



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

UPLATNĚNÍ STATISTICKÝCH METOD PŘI ZPRACOVÁNÍ DAT

USE OF STATISTICAL METHODS FOR DATA PROCESSING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ HLADIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL DOUBRAVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hladiš Lukáš, Bc.

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

Uplatnění statistických metod při zpracování dat

v anglickém jazyce:

Use of Statistical Methods for Data Processing

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Cíle práce, metody a postupy zpracování

Teoretická východiska práce

Analýza problému

Vlastní návrhy řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

- HENDL, J. Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. 1.vyd. Praha : Portál, 2004. 583 s. ISBN 8071788201.
- KARPÍŠEK, Z. Matematika IV, statistika a pravděpodobnost, 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2522-9.
- KROPÁČ, J. Statistika B. 1. vyd. Brno : VUTFP, 2006. 155 s. ISBN 80-214-3295-0.
- PERNÍKÁŘ, J., Tykal, M., Vačkář, J. Jakost a metrologie: Část metrologie. 2.vyd. Brno : Akademické nakladatelství 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- SWOBODA, H. Moderní statistika. 1. vyd. Praha : Nakladatelství Svoboda, 1977. 351 s.
- TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava : Montanex, 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Doubravský, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

L.S.

PhDr. Martina Rašticová, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Anna Putnová, Ph.D., MBA
Děkan fakulty

V Brně, dne 23.05.2012

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na zhodnocení nového výrobního procesu pomocí metod statistické regulace SPC. V teoretické části jsou uvedeny základní metody a pravidla aplikovaná při posuzování regulačních diagramů. V další části je zhodnocen současný stav ve firmě Hanhart Morkovice s.r.o. a rozbor výroby cívek. V analytické části jsou rozebrány regulační diagramy pro sledované znaky kvality a za pomoci statistického softwaru zpracovány i indexy způsobilosti a grafy regulačních diagramů. Na základě informací z analytické části jsou vyvozeny závěry a navrženy kroky k dlouhodobému používání metod SPC pro stanovená znaky.

Klíčová slova:

Regulační diagramy, statistická regulace procesu, indexy způsobilosti, kvalita, regulační meze, histogramy.

Abstract

This thesis aims to evaluate a new manufacturing process by using statistical methods SPC. In the theoretical part provides the basic methods and rules applied in the assessment of control charts. The next part evaluates the current state of the company Hanhart Morkovice s.r.o. analysis and production of coils. The analytical part deals with control charts for reference and quality characters using statistical software proces capability indexes and control charts. Based on information from the analytical part, conclusions are drawn and designed for long-term steps using established methods of SPC for quality characters.

Keywords:

Control charts, statistical process control, capability indices, uality, regulatorylimits, histograms.

Bibliografická citace

HLADIŠ, L. *Uplatnění statistických metod při zpracování dat*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2012. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Doubravský Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 25. května 2012

Hladiš Lukáš

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Karlovi Doubravskému Ph.D. za cenné připomínky, odborné rady a vedení při zpracování diplomové práce.

Děkuji také společnosti Hanhart Morkovice s.r.o. za poskytnutí interních a výrobních dokumentů pro zpracování diplomové práce.

Obsah

ÚVOD.....	11
CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	13
1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE	14
1.1 Základní pojmy	14
1.1.1 Data.....	14
1.1.2 Základní soubor	15
1.1.3 Výběr ze základního souboru	15
1.2 Statistická regulace.....	15
1.2.1 Regulovaná veličina.....	15
1.2.2 Metody statistické regulace procesu	16
1.2.3 Etapy regulace	16
1.3 Nástroje analýzy procesu	17
1.3.1 Histogram.....	17
1.3.2 Analýza histogramů	18
1.3.3 Diagram příčin a následků	21
1.4 Nástroje SPC	22
1.4.1 Stabilita procesu	22
1.5 Regulační diagramy.....	23
1.5.1 Tvorba podskupin.....	25
1.5.2 Odstranění neplatných dat.....	26
1.5.3 Shrnutí.....	26
1.5.4 Pravidla pro určování zvláštních případů.....	27
1.6 Diagramy pro aritmetické průměry a rozpětí	30
1.7 Diagram pro aritmetické průměry a odchylky	31
1.8 Diagram pro mediány a rozpětí	32
1.9 Diagramy pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí.....	32
1.10 Konstrukce regulačních diagramů pro předem stanovené polohy střední hodnoty a kolísání procesu.....	33

1.11	Interpretace regulačních diagramů	34
1.12	Způsobilost výrobního procesu	34
1.13	Index způsobilosti C_p	35
1.14	Index způsobilosti C_{pk}	36
1.15	Indexy způsobilosti P_p a P_{pk}	37
1.16	Parametr způsobilosti CR	37
1.17	Jednostranná specifikace procesu	38
1.18	Způsobilost při kontrole srovnáním	38
1.19	Chyby měření	38
1.19.1	Klasifikace chyb	39
2	ANALÝZA ZADANÉHO ÚKOLU	41
2.1	Charakteristika firmy	41
2.1.1	Vývoz	42
2.1.2	Zákazníci	42
2.1.3	Organizační struktura firmy	42
2.2	Výrobní program	44
2.2.1	Obrábění a tváření	44
2.2.2	Navíjení	44
2.2.3	Odpojovače baterií	45
2.2.4	Zapalovací systémy	45
2.2.5	Zalévání	45
2.2.6	Ostatní	46
2.3	Kvalita	46
2.4	Charakteristika analyzovaného procesu	47
2.5	Měření znaků kvality při výrobě cívky	48
2.6	Dokumentace procesu a výroby	49
2.6.1	Výkresová dokumentace	49
2.6.2	Kontrol-plán	50
2.6.3	SK dokumentace	51

2.7	Výroba cívek pro zapalování typ 226.....	53
2.7.1	Pneumatické lisovací zařízení	53
2.7.2	Navíjecí stroj PAS-4080-V	54
2.7.4	Manuální pracoviště.....	56
2.7.5	Navíjecí stroj PAS-4080-V	56
2.7.6	Bandážovací stroj WH-TP01	58
2.7.7	Svářecí stroj JESVA JZ-48	58
2.7.8	Stáčecí zařízení.....	59
2.7.9	Pájecí zařízení MARSILLI WM 15/F.....	60
2.7.10	Zkušební zařízení.....	61
2.7.11	Problémy ve výrobě.....	61
2.8	Analýza regulovaných veličin.....	63
2.9	Kontrola kontaktů EW a HW vinutí	64
2.9.1	Regulovaná veličina $12 - 2 Z$	65
2.9.2	Regulovaná veličina $20 + 2 Z$	67
2.9.3	Regulovaná veličina $12 - 2 K$	69
2.9.4	Regulovaná veličina $20 + 2 K$	71
2.9.5	Regulovaná veličina Odpor EW vinutí $0,373 \pm 0,017 \Omega$	73
2.9.6	Regulovaná veličina odpor HW vinutí $1,633 \pm 0,07 \Omega$	75
2.9.7	Shrnutí výsledků analytické části	76
3	VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ PROBLÉMU	78
3.1	Návrh automatického záznamu dat a vyhodnocení způsobilosti procesu	78
3.2	Ověření navrhovaných řešení	78
3.3	Výsledky návrhu pro regulovanou veličinu $20 + 2 Z$.....	79
3.4	Výsledky návrhu pro regulovanou veličinu $20 + 2 K$	80
	ZÁVĚR.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ, TABULEK	85
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Moderní doba je typická rychlým technologickým pokrokem a prudce sílícím konkurenčním okolím. Výrobní podniky jsou nuceny k neustálému vývoji a využívání moderních metod i trendů v řízení podnikových výrobních procesů. Pokud chce výrobní podnik spolupracovat s významnými odběrateli na trhu, musí splňovat veškeré požadavky kvality zadané ve smlouvách a kontrolních plánech pro výrobu.

Rostoucí nároky zákazníků na kvalitu již nedávají výrobcům možnost pro výrobu nekvalitních výrobků, čímž by docházelo ke snižování efektivnosti výroby. Orientace jen na cenu již pro výrobní podniky není prioritou. Výrobci v současnosti musí dosahovat co nejlepších výsledků v oblasti funkčnosti a také kvality svých produktů. Standardně se můžeme setkávat i se stoprocentní kontrolou výroby na výstupu a s naprostou eliminací zmetkovosti hotových výrobků. Tyto kontroly ovšem ovlivňují významné ekonomické a hospodárné faktory výroby. Výrobek procházející několika kroky výrobních úprav postupně zvyšuje svoji cenu a vyřazení výrobků po posledních výrobních operacích se stává pro podniky neekonomické.

V samotné výrobě však stále nejsme schopni zajistit dokonalou výrobní kvalitu. Proto je nutné sledovat výrobní procesy a kontrolovat od počátku varovné signály získané ze zpracování výrobních dat. Včasným rozpoznáním případných chyb ve výrobě můžeme držet proces na požadované úrovni stability a způsobilosti. Zabráníme tak vzniku dalších nevyhovujících výrobků. Mezi nástroje, které nám pomáhají udržet procesy ve stanovené úrovni, patří i statistická regulace procesů SPC. Uplatnění této metody nalézáme jak v sériové, tak i kusové výrobě. Pokud dokážeme tuto metodu správně aplikovat, analyzovat data a interpretovat její výsledky, můžeme snížit významně náklady na materiál i kontrolu výrobků.

Metoda SPC je v diplomové práci aplikována na nový výrobní proces montáže a navíjení cívky zapalování typ 226 na nové výrobní lince ve společnosti Hanhart Morkovice, s.r.o. Jedná se o novou sériovou výrobu a tudíž je nutné od počátku eliminovat veškeré vymezitelné příčiny ovlivňující tento proces, aby bylo možné proces od počátku stabilizovat ve všech fázích výroby a zajistit tak jeho maximální možnou stabilitu. Postupným snižováním variability procesu a dodržením požadavků zákazníka

vyločíme stoprocentní kontrolu hotových výrobků. Tato pak bude ve výrobě nahrazena metodou statistické regulace procesu SPC.

Hlavním cílem práce je aplikovat vhodnou metodu monitorování a analyzování procesu výroby cívek typu 226, navrhnout správnou metodu odstranění vymežitelných příčin neshod, a tak zajistit stabilitu a zlepšování kvality výrobního procesu. Při zpracování dat a jejich analýze byly použity: statistický software STATISTICA 10 TRIAL a rozhraní MS EXCEL 2007 pro zpracování a výpočet indexů způsobilosti z výrobních dat.

CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Cílem diplomové práce je vyhodnocení stability a způsobilosti nového výrobního procesu. Jedná se o projekt výroby cívek pro zapalování společností Hanhart Morkovice. Bude se jednat o zavedení mnohem podrobnější metody pro sledování a zhodnocení dat z procesu, než která jsou ve firmě využívána v současné době.

V mé práci se zaměřím na zlepšení řízení a kontroly kvality během výrobního procesu. Dílčím cílem je zpracovat nashromážděná data z výroby, jejich zhodnocení a vysvětlení zaznamenaných výsledků, aby bylo možné pochopit využití metody regulačních diagramů při analýze výrobních dat.

K naplnění cílů bude využito následujících nástrojů:

Teoretické prostudování metod statistické regulace a indexů způsobilosti. Detailní popis výrobního procesu a nalezení problémů ve výrobě cívek. Dle výkresové dokumentace a pomocí informací zahrnutých v kontrolním plánu firmy vybrat sledované charakteristiky pro způsobilost procesu. Regulační diagramy jsou zpracovány dle pravidel pro Shewhartovy diagramy. Na základě zjištěných poznatků z analytické části jsou navrženy vymežitelné příčiny a vhodné metody k jejich eliminaci.

V této práci jsem použil metody Shewhartových regulačních diagramů, histogramů, indexů způsobilosti procesu a metody SPC statistické regulace.

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny základní pojmy vztahující se ke statistické regulaci, dále jsou zde uvedeny nástroje a metody hodnocení regulačních diagramů a histogramů, uvedeny vzorce, které budou následně aplikovány v analytické a návrhové části práce.

1.1 Základní pojmy

Matematickou statistiku můžeme označit jako jednu z větví aplikované matematiky. Definice říká, že statistika zahrnuje sběr, analýzu a interpretaci pozorovaných dat. Cílem statistiky je podat informace o vlastnostech, povaze a zákonitostech, jež se projevují na pozorovaných datech. Vycházejme tedy z předpokladu, že statistika je obor, který se zabývá hromadně se vyskytujícími jevy či procesy. Z tohoto hlediska lze statistiku rozdělit na:

- *statistiku popisnou (deskriptivní)* – popisuje metody sběru a zpracování dat. Cílem deskriptivní statistiky je poskytnout co nejvíce informací o množině statistických jednotek, u níž byly získány hodnoty statistických znaků (4).
- *statistiku induktivní* – zahrnuje způsoby usuzování o vlastnostech celku (4).

1.1.1 Data

Je to jeden z nejpoužívanějších pojmů ve statistice, neboť všechny oblasti statistiky s daty pracují. Pokud bychom neměli množiny dat, pak by nebylo co zkoumat a nemohli bychom vyvozovat závěry z nashromážděných výsledků. Data je možno definovat jako vyjádření skutečnosti, které je schopné přenosu, zpracování, interpretace a uchování. Jako data můžeme chápat čísla, slova popřípadě obrázky. V reálném životě lze data měřit pouze s určitou (konečnou) přesností. Existují dva základní způsoby popisu dat:

- *numerický* - parametry výběru jsou popisovány pomocí čísel. Zde se využívají parametry (popisná charakteristika základního souboru) (16).
- *grafický* - parametry výběru z tohoto popisu jsou vyobrazeny na grafech. Velkou výhodou grafického popisu je mnohem větší názornost popisu (16).

1.1.2 Základní soubor

Někdy se v odborné literatuře uvádí také pojem populace. Jedná se o statistický soubor dat, o němž většinou nemáme úplné informace. Definujeme ho také jako množinu prvků, které jsou roztrženy podle jejich určité společné vlastnosti (statistického znaku). Podle druhu dat se sledované znaky dělí na:

- *kvantitativní*- nabývají číselných hodnot, jako jsou např. délka, váha, velikost odporu atd. Tyto znaky můžeme dále dělit na: diskrétní - nabývají pouze oddělených číselných hodnot a spojité - mohou nabývat všech hodnot z určitého intervalu (4).
- *kvalitativní*- mají slovní podobu a jsou hodnotícího charakteru (tvar, barva...).

1.1.3 Výběr ze základního souboru

Výběrem rozumíme podmnožinu základního souboru. Představuje jak proces vybírání, tak samotné výsledky této činnosti. Dále můžeme rozlišit výběr s vracením a bez vracení prvku. Pod pojmem výběr si můžeme představit např. 200 vybraných stejných cívek zapalování od jednoho výrobce. Rozlišujeme tyto typy výběrů:

- *náhodný výběr* – je takový výběr, kdy každý prvek základního souboru může být vybrán se stejnou pravděpodobností (3).
- *reprezentativní výběr* – je takový výběr, který nejvíce vystihuje charakteristiky základního souboru (3).

1.2 Statistická regulace

Statistická regulace spočívá v rozlišení dvou typů příčin variability, které zapříčiňují kolísání výsledného výstupu procesu kolem požadované hodnoty.

1.2.1 Regulovaná veličina

Výstup procesu je charakterizován tzv. *regulovanou veličinou*. Tuto veličinu můžeme hodnotit pomocí kvantitativních znaků, pak hovoříme o *regulaci měřením*, nebo kvalitativním znakem a pak se jedná o tzv. *regulaci srovnáváním*. Pro určení, kterou veličinu je třeba podrobit regulaci, využíváme Pareto analýzu, vývojové diagramy atd. (9).

1.2.2 Metody statistické regulace procesu

Proces SPC zahrnuje celou řadu dílčích technik a metod, které volíme pro výběr procesu a sledování procesu. V následujícím textu je uveden cyklus, ve kterém probíhá standardní plánování a vyhodnocování regulace.

1.2.3 Etapy regulace

Statistickou regulaci procesu nejčastěji chápeme jako třístupňový cyklus *analýza procesu – udržování procesu – zlepšování procesu*.

- **Analýza procesu**

Cílem této etapy je uvést proces do požadovaného stavu, kdy bude proces seřízen na požadovanou hodnotu a s vyhovujícím rozptylem se kolem ní bude pohybovat. Stabilita stavu je dána, pokud je kolísání pouze náhodnou příčinou. Nejprve provedeme diagnózu, zda je proces schopen regulace. Důležitou součástí etapy je napravování procesu. V této fázi je kladen důraz na odstraňování vymezitelných příčin působících na regulovanou veličinu (9).

