koly, což je schopen tlumit právě tlumič, který je pro dané vozidlo navržený a vyrobený tak, aby byl co nejvíce funkční. Jeho funkce závisí na bezpečnostních faktorech jako je ovladatelnost,

stabilita a brzdná dráha automobilu, protože během jízdy se mění kontakt pneumatiky s vozovkou. Dále ovlivňuje životnost ostatních součástí vozu, snižuje jejich namáhání a také zvyšuje komfort cestujících.

9.3 Ověření normality procesu

Pro vyhodnocení analýzy bylo potřeba ověřit normalitu sledovaného znaku kvality, tedy procesu. Z tohoto důvodu jsem získal hodnoty z 50 po sobě jdoucích kusů naměřených laserovým měřicím zařízením. Ze získaných dat jsem vytvořil histogram, jehož zvonovitý tvar se přibližuje Gaussově křivce, takže se jedná o normální rozdělení dat. Histogram je na obrázku 9.15 (strana 97). Tuto skutečnost jsem si ověřil testem normality Ryan-Joiner v programu Minitab. Pro test normality jsem zvolil hladinu významnosti $\alpha = 0,05$, výsledná p-hodnota u testu byla vyšší než zvolená hladina významnosti, takže jsem nezamítl hypotézu H_0 a naměřené hodnoty, tedy proces, považuji za normální. Test normality je zobrazen na obrázku 9.24 (strana 109). Histogramy a testy normality jsem vytvořil i pro další měření, vždy se jednalo o normální rozdělení dat, což potvrzuje, že proces je normální.

9.4 Analýzy systémů měření

Pomocí MSA jsem analyzoval a vyhodnotil dvě měřicí zařízení a na základě jejich výsledků stanovil výhody a nevýhody, které jsem porovnal s měřicím zařízením s laserem. Prvním analyzovaným byl profilprojektor a druhým digitální mikrometr. Jelikož většinou v praxi není možné zajistit podmínky opakovatelnosti, protože často dochází ke změně operátora, který provádí měření, zvolil jsem MSA s hodnocením opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření. Za metodu hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření jsem zvolil metodu průměru a rozpětí výrobního procesu. Během MSA jsem se pro každé měřicí zařízení držel následujících kroků: přípravná fáze, vlastní měření a vyhodnocení analýzy.

9.4.1 MSA pro profilprojektor

Tuto analýzu jsem prováděl na horizontálním optickém profilprojektoru Mitutoyo PH-A14, vedeným společností KMCZ pod označením PP001, s měřicím

zařízením QUADRA-CHEK 200. Tento měřicí stroj a zařízení bylo kalibrováno v březnu 2018.

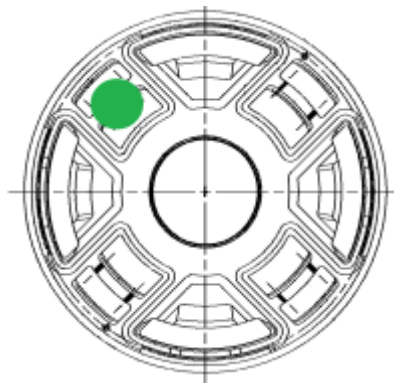


Obrázek 9.6: Profilprojektor Mitutoyo PH-A14 s měřicím zařízením QUADRA-CHEK 200

MSA č. 1 pro profilprojektor

1) Přípravná fáze

Z výrobního procesu jsem pro analýzu odebral 10 po sobě jdoucích pístů, které jsem vložil do plastové proložky, jednotlivé otvory jsem očísloval od 1 do 10 a odebrané kusy označil tečkou (zobrazeno na obrázku 9.7), aby nedošlo k záměně jednotlivých kusů při opakovaném měření a vždy byl měřen vnější průměr ve stejné rovině.



Obrázek 9.7: Ilustrační zobrazení měřené roviny vnějšího průměru pro opakované měření označeného pístu [13]

V přípravné fázi analýzy systému měření jsem ověřil, že zvolený znak kvality lze pomocí tohoto měřicího zařízení měřit a má dostatečnou rozlišovací schopnost. Odečítání výsledných hodnot bylo možné v tisícinách, což bylo přesnější než desetina z šíře tolerance mnou sledovaného znaku kvality. Měřením na profilprojektoru jsem zjistil, že vybraný znak kvality se nenacházel na třetím výstupku ve vzdálenosti 6,5 mm od pravého okraje pístu, jak uváděla výrobní dokumentace (viz obrázek 9.5 vpravo), ale jednalo se o vzdálenost 7 mm, ve které jsem prováděl všechna měření.

Tato část přípravné fáze je shodná pro MSA č. 2 pro profilprojektor, MSA pro profilprojektor s přípravkem a MSA pro mikrometr.

Následující postup je shodný pouze s přípravnou fází u MSA č. 2 pro profilprojektor. Zde jsem pro analýzu stanovil následující parametry: 2 operátoři, 10 měřených kusů a 2 opakované měření každého kusu. Jednotlivé kusy byly pokládány a měřeny na magnetické desce bez použití přípravku, takže nebyly při opakovaném měření zafixovány, jak je možné vidět na obrázku 9.6.

2)Vlastní měření

Měření prováděli dva operátoři při použití stejné metody měření. Na oba operátory vždy dohlížela další osoba, která měřícímu operátorovi vždy v náhodném pořadí podávala 1 z 10 kusů s opakovaným měřením každého kusu a získané hodnoty zapisovala. Operátor tedy nevěděl, který kus měří a ani neznal jeho předešlou naměřenou hodnotu při opakovaném měření.

Tento postup se shoduje s vlastním měřením u MSA č. 2 pro profilprojektor.

Tabulka 3: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1 a 2 v milimetrech

Operátor (i)	Pořadí měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										USL	34,97
												LSL	34,91
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}_{ik}	\bar{x}_i R_i
1	1	34,941	34,943	34,938	34,943	34,941	34,936	34,948	34,937	34,946	34,949	34,942	
	2	34,944	34,938	34,948	34,947	34,949	34,934	34,938	34,948	34,943	34,946	34,944	
	\bar{x}_{ij}	34,943	34,941	34,943	34,945	34,945	34,935	34,943	34,943	34,945	34,948		34,943
	R_{ij}	0,003	0,005	0,010	0,004	0,008	0,002	0,010	0,011	0,003	0,003		0,006
2	1	34,952	34,951	34,937	34,946	34,944	34,934	34,929	34,938	34,935	34,935	34,940	
	2	34,927	34,917	34,920	34,938	34,915	34,928	34,947	34,942	34,928	34,949	34,931	
	\bar{x}_{ij}	34,940	34,934	34,929	34,942	34,930	34,931	34,938	34,940	34,932	34,942		34,936
	R_{ij}	0,025	0,034	0,017	0,008	0,029	0,006	0,018	0,004	0,007	0,014		0,016
	\bar{x}_j	34,941	34,937	34,936	34,944	34,937	34,933	34,941	34,941	34,938	34,945	\bar{R}	0,011

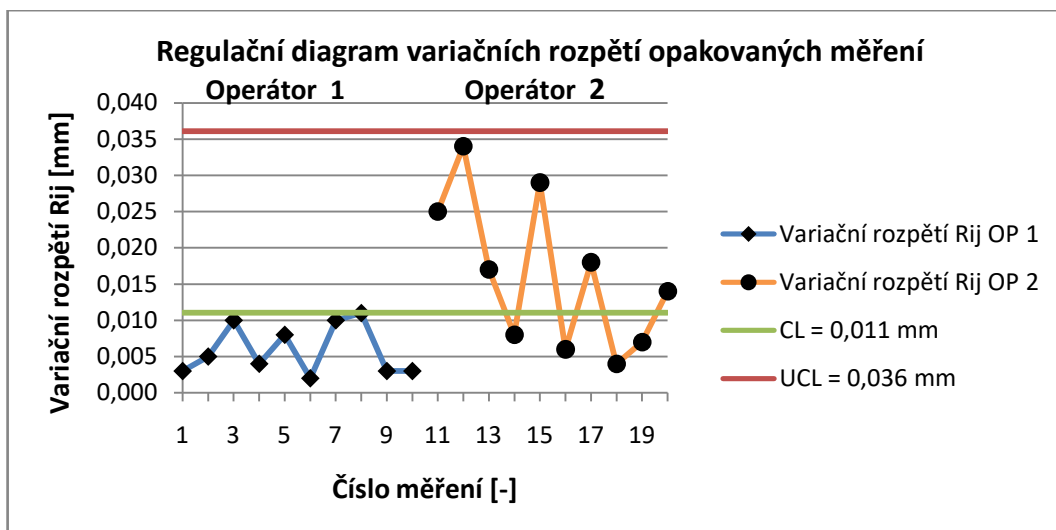
Operátorem číslo 1 jsem byl já a operátor číslo 2 byl zaměstnanec společnosti KMCZ. Hodnoty byly naměřeny 13. 4. 2018. Z výpočtů je patrné, že průměrné hodnoty aritmetických průměrů a variačních rozpětí mezi jednotlivými operátory jsou rozdílné přibližně o jednu setinu.

3) Vyhodnocení analýzy

Pro vyhodnocení analýzy systému měření jsem využil regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů, abych mohl rozhodnout, zda je proces měření statisticky zvládnutý a následně ho zhodnotit pomocí výpočtů a kritérií R&R.

Pro výpočty regulačních mezí vzhledem k podskupině o rozsahu 2 členů jsem využil koeficienty: $D_3 = 0$; $D_4 = 3,267$ z přílohy 1. Koeficienty d_2^* v závislosti na hodnotách m a g jsem dle přílohy 2 využil: $d_{2(EV)}^* = 1,128$; $d_{2(AV)}^* = 1,41$; $d_{2(PV)}^* = 3,18$.

Tento postup se shoduje s vyhodnocením analýzy u MSA č. 2 pro profilprojektor, MSA pro profilprojektor s přípravkem a MSA pro mikrometr.



Obrázek 9.8: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1 a 2

Z regulačního diagramu na obrázku 9.8 je zřejmé, že proces měření je statisticky zvládnutý, protože žádné z variačních rozpětí nepřekročilo horní regulační mez UCL a není vymežitelnou příčinou, i když dvě hodnoty se této mezi přibližují.

Tabulka 4: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1 a 2

Opakovatelnost	EV	0,010
Reprodukovatelnost	AV	0,005
Opakovatelnost a reprodukovatelnost	R&R	0,011
Variabilita mezi kusy	PV	0,004
Celková variabilita vzhledem k variabilitě výrobku	TV	0,011
Celková variabilita vzhledem k tolerančnímu poli výrobku	TV	0,010
Podíl rozptylu opakovatelnosti	p_{EV} [%]	81,60
Podíl rozptylu reprodukovatelnosti	p_{AV} [%]	18,40
Opakovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%EV [%]	85,51
Reprodukovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%AV [%]	40,60
Variabilita mezi kusy v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%PV [%]	32,25
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%R&R [%]	94,66
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k tol. poli výrobku	%R&R [%]	108,45

Opakovatelnost a reprodukovatelnost v % z celkové variability vzhledem k variabilitě výrobku %R&R je 94,66 % a vzhledem k tolerančnímu poli výrobku

je %R&R 108,45 %, což je dle kritéria hodnocení analyzovaného systému měření u obou výpočtů více než povolených 30 %. Systém měření není možné použít a je nutné ho zlepšit.

Dalším vyhodnocením jsem zjistil, že na celkovém rozptylu daném opakovatelností a reprodukovatelností se samotná opakovatelnost p_{EV} podílí z 81,6 % a samotná reprodukovatelnost z 18,4 %. Jelikož je vysoký podíl opakovatelnosti p_{EV} , příčina variability je v tomto případě u měřicího zařízení. Oba operátoři měřili stejnou metodou a za stejných stabilních podmínek.

MSA č. 2 pro profilprojektor

1) Přípravná fáze

Tato přípravná fáze je totožná s přípravnou fází MSA č. 1 pro profilprojektor.

2) Vlastní měření

Vlastní měření je podobné s vlastním měřením u MSA č. 1 pro profilprojektor. Liší se tím, že druhým operátor byl zde jiný zaměstnanec společnosti KMCZ, označen jako operátor 3. Operátorem 1 jsem byl opět já s využitím stejných hodnot jako v předchozí analýze. Operátor 3 prováděl měření v rámci závěru.

Tabulka 5: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1 a 3 v milimetrech

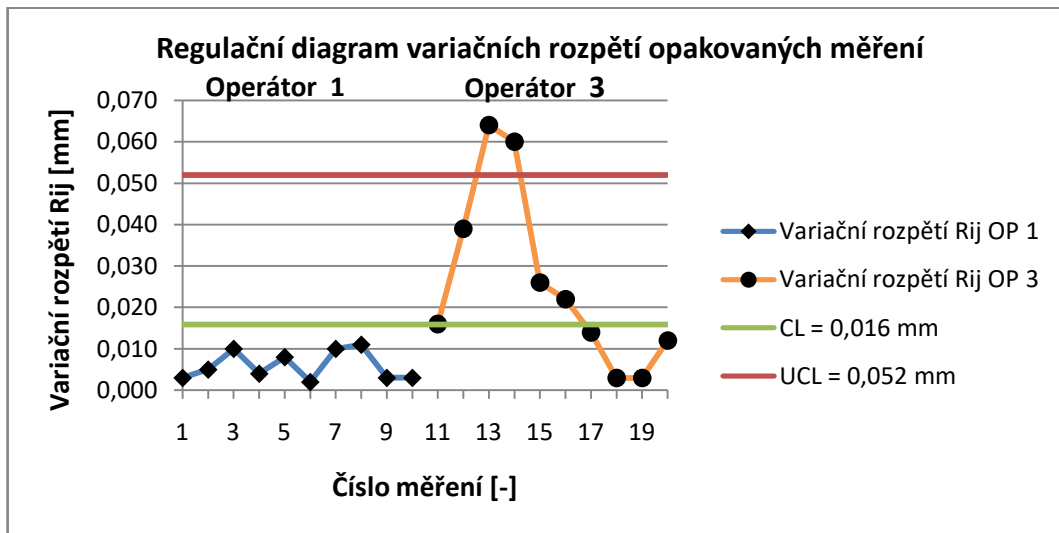
Operátor (i)	Pořadí měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										USL	34,97
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	LSL	34,91
1	1	34,941	34,943	34,938	34,943	34,941	34,936	34,948	34,937	34,946	34,949	34,942	
	2	34,944	34,938	34,948	34,947	34,949	34,934	34,938	34,948	34,943	34,946	34,944	
	\bar{X}_{ij}	34,943	34,941	34,943	34,945	34,945	34,935	34,943	34,943	34,945	34,948	34,943	
	R_{ij}	0,003	0,005	0,010	0,004	0,008	0,002	0,010	0,011	0,003	0,003	0,006	
2	1	34,939	34,936	34,960	34,933	34,984	34,950	34,938	34,963	34,993	34,984	34,958	
	2	34,955	34,975	34,896	34,993	34,958	34,928	34,924	34,960	34,990	34,972	34,955	
	\bar{X}_{ij}	34,947	34,956	34,928	34,963	34,971	34,939	34,931	34,962	34,992	34,978	34,957	
	R_{ij}	0,016	0,039	0,064	0,060	0,026	0,022	0,014	0,003	0,003	0,012	0,026	
	\bar{X}_j	34,945	34,948	34,936	34,954	34,958	34,937	34,937	34,952	34,968	34,963	$\bar{\bar{R}}$	0,016

Už z naměřených a vypočítaných hodnot je v tomto případě vidět, že se bude jednat o horší výsledek než v předchozí analýze. Rozdíly mezi hodnotami

aritmetických průměrů a variačních rozpětí mezi jednotlivými operátory jsou rozdílné o více než jednu setinu. Naměřené hodnoty pochází také z dubna 2018.

3) Vyhodnocení analýzy

Při vyhodnocení analýzy jsem zde postupoval stejně jako v případě MSA č. 1 pro profilprojektor.



Obrázek 9.9: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1 a 3

Horní regulační mez UCL byla překročena ve dvou případech, takže se objevily vymezipitelné příčiny. Proces měření je tedy statisticky nezvládnutý a operátor 3 by musel jeho měření po přeškolení znovu zopakovat. V tomto případě se ve vyhodnocení analýzy nepokračuje, dokud nebude proces statisticky zvládnutý s nově naměřenými hodnotami. Z tohoto důvodu nemá následující analýza dostatečnou vypovídací schopnost, zobrazuji ji pouze pro zajímavost.

Tabulka 6: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1 a 3

Opakovatelnost	EV	0,014
Reprodukovatelnost	AV	0,009
Opakovatelnost a reprodukovatelnost	R&R	0,017
Variabilita mezi kusy	PV	0,010
Celková variabilita vzhledem k variabilitě výrobku	TV	0,020
Celková variabilita vzhledem k tolerančnímu poli výrobku	TV	0,010
Podíl rozptylu opakovatelnosti	p_{EV} [%]	70,17
Podíl rozptylu reprodukovatelnosti	p_{AV} [%]	29,83
Opakovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%EV [%]	71,60
Reprodukovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%AV [%]	46,68
Variabilita mezi kusy v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%PV [%]	51,91
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%R&R [%]	85,47
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k tol. poli výrobku	%R&R [%]	168,27

Opakovatelnost a reprodukovatelnost v % z celkové variability vzhledem k variabilitě výrobku %R&R je 85,47 % a vzhledem k tolerančnímu poli výrobku je %R&R 168,27 %, což je dle kritéria hodnocení analyzovaného systému měření u obou výpočtů více než povolených 30 %. Výsledek %R&R vztažené k variabilitě výrobku je podobný jako u předchozí analýzy, kde bylo dosaženo 94,66 %. %R&R vzhledem k tolerančnímu poli výrobku dosáhlo takto vysokou hodnotu, protože byla překročena horní regulační mez.

Na celkovém rozptylu daném opakovatelností a reprodukovatelností se opět samotná opakovatelnost p_{EV} podílí z vyšší části, 70,17 %. I zde to naznačuje příčinu ve variabilitě měřicího zařízení.

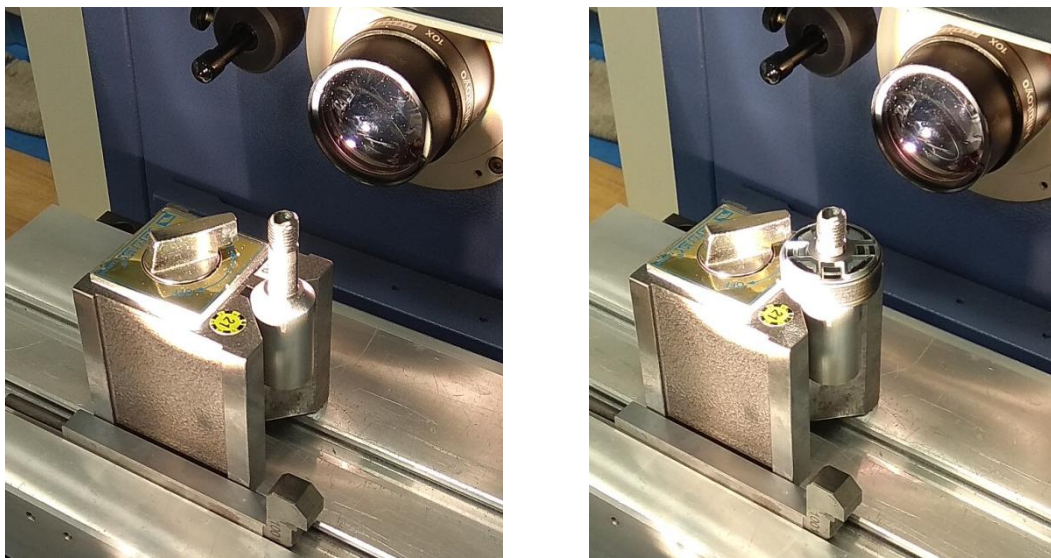
Tento měřicí systém s profilprojektor není vhodný a nelze ho pro zvolený znak kvality použít.