- **Udržování procesu**

V této etapě udržujeme proces ve stabilním stavu pomocí monitorování regulačními diagramy. V případě nepříznivého vývoje do něj zasáhneme. Musíme mít na zřeteli, že když se proces nachází ve stabilizovaném stavu, může po čase přesáhnout stanovené meze. Velmi častou příčinou je zesílení vlivu některé náhodné příčiny, která se stane vymezitelnou, proto je nutné neustálé monitorování výrobního procesu.

V delším časovém horizontu bývá vhodnější použití citlivějšího diagramu, jako například regulačního diagramu pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi, pro sledování posunu úrovně procesu (ČSN ISO 7873), přejímacího regulačního diagramu, k odstranění přebytečné regulace (ČSN ISO 7966) a podobně (9).

- **Zlepšování procesu**

Slouží k eliminaci variability a stálému zlepšování jakosti výstupu procesu. Hlubším poznáváním procesu identifikujeme kritická místa. Pomocí záměrných změn podmínek procesu je možné lokalizovat zdroje náhodných příčin. Jako změny podmínek chápeme

změny postupů, materiálů, teplot atd. Každá provedená změna v procesu ohrožuje jeho stabilitu a proto je nutné se vždy po provedení změny vrátit k prvotní etapě analýzy procesu (9).

1.3 Nástroje analýzy procesu

Nejčastěji používanými nástroji pro analýzu procesu ve statistické praxi jsou histogramy, regulační diagramy a diagramy stability.

1.3.1 Histogram

Je grafická metoda, která bývá využívána jako jeden z prvních nástrojů k uspořádání naměřených hodnot sledované veličiny. Taktéž jej můžeme označit grafem četností, kde náhodná veličina nabývá určité hodnoty. Histogram je tvořen soustavou obdélníků v kartézské soustavě souřadnic, jejichž základny na ose x jsou zpravidla měřené veličiny - třídy a výšky sloupců v histogramu jsou četnosti veličin, které mohou být jak absolutní tak i relativní. Hranice jednotlivých tříd - intervalů se volí vhodně zaokrouhlená čísla. Histogram zpřehledňuje rozsáhlé soubory dat o stejných jevech, jež vykazují variabilitu z důvodu působení nejrůznějších vlivů (3).

Výšky plochy sloupců (tříd) odpovídají jejich četnostem. Z četnosti můžeme usuzovat, jaká je pravděpodobnost, že sledovaná veličina nabude právě hodnoty z této třídy (intervalu). Velmi důležitou vlastností je tvar histogramu, z něhož můžeme usuzovat různé vlastnosti datového souboru. Z tvaru histogramu lze odhadnout i rozdělení datového souboru. Z těchto informací získáme přehled o přesnosti a poloze střední hodnoty a proměnlivosti procesu (3).

Regulační diagramy slouží ke stálému grafickému zaznamenávání dat z procesu v časovém sledu a ke znázornění klíčových ukazatelů kvality tak, aby na jejich základě bylo možné daný proces regulovat. Tyto diagramy mají zaneseny statisticky definované regulační meze. Po každé kontrole na základě zápisu do regulačního diagramu je možné rozhodnout, zda proces je vyhovující, nebo je nutno provést zásah do procesu pro jeho vrácení do požadovaného stavu.

Výhody použití diagramu:

- regulační diagram naznačuje, kdy se proces zlepšil nebo zhoršil,
- vhodný nástroj pro prevenci chyb,
- krátkodobý nástroj pro identifikaci problému,
- dokumentuje stav výrobního procesu,
- iniciuje obsluhujícího pracovníka k hodnocení kvality vlastní práce (10).

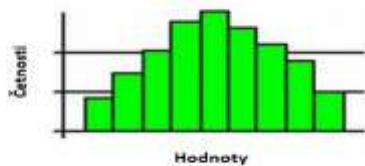
Histogram podává čtyři základní informace o procesu:

- u souborů dat s normálním rozdělením dokážeme odhadnout, v jakém rozmezí se bude nacházet většina hodnot,
- z tvaru diagramu poznáme, zda je proces ovlivňován pouze náhodnými vlivy či vymezitelnými příčinami,
- podle nejvyššího sloupce poznáme, zda je proces vycentrován,
- po zaznačení mezí specifikací do histogramů dokážeme odhadnout způsobilost procesu, dle podnikových norem nebo požadavků zákazníků (10).

1.3.2 Analýza histogramů

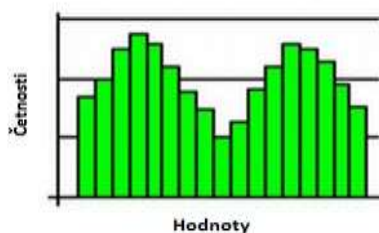
Vlastní analýza spočívá ve vyhodnocení tvaru histogramu.

Zvonovitý tvar: symetrický graf s jedním vrcholem uprostřed. Představuje Gasussovo (normální) rozdělení. Různorodost hodnot je dána velkým počtem neznámých náhodných interakcí, které však nemají dominantní vliv a velikost interakcí je zpravidla neměřitelná (10).



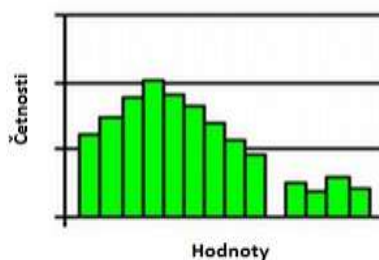
Obr. 1: Zvonovitý tvar histogramu (Zdroj: převzato z (10))

Dvouvrcholový graf: signalizuje například dva soubory dat - měření dvěma pracovníky, výroba na dvou strojích (10).



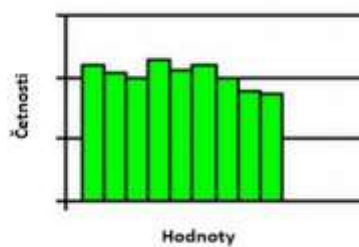
Obr. 2: Dvouvrcholový histogram (Zdroj: převzato z (10))

Graf s odlehlými hodnotami: mezera mezi sloupci alespoň o jeden volný sloupec, může indikovat vymezitelné příčiny ovlivňující proces - dočasné použití jiného měřidla nebo nástroje (10).



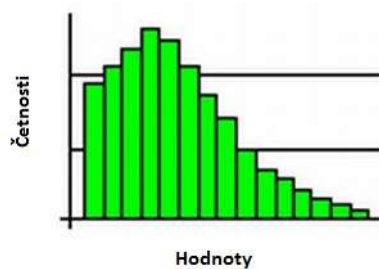
Obr. 3: Histogram s odhalenými hodnotami (Zdroj: převzato z (10))

Plochý tvar grafu: nejčastější příčinou je špatně nastavený proces.



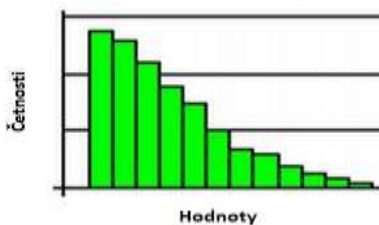
Obr. 4: Plochý tvar histogramu (Zdroj: převzato z (10))

Zešikmený tvar grafu: signalizuje nenormalitu dat, která může být způsobena i fyzikální podstatou sledovaného procesu. Ne každý proces má normální rozdělení (10).



Obr. 5: Zešikmený tvar histogramu (Zdroj: převzato z (10))

Usekнутý tvar: nebyly zahrnuty všechny hodnoty - například nám dodavatel říká, že jeho proces má dostatečně zvládnuté C_p a C_{pk} , ale usekнутý tvar grafu svědčí o opaku (10).



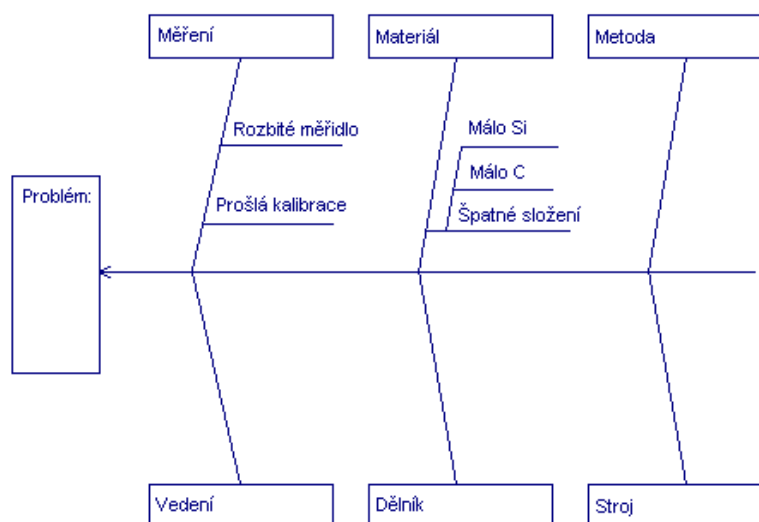
Obr. 6: Usekнутý tvar histogramu (Zdroj: převzato z (10))

1.3.3 Diagram příčin a následků

Někdy bývá též nazýván Ishikawův diagram či diagram rybí kosti. Jeho účelem je stanovení nejpravděpodobnější příčiny problému, který řešíme. Tento nástroj jakosti je obvykle používán v týmu, kdy pomocí brainstormingu jsou generovány všechny možné, i málo pravděpodobné příčiny problému, který právě řešíme.

K obecným příčinám problémů řadíme 6 základních oblastí: *měření, materiál, metoda, vedení, dělník, stroj* (6).

Tyto základní kategorie jsou odvozením z angličtiny a jsou označovány jako 6M. Dalším důležitým krokem je definování potenciálních příčin problému a jejich přiřazení k hlavním kategoriím. Příčiny samozřejmě mohou být podrobněji členěny na subpříčiny. Vhodné je použít maximálně dvě úrovně subpříčin (6).



Obr. 7: Ishikawův diagram příčin a následků (Zdroj: zpracováno podle (13))

1.4 Nástroje SPC

Základní nástroj statistické regulace procesu (SPC), jehož výstupem je zhodnocení, zda daný proces je, či není stabilní (statisticky zvládnutý) v časovém průběhu. Regulační diagramy se používají všude tam, kde jsou postupně v čase získávány měřené hodnoty. Diagram nám vypovídá o chování procesu, jak o vystředění, tak i o variabilitě a dává nám informaci, kdy je možný zásah do procesu z důvodu např. otupení nástroje, seřízení stroje atd. Díky tomuto nástroji můžeme sledovat chování procesu a slouží nám k realizaci zásahu do procesu. Tato metoda je však neekonomická, neboť ke zjištění neshody dochází až po vytvoření požadovaného produktu.

1.4.1 Stabilita procesu

Je snaha o zmenšení variability, tudíž omezení nebo odstranění veškerých systematických i náhodných negativních vlivů působících na proces. Díky tomu se dosáhne snížení variability a předvídaného chování procesu do budoucna (15).

Dosažení stability:

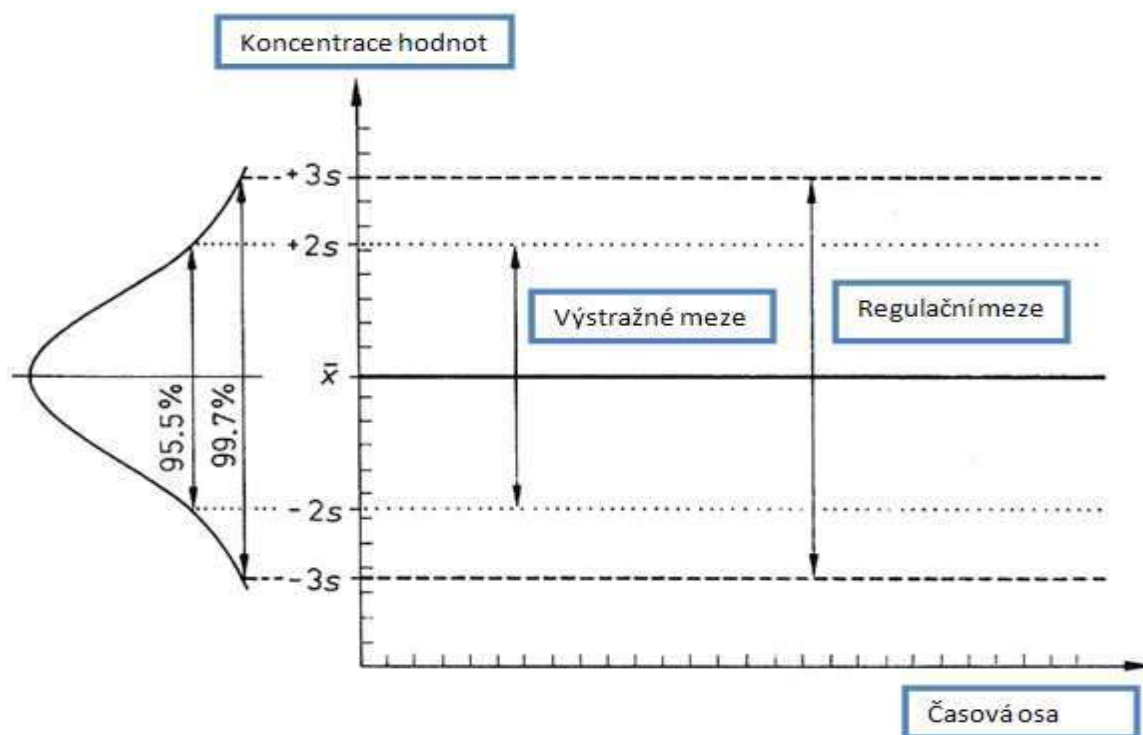
- stejnoměrnější výroba
- menší pravděpodobnost výskytu neshodných produktů
- menší rozsah kontroly (6)

Základní části regulačního digramu:

- základní čára (*CL*—central line)
- dolní regulační mez (*LCL*— lower control level)
- horní regulační mez (*UCL*— upper control level) (1)

Základní linie určuje střední hodnotu monitorovaného znaku jakosti. Dolní a horní regulační mez je nejčastěji ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od základní linie a tvoří regulační (akční) meze.

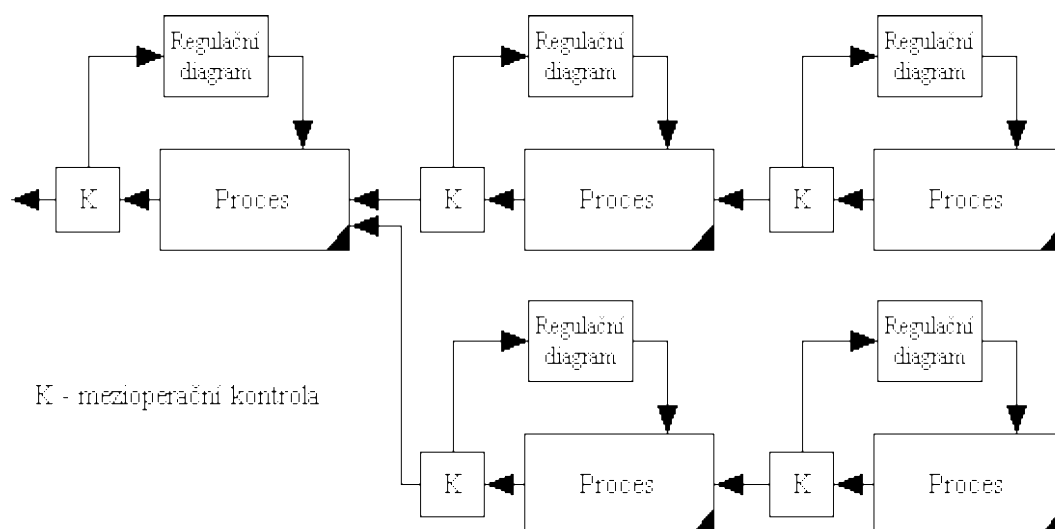
Jedná-li se o statisticky zvládnutý proces, mělo by v regulačních mezích o velikosti $\pm 3\sigma$ ležet 99,7 % hodnot. Někdy se zakreslují do diagramu i meze $\pm 2\sigma$, které se nazývají výstražné (varovné) meze a značí se LWL (lower warning level) a UWL (upper warning level) (1).



Obr. 8: Obecný tvar regulačního diagramu (Zdroj: převzato z (8))

1.5 Regulační diagramy

Regulační diagramy slouží k posouzení, zda je proces pod kontrolou. Regulační diagram nedává odpověď na to, co je třeba udělat, aby byl proces opět pod kontrolou, ale dává nám informaci, do jaké míry je proces pod kontrolou (nebo také do jaké míry ne). Z obr. 9 je dále patrné, že regulační diagram ve spojení s výstupní kontrolou (namátková, úplná nebo se může jednat o přímé měření parametrů strojem během výroby, jako například válcovací tlak, rychlost posuvu, teploty, vibrace, ...) představuje zpětnou vazbu pro proces (1).



Obr. 9: Typické použití regulačních diagramů (Zdroj: převzato z (4))

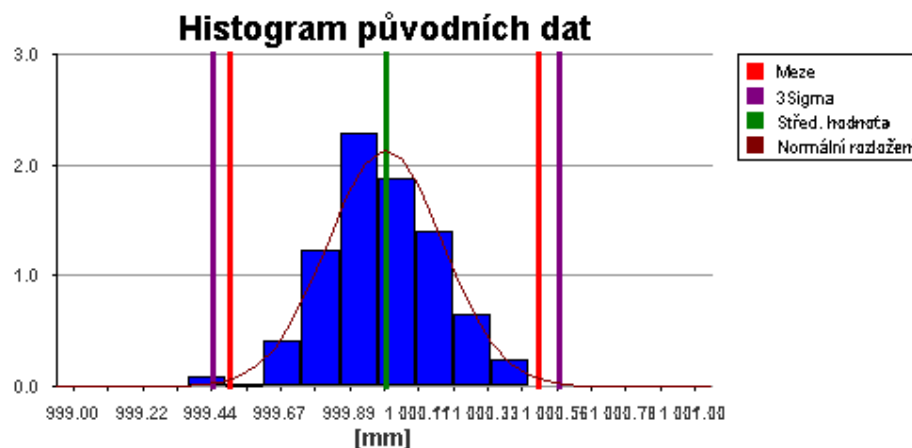
V následujícím textu se budeme zabývat diagramy, které slouží pro posouzení "stability" procesu nebo chování stroje. Pod pojmem stabilita se skrývá míra schopnosti vyrobit po sobě více kusů se stejnými nebo co nejvíce podobnými parametry. Tato vlastnost má podstatný význam v sériové nebo hromadné výrobě. Zvláště v případě, že posuzujeme různé dávky, se bez statistického přístupu neobejdeme.

Nejpoužívanější jsou **Shewhartovy diagramy**, které jsou založeny na principu sledování změn v malých podskupinách výrobků. Každá podskupina je již dále zastoupena pouze odhadem střední hodnoty (obvykle průměr z jednotlivých hodnot) a mírou variability (obvykle směrodatná odchylka, dříve se též používalo rozpětí, jelikož jej bylo možno snadno vypočítat i bez výpočetní techniky).

Je třeba zdůraznit, že tento typ grafu funguje správně pouze v případě normálního (Gaussova) rozložení vstupních dat. Data musí být nezávislá a nesmí být autokorelovatelná. Pokud není splněn některý z těchto požadavků, nelze tento typ regulačního diagramu použít. Pro posouzení, zda se jedná o normální rozložení, se používají vstupní data a ne data z podskupin, jelikož ta se již k normálnímu rozložení blíží. Představují však výsledek, nikoli zdroj dat pro regulační diagram (7).

Pro vizuální posouzení, zda data odpovídají Gaussovu rozložení, slouží například histogram na obr 10., který je sestaven tak, aby plocha všech sloupců byla rovna 1. Vzhledem k tomu, že plocha pod funkcí hustoty normálního rozložení je také rovna 1

(obecně, plocha jakýchkoliv funkcí hustoty rozložení pravděpodobnosti je rovna 1), se dá přímo porovnat histogram s funkcí hustoty a posoudit, zda se jedná o data z normálního rozložení nebo ne (4).



Obr. 10: Histogram vstupních dat (Zdroj: převzato z (4))

Pro lepší orientaci jsou opět v grafu vyneseny hodnoty ± 3 sigma, regulační meze a odhad střední hodnoty.

Dále je třeba věnovat pozornost výběru dat. Tento problém můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- **tvorba podskupin** v případě nesouvislé činnosti zařízení,
- **odstranění neplatných dat** (typickým případem mohou být technologické zmetky) (4).

1.5.1 Tvorba podskupin

Z podstaty funkce regulačních diagramů, které používají podskupiny, je vhodné, aby byla data v podskupině z časově krátkého období, jinak řečeno, aby byla data z výrobků vyrobených v řadě za sebou. Je to z toho důvodu, že při náběhu zpravidla dochází k posunu střední hodnoty, a tím pádem se podstatně zvýší rozptyl ve skupině, která je zasažena přechodem. Konečným výsledkem je pak nižší hodnota koeficientu způsobilosti. Abychom tomu předešli, je třeba vytvořit vyhledávací algoritmy tak, aby respektovaly daná kritéria. To lze zajistit pouze vynecháním některých hodnot tak, aby

v jednom intervalu byl počet prvků bezezbytku dělitelný počtem prvků v podskupině (4).

Náhodné vynechání je sice statisticky nejelegantnější, ale přináší jednu podstatnou nevýhodu, a tou je neopakovatelnost zobrazení stejného grafu se stejnými hodnotami (je to způsobeno náhodným výběrem vyřazených prvků). Řešením může být tzv. pseudonáhodné vynechání, které zaručí, že z konkrétního intervalu budou vynechány vždy stejné hodnoty. Vynechání slouží pouze pro regulační diagram, pro výpočet odhadu střední hodnoty a směrodatné odchylky (sigma) není nutné (4).

1.5.2 Odstranění neplatných dat

Abychom se nesnažili snižovat rozptyl výroby u kusů, kde to již nemá smysl, musíme přistoupit k odstranění těchto dat.

Jaká data je vhodné odstranit:

- **technologické zmetky** - například výrobky při najíždění linky, které jdou automaticky do odpadu (2),
- **zmetky při poruše** - například máme vrtat díru o průměru 20 mm s přesností $\pm 0,01$ mm, po zlomení vrtáku nedojde vůbec k vrtání. Následně změřená hodnota vynesena do regulačního diagramu by jej mohla kompletně celý znehodnotit. Dále pak koeficienty způsobilosti nebo také stability výroby by byly mnohem horší, než by měly být (2),
- **zmetky zapříčiněné vnějšími vlivy** - tím rozumíme například výpadek elektrického proudu nebo výpadek dodávek materiálu. Na takto vzniklé zmetky již zcela jistě máme připravené postupy, které je eliminují (2).

1.5.3 Shrnutí

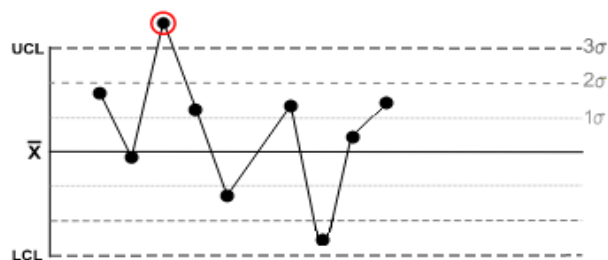
Regulační diagramy slouží pro sledování rozptylu (stability) dobrých kusů nebo kusů, které jsou mimo toleranci, z důvodů nepřesnosti výroby. Při pokusu o začlenění naměřených dat ze zmetků, které mají hrubou vadu, například nevyvrtaná díra nebo chybějící část odlitku, na níž máme měřit tloušťku, se vystavujeme riziku znehodnocení dat.

1.5.4 Pravidla pro určování zvláštních případů

V této kapitole jsou uvedeny základní pravidla pro posuzování Shewhartových diagramů.

Pravidlo 1: jedna hodnota je mimo regulační meze

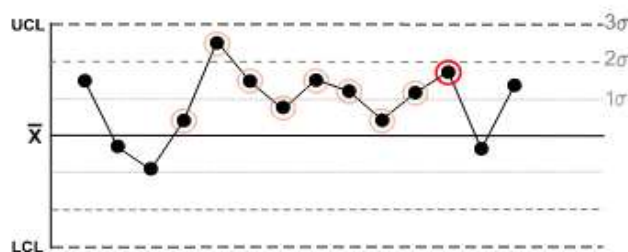
Lokální porucha procesu, chybné měření, výpadek. Chybně stanovené regulační meze, malá variabilita uvnitř podskupiny při konstrukci diagramu. Opakuje-li se na téže straně, může jít o posunutí střední hodnoty nebo o asymetrické rozdělení dat. Opakuje-li se na obou stranách, může jít o zvýšení nestability nebo rozptylu dat (1).



Obr. 11: Pravidlo 1 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 2: 9 hodnot je na téže straně od centrální linie

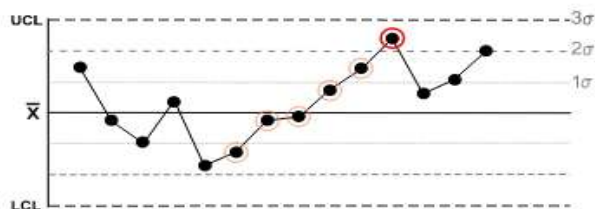
Pravděpodobné posunutí střední hodnoty, snížení variability mezi podskupinami, asymetrie dat, příliš široké nebo neodpovídající si regulační meze (1).



Obr. 12: Pravidlo 2 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 3: 6 hodnot v řadě monotónně roste či klesá

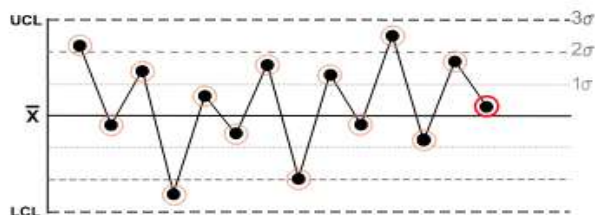
Autokorelovaný proces, závislá měření. Lineární trend způsobený opotřebením nebo výpadkem. Příliš široké regulační meze. Odstraněním příčiny lze někdy zvýšit index $C_p(1)$.



Obr. 13: Pravidlo 3 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 4: 14 alternujících hodnot

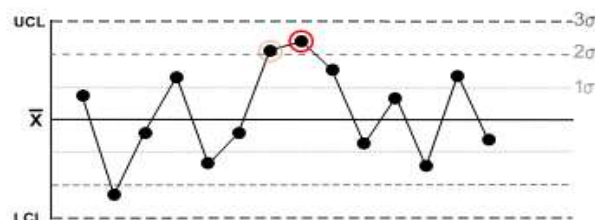
Přeregulovaný nebo nestabilní proces. Autokorelovaná měření se zápornou hodnotou. Odstraněním přiřaditelné příčiny lze někdy zvýšit hodnotu indexu způsobilosti $C_p(1)$.



Obr. 14: Pravidlo 4 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 5: 2 z 3 po sobě jdoucích hodnot jsou mimo interval ± 2 sigma na téže straně centrální linie

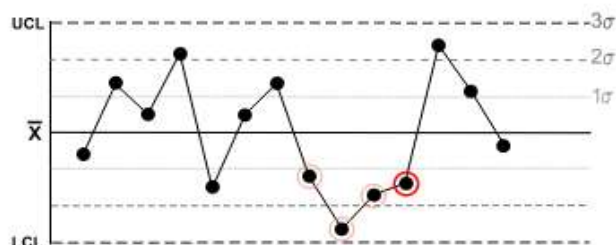
Varování před možným překročením regulačních mezí (1).



Obr. 15: Pravidlo 5 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 6: 4 z 5 po sobě jdoucích hodnot jsou mimo interval $\pm \sigma$ na téže straně centrální linie

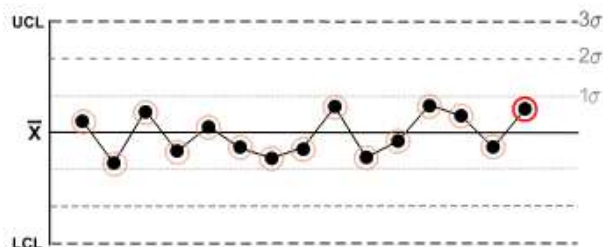
Pravděpodobné posunutí střední hodnoty. Varování před možným překročením regulačních mezí (1).



Obr. 16: Pravidlo 6 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 7: 15 hodnot je mimo interval $\pm \sigma$

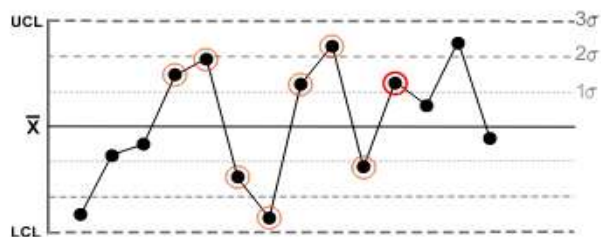
Snížení variability mezi podskupinami. Při opakování je nutné uvažovat o nových regulačních mezích. Nesprávná volba regulačních mezí. Podvádění operátorem. Vymyšlená čísla (1).



Obr. 17: Pravidlo 7 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

Pravidlo 8: 8 hodnot je mimo interval $\pm \sigma$ na obou stranách centrální linie

Zvýšení variability mezi podskupinami. Varování před překročením regulačních mezí. Porucha procesu (1).



Obr. 18: Pravidlo 8 dle Nelsona (Zdroj: vlastní zpracování dle (1))

1.6 Diagramy pro aritmetické průměry a rozpětí

Jedná se o nejvíce používanou dvojici regulačních diagramů.

Základní podmínky pro konstrukci diagramů (14):

- v předem daných časových intervalech provádět výběr o stejném rozsahu n . Interval mezi jednotlivými odběry je dán charakterem procesu. V přípravné etapě procesu jsou intervaly kratší.
- výběr má tvořit logickou podskupinu, což vylučuje podstatné změny v procesu, jako jsou materiál, postup výroby atd.
- variační rozpětí se musí vypočítat u každého odběru.
- vypočítat horní a dolní regulační mez součinem průměrného rozpětí $\bar{R}$ a součinitele D_4 respektive D_3 (tabulková hodnota) závislého na tabulkové hodnotě podle rozsahu skupiny.

$$\text{Horní regulační mez} \quad UCL_R = \bar{R} \cdot D_4. \quad (1)$$

$$\text{Dolní regulační mez} \quad LCL_R = \bar{R} \cdot D_3. \quad (2)$$

- výsledné hodnoty se vyznačí jako rovnoběžky s vodorovnou osou.
- posledním krokem je vyhodnocení regulačního diagramu. Posoudíme, zda všechny body v diagramu se nachází uvnitř pole ohraničeného regulačními mezemi.

Pokud nepatří všechny body do tohoto pole, jedná se o podskupinu, na kterou působí vymezitelné příčiny, a proto je musíme z dalších výpočtů eliminovat. Po odstranění vymezitelných příčin znovu přepočítáme zbylé charakteristiky a snažíme se dosáhnout stavu, kdy jsou všechny body v regulačním rozmezí. Dále pokračujeme následovně (14):

- vypočítáme u každého výběru aritmetické průměry $\bar{X}$
- vypočítáme horní a dolní mez pro aritmetické průměry

$$\text{Horní regulační mez} \quad UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}. \quad (3)$$

$$\text{Dolní regulační mez} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}. \quad (4)$$

- sestrojíme meze pro aritmetické průměry
- takto vypočítané a vyznačené meze jsou pouze pokusnými, dokud se vybočení z těchto mezí nestane pouze ojedinělým jevem.

1.7 Diagram pro aritmetické průměry a odchylky

V oboru jakosti se velmi často upřednostňuje interpretace kolísání pomocí směrodatné odchylky na úkor rozpětí. Je to dáno výpočtem rozpětí pouze z krajních hodnot ve variační řadě, kdežto odchylka je funkcí všech hodnot. Tento druh diagramu aplikujeme pro větší výběry dat.

Postup pro konstrukci diagramu je obdobný jako u diagramu aritmetického průměru a rozpětí, avšak namísto rozpětí zde vypočítáme směrodatnou odchylku.

$$\text{Směrodatná odchylka} \quad S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{n-1}}. \quad (5)$$

$$\text{Průměrná regulační mez} \quad \bar{S} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k S_j^2}. \quad (6)$$

k počet podskupin

$$\text{Horní regulační mez} \quad UCL_S = B_4 \cdot \bar{S}. \quad (7)$$

$$\text{Dolní regulační mez} \quad LCL_S = B_3 \cdot \bar{S}. \quad (8)$$

Vztah pro vyhodnocení regulační meze pro diagram aritmetických průměrů

$$LCL_X, UCL_X = \bar{X} \mp A_3 \cdot \bar{S}. \quad (9)$$

Tento diagram je využíván jako vhodný nástroj regulace pro případy výskytu výrazných cyklů vyvolávajících pravidelné překračování regulačních mezí. Jedná se ovšem o takové výkyvy, které jsou identifikovány jako vlastnosti procesu, jež z technických či ekonomických důvodů nemá smysl měnit a zákazníkovi uváděná přesnost vyhovuje (14).