9.4.2 MSA pro profilprojektor s přípravkem

1) Přípravná fáze

V této fázi bylo opět použito stejných 10 pístů a z části se shoduje s MSA č. 1 pro profilprojektor. Bohužel zde došlo k porušení metodiky MSA a to rovnou ve dvou případech. Jednalo se o dvě odlišné metody měření prováděné stejným

operátorem. Cílem bylo prokázat, zda je možné vylepšit systém měření změnou metodiky použitím magnetické desky s přípravkem, do kterého byly při měření vkládány písty, viz obrázek 9.10. Z důvodu zaneprázdnění zaměstnanců společnosti KMCZ jsem pro vyhodnocení použil hodnoty ze 13. 4. 2018, kdy jsem měřil pouze s využitím magnetické desky bez přípravku, jak bylo patrné z obrázku 9.1 (strana 81). Další měření jako druhý operátor jsem provedl 25. 6. 2018, což bylo s velikým časovým odstupem oproti předchozímu měření. Odlišné metody měření v podobě přípravku byly použity pro porovnání, jestli by došlo ke zlepšení systému měření.



Obrázek 9.10: Magnetická deska s přípravkem a s vloženým pístem do přípravku (vpravo)

2)Vlastní měření

Měření jsem tedy prováděl pouze já, v odlišných dnech a různou metodou. Hodnoty ze 13. 4. 2018 jsem označil jako operátor 1A a hodnoty z 25. 6. 2018 jako operátor 1B.

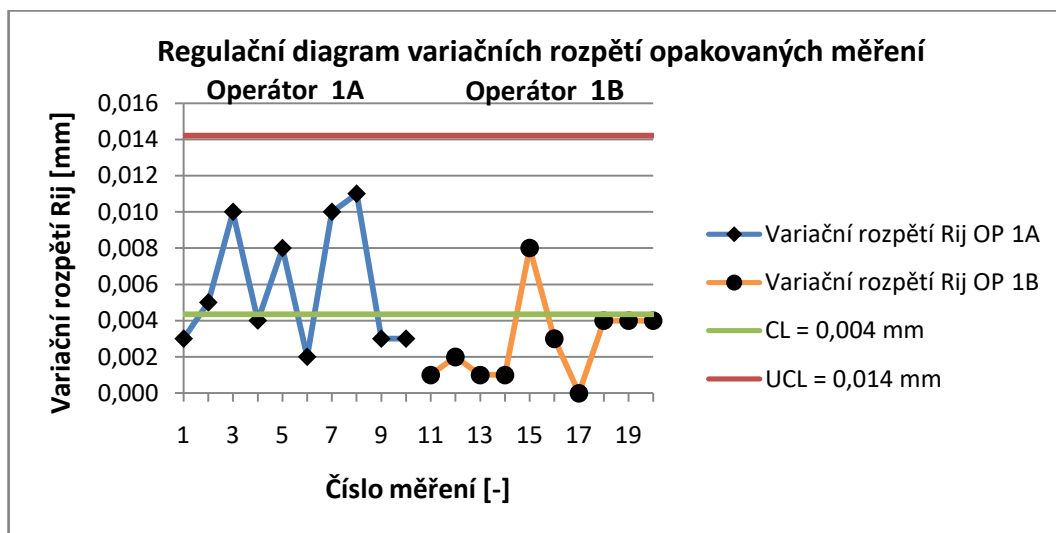
Tabulka 7: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1A a 1B v milimetrech

Operátor (i)	Pořadí měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										USL	34,97
												LSL	34,91
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}_{ik}	\bar{x}_i R_i
1	1	34,941	34,943	34,938	34,943	34,941	34,936	34,948	34,937	34,946	34,949	34,942	
	2	34,944	34,938	34,948	34,947	34,949	34,934	34,938	34,948	34,943	34,946	34,944	
	\bar{x}_{ij}	34,943	34,941	34,943	34,945	34,945	34,935	34,943	34,943	34,945	34,948		34,943
	R_{ij}	0,003	0,005	0,010	0,004	0,008	0,002	0,010	0,011	0,003	0,003		0,006
2	1	34,949	34,947	34,949	34,950	34,946	34,949	34,948	34,950	34,947	34,951	34,949	
	2	34,948	34,949	34,950	34,951	34,954	34,946	34,948	34,954	34,951	34,947	34,950	
	\bar{x}_{ij}	34,949	34,948	34,950	34,951	34,950	34,948	34,948	34,952	34,949	34,949		34,949
	R_{ij}	0,001	0,002	0,001	0,001	0,008	0,003	0,000	0,004	0,004	0,004		0,003
	\bar{x}_j	34,946	34,944	34,946	34,948	34,948	34,941	34,946	34,947	34,947	34,948	\bar{R}	0,004

Rozdíl aritmetických průměrů a variačních rozpětí mezi jednotlivými operátory se v tomto případě liší přibližně pouze o 5 tisícín, jedná se o nejlepší dosažený výsledek.

3) Vyhodnocení analýzy

Při vyhodnocení analýzy jsem zde postupoval stejně jako v případě MSA č. 1 pro profilprojektor.



Obrázek 9.11: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1A a 1B

Z regulačního diagramu na obrázku 9.11 je zřejmé, že proces měření je statisticky zvládnutý, žádné z variačních rozpětí nepřekročilo horní regulační mez. Dále je vidět, že variační rozpětí u druhého měření z 25. 6. 2018, označeného jako operátor 1B, jsou mnohem více stabilní než u předchozího měření.

Tabulka 8: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1A a 1B

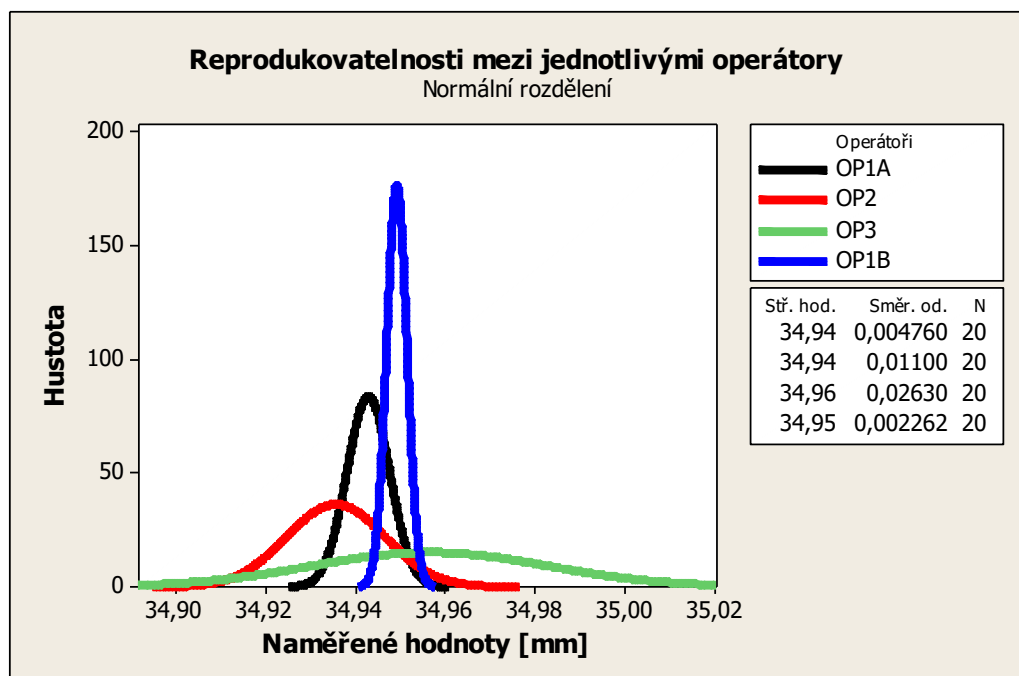
Opakovatelnost	EV	0,004
Reprodukovatelnost	AV	0,004
Opakovatelnost a reprodukovatelnost	R&R	0,006
Variabilita mezi kusy	PV	0,002
Celková variabilita vzhledem k variabilitě výrobku	TV	0,006
Celková variabilita vzhledem k tolerančnímu poli výrobku	TV	0,010
Podíl rozptylu opakovatelnosti	p_{EV} [%]	43,22
Podíl rozptylu reprodukovatelnosti	p_{AV} [%]	56,78
Opakovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%EV [%]	61,55
Reprodukovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%AV [%]	70,55
Variabilita mezi kusy v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%PV [%]	35,13
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%R&R [%]	93,63
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k tol. poli výrobku	%R&R [%]	58,66

Opakovatelnost a reprodukovatelnost v % z celkové variability vzhledem k variabilitě výrobku %R&R je 93,63 % a vzhledem k tolerančnímu poli výrobku je %R&R 58,66 %, což je dle kritéria hodnocení analyzovaného systému měření u obou výpočtů více než povolených 30 %. Z regulačního diagramu je zřejmé, že měření z 25. 6. 2018 dopadlo nejlépe, což bylo s největší pravděpodobností způsobeno změnou metody měření, kdy došlo k využití přípravku a nebylo potřeba při výměně jednotlivých kusů opakovaně zaostřovat. Zároveň i tím, že se zde účastnil měření pouze jeden operátor, který dosahoval sobě si blízké výsledky, což taky dokazuje podíl rozptylu reprodukovatelnosti p_{AV} na celkovém rozptylu daném opakovatelností a reprodukovatelností, jenž je 56,78 % a podíl rozptylu opakovatelnosti p_{EV} je roven 43,22 %, i když reprodukovatelnost by zde neměla být zmiňována, protože obě měření prováděl jeden operátor a můžeme mluvit pouze o opakovatelnosti. Toto je jediný případ, kdy opakovatelnost výrazně

nepřevyšuje podíl, naopak je potlačena. Pokud by na profilprojektoru pozorovaný znak kvality měřil pouze jeden zkušený operátor s vhodnou metodou, jako bylo využití přípravku, tak je reálné dosáhnout systému měření s profilprojektorem, který by bylo možné považovat za přijatelný. Toto dokazuje i celkové porovnání reprodukovatelnosti mezi jednotlivými operátory na obrázku 9.12. Ze kterého je zřejmé, že nejlepší výsledek byl dosažen v případě, kdy jsem měřil já jako operátor 1A a 1B, protože se nejednalo o reprodukovatelnost, ale pouze opakovatelnost. Naměřené hodnoty získávané s využitím přípravku jsou u sebe nejhustěji.

Pokud by měřila pouze jedna osoba, jako bylo v této analýze, bylo by vhodnější provést hodnocení systému měření pomocí indexů způsobilosti, kdy se jedná o podmínky opakovatelnosti. Měření etalonu provádí pouze jeden operátor s použitím stejného měřicího zařízení a metody měření.

Systém měření není možné ani v tomto případě použít pro zvolený znak kvality a je nutná jeho náprava. Každopádně se jedná o nejlepší získaný výsledek z měření na profilprojektoru během MSA a společnost KMCZ nadále usiluje v jeho zlepšování.



Obrázek 9.12: Porovnání reprodukovatelnosti mezi jednotlivými operátory, v případě OP1A a OP1B se jedná o opakovatelnost

9.4.3 MSA pro mikrometr

Tuto analýzu jsem prováděl pomocí digitálního mikrometru, jenž má společnost KMCZ označený jako MM82 a jeho kalibrace proběhla 12. 1. 2018.

1) Přípravná fáze

Fáze přípravy pro měření s mikrometrem je podobná jako u MSA č. 1 pro profilprojektor, i zde byly pro měření použity stejné kusy pístů. K měření jsem využil následující příslušenství: stojánek na mikrometr, univerzální měřicí stůl, digitální posuvný výškoměr a na kalibraci měřicího zařízení keramickou měрку o rozměru 30 mm.

Během přípravné fáze byla potvrzena vznikající deformace měřených pístů způsobená čelistmi mikrometru, kterou jsem předpokládal, protože se jedná oproti profilprojektoru o dotykovou metodu a vnější průměr pístu, jenž je měřen, pokrývá nepříliš tvrdý teflonový kroužek vyrobený z teflonu a plastu.

2) Vlastní měření

Tento postup se shoduje s MSA č. 1 pro profilprojektor. Měření provádí 2 operátoři, prvním jsem já jako operátor 1 a druhým je opět jiný zaměstnanec společnosti KMCZ označený jako operátor 4. Měření se uskutečnilo 15. 6. 2018.

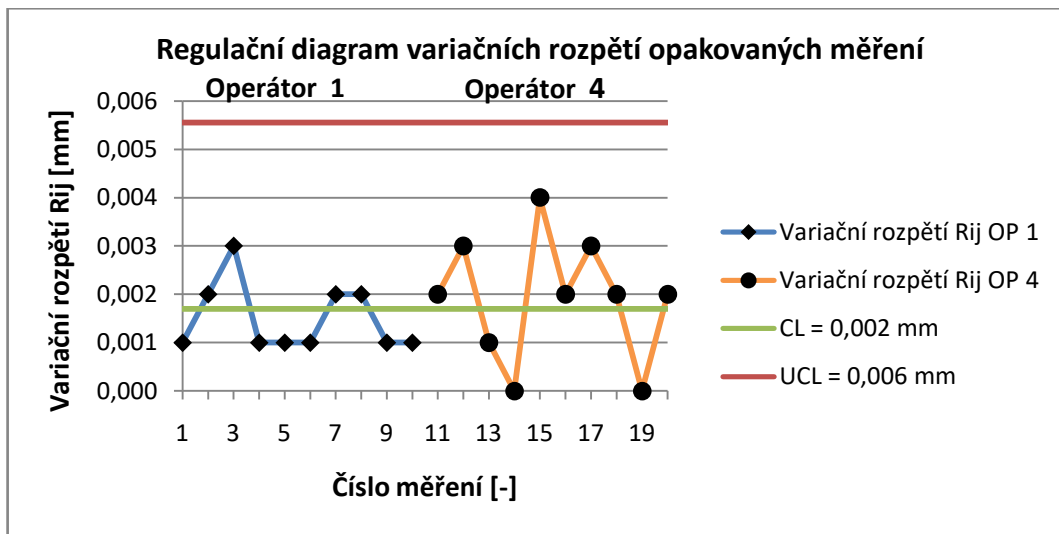
Tabulka 9: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1 a 4 v milimetrech

Operátor (i)	Pořadí měření (k)	Číslo měřeného kusu (j)										USL	34,97
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	LSL	34,91
1	1	34,905	34,910	34,906	34,907	34,907	34,902	34,906	34,905	34,910	34,906	34,906	
	2	34,904	34,908	34,903	34,908	34,906	34,903	34,904	34,903	34,909	34,905	34,905	
	\bar{x}_{ij}	34,905	34,909	34,905	34,908	34,907	34,903	34,905	34,904	34,910	34,906	34,906	
	R_{ij}	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	
2	1	34,900	34,904	34,904	34,906	34,903	34,903	34,903	34,904	34,908	34,904	34,904	
	2	34,902	34,907	34,905	34,906	34,907	34,905	34,906	34,906	34,908	34,902	34,905	
	\bar{x}_{ij}	34,901	34,906	34,905	34,906	34,905	34,904	34,905	34,905	34,908	34,903	34,905	
	R_{ij}	0,002	0,003	0,001	0,000	0,004	0,002	0,003	0,002	0,000	0,002	0,002	
	\bar{x}_j	34,903	34,907	34,905	34,907	34,906	34,903	34,905	34,905	34,909	34,904	\bar{R}	0,002

Vypočítané průměrné hodnoty z aritmetických průměrů mezi jednotlivými operátory se liší pouze o jednu tisícinu a variační rozpětí o dvě tisíciny. Také je při porovnání naměřených hodnot s měřením na profilprojektoru vidět vzniklá strannost zapříčiněná deformací pístů.

3a) Vyhodnocení analýzy

Při vyhodnocování analýzy jsem postupoval stejně jako v případě MSA č. 1 pro profilprojektor.



Obrázek 9.13: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1 a 4 pro měření mikrometrem

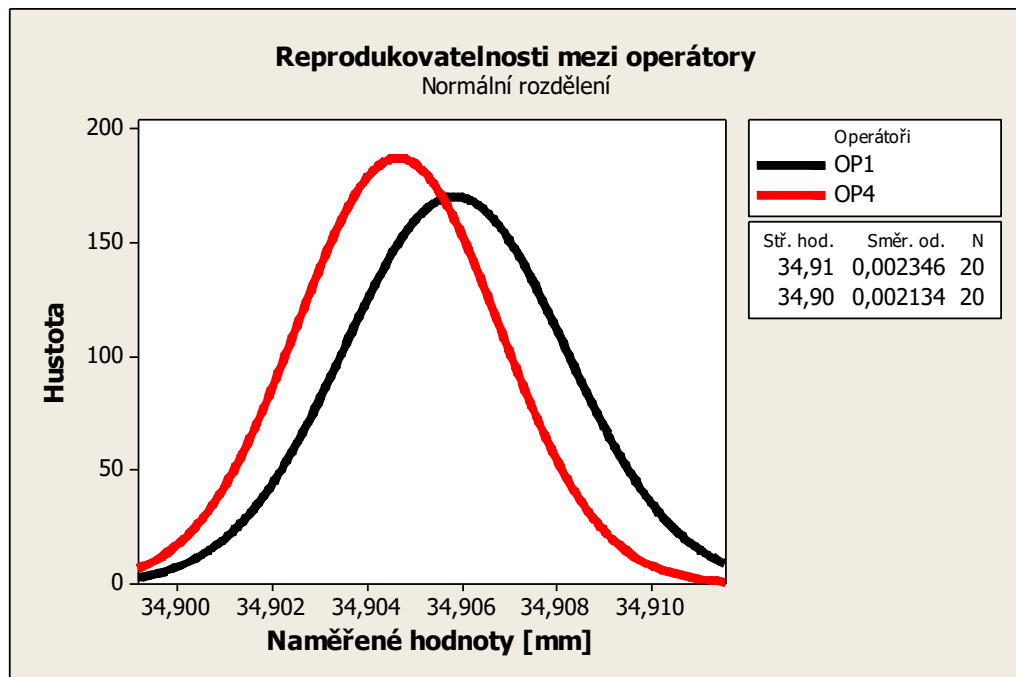
Z regulačního diagramu je patrné, že proces měření je statisticky zvládnutý, žádná z naměřených hodnot nepřekročila horní regulační mez a nevyskytuje se tedy vymežitelná příčina. Tento proces měření vypadá jako velmi dobře zvládnutý, rozptyly jsou minimální a pohybují se poblíž centrální přímkou CL.

Tabulka 10: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1 a 4

Opakovatelnost	EV	0,002
Reprodukovatelnost	AV	0,001
Opakovatelnost a reprodukovatelnost	R&R	0,002
Variabilita mezi kusy	PV	0,002
Celková variabilita vzhledem k variabilitě výrobku	TV	0,003
Celková variabilita vzhledem k tolerančnímu poli výrobku	TV	0,010
Podíl rozptylu opakovatelnosti	p_{EV} [%]	78,81
Podíl rozptylu reprodukovatelnosti	p_{AV} [%]	21,19
Opakovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%EV [%]	59,38
Reprodukovatelnost v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%AV [%]	30,79
Variabilita mezi kusy v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%PV [%]	74,34
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k variabilitě výrobku	%R&R [%]	66,89
Opak. a reproduk. v % z TV vzhledem k tol. poli výrobku	%R&R [%]	16,98

Opakovatelnost a reprodukovatelnost v % z celkové variability vzhledem k variabilitě výrobku %R&R je 66,89 % a vzhledem k tolerančnímu poli výrobku je %R&R pouze 16,98 %, což je dle kritéria hodnocení analyzovaného systému vzhledem k tolerančnímu poli výrobku méně než 30 % a dokonce se blíží pod optimální hranici 15 %.

Na celkovém rozptylu daném opakovatelností a reprodukovatelností se samotný rozptyl reprodukovatelnosti podílí pouze z 21,19 % a reprodukovatelnost v % z celkové variability vzhledem k variabilitě výrobku je také pouze 30,79 %. Tento výsledek potvrzuje velmi dobrá reprodukovatelnost zobrazena na obrázku 9.14.



Obrázek 9.14: Porovnání reprodukovatelnosti mezi operátory 1 a 4 při měření mikrometrem

Vzhledem k výsledku opakovatelnosti a reprodukovatelnosti by bylo tento systém měření možné použít. Nicméně je tato dotyková metoda ovlivněna stranností měření představující systematickou chybu měření zapříčiněnou deformací měřených pístů, která je přibližně 0,04 mm. Z tohoto důvodu není systém měření s digitálním mikrometrem pro zvolený znak kvality vhodný a nelze ho použít. Možné využití by bylo v případě delšího zkoumání, když by byla zjištěna a zajištěna přesná deformace, se kterou by se při hodnocení počítalo a byly podle ní i upraveny toleranční meze znaku kvality.

Možností by zde bylo provedení MSA pro mikrometr s jemným dotykem (jemnými měřicími hroty), čímž by mohlo dojít ke snížení deformace. Tuto analýzu jsem nemohl provést, protože společnost KMCZ neměla takovéhle měřicí zařízení k dispozici.

9.4.4 Hodnocení laserového měřicího zařízení

Laserové měřicí zařízení s odečítací jednotkou na stroji je schopno měřit s přesností na tisícinu, což je přesnější než desetina z šíře tolerance zvoleného znaku kvality, takže z tohoto pohledu ho je možné použít. Před zahájením a ukončením výrobního procesu je kontrolována přesnost měřicí jednotky pomocí

referenčního vzorku (master sample), aby nedošlo k mylnému vyhodnocování měřeného znaku kvality.

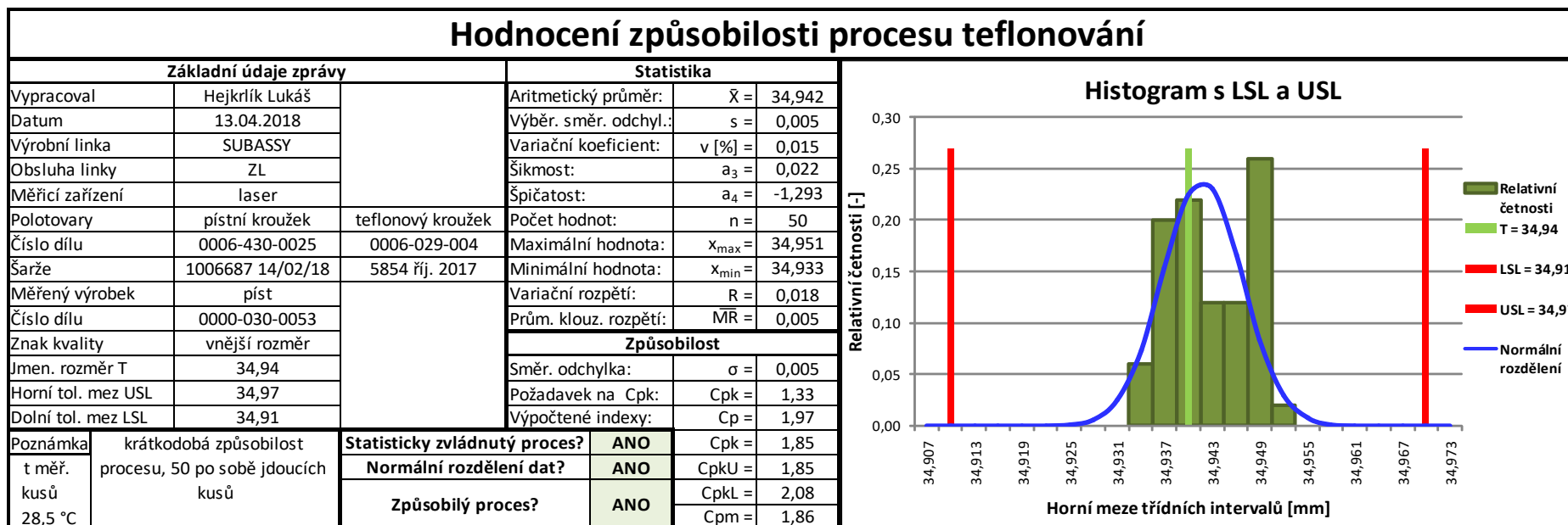
Zde by měla být také provedena pro laserové měřicí zařízení analýza systému měření, ale tuto možnost bohužel neumožňovala konstrukce stroje, jehož součástí je měřicí zařízení. Nebylo možné poslat opakovaně již jednou naměřené kusy. Vzhledem k tomu, že do procesu měření nezasahuje operátor a nemá na měření vliv, jedná se pouze o opakovatelnost, reprodukovatelnost se neprojevuje. V případě možné analýzy systému měření pro laser by jinak bylo vhodnou analýzou provést hodnocení systému měření pomocí indexů způsobilosti, která vychází z opakovatelnosti opakovaným měřením etalonu, jenž by měl mít jmenovitý rozměr stejný jako střed tolerančního pole znaku kvality.

Porovnal jsem tedy dosažené výsledky a výhody či nevýhody mezi laserovým měřicím zařízením, profilprojektorem a mikrometrem. Pro porovnání jsem využil krátkodobé vyhodnocení způsobilosti procesu, takže jsem z výrobního procesu odebral 50 po sobě jdoucích pístů. Jejich výsledné rozměry sledovaného znaku kvality měřených laserovým měřicím zařízením jsem si postupně zapisoval. Poté jsem písty vyjmul z výstupních tyčí a vložil jsem je ve stejném pořadí, jak byly vyrobeny a měřeny laserem, do plastové proložky. Každý otvor proložky jsem očísloval od 1 do 50 tak, aby nedošlo k záměně jednotlivých kusů při opakovaném měření na dalších měřicích zařízeních.

Výběrovou kontrolu pro krátkodobé vyhodnocení způsobilosti procesu jsem vykonal 13. 4. 2018 okolo 12. hodiny. Během získávání dat nedošlo ke změně obsluhy stroje, šarže polotovarů, prostředí a ani ke změnám parametrů výroby.

Na obrázku 9.15 jsou základní údaje zprávy, vypočítaná statistika a indexy způsobilosti pro hodnocení způsobilosti procesu teflonování. Tabulka 11 obsahuje naměřené údaje a jejich výpočty. Jelikož při této krátkodobé způsobilosti byly odebírány vyrobené kusy přímo za sebou, nejedná se o podskupiny a není možné vypočítat výběrové aritmetické průměry a variační rozpětí, proto jsem zvolil \bar{x} , MR regulační diagramy, které vycházejí z jednotlivých hodnot a klouzavých rozpětí. Vypracováno na obrázku 9.16.

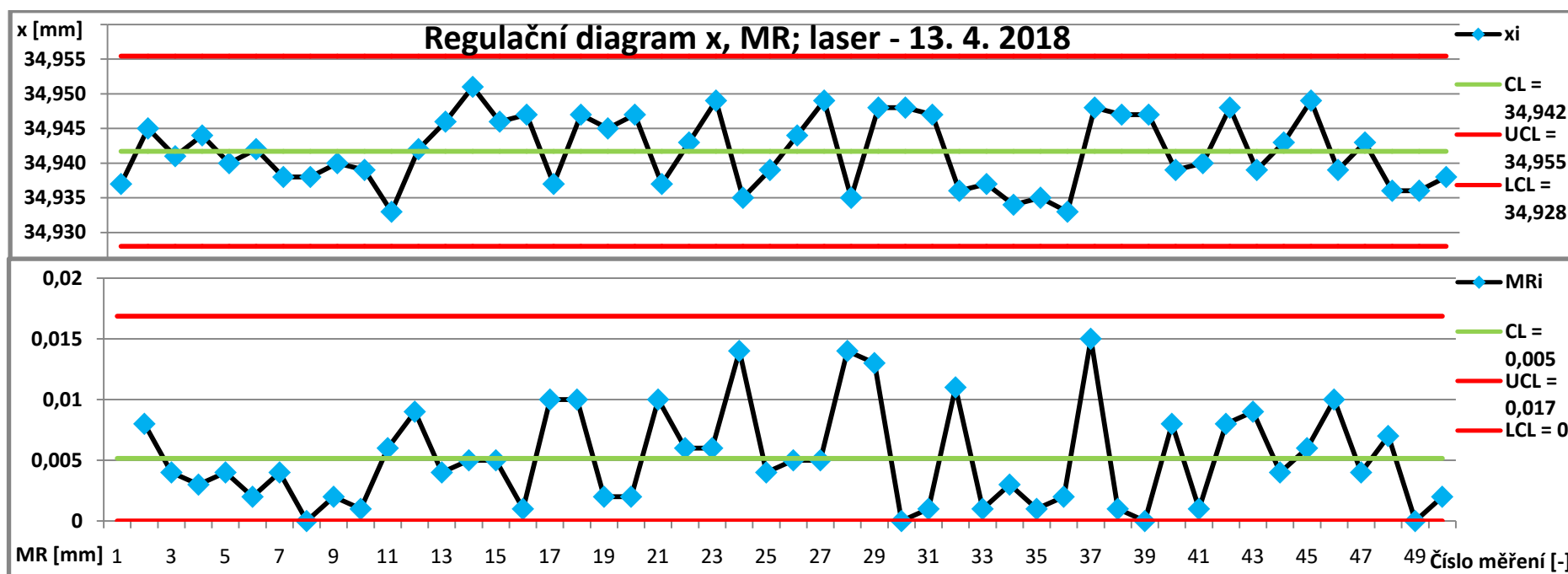
Pro výpočty regulačních mezí jsem využil koeficienty: $d_2 = 1,128$; $D_4 = 3,267$ z přílohy 1.



Obrázek 9.15: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno laserovým měřicím zařízením

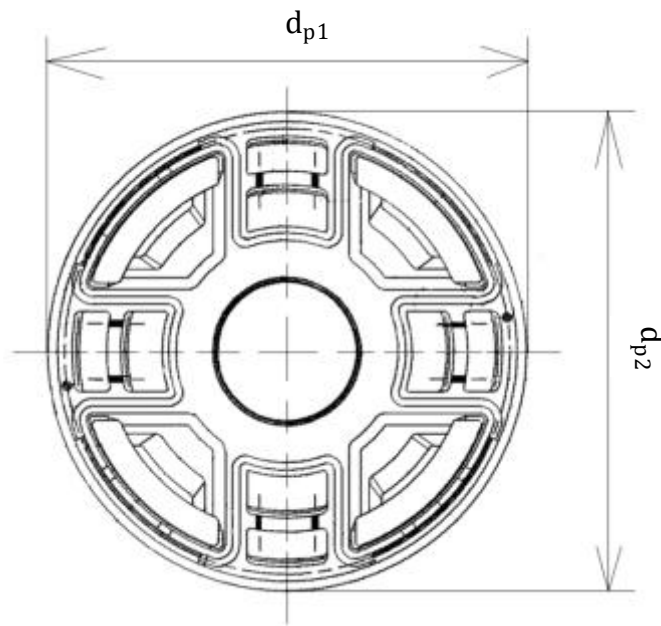
Tabulka 11: Zapsané naměřené hodnoty z laserového měřicího zařízení a jejich výpočet

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_i [mm]	34,937	34,945	34,941	34,944	34,940	34,942	34,938	34,938	34,940	34,939	34,933	34,942	34,946	34,951	34,946	34,947	34,937
MR_i [mm]		0,008	0,004	0,003	0,004	0,002	0,004	0,000	0,002	0,001	0,006	0,009	0,004	0,005	0,005	0,001	0,010
i	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
x_i [mm]	34,947	34,945	34,947	34,937	34,943	34,949	34,935	34,939	34,944	34,949	34,935	34,948	34,948	34,947	34,936	34,937	34,934
MR_i [mm]	0,010	0,002	0,002	0,010	0,006	0,006	0,014	0,004	0,005	0,005	0,014	0,013	0,000	0,001	0,011	0,001	0,003
i	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
x_i [mm]	34,935	34,933	34,948	34,947	34,947	34,939	34,940	34,948	34,939	34,943	34,949	34,939	34,943	34,936	34,936	34,938	
MR_i [mm]	0,001	0,002	0,015	0,001	0,000	0,008	0,001	0,008	0,009	0,004	0,006	0,010	0,004	0,007	0,000	0,002	



Obrázek 9.16: Regulační diagramy pro laserem naměřené hodnoty

Těchto 50 po sobě jdoucích kusů jsem následně měřil na profilprojektoru. U laserového měřicího zařízení nebylo možné zajistit, aby měřilo vnější průměr, tedy sledovaný znak kvality, ve stejné rovině. K měření docházelo vždy v náhodné rovině, proto jsem na profilprojektoru měřil pokaždé dva vnější průměry ve dvou na sebe kolmých rovinách, které jsem označil jako d_{p1} a d_{p2} , zobrazeno na obrázku 9.17.



Obrázek 9.17: Zobrazení dvou na sebe kolmých vnějších průměrů [13]

Následně jsem dva změřené vnější průměry zprůměroval, abych získal 50 průměrných hodnot x_i a mohl hodnotit způsobilost jako v předešlém případě.

Výpočet průměrných hodnot x_i tedy vypadal takto:

$$x_i = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2} [mm]. \quad (9.1)$$

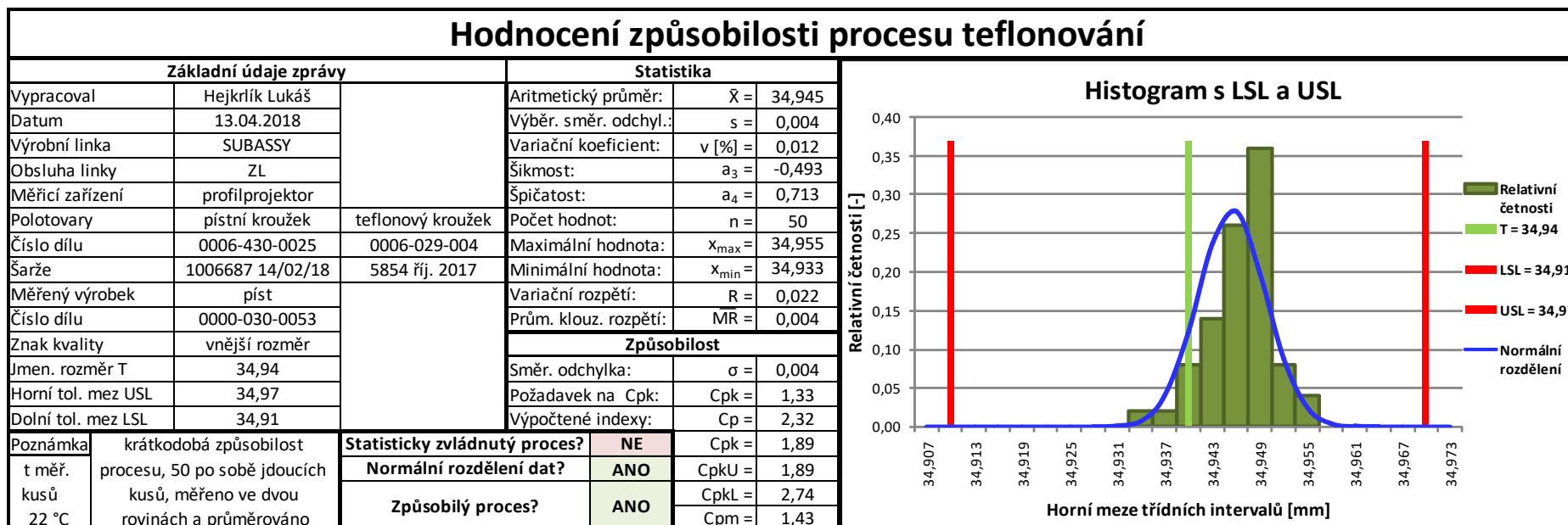
Dne 13. 4. 2018 jsem měřil na profilprojektoru s použitím magnetické desky bez přípravku.

Později 15. 6. 2018 jsem provedl znovu stejné měření s použitím magnetické desky, ale již s přípravkem, takže nebylo nutné stálé zaostřování při vkládání jednotlivých kusů. Stejný den jsem následně měřil s mikrometrem a stejným příslušenstvím jako v přípravné fázi při měření MSA pro mikrometr (podkapitola 9.4.3).