1.8 Diagram pro mediány a rozpětí

Je vhodným diagramem pro malé počty výběrů. Své využití nalezne zejména v případech, kdy výpočty provádíme ručně. Je zde však několik podmínek, které musí být dodrženy při konstrukci tohoto diagramu (14):

- je nutné vědět, že regulovaná veličina má normální rozdělení
- ojedinělý výskyt vymezených příčin
- objeví-li se vymezené příčiny, jejich náprava není složitá

Tentokrát budeme u jednotlivých průměrů vypočítávat medián namísto aritmetického průměru. Z mediánů vypočítáme průměrný medián a dále regulační meze, kde pro rozpětí aplikujeme vzorce 1 a 2, pro diagram mediánu pak použijeme následující vzorec:

1.9 Diagramy pro individuální hodnoty a klouzavá rozpětí

Ve výrobě existují i takové procesy, kdy není možné dělat výběr větší než $n = 1$. Ze zkušeností vyplývá, že nejčastěji se jedná o procesy v chemickém průmyslu. Jako příklad si představme regulovanou veličinu měřenou z homogenní dávky. Proto není

nutné dělat více měření. Dalším důvodem takového použití mohou být ekonomické aspekty (14).

Tato metoda zahrnuje pouze získané jednotlivé hodnoty a ne logické podskupiny jako tomu bylo v předešlých případech. Nelze tak vyjádřit střední hodnotu ani míru kolísání. Do diagramů se tak vynášejí pouze jednotlivé hodnoty (14).

Je zde využito konstrukce diagramu pomocí klouzavého rozpětí. Vynášejí tedy absolutní hodnoty rozdílu dvou sousedních naměřených hodnot.

1.10 Konstrukce regulačních diagramů pro předem stanovené polohy střední hodnoty a kolísání procesu

Regulační meze zde nejsou vyjádřeny kolísáním procesu za nepřítomnosti vymezitelných příčin, ale dosazením žádoucího stavu zvenčí. Principem je identifikovat, zda se hodnoty výběrové charakteristiky liší od hodnot daných předpisem více, než lze očekávat při působení pouze náhodných příčin (14).

Zadání hodnot zvenčí vyplývá nejčastěji z technických specifikací, předchozích zkušeností, informací získaných z provozu nebo ekonomických požadavků podniku.

Máme-li stanovenou hodnotu centrování X_0 a směrodatnou odchylku σ_0 , vypočítáme regulační meze podle vzorců uvedených v tabulce níže.

Tab. 1: Vzorce CL, UCL a LCL přímk pro předem stanovené střední hodnoty a kolísání procesu

(Zdroj: vlastní zpracování autora)

Výběrová charakteristika	Centrální přímk CL	Dolní a horní mez UCL a LCL
$\bar{X}$	$\bar{X}_0$	$\bar{X}_0 + A \cdot \sigma_0$
R	R_0 nebo $d_2 \cdot \sigma_0$	$D_2 \cdot \sigma_0, D_1 \cdot \sigma_0$
s	S_0 nebo $C_4 \cdot \sigma_0$	$B_6 \cdot \sigma_0, B_5 \cdot \sigma_0$
$\bar{X}$	$\bar{X}_0$	$\bar{X}_0 + 3 \cdot \sigma_0$
MR	R_0 nebo $d_2 \cdot \sigma_0$	$D_2 \cdot \sigma_0, D_1 \cdot \sigma_0$

1.11 Interpretace regulačních diagramů

Pro interpretaci regulačních diagramů platí obecně tato základní pravidla:

- jsou-li všechny body regulované veličiny uvnitř intervalu vymezeného akčními mezemi UCL a LCL, považuje se proces za statisticky zvládnutý. Tedy v procesu nepůsobí žádná vymežitelná příčina, která by vyžadovala zásah do jeho průběhu (7),
- leží-li některý bod regulované veličiny vně intervalu vymezeného akčními mezemi UCL a LCL, považuje se proces za statisticky nezvládnutý. V tomto případě se vyžaduje identifikace vymežitelné příčiny, která tuto odchylku způsobila a přijetí opatření k jejímu odstranění (7),

Při použití výstražných mezí, mohou nastat i další situace:

- leží-li některý bod regulované veličiny uvnitř výstražných mezí, lze předpokládat, že proces je ve statisticky zvládnutém stavu a není třeba žádného zásahu do jeho průběhu (7),
- leží-li některý bod regulované veličiny mezi mezemi UWL (horní výstražná mez) a UCL, resp. mezi mezemi LWL (dolní výstražná mez) a LCL, pak se doporučuje následující zásah: bez ohledu na kontrolní interval se provede další výběr hodnot regulované veličiny. Jestliže nový bod, odpovídající tomuto výběru, leží mezi výstražnými mezemi, není třeba do procesu zasahovat. Jestliže i tento bod leží vně výstražných mezí, je to signál, že na proces působí s velkou pravděpodobností vymežitelná příčina a je nutné provést regulační zásah (7).

1.12 Způsobilost výrobního procesu

Jednou z nejdůležitějších charakteristik výrobního procesu je jeho způsobilost, čímž se rozumí jeho schopnost trvale dosahovat předem stanovená kritéria kvality vyráběných výrobků. Aby byla požadovaná kvalita výrobního procesu dodržena, sleduje se

schopnost udržet požadovanou hodnotu měřeného znaku a schopnost udržet míru variability měřeného znaku kolem cílové hodnoty v předepsaných mezích. Způsobilost výrobního procesu je vhodné vyjádřit kvantitativně, tedy vhodným číselným ukazatelem s dobrou vypovídací schopností. Ke zjištění způsobilosti procesu slouží index procesní způsobilosti (process capability index). Sem řadíme indexy C_p , C_{pk} nebo parametr procesní způsobilosti (process capability ratio) CR. Dále lze zjistit způsobilost pouze zařízení (stroje) C_m , C_{mk} , kde nepůsobí ostatní faktory procesu, jako je materiál, prostředí, lidé atd. (5).

Takováto procesní způsobilost má smysl pouze tehdy, pokud je vyhodnocena jako jeden z nástrojů v SPC.

Po fázi otestování stability procesu byl proveden v programu *STATISTICA* a MS EXCEL test vyhodnocení způsobilosti. V těchto softwarových programech lze provést hodnocení způsobilosti pomocí histogramů a podrobně vypsanych koeficientů způsobilosti. Informace o procesu je tak vyjádřena číselnou hodnotou a platí, čím je hodnota indexu vyšší, tím je proces lépe způsobilý.

1.13 Index způsobilosti C_p

Ukazatel způsobilosti procesu C_p je velmi jednoduchý nástroj, který nám poskytuje informaci, zda sledovaný proces může pracovat v daných tolerančních mezích, ale už nevypovídá nic o tom, zda tak opravdu pracoval. Výpočet tohoto indexu nestačí pro posouzení schopnosti vyrábět v daných tolerancích. Neudává vůbec polohu průměru $\bar{X}$ vzhledem k cílové hodnotě, ale udává pouze, jakou část zabírá přirozené rozptýlení 6σ . Někdy se též označuje jako potenciální způsobilost procesu a vypočítá se podle vzorce:

Index způsobilosti C_p se posuzuje vzhledem k 1 a platí následující pravidla: (5)

$C_p < 1$ dosažená přesnost nevyhovuje požadavkům,

$C_p > 1$ dosažená přesnost je vyhovující pro požadavky procesu,

$C_p = 1$ dosažená přesnost je zároveň požadovaná,

Vzorec index:

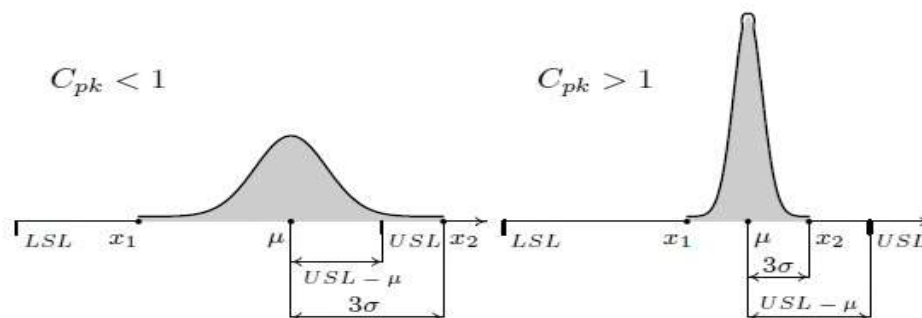
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma}. \quad (11)$$

1.14 Index způsobilosti C_{pk}

Index C_{pk} doplňuje výše uvedený index o střední hodnotu μ a odstraňuje tak nedostatek v indexu C_p . Vypočítá se pomocí následujícího vzorce:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}, C_{pL}\}, \text{ kde } C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3 \cdot \sigma} \text{ a } C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sigma} \quad (12)$$

Interpretace tohoto indexu je obdobná, avšak kritérium způsobilosti se vývojem technologií posunulo a uvádí se jako minimální hranice indexu $C_{pk} = 1,33$ pro způsobilý proces (7).



Obr. 19: Tvary Indexu způsobilosti vzhledem k hodnotě 1 (Zdroj: převzato z (7))

Jako velký nedostatek indexu C_{pk} se uvádí případ, kdy index má hodnotu větší jak jedna, ale zároveň variabilita měřeného znaku využívá jen malou část tolerančního intervalu. Výrobci, kteří mohou ovlivnit směrodatnou odchylku, tak mohou manipulovat s výsledky indexu a upravovat hodnoty, aby pro ně byly výhodné. Tyto nedostatky potom dále upravuje index C_{pm} (7).

Tab. 2: Doporučené hodnoty indexu C_{pk} pro různé typy procesů (Zdroj: vlastní zpracování autora dle (9))

Typ procesu	Doporučená hodnota indexu pro dvě meze	Doporučená hodnota indexu pro jednu mez
Stávající proces	1,33	1,25
Nový proces	1,50	1,45
Stávající proces s bezpečnostními parametry	1,50	1,45
Nový proces s bezpečnostními parametry	1,67	1,60
Proces s přístupem six sigma	2,00	2,00

1.15 Indexy způsobilosti P_p a P_{pk}

Jedná se o dlouhodobé indexy způsobilosti. Od indexů krátkodobých C_p a C_{pk} se liší výpočtem variability. Index P_p nám poskytuje informace o zvládnutí kolísání procesu v zadaných mezích. Index P_{pk} zahrnuje ještě k variabilitě i polohu procesu. Pokud je proces správně nastaven, pak by indexy P_p a P_{pk} měli dosahovat podobných hodnot. Čím jsou rozdíly větší, tím je větší pravděpodobnost výskytu vymezitelných příčin. Vždy platí pravidlo že: $P_p \geq P_{pk}$ (10).

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p}. \quad (13)$$

$$P_{pk} = \frac{\min(USL - \mu; \mu - LSL)}{3\sigma_p}. \quad (14)$$

$$\sigma_p = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (15)$$

1.16 Parametr způsobilosti CR

Jedná se o procentuální vyjádření indexu způsobilosti C_p a slouží především k rychlejšímu rozhodnutí při posuzování způsobilosti (6).

$$CR = \frac{100}{C_p}. \quad (16)$$

1.17 Jednostranná specifikace procesu

Jedná se o speciální případ, kdy index C_{pk} má v konkrétním šetřeném případě zadanou pouze jednu specifickou mez, a to buď dolní nebo horní (USL a LSL). Může tak nastat v případě, kdy sledovaná hodnota je například trhací síla nebo tvrdost materiálu atd. Proto se častěji užívá názvů dolní a horní technická specifikace a index způsobilosti se vypočítá dle následujících vztahů: (6)

Dolní technická specifikace

$$C_{pk} = \frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot \sigma}. \quad (17)$$

Horní technická specifikace

$$C_{pk} = \frac{LSL - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}. \quad (18)$$

1.18 Způsobilost při kontrole srovnáním

Při této kontrole získáváme informace o způsobilosti přímo z regulačního diagramu. Při sledování počtu neshod se způsobilost vyjadřuje pomocí *regulačního diagramu c* neboli průměrný počet neshod a při sledování neshodných jednotek se aplikuje *regulační diagram u* - průměrný podíl neshodných jednotek. Je možné posuzovat opět jen údaje prokazující stabilitu procesu a to tak, že vyloučíme body překračující regulační meze. Pro přesnou analýzu způsobilosti se doporučuje hodnotit tu část diagramu, kde tuto premisu splňuje nejméně 25 po sobě jdoucích jednotek (8).

1.19 Chyby měření

Mezi základní způsoby získávání kvantitativních informací o stavu sledovaných veličin patří měření. Důsledkem omezené přesnosti měřících přístrojů a proměnlivosti podmínek měření, se ani u homogenních materiálů, kde je měřená hodnota veličiny

konstantní, nezískají stejné výsledky. Výsledkem každého měření je tedy náhodná veličina, která obsahuje jak přesné informace, tak i chyby měření. S ohledem na velikost chyby měření získáme kritérium kvality procesu měření nebo měřicího přístroje (12).

1.19.1 Klasifikace chyb

Měření může být ovlivněno řadou faktorů způsobujících chyby. Podle *místa vzniku chyby* lze určit čtyři základní skupiny:

instrumentální chyby – jsou ovlivněny konstrukcí měřicích přístrojů a určují tak jejich kvalitu. U většiny přístrojů jsou známy a garantovány výrobcem (12),

metodické chyby – vycházejí z použité metodiky stanovování výsledků měření, jako je organizace měření, odečítání dat atd. (12),

teoretické chyby – souvisejí s postupem měření. V této souvislosti jde zejména o principy měření, použité parametry, fyzikální konstanty atd. (12),

chyby zpracování dat – jde o chyby způsobené nevhodným použitím metod statistického vyhodnocení a chyby numerické (12).

Podle *příčin vzniku chyb* lze vymezit tři skupiny:

náhodné chyby – tyto chyby kolísají náhodně co do velikosti i znaménka při opakovaném měření, nelze je předvídat a jsou popsány určitým pravděpodobnostním rozdělením. Je velmi obtížné odstranit nebo alespoň omezit příčiny vzniku těchto chyb (12),

systematické chyby – na výsledek měření působí předvídatelně. Bývají funkcí parametrů měřicího procesu nebo času. Konstantní systematické chyby snižují popřípadě zvyšují numerický výsledek všech měření o konstantní hodnotu. Zřídka se projevují navenek a lze je odhalit pouze při porovnání výsledků z jiného přístroje. Systematické chyby měřicího přístroje lze rozdělit na *aditivní* (chyba v nastavení nulové hodnoty) a *multiplikativní* (chyba citlivosti). Výrobce často garantuje typ a velikost chyby (12),

hrubé chyby - někdy jsou též nazývány vybočující či odlehlé hodnoty. Vznikají výjimečně, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným záznamem výsledků. Tyto chyby zapříčiní, že dané hodnoty měření se výrazně liší od ostatních (12).

2 ANALÝZA ZADANÉHO ÚKOLU

V této kapitole bude charakterizován současný stav firmy, popsán proces výroby cívky typu 226 a kontroly znaků kvality. V závěru této kapitoly je na praktických příkladech využita metoda hodnocení stability procesu pomocí metody SPC. Jako nástroj je zvolen regulační diagram typu $(\bar{X}, R)$.

2.1 Charakteristika firmy

Společnost Hanhart Morkovice s.r.o. je firmou, která se zaměřuje na vývoj, výrobu a prodej zapalovacích systémů, navíjených součástí a v neposlední řadě rovněž na třískové obrábění a tváření zastudena – lisování. Krédem společnosti působící na trhu již déle než 50 let je nabídnout zákazníkům vysoce kvalitní produkty za konkurenceschopné ceny současně s poskytnutím širokého zákaznického servisu. V minulosti byla společnost součástí národního podniku PAL-Magneton, později se přejmenovala na Magneton Morkovice a v roce 1970 to byl jeden z prvních podniků na světě, který začal s výrobou bezkontaktního zapalování pro automobily (TATRA 613). V roce 1995 se začalo jednat o privatizaci části závodu PAL-Magneton a.s., konkrétně závod s označením 03 Morkovice. Od 1. 1. 1996 vzniká společnost s ručením omezeným Hanhart Magneton Morkovice s 66% majoritním podílem společnosti Hanhart CZ. Do dnešní podoby se firma formovala v roce 2004. V roce 2005 firma získala certifikát pro ochranu životního prostředí ISO 14 000 a v roce 2008 navázala firma spolupráci s anglickou firmou BOSH Cardiff. Komponenty, které se vyrábějí v Morkovicích, jsou součástí motorů, dokonce i luxusních značek automobilů, jako je Rolls Royce, Audi, Mercedes, Bentley. Firma spolupracuje a vyrábí i pro japonského dodavatele komponentů pro automobily. Jedná se o součásti airbagů vozů Renault. Společnost také vyrábí díly hydraulických systémů stavebních a zemědělských strojů světových výrobců.