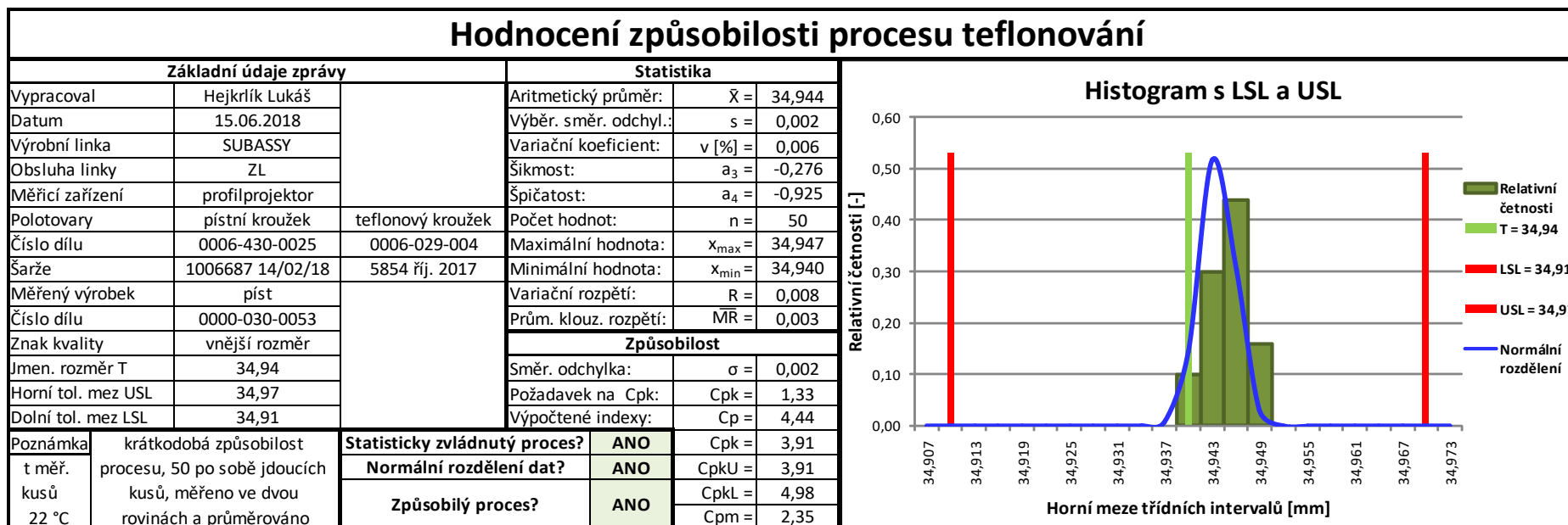
Naměřené hodnoty jsou součástí tabulky 12 a 15. Základní údaje zprávy, vypočítaná statistika a indexy způsobilosti pro hodnocení způsobilosti procesu teflonování jsou na obrázku 9.18, 9.19 a 9.22. Tabulky 13, 14 a 16 obsahují zprůměrované naměřené údaje a jejich výpočty. Vypracované \bar{x} , MR diagramy potom na obrázcích 9.20, 9.21 a 9.23. Jelikož měření na dalších zařízeních jako je profilprojektor a mikrometr by nemuselo vykazovat normální rozdělení dat, jako při měření s měřicím zařízením s laserem, kdy byl proces teflonování prohlášen za normální, provedl jsem pro jistotu znovu ověření normality. K těmto naměřeným hodnotám příkládám ověření normality na straně 109. Podle výsledků testů mají všechny naměřené hodnoty normální rozdělení, protože p-hodnota je vyšší než 0,05.

Tabulka 12: Naměřené hodnoty z měření na profilprojektoru z 13. 4. 2018 a 15. 6. 2018

Měření na profilprojektoru 13. 4. 2018						Měření na profilprojektoru 15. 6. 2018					
č. m.	d _{p1} [mm]	d _{p2} [mm]	č. m.	d _{p1} [mm]	d _{p2} [mm]	č. m.	d _{p1} [mm]	d _{p2} [mm]	č. m.	d _{p1} [mm]	d _{p2} [mm]
1	34,946	34,944	26	34,946	34,951	1	34,940	34,939	26	34,945	34,940
2	34,932	34,934	27	34,948	34,944	2	34,945	34,941	27	34,946	34,946
3	34,949	34,941	28	34,949	34,947	3	34,945	34,946	28	34,944	34,941
4	34,956	34,952	29	34,953	34,948	4	34,942	34,944	29	34,946	34,947
5	34,932	34,939	30	34,944	34,943	5	34,941	34,943	30	34,942	34,945
6	34,936	34,943	31	34,945	34,940	6	34,942	34,944	31	34,947	34,946
7	34,949	34,947	32	34,952	34,943	7	34,941	34,938	32	34,939	34,943
8	34,943	34,936	33	34,949	34,945	8	34,944	34,943	33	34,944	34,943
9	34,938	34,943	34	34,947	34,946	9	34,942	34,945	34	34,946	34,942
10	34,949	34,949	35	34,950	34,954	10	34,940	34,943	35	34,948	34,945
11	34,938	34,941	36	34,946	34,947	11	34,944	34,945	36	34,943	34,944
12	34,946	34,950	37	34,944	34,946	12	34,946	34,947	37	34,946	34,946
13	34,950	34,945	38	34,943	34,946	13	34,944	34,944	38	34,947	34,944
14	34,953	34,956	39	34,945	34,950	14	34,944	34,947	39	34,946	34,947
15	34,951	34,946	40	34,942	34,945	15	34,944	34,945	40	34,946	34,940
16	34,941	34,945	41	34,945	34,941	16	34,943	34,938	41	34,944	34,945
17	34,945	34,952	42	34,940	34,941	17	34,944	34,940	42	34,948	34,946
18	34,947	34,947	43	34,943	34,945	18	34,945	34,942	43	34,940	34,942
19	34,950	34,952	44	34,943	34,939	19	34,945	34,939	44	34,945	34,947
20	34,952	34,951	45	34,945	34,937	20	34,937	34,942	45	34,946	34,947
21	34,947	34,945	46	34,939	34,941	21	34,941	34,938	46	34,946	34,943
22	34,950	34,945	47	34,947	34,944	22	34,945	34,943	47	34,945	34,947
23	34,946	34,950	48	34,945	34,944	23	34,943	34,944	48	34,942	34,939
24	34,944	34,948	49	34,948	34,949	24	34,940	34,940	49	34,948	34,946
25	34,943	34,945	50	34,946	34,950	25	34,944	34,939	50	34,947	34,944



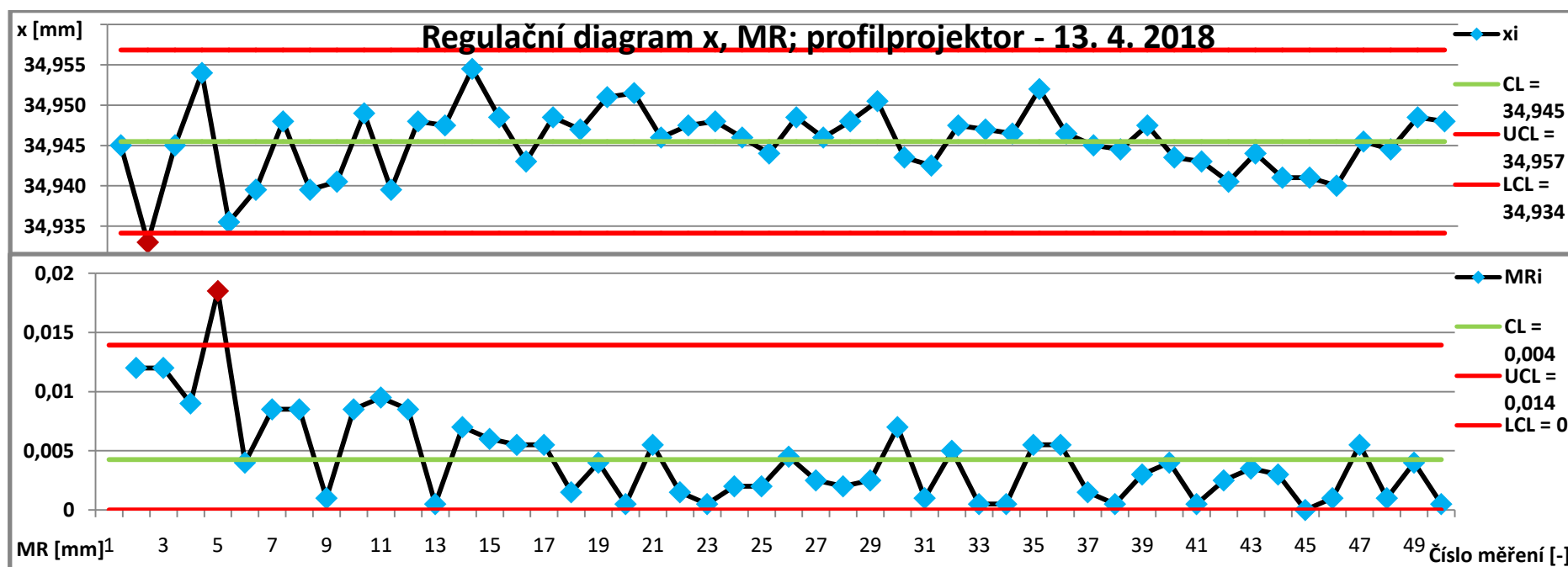
Obrázek 9.18: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno profilprojektorem 13. 4. 2018



Obrázek 9.19: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno profilprojektorem 15. 6. 2018

Tabulka 13: Naměřené hodnoty z profilprojektoru a jejich výpočet z 13. 4. 2018

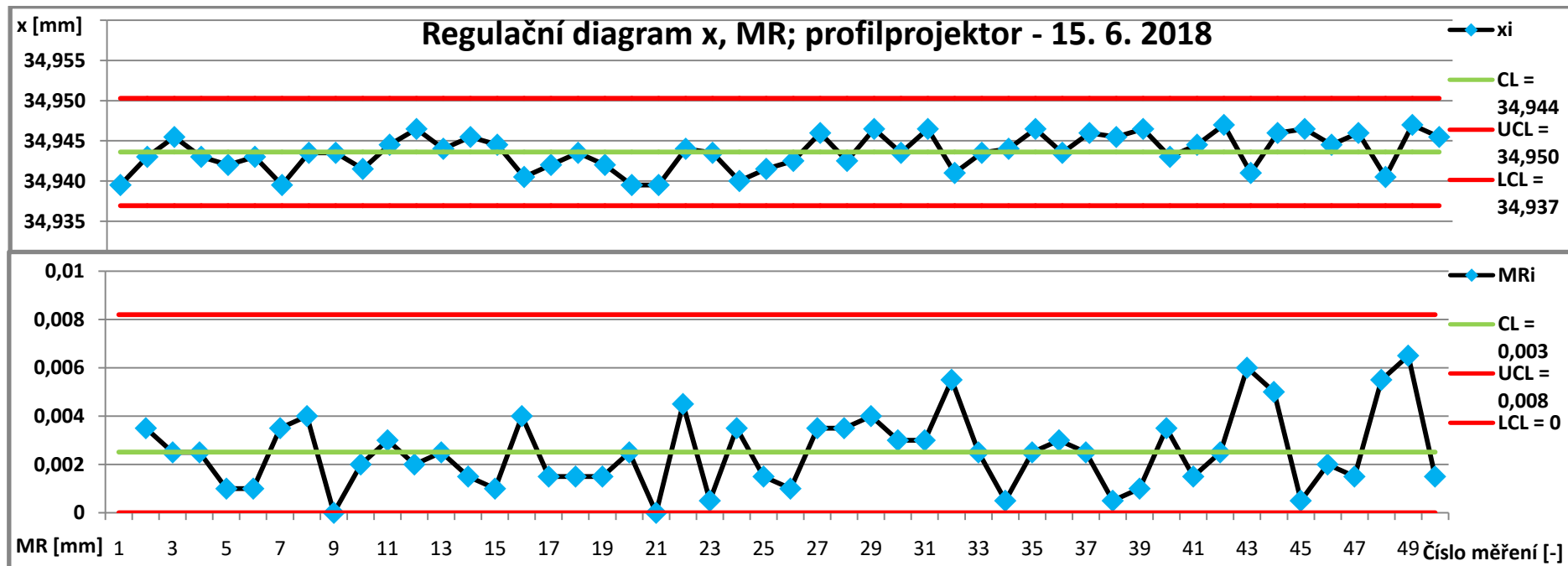
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_i [mm]	34,945	34,933	34,945	34,954	34,936	34,940	34,948	34,940	34,941	34,949	34,940	34,948	34,948	34,955	34,949	34,943	34,949
MR_i [mm]		0,012	0,012	0,009	0,018	0,004	0,009	0,009	0,001	0,008	0,009	0,008	0,000	0,007	0,006	0,005	0,005
i	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
x_i [mm]	34,947	34,951	34,952	34,946	34,948	34,948	34,946	34,944	34,949	34,946	34,948	34,951	34,944	34,943	34,948	34,947	34,947
MR_i [mm]	0,001	0,004	0,000	0,005	0,002	0,000	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,003	0,007	0,001	0,005	0,000	0,001
i	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
x_i [mm]	34,952	34,947	34,945	34,945	34,948	34,944	34,943	34,941	34,944	34,941	34,941	34,940	34,946	34,945	34,949	34,948	
MR_i [mm]	0,005	0,005	0,002	0,001	0,003	0,004	0,001	0,002	0,004	0,003	0,000	0,001	0,006	0,001	0,004	0,000	



Obrázek 9.20: Regulační diagramy pro měření profilprojektorem z 13. 4. 2018

Tabulka 14: Naměřené hodnoty z profilprojektoru a jejich výpočet z 15. 6. 2018

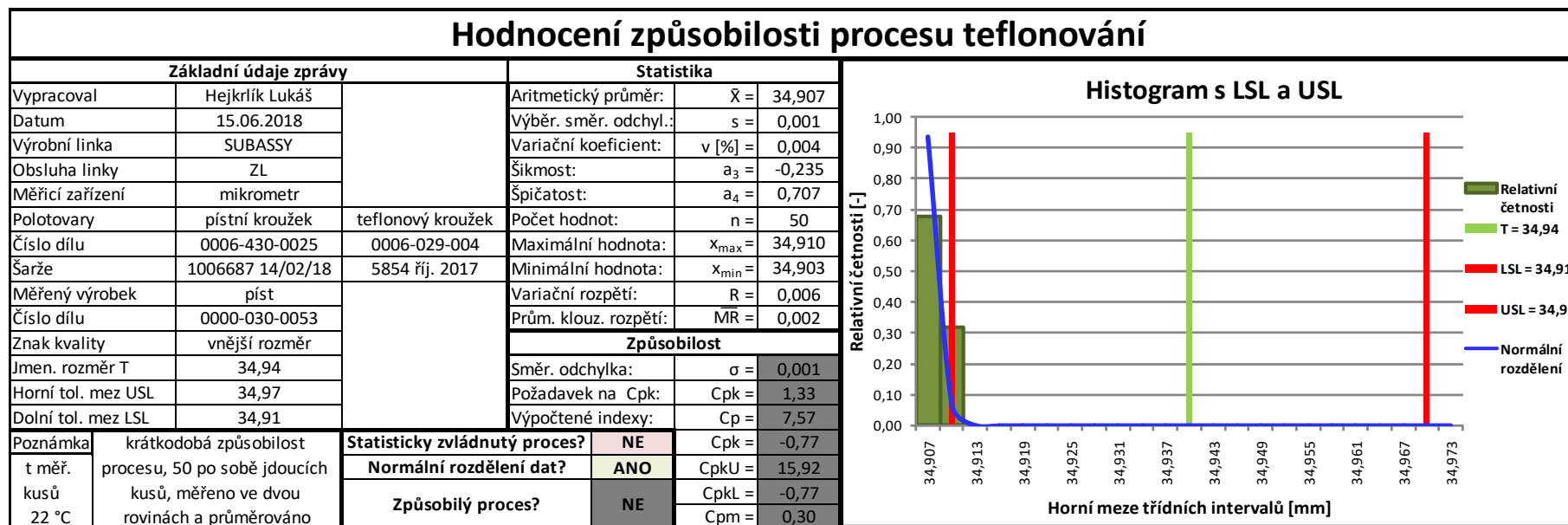
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_i [mm]	34,940	34,943	34,946	34,943	34,942	34,943	34,940	34,944	34,944	34,942	34,945	34,947	34,944	34,946	34,945	34,941	34,942
MR_i [mm]		0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,004	0,000	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,002
i	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
x_i [mm]	34,944	34,942	34,940	34,940	34,944	34,944	34,940	34,942	34,943	34,946	34,943	34,947	34,944	34,947	34,941	34,944	34,944
MR_i [mm]	0,002	0,002	0,003	0,000	0,005	0,001	0,004	0,002	0,001	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,005	0,002	0,001
i	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
x_i [mm]	34,947	34,944	34,946	34,946	34,947	34,943	34,945	34,947	34,941	34,946	34,947	34,945	34,946	34,941	34,947	34,946	
MR_i [mm]	0,002	0,003	0,002	0,000	0,001	0,004	0,002	0,002	0,006	0,005	0,001	0,002	0,002	0,005	0,007	0,002	



Obrázek 9.21: Regulační diagramy pro měření profilprojektorem z 15. 6. 2018

Tabulka 15: Naměřené hodnoty s mikrometrem z 15. 6. 2018

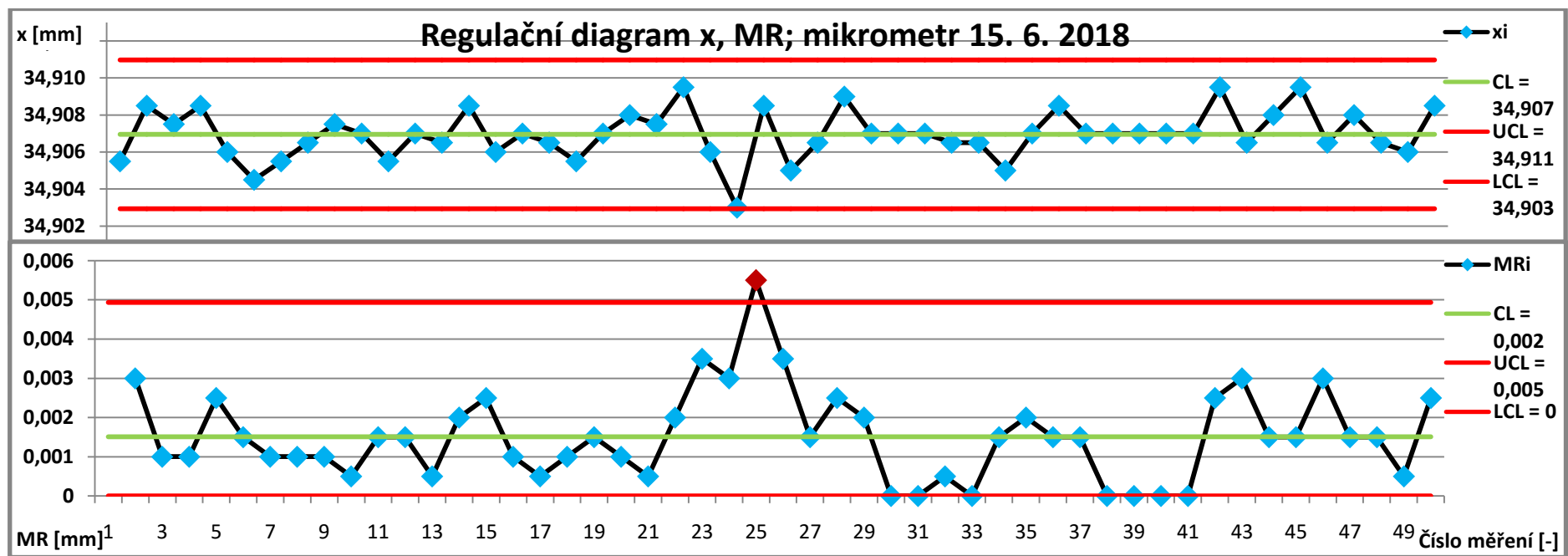
Měření s mikrometrem 15. 6. 2018					
č. m.	d _{p1} [mm]	d _{p2} [mm]	č. m.	d _{p1} [mm]	d _{p2} [mm]
1	34,905	34,906	26	34,906	34,904
2	34,910	34,907	27	34,906	34,907
3	34,906	34,909	28	34,910	34,908
4	34,907	34,910	29	34,908	34,906
5	34,907	34,905	30	34,908	34,906
6	34,902	34,907	31	34,910	34,904
7	34,906	34,905	32	34,907	34,906
8	34,905	34,908	33	34,909	34,904
9	34,910	34,905	34	34,906	34,904
10	34,906	34,908	35	34,907	34,907
11	34,908	34,903	36	34,909	34,908
12	34,906	34,908	37	34,905	34,909
13	34,908	34,905	38	34,908	34,906
14	34,907	34,910	39	34,906	34,908
15	34,903	34,909	40	34,908	34,906
16	34,908	34,906	41	34,907	34,907
17	34,906	34,907	42	34,912	34,907
18	34,906	34,905	43	34,909	34,904
19	34,905	34,909	44	34,908	34,908
20	34,910	34,906	45	34,912	34,907
21	34,908	34,907	46	34,908	34,905
22	34,908	34,911	47	34,910	34,906
23	34,906	34,906	48	34,904	34,909
24	34,905	34,901	49	34,906	34,906
25	34,909	34,908	50	34,907	34,910



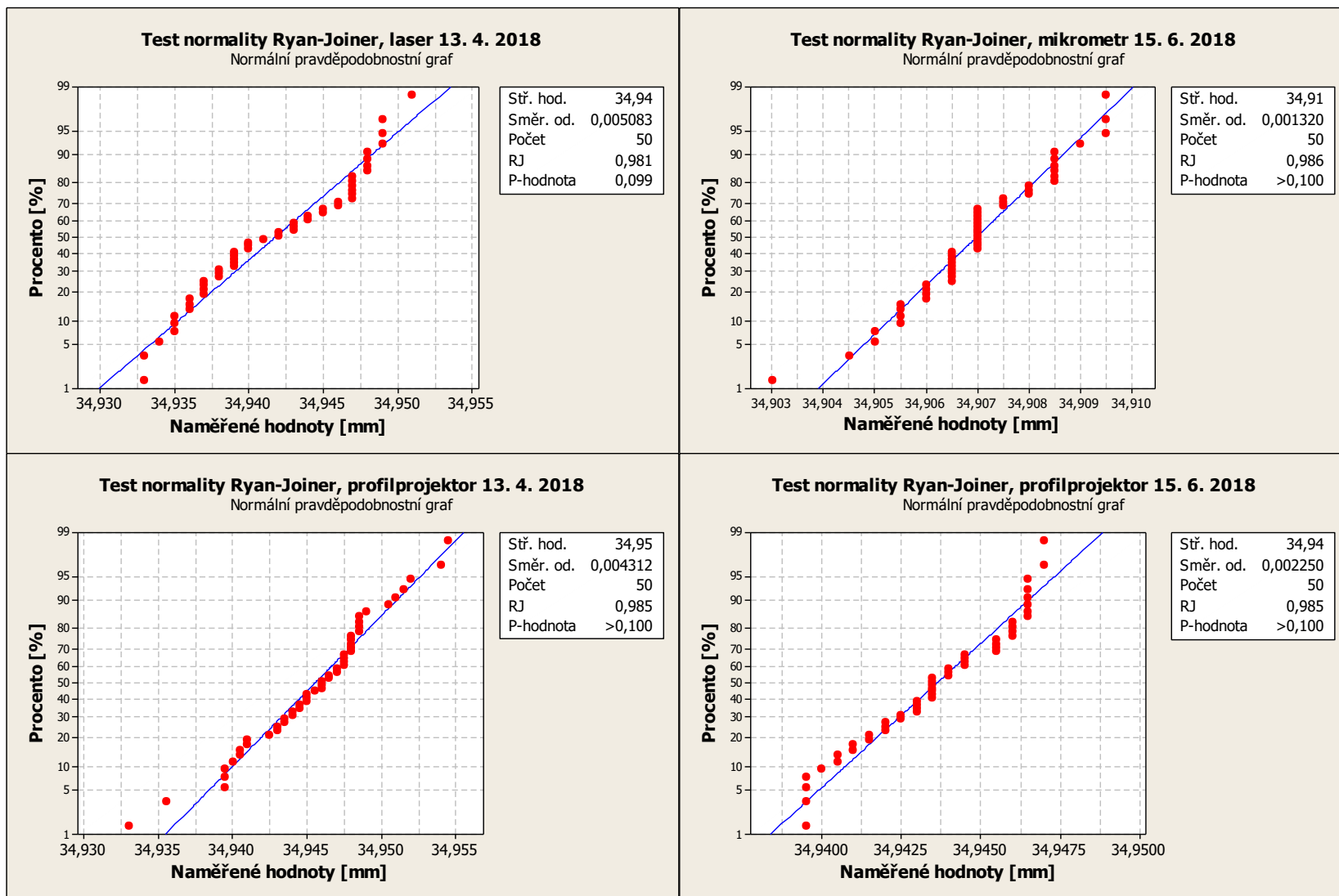
Obrázek 9.22: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno mikrometrem 15. 6. 2018

Tabulka 16: Naměřené hodnoty z mikrometru a jejich výpočet z 15. 6. 2018

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_i [mm]	34,906	34,909	34,908	34,909	34,906	34,905	34,906	34,907	34,908	34,907	34,906	34,907	34,907	34,909	34,906	34,907	34,907
MR_i [mm]		0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001
i	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
x_i [mm]	34,906	34,907	34,908	34,908	34,910	34,906	34,903	34,909	34,905	34,907	34,909	34,907	34,907	34,907	34,907	34,907	34,905
MR_i [mm]	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,003	0,005	0,004	0,001	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
i	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
x_i [mm]	34,907	34,909	34,907	34,907	34,907	34,907	34,907	34,910	34,907	34,908	34,910	34,907	34,908	34,907	34,906	34,909	
MR_i [mm]	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	



Obrázek 9.23: Regulační diagramy pro měření mikrometrem z 15. 6. 2018



Obrázek 9.24: Testy normality Ryan-Joiner z programu Minitab

Z vypočítaných hodnot, histogramů a regulačních diagramů jsem zjistil, že statisticky zvládnuté nebylo měření na profilprojektoru 13. 4. 2018, kdy ze začátku měření je z regulačních diagramů patrná nezkušenost při měření, s delším časovým intervalem se měření zlepšovalo. Tato skutečnost potvrzuje to, že profilprojektor je vhodný pouze pro zkušené operátory. Další patrný vliv byl při měření s přípravkem a bez něho na magnetické desce. S přípravkem byly dosahovány sobě si bližší hodnoty, je to vidět jak z histogramu, tak z rozdílu maximální a minimální naměřené hodnoty, tedy variačního rozpětí, které se u rozdílných metod změnilo z 0,022 mm na 0,008 mm ve prospěch měření s přípravkem. Do přípravku se píst vkládal vždy na stejné místo a nebylo nutné zaostřování, které dokáže hodně ovlivnit naměřené výsledky. Dalším problémem u optického profilprojektoru je úhel pohledu operátora při měření. Při dlouhém měření vzniká kvůli oslnění únava očí a zhoršuje se tak zaostřovací schopnost operátora, takže se během měření mohou měnit získávaná data. Podle výsledku MSA pro profilprojektor s přípravkem je zřejmé, že nejlepších výsledků bylo dosaženo, když měřil jeden operátor, protože se jednalo pouze o opakovatelnost. V ostatních případech, kdy měřili dva operátoři, byl problém v opakovatelnosti i reprodukovatelnosti. Pokud by na profilprojektoru měřil jeden operátor stejný znak kvality a byl dostatečně zkušený, dala by se tato metoda nejspíše využít pro výběrovou kontrolu. Nicméně je to jediný ze tří zkoumaných systémů měření, který by se mohl využít při zavádění výroby pístu, protože při zavádění je potřeba kontrolovat mnohem více znaků kvality, jako je například drážka, do které by se čelisti mikrometru nedostaly. U laseru je nastavena určitá výška pro měření jednoho znaku kvality. Některých nedostatků jako je reprodukovatelnost, citlivost měřicího zařízení a zaostřování, by bylo možné snížit nebo odstranit pomocí digitálního profilprojektoru, který by sám zaostřoval, a všichni operátoři by tedy měli stejné podmínky. Nehrál by zde roli ani úhel pohledu a projevila by se pouze opakovatelnost měřicího zařízení.

U měření s mikrometrem jsem potvrdil předpokládanou deformaci projevující se jako strannost měření, která vznikala při styku čelistí mikrometru s pístem, především jeho teflonovým povrchem. Výsledek je vidět z histogramu na obrázku 9.22, kde naměřené hodnoty pouze okrajově zasahují do tolerančního pole a nebylo ani možné vypočítat způsoblost procesu. Delším měřením by bylo možné

zjistit hodnotu konstantní deformace a pro vyhodnocování měřených hodnot upravit toleranční meze. Z vypočtených průměrů a jejich porovnáním jsem zjistil, že průměrná deformace byla přibližně 0,04 mm. Výhodou tohoto systému měření je rychlost, dosahovaná opakovatelnost zařízení a reprodukovatelnost mezi operátory, což dokazuje výsledek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti v % z celkové variability vzhledem k tolerančnímu poli výrobku, který byl necelých 17 %.

Nicméně, ani jeden z těchto systémů měření nemohl být vzhledem ke zjištěným výsledkům použit.

Pokud tyto dva systémy měření porovná s měřicím zařízením s laserem, tak předešlé nedostatky u profilprojektoru a mikrometru eliminuji. V případě, že je laser kalibrován, můžeme očekávat konstantní výsledky, které nejsou ovlivněny operátory. Jedná se pouze o opakovatelnost měřicího zařízení bez reprodukovatelnosti, se kterou byl ve většině z předchozích případů problém. Nesrovnatelnou výhodou je 100 % a okamžitá kontrola vyrobených pístů s neúčastí operátora. Další výhodou je, že není nutná identifikace vzorků, nedojde k pomíchání dávky a je zajištěn stejný čas měření všech kusů od doby výroby.

Aby byla získávaná data pro další vyhodnocování v pořádku, zvolil jsem po porovnání všech měřicích zařízení laser.

9.5 Získávání údajů

Pro správné vyhodnocování způsobilosti procesu pro zvolený měřený znak kvality jsem s vhodně zvoleným měřicím zařízením určil, že budu odebírat podskupiny o 5 kusech se zvoleným časovým intervalem 7 minut. Tento čas odpovídal asi 50 vyrobeným kusům.

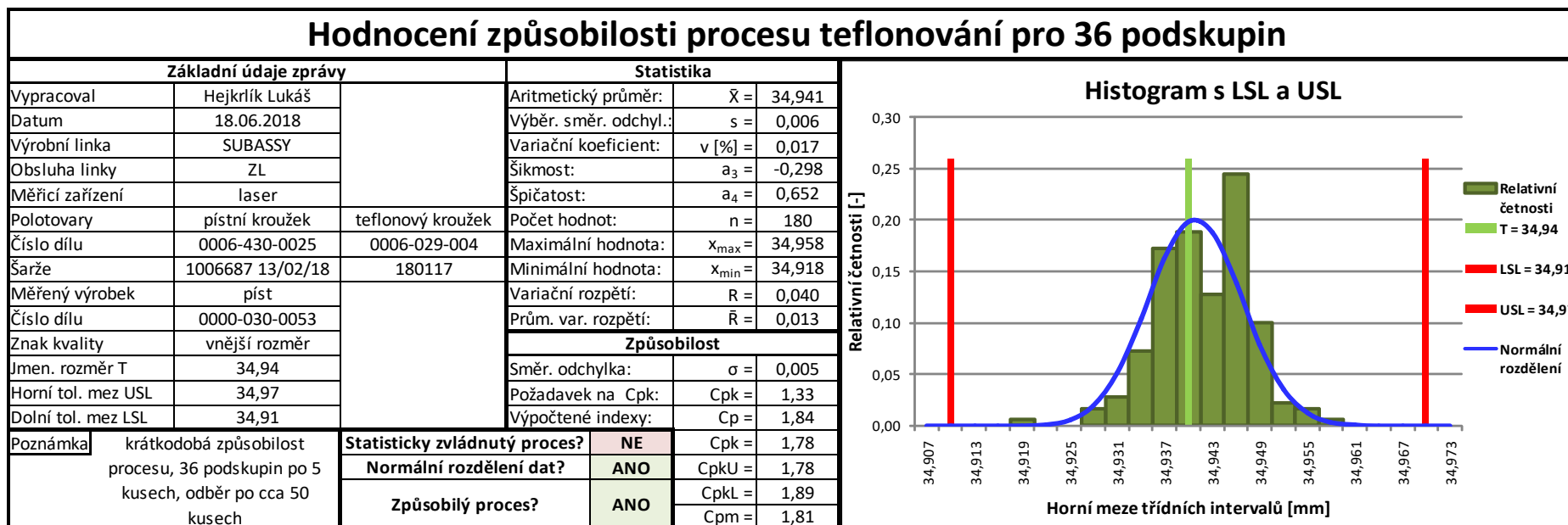
Toto získávání údajů je opět krátkodobou způsobilostí a nebylo ovlivněno např. údržbou, seřízením nebo opravou stroje. Jednalo se o běžnou výrobní směnu, zasaženou pouze přerušením výroby z důvodu obecně nutné přestávky (směnového času na jídlo). Během směny nedošlo ke změně obsluhy stroje, šarže polotovarů, prostředí a ani ke změnám parametrů výroby.

Získávání dat bylo realizováno 18. 6. 2018 a začalo po půl desáté s trváním přes 4 hodiny. Během této doby jsem získal celkem 36 podskupin pro případ, kdyby byl

proces statisticky nezvládnutý a bylo potřeba odebrat podskupiny s vymezitelnými příčinami, aby mi zůstaly pouze skupiny s náhodnými příčinami variability a nenastalo, že budu mít méně než 25 podskupin.

S časovým intervalem 8 sekund mezi jednotlivými vyrobenými kusy bylo za čas získávání údajů vyrobeno přibližně 2000 kusů.

Data jsem si zapisoval do předem připraveného formuláře a následně ho vypracoval v elektronické podobě, jako je zobrazeno na obrázku 9.25, kde jsou další základní údaje zprávy týkající se hodnocení způsobilosti výrobního procesu teflonování.



Obrázek 9.25: Hodnocení způsobilosti procesu pro 36 podskupin

Histogram s regulačními mezemi z obrázku 9.25 jsem sestrojil z 23 intervalů, ale naměřené hodnoty se pohybují pouze ve vypočtených 14 intervalech, zbylých 9 intervalů jsem uměle vytvořil pouze pro zobrazení jmenovitého rozměru, v tomto případě cílové hodnoty, a regulačních mezí. Šíři intervalu jsem následně dle vypočtených pravidel zvolil 0,003 mm (viz tabulka. 17). Na závěr jsem vykreslil normální rozdělení, aby bylo možné přibližně rozpoznat normalitu dat. Histogram se přibližuje normálnímu rozdělení. Tuto skutečnosti naznačuje i variační koeficient v , který je zřetelně nižší než přijatelná hodnota 25 %. Dále je vidět, že šikmost a_3 je menší než 0, takže mají naměřená data, a tedy i histogram, mírně pravostranné nesymetrické rozdělení. Špičatost o hodnotě 0,652 naznačuje špičatější rozdělení hodnot, než je Gaussovo normální rozdělení.

Tabulka 17: Tabulka vypočítaných pravidel pro tvorbu histogramu

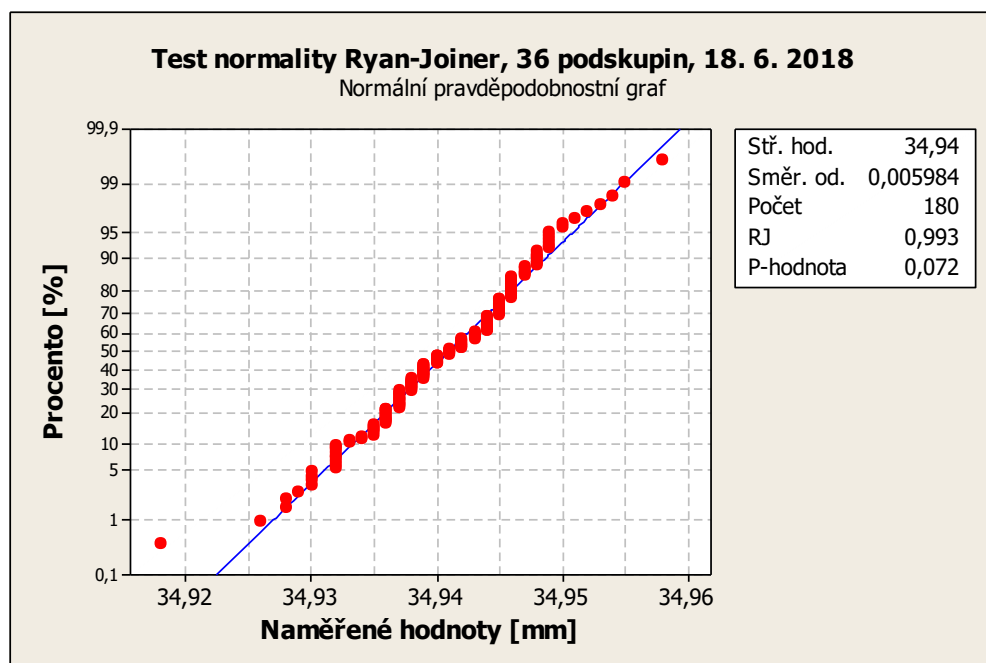
Pravidla:	Počet intervalů k	Šíře intervalu h	
Odmocnina (n)	13,4	0,0030	
$1 + 3,3 \cdot \log(n)$	8,4	0,0047	
$5 \cdot \log(n)$	11,3	0,0035	
Další pravidla:			
$0,05 \cdot R \leq h \leq 0,08 \cdot R$	0,0020	$\leq h \leq$	0,0032
$0,05 \cdot R \leq h \leq 0,12 \cdot R$	0,0020	$\leq h \leq$	0,0048
Zvolená šíře intervalu:	$h =$	0,003	
Vypočtený počet intervalů:	$k \cong \frac{R}{h} =$	14	(7 – 20)

9.6 Rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu

Pro ověření statistické zvládnutelnosti výrobního procesu jsem zvolil regulační diagram \bar{x}, R , protože pomocí něho mohu pracovat s výběrovými aritmetickými průměry a variačními rozpětími, ze kterých mohu vyčíst změny střední polohy a variability v jednotlivých podskupinách.

Pro výpočty regulačních mezí vzhledem k podskupině o rozsahu 5 členů jsem využil koeficienty: $A_2 = 0,577$; $D_3 = 0$; $D_4 = 2,114$ z přílohy 1.

Před vypracováním regulačního diagramu jsem pro jistotu prvně ověřil normalitu rozdělení získaných dat, protože pro výpočet Shewhartových regulačních diagramů jsou potřebné koeficienty na sestavení regulačních mezí. K ověření jsem využil test normality Ryan-Joiner v programu Minitab.