Hanhart Morkovice, s.r.o.

Nádražní 453

Morkovice – Slížany, 768 33

Česká republika



Obr. 20: Certifikáty společnosti Hanhart Morkovice (Zdroj: interní dokumenty)

2.1.1 Vývoz

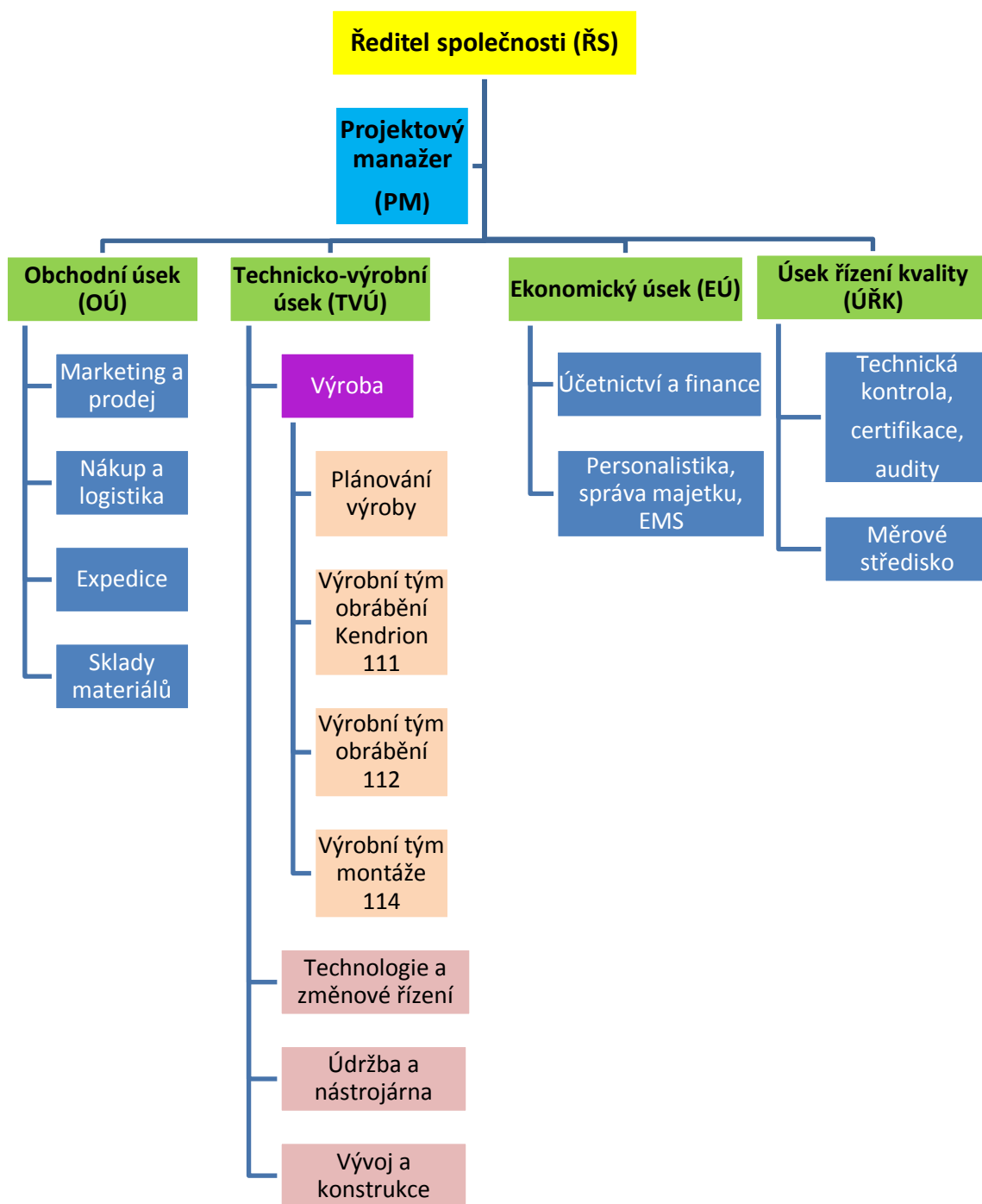
Hlavními vývozními destinacemi v zahraničí jsou zejména Německo, Velká Británie, Polsko, Slovensko, Finsko. Dále firma Hanhart Morkovice dodává své výrobky do zemí, které už tak známé strojírenským a automobilovým průmyslem nejsou. Jedná se především o následující země - Bulharsko, Maďarsko, Turecko, Sýrie, Kolumbie a další.

2.1.2 Zákazníci

Společnost Hanhart s.r.o. je dodavatelem výrobků a komponentů pro světoznámé automobilky a renomované firmy jak na světovém, tak i domácím trhu. Firma spolupracuje například s firmami Wolkskswagen, Škoda, Zetor, BOSH a mnoha dalšími.

2.1.3 Organizační struktura firmy

Základní kostru organizační struktury tvoří výkonné úseky podniku, kam spadá obchodní úsek, technicko-výrobní úsek, ekonomický úsek a úsek pro řízení kvality. Jako spojovací článek mezi vedením (ředitelem společnosti) a těmito úseky funguje projektový manager, který tak zajišťuje nejen komunikaci, ale i kontrolu patřičných vnitropodnikových orgánů. Pro tuto diplomovou práci jsou nejdůležitějšími úseky technicko-výrobní a úsek řízení kvality. Úsek řízení kvality zahrnuje dva podřízené útvary. Jedná se o útvar kontroly, certifikace a auditu a útvar měrového střediska.



Obr. 21: Organizační struktura firmy (Zdroj: zpracováno dle dokumenty firmy)

2.2 Výrobní program

Do výrobního portfolia firmy patří obrábění a tváření zejména kovových materiálů, navíjení cívek různých druhů, výroba odpojovačů baterií, proces výroby zapalovacích systémů, zalévání a od roku 2012 zapojila firma Hanhart Morkovice do svého výrobního programu také montáž profesionálních mlýnků na maso české renomované značky PORKERT.

2.2.1 Obrábění a tváření

Zahrnuje výrobu rotačních i nerotačních součástí na klasických či CNC strojích. Dle technické specifikace zákazníka je možné navrhnout ideální řešení. Firma vyrábí z nejrůznějších typů materiálů – ocel, mosaz, hliník, zároveň pocínovaná mosaz a další. Využívá moderních CNC strojů s průměrem obrábění do 42mm a délkou obráběného předmětu až 500 mm. Stroje jsou vybaveny protivřetenem a podavačem tyčového materiálu pro délku tyče až 3300 mm.



Obr. 22: Ukázka obráběných dílů ve výrobě (Zdroj: výrobní dokumenty firmy)

2.2.2 Navíjení

Zahrnuje zakázkovou výrobu nejrůznějších typů navíjených dílů. Aktuální program je zaměřen na výrobu elektromagnetů, zapalovacích cívek, relé, spínačů, mikrocívek, elektrických transformátorů (jedno/dvou komorových). Firma disponuje vysoce

výkonnými programovatelnými navíjecími stroji typu Aumann, Meteor, Sipro ... s rozsahem až 24 vřeten. Průměr navíjecích drátů je v rozmezí 0,02 – 1 mm. Je možné využít automatického vkládání koster na navíjecí trny pomocí pojízdných vozíků.



Obr. 23: Příklady z výrobního programu navíjení (Zdroj: výrobní dokumenty firmy)

2.2.3 Odpojovače baterií

Tento výrobek se používá pro nákladní automobily, autobusy, traktory, zemědělské a stavební stroje. Produkty jsou konstruovány pro trvalé zatížení až do 300A, krátkodobé zatížení až 2000A, při trvalém napětí 12V, 24V a 32V.

2.2.4 Zapalovací systémy

V tomto výrobním programu firma zpracovává návrhy, vývoj a výrobu zapalovacích systémů pro spalovací a plynové motory, plynové sporáky a jiné.

2.2.5 Zalévání

Jedná se o zařízení využitelné pro zalévání dvousložkovou hmotou, která slouží k fixaci elektrotechnických či elektronických prvků, jako izolační prostředek proti průrazu mezi navíjenými komponenty, které jsou zatíženy vysokým napětím. Firma nabízí i možnost zalévání ve vakuu.

2.2.6 Ostatní

Dále společnost disponujeme širokou škálou zařízení: brusky, válcovací stroje, frézky, hydraulické, klikové a rychloběžné lisy, programovatelné pájecí zařízení, popisovací laser atd.



Obr. 24: Díly vyráběné pro automobilku ŠKODA a WOLKSVAGEN (Zdroj: výrobní dokumenty firmy)

2.3 Kvalita

Systém managementu kvality je vybudován, řízen a zlepšován dle požadavků norem ISO/TS 16949, ISO 9001 (pro kvalitu) a ISO 14001 (pro environmentální management). Vztahuje se na návrh a výrobu rozdělovačů, zapalovacích cívek, odpojovačů baterií a elektrických zapalovacích sestav, výrobu kovových dílů lisováním, přesným obráběním a svařováním.



Obr. 25: Výrobní hala podniku Hanhart Morkovice (Zdroj: výrobní dokumenty firmy)

2.4 Charakteristika analyzovaného procesu

Jedná se o nový velkosériový výrobní proces, jehož cílem je konstrukce zapalovací cívky. Do tohoto procesu spadá několik typů této cívky v závislosti na požadavcích odběratele. Momentálně je výrobní proces ve stádiu výroby a sledování chodu linky u dvou cívek s označením typu 226 a 270. V mé práci hodnotím kritéria řízení kvality pomocí regulačních diagramů u cívky typu 226. Cívka je navíjena na stroji o čtyřech navíjecích vřetenech. Data byla zpracovávána z výběru 25 po sobě jdoucích kusů z každého vřetene. Dostáváme tak 100 hodnot pro analýzu sledovaných znaků. Pro rozsah podskupiny jsem zvolil konstantní hodnotu $n = 5$ a celkový počet podskupin bude tedy $k = 20$. Pro tyto parametry výběru je nejvhodnější metoda regulačních diagramů pro aritmetický průměr a výběrové rozpětí ($\bar{x}$, R). Měření bylo provedeno pro 6 znaků kvality. Vycházel jsem z hlavních hodnot požadovaných kontrol-plánem. Jedná se o hodnoty délek izolovaného drátu pravého a levého kontaktu, pocínování pravého a levého kontaktu a odporu drátu EW a HW vinutí. Dále budou u diagramů sledovány indexy způsobilosti procesu C_p a C_{pk} .

2.5 Měření znaků kvality při výrobě cívky

Je nutno zmínit, že se jedná o velkosériovou výrobu a tudíž se část kontroly regulovaných veličin na hotovém výrobku shoduje s kontrolami operátora přímo ve výrobě. Zde se dostává proces do problému, kdy tento jev má značný vliv na produktivitu práce a efektivnost ve výrobě. Je to však jediná možnost, jak docílit záměru, aby zákazník dostával požadované množství výrobků v dané kvalitě. V opačném případě by byl ohrožen vztah dodavatele a odběratele. Vedení společnosti tedy klade důraz jak na kontrolu a hodnocení procesu pomocí statistických metod a zjištění, tak i na efektivnější výrobu a stabilní dosahování žádané kvality. Proces kontroly kvality začíná už u příjmu materiálu, kde se provádí vstupní kontrola ještě před tím, než je materiál uvolněn do samotné výroby. Zde se kontrolují rozměry a kvalita základního materiálu, jako je rozměr a povrchová úprava drátu, trubky a plastového výlisku. Pokud je některý materiál označen jako nevyhovující, je umístěn na speciální palety a odkloněn z výroby. Ve výrobě pak dochází mezi jednotlivými pracovišti k mezioperační kontrole parametrů podle vystavené operační návodky, která je vystavena u každého pracoviště i s popisem kontroly. V návodce je uveden i postup jak zacházet s neshodnými kusy.

Kontrola na pracovišti mezi jednotlivými operacemi je prováděna buď přímo operátorem, nebo vedoucím procesu. Tato pověření jsou uvedena taktéž v operační průvodce.

Výstupní kontrolu provádí zaměstnanci z úseku řízení kvality. Vyhovující výrobky jsou naskládány na paletky a převezeny do úseku balení a expedice. Výstupní kontrola je prováděna ve výrobní hale, kde je pro tento účel vybudováno testovací stanoviště, na kterém je k dispozici digitální mikrometr, miliohmetr, posuvné digitální měřidlo a digitální zařízení na měření síly tahu.

Výsledky měření jsou zadávány do záznamových karet manuálně a následně se převádí do informačního statistického softwaru v kanceláři řízení výroby, a také se zálohují pomocí MS EXCEL tabulky dat.

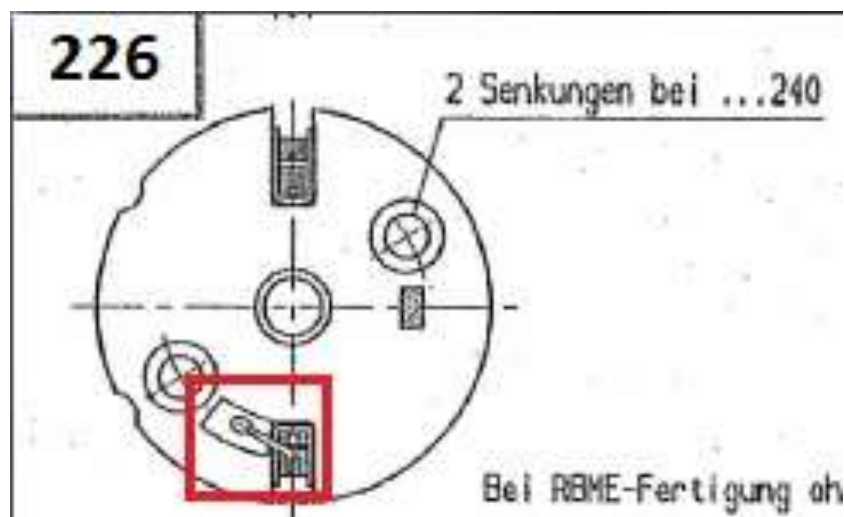
2.6 Dokumentace procesu a výroby

V následující kapitole budou popsány nezbytné materiály a dokumenty, ze kterých jsem čerpal veškeré informace nutné k výběru regulovaných veličin a tvorby výsledného přehledu, ve kterém budou shrnuty výsledky analýzy procesu a jeho současného stavu. Dále kromě níže uvedených dokumentů jsou nezbytnou součástí výroby např. kusovník, převírací protokoly k dodávanému materiálu, podklady pro nastavení výrobních zařízení a další.

2.6.1 Výkresová dokumentace

Ve výkresu cívky jsou uvedeny všechny důležité informace týkající se konstrukce, označení jednotlivých dílů, tabulka povolených tolerančních mezí pro konkrétní díly cívky. Důležitou součástí je výrobní číslo cívky, které se potom dále objevuje v dalších pomocných dokumentech a výkazech z výroby. Z důvodů ochrany citlivých informací o parametrech cívky a patentu společnosti jsou uvedeny pouze rozměry měřených znaků a z výkresu jsou odstraněny veškeré ostatní tabulkové a konstrukční specifikace.

Na následujícím obrázku z výkresové dokumentace je znázorněn jeden ze znaků, který je kontrolován vizuálně. Jedná se o kontrolu sváru, kde je ve výkresu vyznačena i poloha sváru.



Obr. 26: Detail sváření kontaktu na výkresu (Zdroj: výkresová dokumentace výrobku)

2.6.2 Kontrolní plán

Hlavním cílem tvorby kontrolního plánu je příprava procesu až do fáze zahájení sériové výroby. Je vypracován jak pro jednotlivá pracoviště na výrobní lince, současně zahrnuje také informace důležité pro celý proces. Kontrolní plán je zaměřen zejména na popis jak provádět kontroly výrobku a na měření rozměrů.

Kontrolní plán (Control plan)				Typ výrobku (Product type)		Název dílu (Name of the part)		Název výrobku (Drawing No.)							
				226		Magnetwicklung									
Změny (Changes)				1											
Kontrolní plán (Control plan)															
Kontrolní plán (Control plan)															
Číslo operace (Operation No.)		Proces (Process)		Název výrobku (Name of the part)		Výrobek, specifikace procesu, tolerance (Product, process specification, tolerance)		Metoda (Method)		Kontrolní frekvence (Control frequency)		Odpovědnost (Responsibility)		Plán výroby (Production plan)	
Zařízení (Machine)		Zadávací znak (Order No.)		Výrobek (Product)		Specifikace (Specification)		Tolerance (Tolerance)		Frekvence měření (Frequency of measurement)		Kontrolní frekvence (Control frequency)		Plán výroby (Production plan)	
1000		Proces výroby (Production process)		Kontrola dimenzí dílu (Control of part dimensions)		Kontrola dimenzí dílu (Control of part dimensions)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola dimenzí dílu (Control of part dimensions)		Kontrola dimenzí dílu (Control of part dimensions)	
1001		Montáž (Assembly)		Frekvenční měřicí přístroj (Frequency measuring device)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
1002		Montáž (Assembly)		Frekvenční měřicí přístroj (Frequency measuring device)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
1003		Montáž (Assembly)		Frekvenční měřicí přístroj (Frequency measuring device)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
1004		Montáž (Assembly)		Frekvenční měřicí přístroj (Frequency measuring device)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	
				Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Vizuální kontrola (Visual control)		100%		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)		Kontrola parametrů výroby (Control of production parameters)	

Obr. 27: Ukázka kontrolního plánu u cívky 226 (Zdroj: výrobní dokumentace firmy)

Pro cívku typu 226 je obsahem kontrolního plánu:

- číslo prováděné operace,
- pojmenování konkrétního procesu,
- určení výrobního zařízení pro úkon,
- označení zvláštního znaku – v našem případě poznámka o zahrnutí znaku do SPC,
- definice výrobku pro jednotlivá pracoviště,
- definice instrukcí,
- definice tolerance,
- měřidlo,
- rozsah a frekvence měření,

- kontrolní metody a dokumentace,
- odpovědnost za proces,
- plán reakce.

2.6.3 SK dokumentace

Tímto způsobem se označuje ta část kontrolního plánu, která se nachází přímo na konkrétních pracovištích výroby. Ve firmě Hanhart Morkovice je součástí operační návodky. Tato operační návodka obsahuje údaje o tom, jak má být postupováno k výrobě dobrého kusu, zadání kontrolovaných rozměrů, postup a frekvenci kontroly na pracovišti a plán opatření.

V případě konkrétního výrobku cívky 226 operační návodka obsahuje:

- V hlavičce tohoto dokumentu se nachází označení výrobku ve formátu XXXX 226, název součástky, název operace a označení stroje, číslo pracoviště, datum vystavení operační návodky a zodpovědná osoba za tento dokument,
- druh výrobní pomůcky a jeho označení,
- popis operace na pracovišti a postup pro výrobu dobrého kusu,
- nastavení výrobního zařízení,
- grafické a tabulkové znázornění kontrolovaných znaků a jejich hodnot,
- tabulka rozměrů dílu.

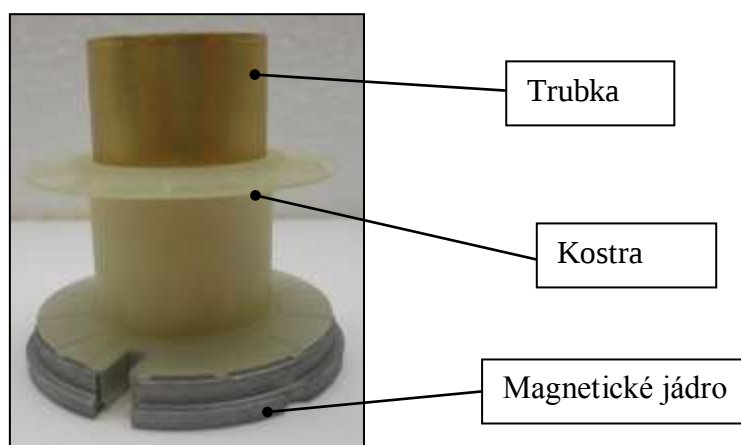
		Operační návodka		Výrobek - typ 9310 XXX		Název součástky CÍVKA SPÍNAČE		Číslo výkresu 9310 XXX	
				1 334 210 XXX				1 334 210 XXX	
Datum: 9.9.2011		Stroj - zařízení		Pracoviště		Název operace		Číslo č. op.	
Výpracoval: Bulko M.		Zkušební zařízení		09863		Zkoušet - značit		090	
Kontroloval:		V.č.: 2101171 (40 02 070)						Počet listů 1/4	
Výrobní pomůcky									
Druh - název		Označení							
Upínací tm		dle tabulky 1							
Tisková hlavička		24 x 24							
Číslice TELOS vel. 4		C4/16							
Ink cartridge BLACK		CM501/38							
Čistě barvy		CP009							
Ochranné rukavice ARDON		4131; EN 388							
Zkušební kus		15 N							
Zkušební kus		el. gáz							
Box 88 x 146 x 66		Plastový ALLIT							
Vložka do přepravky		dle tabulky 1							
Přepravka plastová EF 4120		dle tabulky 1							
Váko přepravky		černé							
 Cívka s pocínovanými vývody  Fig. 11 - Izolační trubička  Barva černá									

Obr. 28: Vzor operační návodky pro kontrolní pracoviště (Zdroj: firemní dokumentace výrobku)

2.7 Výroba cívek pro zapalování typ 226

Pro uvedený typ je sestrojena montážní linka mající 9 stanovišť a každé stanoviště je vybaveno SK dokumentací. Rozložení a označení pracovní plochy podléhá systému 5S (viz přílohy). Výrobek projde postupně pneumatickým lisovacím zařízením, navíjecím strojem pro EW vinutí, manuálním pracovištěm, navíjecím strojem pro HW vinutí, bandážovacím zařízením, svářecím strojem, stáčecím zařízením, cínováním kontaktů a poslední instancí na výrobní lince je kontrolní automatické zařízení. Na posledním stanovišti je podle požadavků kontrol-plánu každý dvoustý kus nutné odhodit do speciálního kontejneru, který automaticky po tomto úkonu nechá celou linku dále pokračovat v procesu. Pokud by se tak nestalo, celá výrobní linka se odpojí a dále nepokračuje ve svém programu. V následujících podkapitolách jsou podrobně popsána pracoviště s postupem výroby a plánem kontroly přímo při chodu linky.

2.7.1 Pneumatické lisovací zařízení



Obr. 29: Základní konstrukce pro cívku (Zdroj: výrobní dokumentace firmy)

Na prvním pracovišti začíná pracovní postup vložením trubky do lisovacího přípravku lemem nahoru a následně se vloží magnetické jádro do trubky. Po spuštění koncového spínače se automaticky uvede do provozu pneumatický válec, který provede slisování, a odtlačí lisovací přípravek do koncové polohy. V dalším kroku se přitáhne lisovací přípravek do výchozí polohy a vyjme se magnetické jádro s nalisovanou trubicí. Manuálně se nasune kostra na trubku s magnetickým jádrem a takto hotový přípravek se

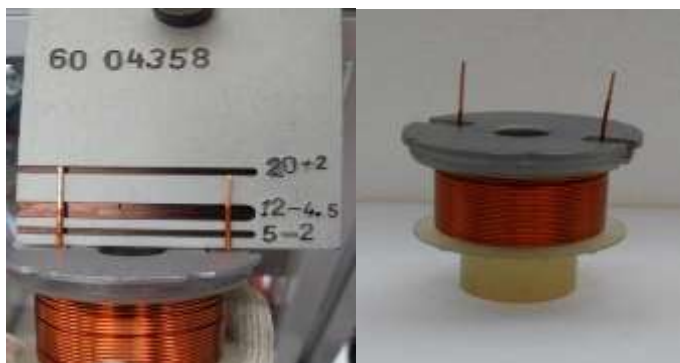
vloží na paletku. Pro typ 226 se používá trubka délky $45,4 \pm 0,2$ mm a přednastavený tlak na pneumatickém lisovacím zařízení má hodnotu provozního tlaku $0,3 \pm 0,02$ MPa.

Kontrola na pracovišti:

Tab. 3: Kontrola na pracovišti 1 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
poloha trubky po nalisování	100%	vizuálně	operátor
poloha nasazené kostry	100%	vizuálně	operátor
pevné spojení trubky jádro	100%	vizuálně	operátor
délka trubky	1. ks/ přepravka	šablona délky trubky	operátor

2.7.2 Navíjecí stroj PAS-4080-V



Obr. 30: Ukázka kontrolní šablony a EW vinutí (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

Sestava z prvního pracoviště se nasadí na navíjecí trny (4x), tlačítkem START se spustí cyklus EW navíjení. Po ukončení navíjecího cyklu se po stlačení tlačítka TWIST uvolní zámky navíjecích trnů a musí se vyjmout cívky a odložit na paletku.

Navíjecí stroj má pro typ cívky 226 nastavené následující parametry. Průměr měděného drátu je 0,95 mm počet závitů se musí nacházet v rozmezí 132 – 136 závitů. Součástí tohoto pracoviště jsou pro provádění kontroly k dispozici cejchované šablony pro

kontrolu délky vývodů drátu, miliohmometr, laserový mikrometr, počítadlo počtu závitů a měřidlo tahu drátu.

Kontrola na pracovišti:

Tab. 4: Kontrola na pracovišti 2 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
odpor vinutí	na začátku směny, přetypování	miliohmometr	operátor
délka odizolování	na začátku směny, přetypování	šablona 12 - 4,5	operátor
délka vývodu	na začátku směny, přetypování	šablona 20 + 2	operátor
průměr odizolování	na začátku směny, přetypování	laserový mikrometr	operátor
tah drátu	na začátku ranní směny	měřidlo tahu drátu	operátor
počet závitů	první směna v prac. týdnu	počítadlo počtu závitů	vedoucí týmu
správnost uložení vinutí	100%	vizuální	operátor
správnost typu drátu	při výměně drátu	vizuálně, laserový mikrometr	operátor + ved. týmu

2.7.4 Manuální pracoviště

Základem tohoto pracoviště je oddělení EW a HW vinutí před následujícím druhým navíjecím procesem. Cívka se nasadí na trn držáku. Na oba konce podkladu se nalepí oboustranná lepicí páska.



Obr. 31: Lepení oboustranné pásky na EW vinutí (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

Tab. 5: Kontrola na pracovišti 3 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
mezera mezi konci prešpanu	100%	vizuálně	operátor
šířka prešpanu	100%	vizuálně	operátor
přilepení prešpanu	100%	vizuálně	operátor

2.7.5 Navíjecí stroj PAS-4080-V

HW vinutí slabšího drátu o průmětu 0,5 mm s počtem závitů v rozpětí 132 – 139 a vrstvením 3,15 dotvoří základ pro cívku zapalování a dostává tak již předfinální podobu, kdy má všechny základní elektromagnetické parametry a dále už bude procházet pouze povrchovými a funkčními úpravami.



Obr. 32: Ukázka cívky po HW vinutí (Zdroj: výrobní dokumentace firmy)

Kontrola na pracovišti:

Tab. 6: Kontrola na pracovišti 4 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
odpor vinutí	na začátku směny, přetypování	miliohmetr	operátor
délka odizolování	na začátku směny, přetypování	šablona 12 - 4,5	operátor
délka vývodu	na začátku směny, přetypování	šablona 20 + 2	operátor
průměr odizolování	na začátku směny, přetypování	laserový mikrometr	operátor
tah drátu	na začátku ranní směny	měřidlo tahu drátu	operátor
počet závitů	první směna v prac. týdnu	počítadlo počtu závitů	vedoucí týmu
správnost uložení vinutí	100%	vizuální	operátor
správnost typu drátu	při výměně drátu	vizuálně, laserový mikrometr	operátor + ved. týmu
vnitřní rozměr trubky	na začátku směny, přetypování	měřidlo $\emptyset$	operátor

2.7.6 Bandážovací stroj WH-TP01

Cívka je nasunuta na bandážovací trn. Manuálně spustíme cyklus bandážování. Po sejmutí cívky z bandážovacího trnu je cívka umístěna do připravené paletky. Na tomto stroji taktéž dochází k výraznému vizuálnímu odlišení různých druhů cívek, kdy je použito dvou barev pro bandážování. Jde o bandáž bílé a žluté barvy.



Obr. 33: Bandáž cívky (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

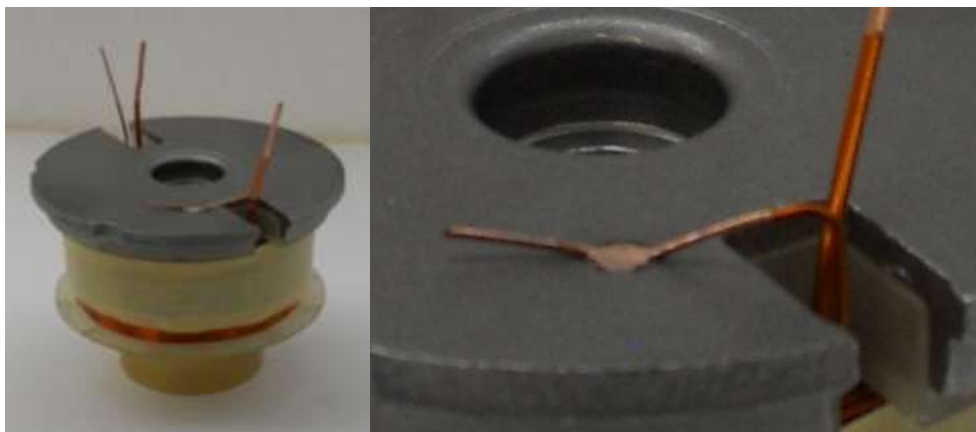
Kontrola na pracovišti:

Tab. 7: Kontrola na pracovišti 5 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
pozice pásky	100%	vizuálně	operátor
počet závitů	100%	vizuálně	operátor
přilepení pásky	100%	vizuálně	operátor

2.7.7 Svářecí stroj JESVA JZ-48

Operátor vloží přípravek do plně automatizovaného svařovacího přístroje, nastaví cívku do předepsané polohy, zaaretuje cívku, uzavře bezpečnostní kryt a spustí automatický cyklus. Důležitou součástí tohoto pracoviště je digitální siloměr, kterým musí vedoucí pracovník otestovat každý dvoustý čtyřicátý kus po dokončení svařování. Minimální hodnota v tahu, kterou musí svár bez poškození vydržet, je 30 N. Neméně důležitou kontrolou je vizuální zhodnocení kvality sváru.



Obr. 34: Poloha a vzhled sváru kontaktu (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

Kontrola na pracovišti:

Tab. 8: Kontrola na pracovišti 6 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
přivaření	100%	vizuálně	operátor
kontrola sváru	na začátku směny, přetypování	šablona polohy sváru	operátor
30 N	1ks/240ks	digitální siloměr	vedoucí týmu

2.7.8 Stáčecí zařízení

Operátor umístí přípravek do držáku stáčecího zařízení. Stáčecí zařízení proplete konce EW a HW vinutí do sebe. Tento úkon je nezbytný pro následující operaci pájení. Jinak by nebylo možné vytvořit pevný kontakt pro zapojení cívky. Na tomto stanovišti je prováděno pouze vizuální kontrolování obtočení odizolovaných částí HW vinutí kolem silnějšího drátu.



Obr. 35: Stočení kontaktů na výrobním zařízení (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

Kontrola na pracovišti:

Tab. 9: Kontrola na pracovišti 7 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
stočení vývodu	100%	vizuální kontrola	operátor

2.7.9 Pájecí zařízení MARSILLI WM 15/F

Na stanovišti pájení se musí před začátkem směny zkontrolovat dostatečné materiálové dispozice pro průběh tohoto cyklu. Mezi spotřebovávaný materiál patří cínová pájka, tavidlo a Isopropylalkohol. Hustota pájky musí být od 0,79 do 0,83 g dle směrnice kvality pájení. Po zhotovení pocínování na kontaktech se zkontroluje délka vývodů a případně se jejich délka zastříhne dle kalibrované měrky. Kontrolu zde zajišťují jak operátor procesu, tak i vedoucí pracovník.

Kontrola na pracovišti:

Tab. 10: Kontrola na pracovišti 8 (Zdroj: firemní dokumentace výroby)

operace\rozměr	četnost	měřicí pomůcky	kontrolu provádí
pocínování	100%	vizuální kontrola	operátor
délka pocínování	na začátku směny, přetypování	šablona 12 - 2	operátor
délka vývodů	na začátku směny, přetypování	šablona 20 + 2	operátor
hustota tavidla	1x/4 h.	hustoměr	vedoucí týmu
kontrola teploty cínování	1. směna v prac. měsíci	teploměr	vedoucí týmu

2.7.10 Zkušební zařízení

Na začátku každé směny musí proběhnout otestování zařízení zkušebním kusem. Toto zařízení má 3 polohy testování. První fáze zahrnuje test tahu 15 N. Druhá fáze je test elektrického okruhu cívky. Třetí fáze obnáší potisk cívky, kde se uvede patřičný typ a výrobní číslo s datem. Pokud by výrobek neprošel jednou z kontrol, poslední třetí fáze neproběhne a linka zahlásí chybný kus. Na kompletně hotový kus se pak pro ochranu kontaktů nasadí plastové krytky. Každý dvoustý kus musí být odejmut ze zařízení a umístěn do speciálního kontejneru, který je založen na elektromagnetickém senzoru, který má ochrannou funkci v procesu.