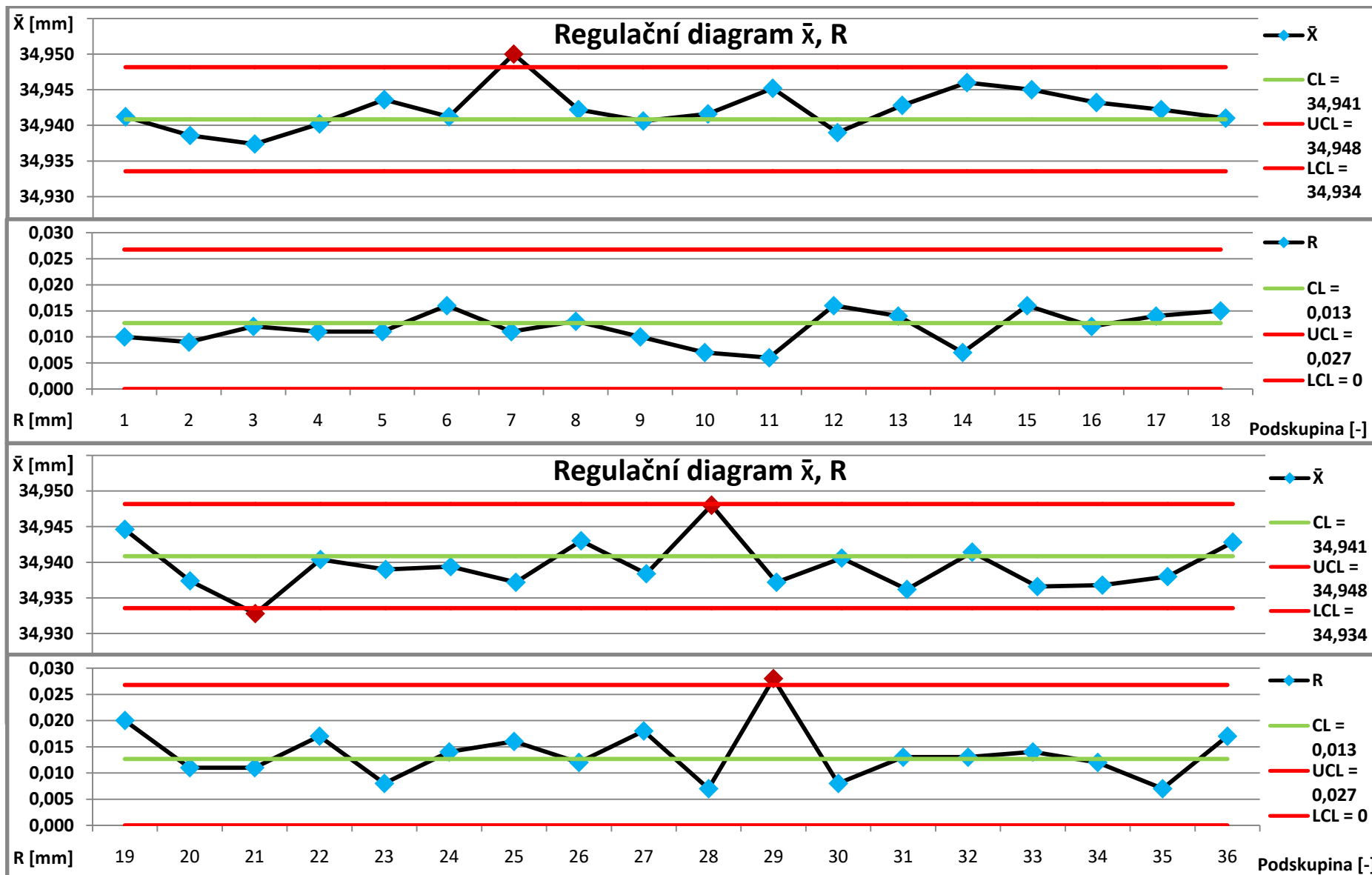
Obrázek 9.26: Test normality Ryan-Joiner pro 36 podskupin

Tento test byl pro 180 hodnot a p-hodnota rovna 0,072 je vyšší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Nezamítám tedy hypotézu H_0 a rozdělení naměřených hodnot hodnotím jako normální. Na obrázku 9.26 je vidět odlehlá hodnota, která může naznačovat, že proces nebude statisticky zvládnutý.

Na následujícím obrázku 9.27 jsou vypracované regulační diagramy pro 36 podskupin, na každém je pro zřetelné zobrazení vykresleno 18 podskupin. Ze zpracování jsou viditelné tři podskupiny, které překročily regulační meze a jedna leží na regulační mezi. Ve třech případech se jedná o překročení horní regulační meze, což naznačovala hodnota vypočtené šikmosti, jejíž výsledek vypovídal o pravostranném nesymetrickém rozdělení naměřených hodnot. Společně s vypracovanými tabulkami naměřených hodnot (tabulka 18 a 19) je zřejmé, že jediné variační rozpětí, které překročilo regulační mez, se objevuje v podskupině 29, jejíž součástí je výrobek s nejnižší naměřenou hodnotou. Tato

nejnižší hodnota vyčnívá i v histogramu vlevo v nejnižším třídním intervalu na obrázku 9.25.

V procesu se vyskytují vymezitelné příčiny variability a jedná se tedy o statisticky nezvládnutý proces, takže bude nutné proces vyčistit a jednotlivé vymezitelné příčiny rozpoznat, zavést nápravy a zabránit opakování.



Obrázek 9.27: Regulační diagramy pro 36 podskupin

Tabulka 18: Tabulka s naměřenými a vypočítanými hodnotami s popisem procesu pro prvních 18 podskupin

$x_i \setminus k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_1	34,939	34,936	34,937	34,939	34,937	34,942	34,944	34,946	34,939	34,937	34,945	34,946	34,936	34,942	34,949	34,945	34,949	34,946
x_2	34,940	34,937	34,937	34,934	34,942	34,948	34,955	34,941	34,946	34,944	34,946	34,938	34,945	34,947	34,940	34,949	34,947	34,945
x_3	34,936	34,939	34,944	34,939	34,948	34,939	34,951	34,946	34,936	34,944	34,945	34,930	34,950	34,948	34,937	34,940	34,941	34,932
x_4	34,945	34,945	34,937	34,945	34,947	34,932	34,954	34,945	34,936	34,944	34,942	34,937	34,940	34,949	34,946	34,937	34,939	34,935
x_5	34,946	34,936	34,932	34,944	34,944	34,945	34,946	34,933	34,946	34,939	34,948	34,944	34,943	34,944	34,953	34,945	34,935	34,947
\bar{x}	34,941	34,939	34,937	34,940	34,944	34,941	34,950	34,942	34,941	34,942	34,945	34,939	34,943	34,946	34,945	34,943	34,942	34,941
R	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011	0,016	0,011	0,013	0,010	0,007	0,006	0,016	0,014	0,007	0,016	0,012	0,014	0,015
Popis, změna, narušení procesu	Začátek procesu				Chyba stoperu kolíčku \emptyset 10		Otevřené dveře - doplnění teflonových kroužků do zásobníku				Chyba stoperu kolíčku \emptyset 10						Uvázlý pístití kroužek na dopravníku v 1. buňce	
Čas	9:41	9:48	9:55	10:02	10:09	10:16	10:23	10:30	10:37	10:44	10:51	10:58	11:05	11:12	11:19	11:26	11:33	11:40

Tabulka 19: Tabulka s naměřenými a vypočítanými hodnotami s popisem procesu pro zbylých 18 podskupin

$X_i \setminus k$	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
x_1	34,944	34,943	34,926	34,932	34,944	34,940	34,945	34,943	34,942	34,948	34,918	34,944	34,937	34,945	34,932	34,938	34,936	34,948
x^2	34,942	34,935	34,936	34,946	34,936	34,930	34,929	34,950	34,946	34,945	34,941	34,936	34,935	34,944	34,934	34,937	34,939	34,942
x^3	34,938	34,932	34,935	34,949	34,938	34,944	34,941	34,938	34,937	34,948	34,938	34,940	34,941	34,944	34,946	34,937	34,935	34,932
x^4	34,941	34,939	34,930	34,936	34,938	34,940	34,932	34,938	34,928	34,952	34,943	34,943	34,928	34,942	34,933	34,930	34,938	34,943
x^5	34,958	34,938	34,937	34,939	34,939	34,943	34,939	34,946	34,939	34,947	34,946	34,940	34,940	34,932	34,938	34,942	34,942	34,949
\bar{x}	34,945	34,937	34,933	34,940	34,939	34,939	34,937	34,943	34,938	34,948	34,937	34,941	34,936	34,941	34,937	34,937	34,938	34,943
R	0,020	0,011	0,011	0,017	0,008	0,014	0,016	0,012	0,018	0,007	0,028	0,008	0,013	0,013	0,014	0,012	0,007	0,017
Popis, změna, narušení procesu			Chyba stoperu količku \emptyset 10 a uvízlý pístní kroužek na dopravníku v 1. buňce	Uvázlý pístní kroužek na dopravníku v 1. buňce					Přerušení procesu - obecně nutná přestávka	Opětovné spuštění procesu			Vypršel čas na přísátí količku	Chyba osičky a posilovačky	Chyba stoperu količku \emptyset 10			Proces pokračoval
Čas	11:47	11:54	12:01	12:08	12:15	12:22	12:29	12:36	12:43	13:19	13:26	13:33	13:40	13:47	13:54	14:01	14:08	14:15

Během výroby jsem si zapisoval změny nebo narušení výrobního procesu. Tyto údaje jsem si zapsal do formuláře k časovým intervalům, kdy byly odebírány jednotlivé podskupiny a následně pro ně vypracoval tabulky 18 a 19. Díky tomu mohu provést čisticí proces. Jednotlivé podskupiny obsahující vymezitelné příčiny odeberu a analyzuji. Pro lepší přehlednost jsem od sebe barevně oddělil jednotlivé podskupiny vstupních dat a podskupiny s vymezitelnými příčinami jsem označil červeně. Čísla podskupin s vymezitelnými příčinami jsou 7, 21, 28 a 29.

U podskupiny číslo 7 mohlo být příčinou narušení procesu otevření dveří při doplňování teflonových kroužků do zásobníku, což zapříčinilo pokles předepsané teploty v 1. buňce s výrobním strojem Washer press.

Podskupina 21 byla ovlivněna narušením procesu ve dvou případech. Jednalo se o chybu stoperu kolíčku $\varnothing 10$. V tomto případě nastalo automatické pozastavení procesu. Všechny písty nacházející se v této chvíli ve formě po jejím opuštění byly automaticky i při splnění tolerančních mezních rozměrů vyvedeny na výstupu do místa na zmetky. Při pozastavení procesu klesala teplota formy, což mělo vliv na kvalitu výroby. Během této doby došlo kuvíznutí pístního kroužku na dopravníku při přejímání ze vstupních tyčí, ale tento problém by neměl mít vliv na kvalitu výroby, pouze na výrobní proces, protože dokud nebyla zajištěna náprava, nebyly dodávány nové písty.

V případech podskupin 28 a 29 se jednalo o znovuspuštění procesu po obecně nutné přestávce, takže nemusely být dosaženy předepsané procesní teploty a proces nebyl dostatečně stabilizován. Další možností je, že při začátku procesu mohl být ve formě napečený teflon z předchozího procesu.

Tímto jsem zjistil, že proces je narušován systematickými zásahy v podobě doplňování teflonových kroužků nebo spouštěním procesu. Tyto vymezitelné příčiny nenaznačují, že by se jednalo o statisticky nezvládnutý proces.

Při doplňování teflonových kroužků je tedy důležité, aby operátor, který zakládá polotovary, byl zkušený a jednal rychle.

Avšak chyba stoperu kolíčku $\varnothing 10$ je vymezitelnou příčinou, která by se neměla objevovat a vede ke statisticky nezvládnutému procesu.

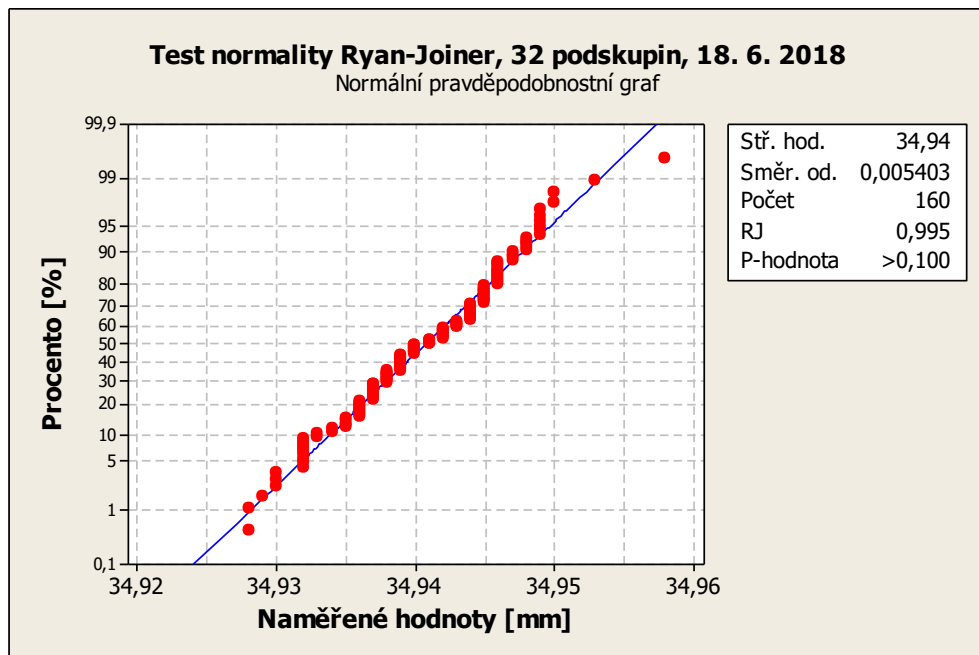
Doporučuji zavést nápravná opatření pro stoper kolíčku $\varnothing 10$, kdy je ovlivněna kvalita výrobku přerušením procesu. Tato chyba se objevovala opakovaně. Dále je potřeba vyřešit zasekávání pístních kroužků na dopravníku. Jednou se objevila chyba vypršení času na přísátí kolíčku a chyba osičky a posilovačky. V těchto případech byl proces také pozastaven. Tyto chyby je nutné napravit, aby se neopakovaly a proces sledovat.

Z indexů způsobilosti lze vyčíst, že indexy $C_p = 1,84$ a $C_{pk} = 1,78$ jsou větší než požadovaná hodnota 1,33. V případě odstranění vymezené příčiny tento výsledek naznačuje, že je proces způsobilý. Z histogramu je zřejmé, že naměřené hodnoty se pohybují blízko k cílové hodnotě, jmenovitěmu znaku kvality, a jsou dostatečně vzdálené od tolerančních mezí, takže vymezené příčiny mají dost prostoru uvnitř tolerančního pole.

Nicméně jsem 4 podskupiny, v nichž se nacházely vymezené příčiny, odebral a znovu posoudil i statistickou zvládnutelnost procesu se zbylými 32 podskupinami. Proto je potřeba přepočítat centrální přímky a regulační meze pro nové regulační diagramy.

Rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu po čisticím procesu

Při novém vypracování regulačního diagramu jsem opět pro jistotu ověřil normalitu rozdělení získaných dat, protože je potřeba znovu vypočítat a sestavit nové regulační diagramy. K tomuto ověření jsem opět využil test normality Ryan-Joiner v programu Minitab, nyní pro zbylých 32 podskupin, tedy 160 hodnot, a jelikož byly podskupiny s vymezenými příčinami při čisticím procesu odebrány, výsledná p-hodnota by měla být vyšší a tím i normální rozdělení lepší.



Obrázek 9.28: Test normality Ryan-Joiner pro 32 podskupin

P-hodnota je větší než před čisticím procesem a i zde nezamítám hypotézu H_0 , rozdělení hodnot je normální. Zde je vidět, že jedna výrazně odlehlá hodnota z obrázku 9.26 vlevo dole se během tohoto testu nevyskytovala, protože byla v odebraných podskupinách.

Z důvodu provádění pouze testů normality Ryan-Joiner, jsem před vypočítáním indexů způsobilosti pro zvýšení jistoty a ověření tohoto testu vypracoval v Excelu Cochranův test normality. Tento test, využívající výběrové rozptyly jednotlivých podskupin, jsem mohl použít, protože mám všechny podskupiny o stejném počtu hodnot. Výpočty a parametry testu jsou v tabulce 20.

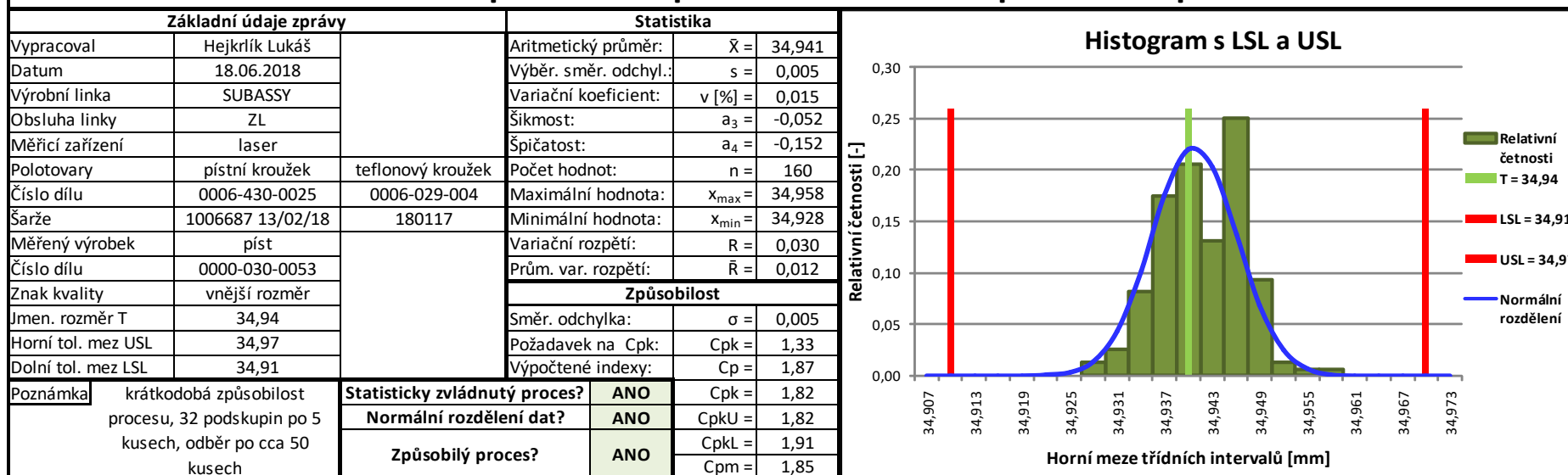
Tabulka 20: Parametry a výpočty pro Cochranův test

Počet podskupin $k =$	32
Rozsah podskupin $n =$	5
$S_{(k)}^2 = S_{\max}^2$	6,08E-05
Statistika $G =$	0,0695
$v = n-1 =$	4
Zvolená hladina významnosti $\alpha =$	0,05
Kritická hodnota $G_{1-\alpha}(k, v) = G_{0,95}(32, 4) =$	0,1305
Hypotéza rovnosti rozptylů $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$	PLATÍ

Statistika G je menší než kritická hodnota $G_{0,95}(32, 4)$, takže hypotézu H_0 nezamítám a ani největší rozptyl S_{\max}^2 nepovažuji za odlehlý. Testovaná data mají i podle tohoto testu pro zvolenou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ normální rozdělení, čímž jsem potvrdil shodu s testem normality Ryan-Joiner.