2.7.11 Problémy ve výrobě

Dle interních dokumentací a v souladu s propracovaným kontrol-plánem lze konstatovat, že řízení kvality je ve firmě Hanhart Morkovice na vysoké úrovni. Prvotní problém bych identifikoval v návaznosti na nový proces výroby cívek typ 226. U nového procesu není možné ihned od počátku zajistit stoprocentní shodu ve všech parametrech výrobku. Dle mého zjištění je však chyba na straně zákazníka, který neuvedl veškerá kritéria do předem schváleného kontrol-plánu. V kontrole kvality totiž nejsou zahrnuty všechny kontroly, které jsou prováděny také u odběratele, a u některých

parametrů dochází dle sdělení společnosti k nesouladu požadavků na kvalitu u výrobku. Zejména svařovací stroj, který je sice správně naprogramován a kvalita svárů je odpovídající kontrol-plánu zakázky, vzhledově neodpovídá požadavkům zákazníka. Poloha i pevnost sváru je odpovídající. Problém nastává u vizuálního vnímání tohoto znaku. Jedná se o těžce specifikovatelný znak. Dále pak je prováděn deformační - vibrační test, který zatím není možno provádět na výrobní lince, a tedy není možno odhalit nedostatky ještě před výdejem produktu. Při procesu navíjení nastává komplikace v procesu kontroly na pracovišti při měření tloušťky drátu vývodů. V některých případech dochází k nesplnění požadované normy. Jedná se však o vymezitelnou příčinu, kterou není možné odstranit. U navíjení dochází k natahování drátu, a tím i ke ztenčení výsledného průměru. Tento jev nemá vliv na kvalitu elektromagnetických vlastností cívky.

2.8 Analýza regulovaných veličin

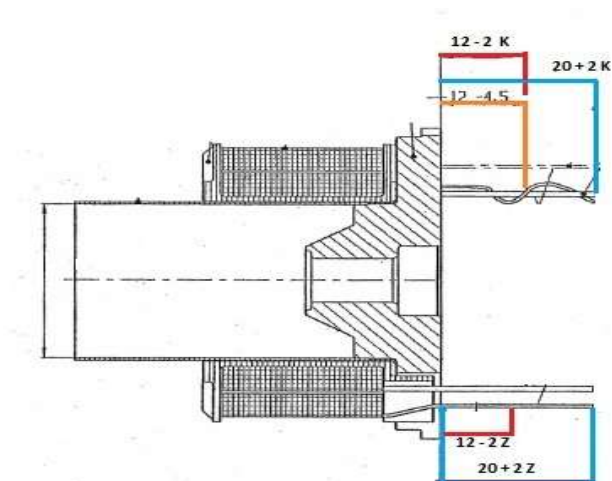
V této kapitole jsou uvedeny analýzy výrobního procesu cívky typu 226. Informace vyplývající z této analýzy o způsobilosti procesu jsou však informací do budoucna. Jinými slovy jsou to informace o tom, jakou přesnost budoucí výroby můžeme očekávat. Takto můžeme daný proces ohodnotit, pouze v případě, pokud je trvale pod kontrolou a je tedy zahrnut do SPC – kde se vedou o tomto procesu záznamy v podobě regulačních diagramů. Proto každá regulovaná veličina musí mít definovanou nejen způsobilost, ale i způsob zaznamenávání měření a vyhodnocování regulačních diagramů.

Budu se snažit v SPC analýze zjistit a zhodnotit stabilitu nového procesu. Za pomoci regulačních diagramů budu posuzovat, jak se pohybují hodnoty procesu. Dále budou použity následující indexy způsobilosti:

- pro krátkodobou způsobilost C_p a C_{pk} indexy
- indexy P_p a P_{pk} slouží pro stanovení předběžné způsobilosti dlouhodobého procesu

Jako nástroj pro hodnocení procesu a jednotlivých znaků kvality byly zvoleny diagrany pro aritmetické průměry a rozpětí ($\bar{X}$, R).

Poté co určím zda proces klasifikovat jako způsobilý nebo nezpůsobilý bude vypracován plán opatření a návrhů pro zlepšení stability procesu. Tyto návrhy budou prezentovány v kapitole 3.



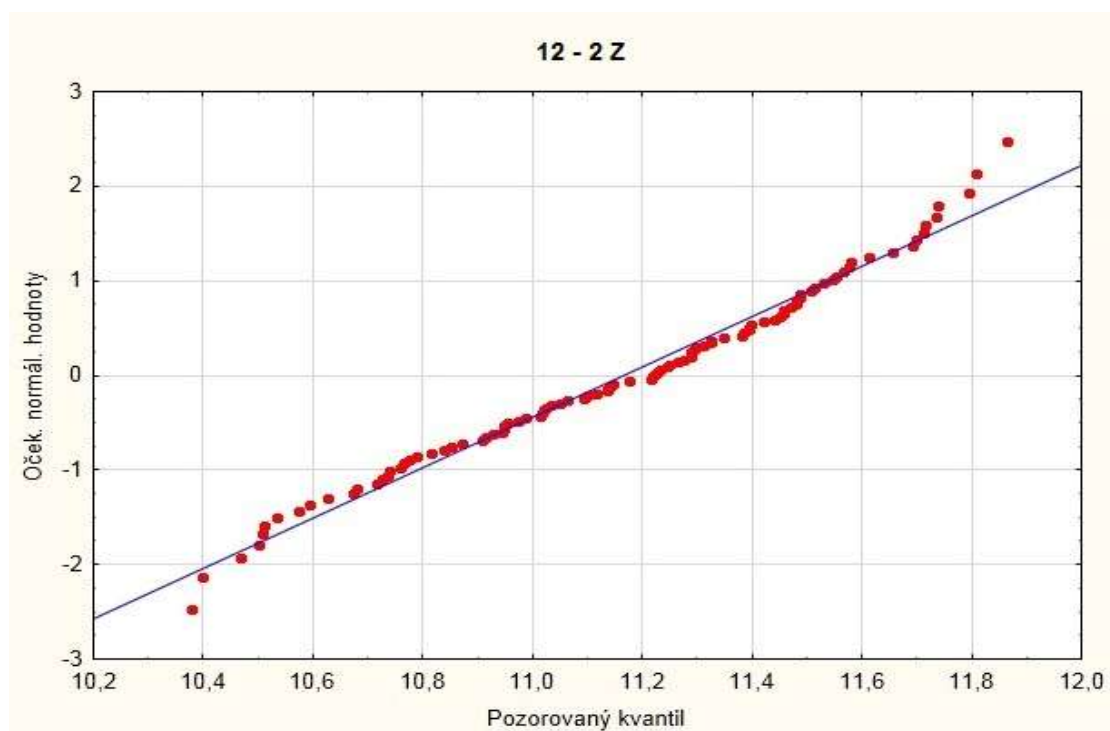
Obr. 36: vyznačení kontrolovaných parametrů u kontaktů EW a HW vinutí

(Zdroj: výkresová dokumentace výroby)

2.9 Kontrola kontaktů EW a HW vinutí

V první části analýzy budu hodnotit veličiny, které se nacházejí na kontaktech cívky. Jedná se o rozměry izolovaných drátů a pocínovaných kontaktů jak na silném, tak i na tenkém drátu. Označení regulovaných veličin vychází z kontrolního plánu a zahrnuje také rozmezí správného výrobku dle požadavků zákazníka. Označení 12 – 2 odpovídá rozpětí regulačních mezí 10 – 12 mm a pro označení veličiny 20 + 2 je dáno rozmezí regulačních mezí, které jsou stanoveny zákazníkem v rozsahu 20 – 22 mm. Pro každou regulovanou veličinu musel být dle pravidel pro použití regulačních diagramů proveden test normaly dat.

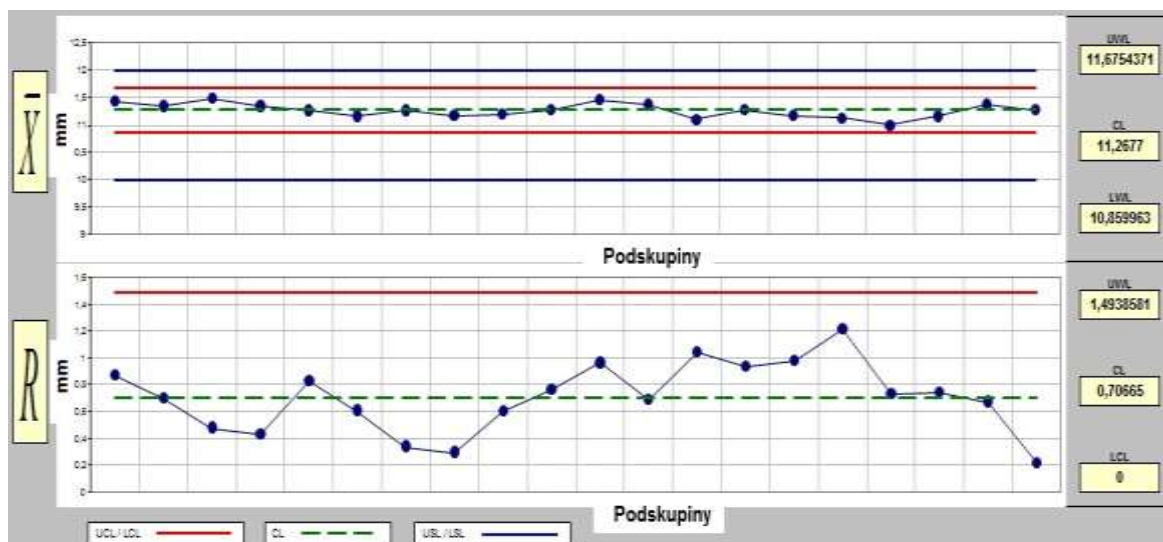
2.9.1 Regulovaná veličina 12 – 2 Z



Graf 1: Ověření normality pro regulovanou veličinu 12 – 2 Z

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Naměřené hodnoty odpovídají normálnímu rozdělení a potvrzují tak předpoklad pro použití regulačního diagramu.



Graf 2: Regulační diagramy ($\bar{X}$, R) pro veličinu 12 – 2 Z

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

$$C_p = 1,01 < 1,66$$

$$C_{pk} = 0,84 < 1,66$$

$$P_p = 0,91 < 1,66$$

$$P_{pk} = 0,76 < 1,66$$

Min. naměřená hodnota = 10,379

Max. naměřená hodnota = 11,864

Průměrná hodnota = 11,16524

Rozptyl naměřených hodnot = 1,485

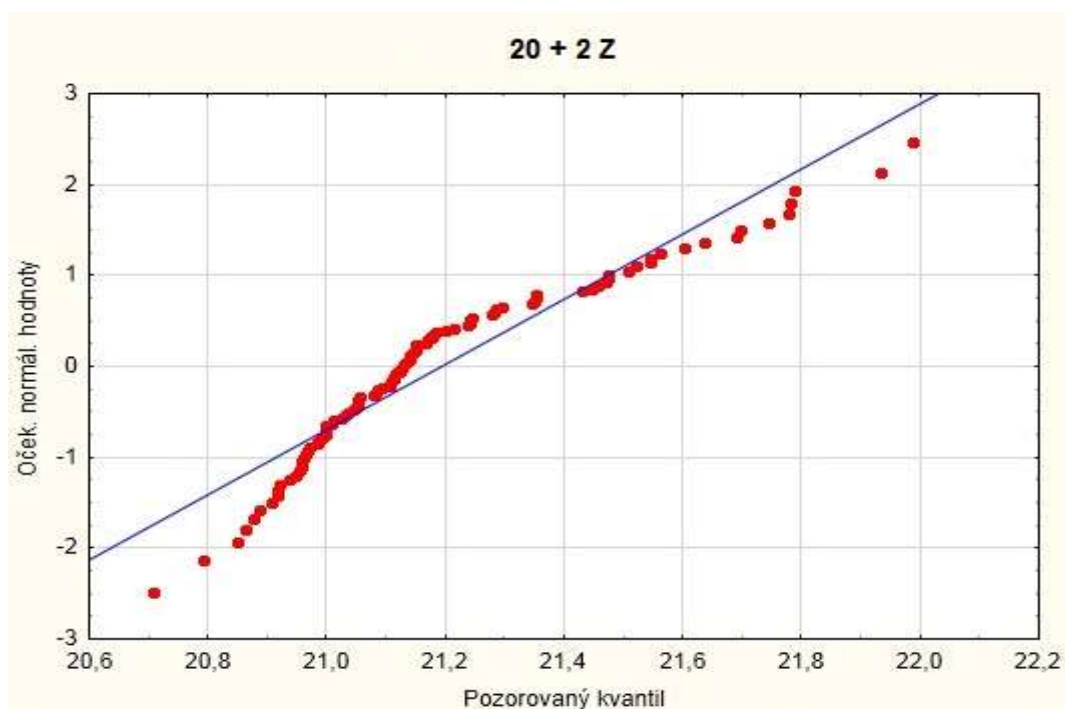
Proces není dobře vycentrován a z grafu lze vyčíst, že naměřené hodnoty se vyskytují při horní polovině regulačního rozmezí. Žádná z měřených hodnot se nenachází mimo regulační meze a ani žádná z 20 podskupin nepřesahuje kontrolní meze. Z grafu rozptylů však lze sledovat zejména u podskupin 13, 14, 15 a 16 vyšší variabilitu.

Zde je možné aplikovat pravidlo, kdy dvě ze tří po sobě jdoucích hodnot jsou mimo interval ± 2 sigma na téže straně centrální linie. Varování před možným překročením regulačních mezí.

Indexy způsobilosti dosahují velmi nízkých hodnot a je tedy nutné tento proces označit jako **nezpůsobilý**. V tomto případě bude příčina ve špatně nastaveném výrobním zařízení. Z grafu rozptylů pozorujeme značnou různorodost hodnot, kdy v průběhu první směny se vyskytují značná rozpětí v rozměrech, které následují po sobě.

Všechny kontrolované kusy však dosahují požadovaných hodnot. Nebyl zjištěn žádný nevyhovující výrobek a průměrná hodnota se jen nepatrně liší od centrální přímky procesu.

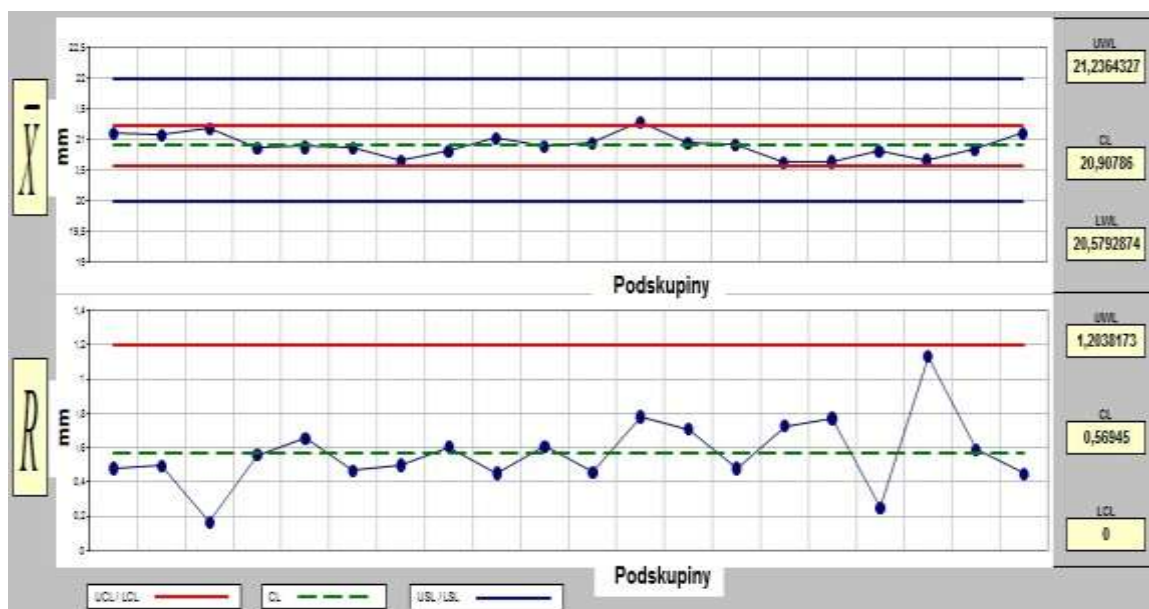
2.9.2 Regulovaná veličina 20 + 2 Z



Graf 3: Ověření normality pro regulovanou veličinu 20 + 2 Z

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Data splňují podmínku normality.