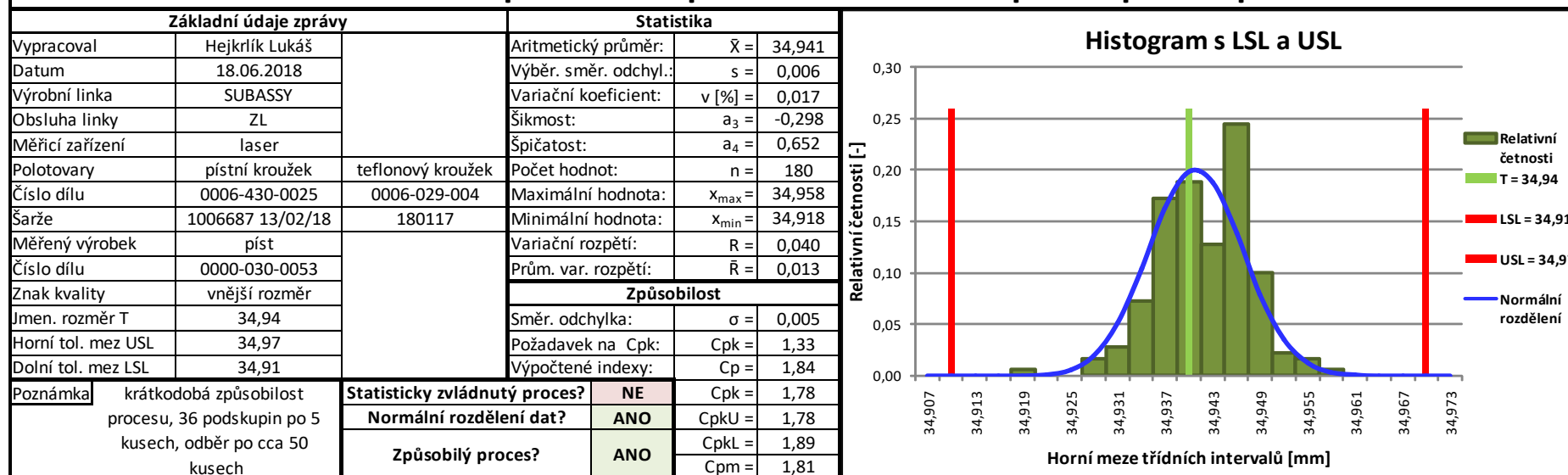
Následně nově vypracovaná zpráva hodnocení způsobilosti procesu teflonování s aktuálními daty pro zbylé podskupiny je zobrazena na obrázku 9.29.

Hodnocení způsobilosti procesu teflonování po čisticím procesu



Obrázek 9.29: Hodnocení způsobilosti procesu pro 32 podskupin po čisticím procesu

Hodnocení způsobilosti procesu teflonování pro 36 podskupin



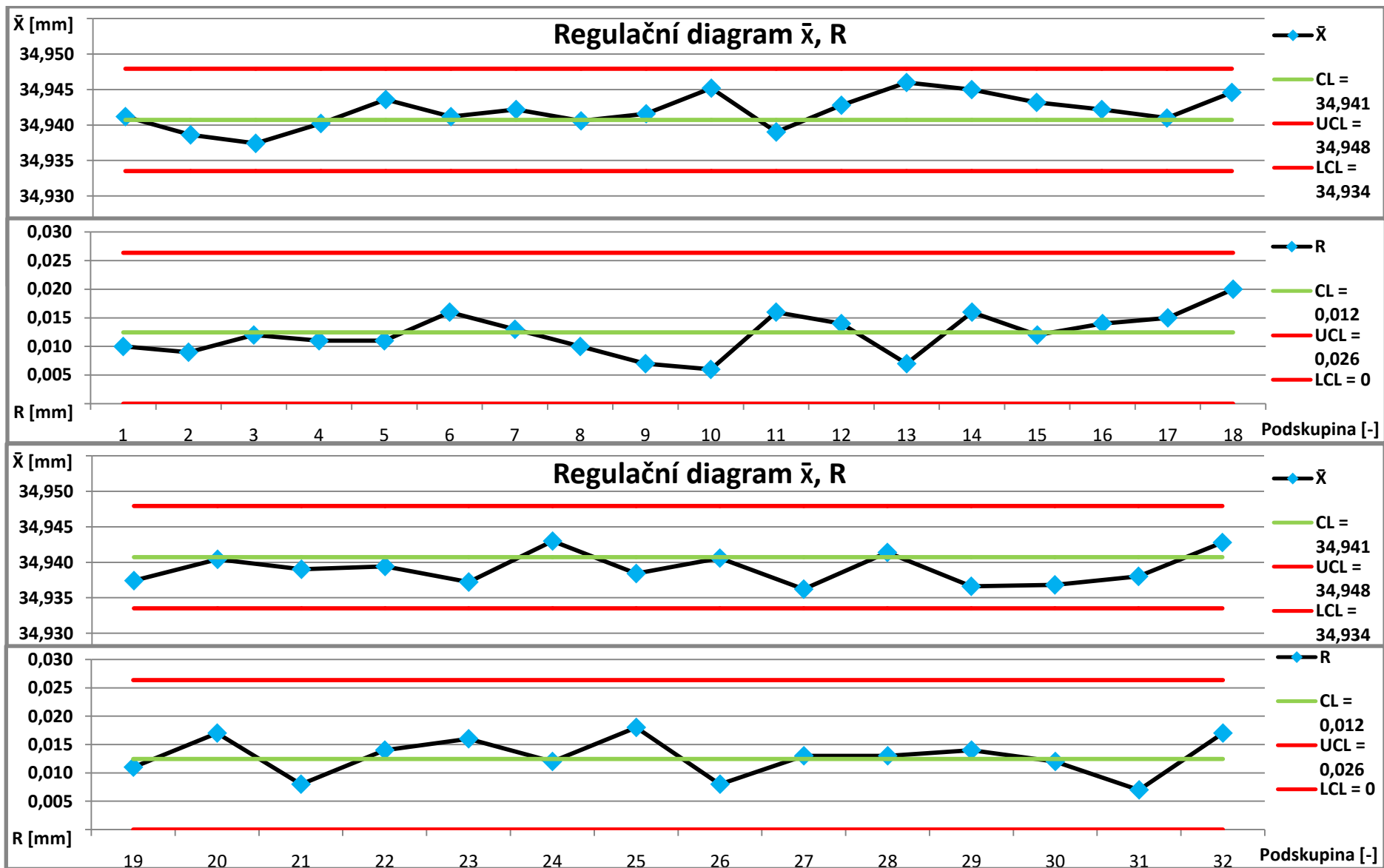
Obrázek 9.30: Hodnocení způsobilosti procesu pro 36 podskupin

Pro porovnání histogramů a statistických výpočtů jsem vložil obě zprávy hodnocení způsobilosti procesu teflonování s 32 podskupinami a 36 podskupinami na dvě stránky za sebe, viz obrázek 9.29 a 9.30. Z tohoto porovnání jsem zjistil, že nový histogram neobsahuje žádnou hodnotu v třídním intervalu s horní mezí 34,919 mm, jako tomu bylo u předchozího. Je to následek odstranění podskupiny obsahující tuto hodnotu. Toto byl také jeden z důsledků získání lepší normality rozložení, patrné jak z testu normality, tak histogramu. Jelikož nejsou nyní patrné žádné závažně odlehle hodnoty, mohlo by se jednat pouze o náhodné příčiny v procesu. U histogramu jsem i v tomto případě použil 23 intervalů se šíří 0,003 mm z důvodu zachování stejného měřítka pro jednodušší porovnávání, i zde dané parametry splňovaly pravidla pro sestavení histogramu.

Odstraněním podskupin došlo ke snížení variačního koeficientu. Dále ke snížení pravostranného nesymetrického rozdělení u šikmosti, která je nyní téměř nepatrná. Špičatost je nyní -0,152 a oproti předešlé hodnotě 0,652 také nižší, v této chvíli se nejedná o špičatější rozdělení hodnot, ale o rozdělení četností plošších než je Gaussovo normální rozdělení. Nicméně se méně než 4x více přibližuje normálnímu rozdělení než v předešlé zprávě. Došlo ke změně nejnížší hodnoty celé skupiny hodnot, což zapříčinilo snížení variačního rozpětí a průměrného variačního rozpětí.

Na obrázku 9.31 jsou zobrazeny regulační diagramy s nově vypočítanými centrálními přímkami a regulačními mezemi. U diagramů \bar{x} s výběrovými aritmetickými průměry nedošlo ke změně hodnot centrální přímkou ani regulačních mezí.

Tabulky naměřených hodnot nepřikládám, neboť jejich hodnoty jsou shodné s tabulkami 18 a 19, pouze s rozdílem, že vyřazené podskupiny obsahující vymezené příčiny byly zaměněny za zbylé podskupiny, u kterých došlo k posunutí. Tím získala poslední podskupina číslo 32.



Obrázek 9.31: Regulační diagramy pro 32 podskupin po čisticím procesu

Jako první začnu s analýzou diagramu R, která charakterizuje změnu variability, protože při výpočtu regulačních mezí v diagramu \bar{x} se také využívá hodnota aritmetického průměru variačních rozpětí \bar{R} .

Z diagramů na obrázku 9.31 je zřejmé, že žádné body nepřekročily regulační meze, 7 po sobě následujících bodů za sebou neleží na jedné straně od střední hodnoty a nemá rostoucí nebo klesající tendenci. Diagram R neobsahuje vymežitelné příčiny a je tedy v pořádku, takže mohu pokračovat v analýze diagramu \bar{x} , charakterizujícího střední polohu.

U diagramů \bar{x} na obrázku 9.31 také leží všechny body uvnitř regulačních mezí. V případě podskupin 12 až 18 došlo téměř k sedmi po sobě jdoucím bodům, které leží na horní straně od střední hodnoty, ale bod v 17. podskupině leží na střední hodnotě. V žádném případě nemá 7 po sobě jdoucím bodům klesající nebo rostoucí tendenci. Přibližně 2/3 bodů leží uvnitř střední třetiny oblasti ohraničené regulačními mezemi, což je také v pořádku.

Jelikož se v regulačních diagramech \bar{x} , R nevyskytují žádná náhodná seskupení a vymežitelné příčiny, je proces statisticky zvládnutý a může obsahovat pouze příčiny náhodné.

9.7 Indexy způsobilosti procesu

V tabulce 21 je vypočítaná směrodatná odchylka σ a jednotlivé indexy způsobilosti. Pro výpočet směrodatné odchylky jsem použil koeficient $d_2 = 2,326$ odpovídající podskupinám o rozsahu 5 kusů z přílohy 1.

Tabulka 21: Tabulka s vypočítanou směrodatnou odchylkou σ a indexy způsobilosti procesu

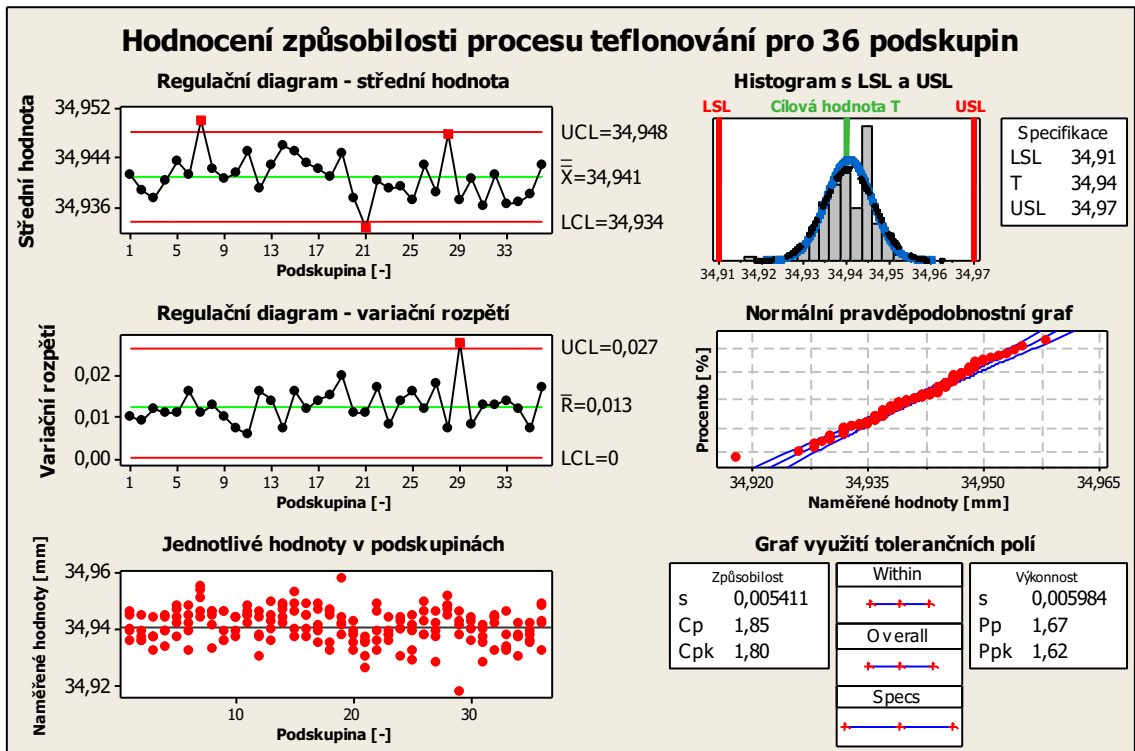
$\sigma =$	0,005
$C_p =$	1,87
$C_{pk} =$	1,82
$C_{pkU} =$	1,82
$C_{pkL} =$	1,91
$C_{pm} =$	1,85

Index způsobilosti C_p je 1,87, což je ze všech nejvyšší hodnota, protože je to pouze potenciální schopnost procesu udržet hodnotu sledovaného znaku

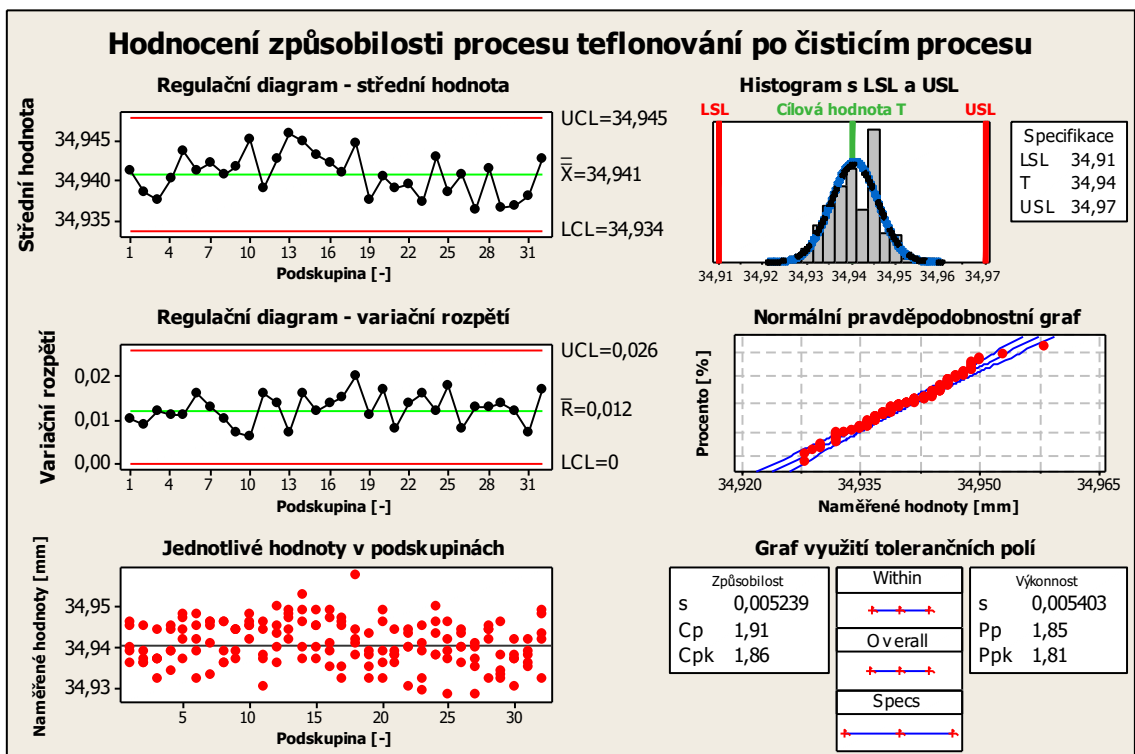
kvality uvnitř tolerančních mezí, kterou je proces teflonování schopen dosáhnout. Bez závislosti na tom, jak jsou získané hodnoty znaku kvality umístěny uvnitř tolerančního pole. Proto mě více zajímá index způsobilosti C_{pk} , který je 1,82 a zobrazuje nejen variabilitu sledovaného znaku kvality, ale na rozdíl od indexu C_p i polohu vzhledem k tolerančním mezím. Jedná se o skutečnou charakteristiku procesu, jak doopravdy proces teflonování vyrábí. Požadavek na index způsobilosti C_{pk} byl $C_{pk} \geq 1,33$. Tato hodnota byla s rezervou splněna. Index způsobilosti $C_{pk} = 1,82$ odpovídá tomu, že předepsané toleranční pole je využito z méně než 60 %. Index způsobilosti C_{pkL} dosahuje hodnoty 1,91 a přibližuje se hodnotě 6σ , která znamená, že využití tolerančního pole je pouze z 50 %. Tato skutečnost je vidět i z histogramu na obrázku 9.29, kde se získané hodnoty v levé části od cílové hodnoty T pohybují v menší vzdálenosti než na straně pravé. Index způsobilosti C_{pm} vyšel 1,85, takže se velmi přibližuje hodnotě 2, což by byl výsledek, kde může nastat $C_{pm} = C_p$. To by naznačovalo, že střední hodnota znaku kvality by se nacházela v cílové hodnotě $T = 34,94$ mm, v tomto případě jmenovitému rozměru. Všechny indexy jsou větší než 1,33. Výrobní proces je po čisticím procesu statisticky zvládnutý a způsobilý, došlo i ke zvýšení indexů způsobilosti.

Tento výsledek potvrzuje i krátkodobá způsobilost procesu (machine capability) při laserem měřených 50 po sobě jdoucích kusech, která je na obrázku 9.15 (strana 97) a regulačních diagramech 9.16 (strana 98). Těchto 50 kusů bylo měřeno, když nebyl proces narušován systematickými zásahy a žádnými chybami, stejně jako proces po čištění. Proces byl statisticky zvládnutý a způsobilý. Žádná regulační mez nebyla překročena a indexy způsobilosti mají srovnatelné hodnoty.

Pro ověření správnosti mého vypracování v programu MS Excel, jak regulačních diagramů \bar{x} , R , tak indexů způsobilosti jsem zpracoval ještě stejná data v programu Minitab. Při porovnání obou zpracování lze vidět shodné výsledky. Menší rozdíly se objevují pouze u histogramu, který může být odlišný z důvodu jiného množství vypočítaných intervalů. Indexy způsobilosti se liší v tisícinách, což mohlo být zapříčiněno rozdílnou přesností použitých koeficientů. Zpracování v programu Minitab na obrázku 9.32 a 9.33.



Obrázek 9.32: Hodnocení způsobilosti procesu pro 36 podskupin



Obrázek 9.33: Hodnocení způsobilosti procesu po čisticím procesu

10 Závěr

Na vyráběném pístu, jehož výrobní proces je již v provozu, jsem zvolil jeden z nejdůležitějších znaků kvality, který může ovlivnit požadované vlastnosti, jež musí být splněny pro správnou funkci tlumiče. Tímto znakem je vnější průměr na výrobní dokumentaci označen jako $\varnothing 34,94 \pm 0,03$ mm.

Abych mohl provést hodnocení způsobilosti procesu pro zvolený znak kvality, musel jsem nejdříve analyzovat výrobní proces a ověřit jeho normalitu. Poté jsem analyzoval a vyhodnotil jednotlivá měřicí zařízení pomocí analýzy systému měření (MSA). Při analyzování optického profilprojektoru jsem vyzkoušel více metod měření a dospěl jsem k závěru, že zařízení by se vzhledem k nevyhovující opakovatelnosti a reprodukovatelnosti nemělo pro měření tohoto znaku kvality používat. Pokud by se využívalo při zavádění procesu a bylo potřeba měřit více znaků kvality, měl by měření provádět pouze jeden zkušený operátor. Jelikož je měření na optickém profilprojektoru velmi citlivé, bylo by vhodnější využít digitální profilprojektor, čímž by došlo ke snížení a odstranění některých vlivů u operátorů, jako je např. úhel pohledu, oslnění nebo zaostřování.

Dalším analyzovaným měřicím zařízením byl digitální mikrometr, u kterého se potvrdila strannost měření představující systematickou chybu měření zapříčiněnou deformací měřených pístů, která je přibližně 0,04 mm. Výhodou byla rychlost měření a výsledek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti z celkové variability vzhledem k tolerančnímu poli výrobku (%R&R), který se přiblížil hodnotě 15 %, ale z důvodu deformace jsem tento systém měření nemohl použít.

U měřicího zařízení s laserem nebylo možné provést analýzu systému měření, protože je součástí konstrukce stroje, která to bohužel neumožňovala. Nebylo možné poslat opakovaně již jednou naměřené kusy, takže jsem měřicí zařízení s laserem porovnal s výsledky z provedených měření u ostatních měřicích zařízeních. Po porovnání všech analýz jsem zjistil, že předešlé nedostatky neovlivňují laser. Navíc je nesrovnatelnou výhodou 100 % a okamžitá kontrola vyrobených pístů s neúčastí operátora. Další výhodou je, že není nutná identifikace vzorků, nedojde k pomíchání dávky a je zajištěn stejný čas měření všech kusů od doby výroby.

Po zvolení měřicího zařízení s laserem za nejlepší možnou variantu pro získávání dat jsem určil, že budu z výrobního procesu odebírat podskupiny o 5 kusech se zvoleným intervalem 7 minut, což odpovídalo přibližně 50 vyrobeným kusům. Podskupiny byly získávány během běžné směny, takže došlo k přerušení výroby z důvodu obecně nutné přestávky. Měření jsem prováděl přes 4 hodiny a za tu dobu získal celkem 36 podskupin. Při rozhodování o statistické zvládnutelnosti procesu jsem pomocí vypracovaných regulačních diagramů \bar{x} , R zjistil, že výrobní proces není statisticky zvládnutý, protože hodnoty ve 4 podskupinách překročily regulační meze. Tyto vymezené příčiny jsem dohledal ve vypracovaném formuláři, kam jsem si zapisoval průběh procesu. U vymezené příčiny patřící do 7. podskupiny jsem zjistil, že v tuto dobu byla otevřena dvířka kvůli doplnění teflonových kroužků do zásobníku a vznikl pokles teploty v 1. buňce. Další podskupina číslo 21 byla zasažena chybou stoperu kolíčku $\varnothing 10$ a zároveň uvízlého pístitního kroužku na dopravníku v 1. buňce. Při chybě stoperu kolíčku byl automaticky pozastaven proces výroby, čímž mohla poklesnout teplota formy. Dále podskupiny číslo 28 a 29 obsahovaly vymezené příčiny, protože se jednalo o první dvě zaznamenané podskupiny po obecně nutné přestávce, kdy byl opět spuštěn provoz. Mohlo se jednat o abnormalitu při zavedení výroby, než se proces stabilizoval.

Tímto jsem zjistil, že proces je narušován systematickými zásahy v podobě doplňování teflonových kroužků nebo spouštěním procesu. Tyto vymezené příčiny nenaznačují, že by se jednalo o statisticky nezvládnutý proces. Avšak chyba stoperu kolíčku $\varnothing 10$ je vymezenou příčinou, která by se neměla objevovat, a vede ke statisticky nezvládnutému procesu.

Indexy způsobilosti byly znatelně vyšší než požadovaná hodnota 1,33. Vymezené příčiny, které byly rozpoznány, se i přesto vyskytovaly poblíž cílové hodnoty 34,94 mm v dostatečné vzdálenosti od tolerančních mezí. Proces je poměrně úzký a má dostatečnou rezervu pro vymezené příčiny, které mohou být způsobeny systematickými zásahy nebo spouštěním procesu, než se výroba ustálí.

Po rozpoznání vymezených příčin jsem provedl čisticí proces a vyřadil celé 4 podskupiny. Se zbylými podskupinami, bez vymezených příčin, jsem opět

vypočítal centrální průměr, regulační meze, a sestrojil nový regulační diagram \bar{x} , R. Žádná ze zbylých 32 podskupin nepřekročila regulační meze a nebyla patrna žádná náhodná uskupení. Po procesu čištění už podskupiny obsahovaly pouze náhodné příčiny, takže jsem proces uvedl do statisticky zvládnutého stavu.

Po tomto kroku jsem pro jistotu znovu ověřil, zda se jedná o normální rozdělení hodnot, abych mohl vypočítat indexy způsobilosti procesu. Index způsobilosti procesu teflonování C_p je 1,87 a C_{pk} se rovná 1,82. Takto je proces způsobilý, protože kladený požadavek $C_{pk} \geq 1,33$ byl splněn. S touto výslednou hodnotou je předepsané toleranční pole využito z méně než 60 %.

Podle krátkodobého vyhodnocení způsobilosti je proces normální, statisticky zvládnutý a způsobilý.

Společnost KMCZ by měla zavést nápravná opatření pro stoper kolíčku $\varnothing 10$, kdy je ovlivněna kvalita výrobku přerušením procesu. K této chybě docházelo opakovaně. Dále je potřeba vyřešit zasekávání pístních kroužků na dopravníku. Jednou se objevila chyba vypršení času na přisátí kolíčku a chyba osičky a posilovačky. V těchto případech byl proces také pozastaven. Tyto chyby je nutné napravit, aby se neopakovaly a proces sledovat při jeho spouštění, jinak by mohlo dojít ke zhoršování kvality pístů nebo snížení produkce způsobeným poškozením částí stroje.

Dále společnosti KMCZ doporučuji pokračovat v analýze a zlepšování systému měření u profilprojektoru, např. v případě potřeby pořízením digitálního profilprojektoru.

Pokud by nastala možnost analyzovat systém měření s laserem, vhodnou metodou by bylo provést hodnocení systému měření pomocí indexů způsobilosti vycházející pouze z opakovatelnosti opakovaným měřením etalonu, který by měl mít jmenovitý rozměr stejný jako střed tolerančního pole znaku kvality.

Mnou provedené hodnocení způsobilosti bylo pouze krátkodobé. Doporučuji provést dlouhodobou způsobilost a statistickou regulaci procesu teflonování, která by zahrnula co nejvíce změn jako je např. údržba, seřízení nebo oprava stroje, změna šarže polotovarů nebo parametrů výroby.

Použitá literatura

- [1] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [2] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*. 4. vyd. Praha: ÚNMZ, březen 2016.
- [3] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN 80-7226-543-1.
- [4] NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody v řízení jakosti*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-318-4.
- [5] KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. *Statistická a rozhodovací analýza*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05509-0.
- [6] FABIAN, František, HORÁLEK V., KŘEPELA J., MICHÁLEK J., CHMELÍK V., CHODOUNSKÝ J., KRÁL J. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01897-1.
- [7] VEBER, Jaromír. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN 8024717824.
- [8] KUPKA, Karel. *Statistické řízení jakosti: interaktivní analýza a interpretace dat pro řízení jakosti a ekonomiku*. Pardubice: TriloByte, c1997. ISBN 802381818x.
- [9] BUDÍKOVÁ, Marie, Maria KRÁLOVÁ a Bohumil MAROŠ. *Průvodce základními statistickými metodami*. Praha: Grada, 2010. ISBN 8024732432.
- [10] JAROŠOVÁ, Eva a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Pokročilejší metody statistické regulace procesu*. Praha: Grada Publishing, 2015. Expert (Grada). ISBN 8024753553.
- [11] BOŘIL, Tomáš. Testování rozdělení: Testování normality. Fonetický ústav - Statistika ve fonetickém výzkumu [online]. 2015 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: http://fu.ff.cuni.cz/STAT/14_testy_rozdeleni.html
- [12] Interpret all statistics and graphs for Normality Test. Minitab 18 Support [online]. 2017 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>
- [13] Interní podklady společnosti KYB Manufacturing Czech s.r.o.

Seznam obrázků

- Obrázek 1.1: Historie managementu kvality ve 20. století
- Obrázek 3.1: Některé z nejpoužívanějších symbolů vývojového diagramu
- Obrázek 3.2: Zobrazení možné struktury diagramu příčin a následků
- Obrázek 3.3: Aplikace Paretova principu pro vymezení životně důležité menšiny zákazníků
- Obrázek 3.4: Paretův diagram zobrazující životně důležitou menšinu při pravidlu 80/20
- Obrázek 3.5: Histogramy různých rozdělení sledovaného znaku kvality se stejným aritmetickým průměrem a směrodatnou odchylkou $x = 85$; $s = 25,8$
- Obrázek 3.6: Zobrazení některých typů histogramů
- Obrázek 3.7: Druhy závislostí bodových diagramů
- Obrázek 3.8: Znázornění statisticky zvládnutého a způsobilého procesu
- Obrázek 4.1: Příklad sestrojeného regulačního diagramu \bar{x} , R
- Obrázek 5.1: Zobrazení pravděpodobností výskytu hodnot v daných rozmezech při normálním rozdělení sledovaného znaku kvality
- Obrázek 5.2: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_p
- Obrázek 5.3: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_{pk}
- Obrázek 5.4: Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti C_{pm}
- Obrázek 5.5: Zobrazení odlišných rozdělení hodnot sledovaného znaku kvality v tolerančním rozmezí a k nim příslušné indexy způsobilosti v případě, kdy je cílová hodnota $T = 10$
- Obrázek 6.1: Schéma kontrolní činnosti jako procesu
- Obrázek 6.2: Strannost a shodnost, kde \bar{x} je aritmetický průměr opakovaných měření a x_r je referenční hodnota
- Obrázek 6.3: Zobrazení možné deformace u posuvného měřítka, podobně je možné u dalšího měřicího zařízení jako např. mikrometr
- Obrázek 6.4: Opakovatelnost měření
- Obrázek 6.5: Reprodukovatelnost měření
- Obrázek 6.6: Stabilita měření

Obrázek 6.7: Regulační diagram variačních rozpětí využívaný pro rozhodnutí o statistické zvládnutelnosti procesu měření z pohledu variability opakovaných měření

Obrázek 7.1: Šikmost s rozložením hodnot – kladná, nulová a záporná

Obrázek 7.2: Špičatost s rozložením hodnot – plošší, normální a špičatější

Obrázek 8.1: Sídlo společnosti KMCZ

Obrázek 8.2: Hlavní zákazníci společnosti KMCZ

Obrázek 8.3: Některé osobní automobily obsahující produkty společnosti KMCZ

Obrázek 8.4: Některé z produktů společnosti KMCZ

Obrázek 9.1: Výrobní linka SUBASSY – vstup

Obrázek 9.2: Výrobní linka SUBASSY – výstup

Obrázek 9.3: Pístní kroužek a teflonový kroužek (vpravo)

Obrázek 9.4: Vyroběný píst

Obrázek 9.5: Část výkresu obsahující zvolený znak kvality

Obrázek 9.6: Profilprojektor Mitutoyo PH-A14 s měřicím zařízením QUADRA-CHEK

Obrázek 9.7: Ilustrační zobrazení měřené roviny vnějšího průměru pro opakované měření označeného pístu

Obrázek 9.8: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1 a 2

Obrázek 9.9: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1 a 3

Obrázek 9.10: Magnetická deska s přípravkem a s vloženým pístem do přípravku (vpravo)

Obrázek 9.11: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1A a 1B

Obrázek 9.12: Porovnání reprodukovatelnosti mezi jednotlivými operátory, v případě OP1A a OP1B se jedná o opakovatelnost

Obrázek 9.13: Regulační diagram variačních rozpětí opakovaných měření operátorů 1 a 4 pro měření mikrometrem

Obrázek 9.14: Porovnání reprodukovatelnosti mezi operátory 1 a 4 při měření mikrometrem

Obrázek 9.15: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno laserovým měřicím zařízením

Obrázek 9.16: Regulační diagramy pro laserem naměřené hodnoty

Obrázek 9.17: Zobrazení dvou na sebe kolmých vnějších průměrů

Obrázek 9.18: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno profilprojektorem 13. 4. 2018

Obrázek 9.19: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno profilprojektorem 15. 6. 2018

Obrázek 9.20: Regulační diagramy pro měření profilprojektorem z 13. 4. 2018

Obrázek 9.21: Regulační diagramy pro měření profilprojektorem z 15. 6. 2018

Obrázek 9.22: Hodnocení způsobilosti procesu pro 50 po sobě jdoucích kusů, měřeno mikrometrem 15. 6. 2018

Obrázek 9.23: Regulační diagramy pro měření mikrometrem z 15. 6. 2018

Obrázek 9.24: Testy normality Ryan-Joiner z programu Minitab

Obrázek 9.25: Hodnocení způsobilosti procesu pro 36 podskupin

Obrázek 9.26: Test normality Ryan-Joiner pro 36 podskupin

Obrázek 9.27: Regulační diagramy pro 36 podskupin

Obrázek 9.28: Test normality Ryan-Joiner pro 32 podskupin

Obrázek 9.29: Hodnocení způsobilosti procesu pro 32 podskupin po čisticím procesu

Obrázek 9.30: Hodnocení způsobilosti procesu pro 36 podskupin

Obrázek 9.31: Regulační diagramy pro 32 podskupin po čisticím procesu

Obrázek 9.32: Hodnocení způsobilosti procesu pro 36 podskupin

Obrázek 9.33: Hodnocení způsobilosti procesu po čisticím procesu

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Tabulka pro naměřené hodnoty a jejich vyhodnocení při analýze opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření v případě 2 operátorů, 10 měřených kusů a 2 opakovaných měření každého kusu
- Tabulka 2: Kritéria hodnocení analyzovaného systému měření
- Tabulka 3: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1 a 2 v milimetrech
- Tabulka 4: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1 a 2
- Tabulka 5: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1 a 3 v milimetrech
- Tabulka 6: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1 a 3
- Tabulka 7: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1A a 1B v milimetrech
- Tabulka 8: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1A a 1B
- Tabulka 9: Naměřené a vypočítané hodnoty operátorů 1 a 4 v milimetrech
- Tabulka 10: Vyhodnocení naměřených hodnot operátorem 1 a 4
- Tabulka 11: Zapsané naměřené hodnoty z laserového měřicího zařízení a jejich výpočet
- Tabulka 12: Naměřené hodnoty z měření na profilprojektoruz 13. 4. 2018 a 15. 6. 2018
- Tabulka 13: Naměřené hodnoty z profilprojektoru a jejich výpočet z 13. 4. 2018
- Tabulka 14: Naměřené hodnoty z profilprojektoru a jejich výpočet z 15. 6. 2018
- Tabulka 15: Naměřené hodnoty s mikrometrem z 15. 6. 2018
- Tabulka 16: Naměřené hodnoty s mikrometrem a jejich výpočet z 15. 6. 2018
- Tabulka 17: Tabulka vypočítaných pravidel pro tvorbu histogramu
- Tabulka 18: Tabulka s naměřenými a vypočítanými hodnotami s popisem procesu pro prvních 18 podskupin
- Tabulka 19: Tabulka s naměřenými a vypočítanými hodnotami s popisem procesu pro zbylých 18 podskupin
- Tabulka 20: Parametry a výpočty pro Cochranův test
- Tabulka 21: Tabulka s vypočítanou směrodatnou odchylkou σ a indexy způsobilosti procesu

Přílohy

Rozsah podskupiny	A ₂	D ₃	D ₄	C ₄	d ₂
2	1,880	0	3,267	0,7979	1,128
3	1,023	0	2,574	0,8862	1,693
4	0,729	0	2,282	0,9213	2,059
5	0,577	0	2,114	0,9400	2,326
6	0,483	0	2,004	0,9515	2,534
7	0,419	0,076	1,924	0,9594	2,704
8	0,373	0,136	1,864	0,9650	2,847
9	0,337	0,184	1,816	0,9693	2,970
10	0,308	0,223	1,777	0,9727	3,078
11	0,285	0,256	1,744	0,9754	3,173
12	0,266	0,283	1,717	0,9776	3,258
13	0,249	0,307	1,693	0,9794	3,336
14	0,235	0,328	1,672	0,9810	3,407
15	0,223	0,347	1,653	0,9823	3,472
16	0,212	0,363	1,637	0,9835	3,532
17	0,203	0,378	1,622	0,9845	3,588
18	0,194	0,391	1,608	0,9854	3,640
19	0,187	0,403	1,597	0,9862	3,689
20	0,180	0,415	1,585	0,9869	3,735
21	0,173	0,425	1,575	0,9876	3,778
22	0,167	0,434	1,566	0,9882	3,819
23	0,162	0,443	1,557	0,9887	3,858
24	0,157	0,451	1,548	0,9892	3,895
25	0,153	0,459	1,541	0,9896	3,931

Příloha 1: Koefficienty pro odhad směrodatné odchylky a výpočet regulačních mezí [3]

		m								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
g	1	1,41	1,91	2,24	2,48	2,67	2,83	2,96	3,08	3,18
	2	1,28	1,81	2,15	2,40	2,60	2,77	2,91	3,02	3,13
	3	1,23	1,77	2,12	2,38	2,58	2,75	2,89	3,01	3,11
	4	1,21	1,75	2,11	2,37	2,57	2,74	2,88	3,00	3,10
	5	1,19	1,74	2,10	2,36	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10
	6	1,18	1,73	2,09	2,35	2,56	2,73	2,87	2,99	3,10
	7	1,17	1,73	2,09	2,35	2,55	2,72	2,87	2,99	3,10
	8	1,17	1,72	2,08	2,35	2,55	2,72	2,87	2,98	3,09
	9	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	10	1,16	1,72	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	11	1,16	1,71	2,08	2,34	2,55	2,72	2,86	2,98	3,09
	12	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,72	2,85	2,98	3,09
	13	1,15	1,71	2,07	2,34	2,55	2,71	2,85	2,98	3,09
	14	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08
	15	1,15	1,71	2,07	2,34	2,54	2,71	2,85	2,98	3,08
>15	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078	

Příloha 2: Vybrané hodnoty koeficientu d_2^* v závislosti na hodnotách parametrů m a g [3]