Graf 4: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu 20 + 2 Z

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

$$C_p = 1,31 < 1,66$$

$$C_{pk} = 1,06 < 1,66$$

$$P_p = 1,27 < 1,66$$

$$P_{pk} = 1,02 < 1,66$$

Min. naměřená hodnota = 20,708

Max. naměřená hodnota = 21,988

Průměrná hodnota = 21,19322

Rozptyl = 1,28

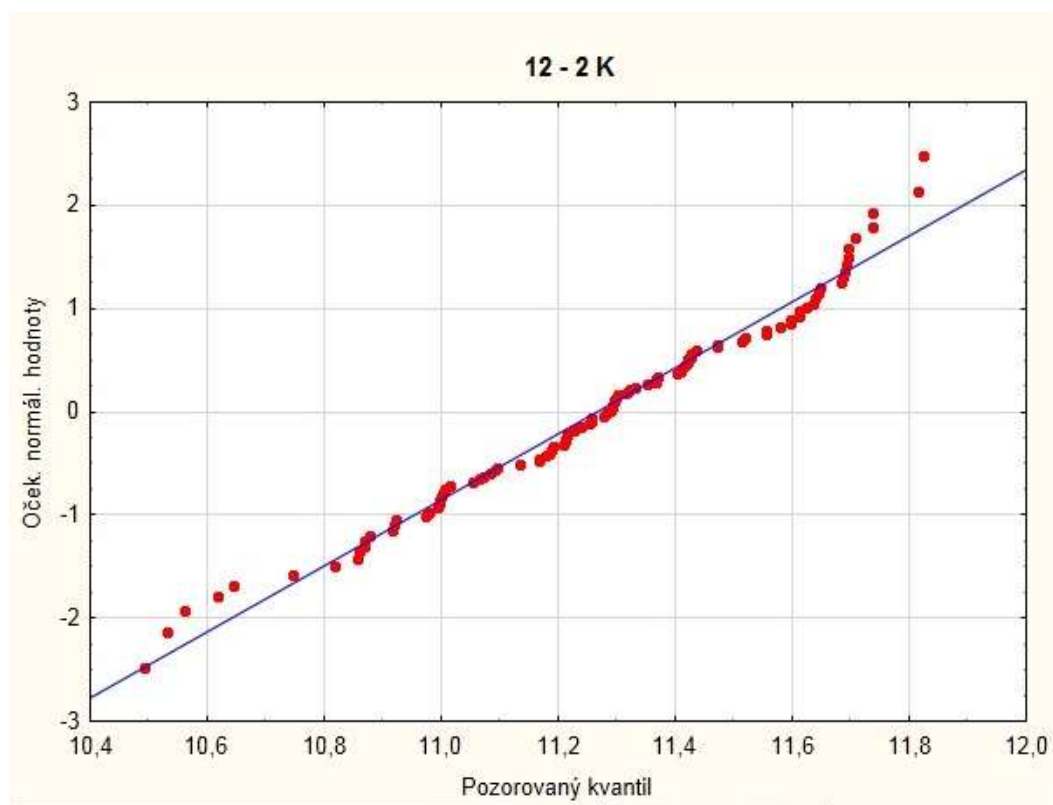
Z grafu průměrů je nutné upozornit na šest podskupin, které dosahují úrovně varovných linií. I maximální naměřená hodnota se nachází téměř na hranici horní regulační meze a může tak naznačovat případný vliv vymezitelné příčiny.

Dalším faktorem ovlivňující výsledky procesu je fakt, že výrobní zařízení v průběhu směny snižuje kvalitu vyráběných kusů. Od patnácté podskupiny je patrný nárůst rozptylů mezi jednotlivými kusy. Hodnota v osmnácté podskupině pak již varuje před případnými vadnými kusy, které mohou být vyprodukovány na tomto zařízení.

Zde platí pravidlo, kdy osm hodnot je mimo interval $\pm$ sigma na obou stranách centrální linie. Zvýšení variability mezi podskupinami. Varování před překročením regulačních mezí. Je možná i porucha procesu.

V aktuálním stavu by bylo možné dosáhnout hodnoty indexu maximálně 1,31. Tato hodnota není nikterak alarmující. Proto, i když musíme tento proces označit jako **nezpůsobilý**, můžeme jej pomocí jednoduchých metod eliminace nežádoucích dat (podskupin) upravit a dosáhnout tak podstatně lepších výsledků.

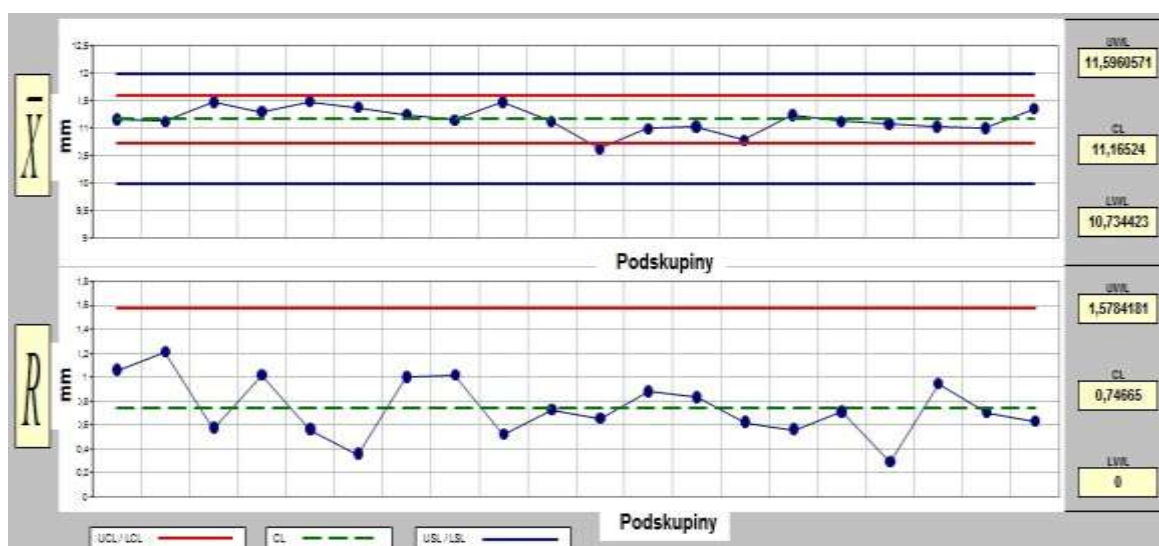
2.9.3 Regulovaná veličina 12 – 2 K



Graf 5: Ověření normality pro regulovanou veličinu 12 – 2 K

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Naměřené hodnoty mají normální rozdělení pravděpodobnosti.



Graf 6: Regulační diagramy ($\bar{X}$, R) pro veličinu 12 – 2 K

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

$$C_p = 1,07 < 1,66$$

$$C_{pk} = 0,79 < 1,66$$

$$P_p = 1,09 < 1,66$$

$$P_{pk} = 0,80 < 1,66$$

Min. naměřená hodnota = 10,494

Max. naměřená hodnota = 11,823

Průměrná hodnota = 11,2677

Rozptyl = 1,329

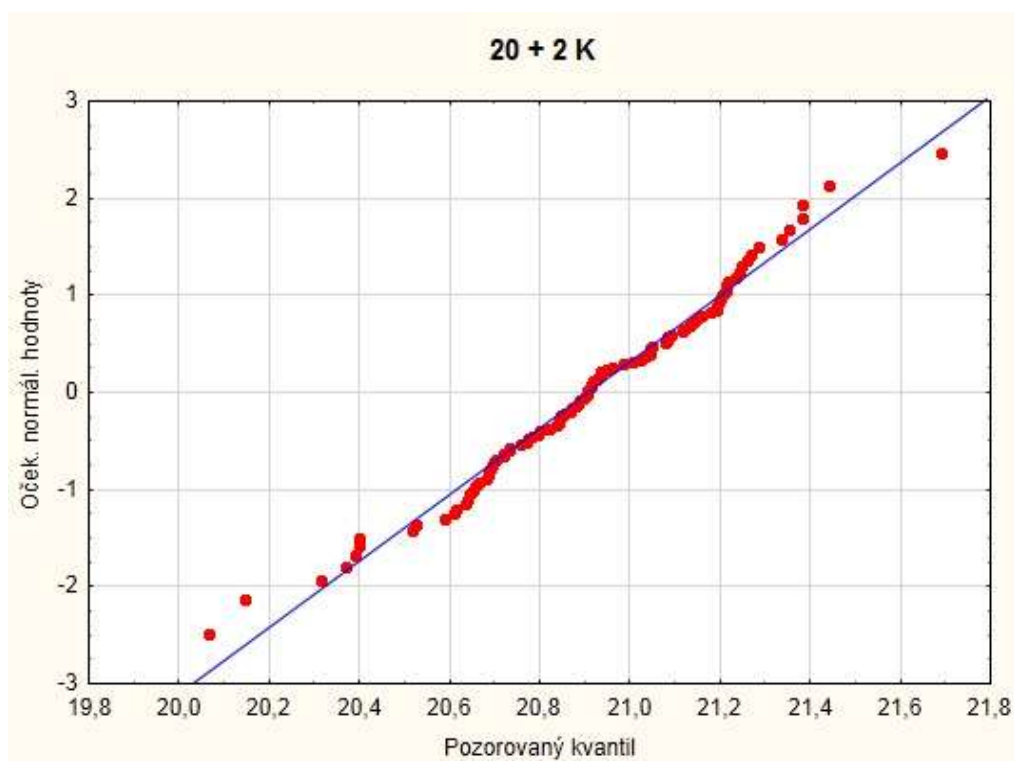
Tento proces je **nezpůsobilý**. Jedná se o špatně centralizovaný proces, který je ovlivněn vymežitelným vlivem. Dle dat lze usuzovat na možnou chybu operátora při měření dat.

První polovina směny vyrábí výrobky, u kterých byly naměřeny po sobě jdoucí hodnoty s velkým rozptylem mezi jednotlivými podskupinami po obou stranách centrální přímky. Je to velmi netypický jev. I když stroj byl na začátku směny seřízen a správně nastaven vykazoval velkou variabilitu výstupů.

Je nutné upozornit, že postupem času se hodnoty téměř ustálily, i když zpočátku se jevílo zařízení nesprávně nastaveno. Tento fakt naznačuje také překročení varovných mezí ve 2 ze 4 po sobě jdoucích podskupinách 11 až 14.

Na tomto výrobním stanovišti bude provedeno přenastavení a kontrola zařízení a také kontrola testovacích pomůcek. Výsledek těchto kroků je uveden v kapitole návrhů.

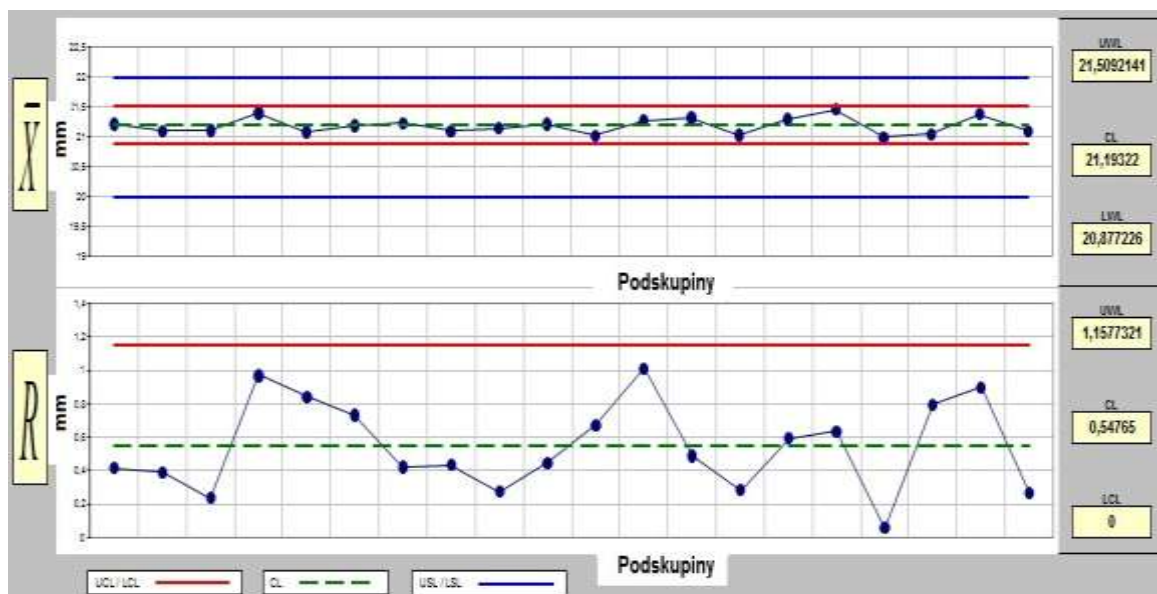
2.9.4 Regulovaná veličina 20 + 2 K



Graf 7: Ověření normality pro regulovanou veličinu 20 + 2 K

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Podmínka normality je v tomto případě splněna.



Graf 8: Regulační diagramy ($\bar{X}$, R) pro veličinu 20 + 2 K

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

$$C_p = 1,34 < 1,66$$

$$C_{pk} = 1,22 < 1,66$$

$$P_p = 1,16 < 1,66$$

$$P_{pk} = 1,06 < 1,66$$

Min. naměřená hodnota = 20,065

Max. naměřená hodnota = 21,691

Průměrná hodnota = 20,90786

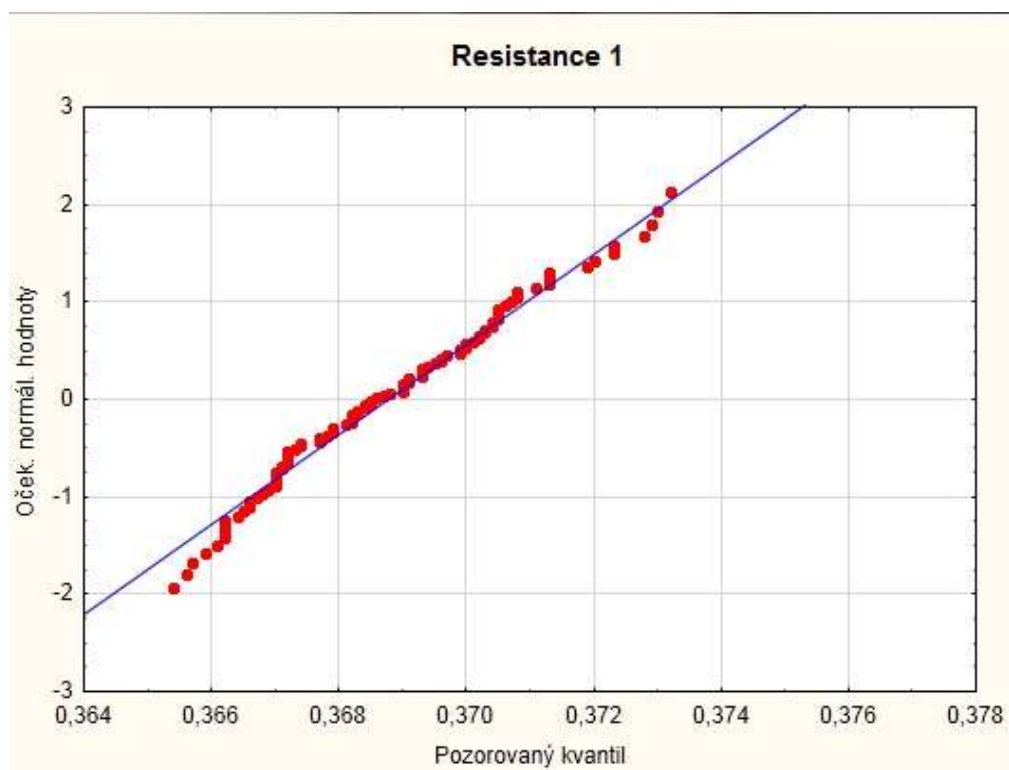
Rozptyl = 1,626

I v tomto případě se proces nachází ve stavu, kdy musí být označen jako **nezpůsobilý**. Opět je patrné nevhodné nastavení výrobního zařízení. Vyplývá to zejména z grafu rozptylů. Také zde bude náprava možná při aplikování metod SPC.

V podskupinách 17 a 18 se objevuje pravidlo, kdy dvě ze tří po sobě jdoucích hodnot jsou mimo interval ± 2 sigma na téže straně centrální linie. Varování před možným překročením regulačních mezí

Oproti měřeným znakům 12 – 2 však můžeme konstatovat, že indexy způsobilosti C_p vykazují vyšší hodnoty, a proto můžeme tvrdit, že v tomto případě je nastavení regulačních mezí správné.

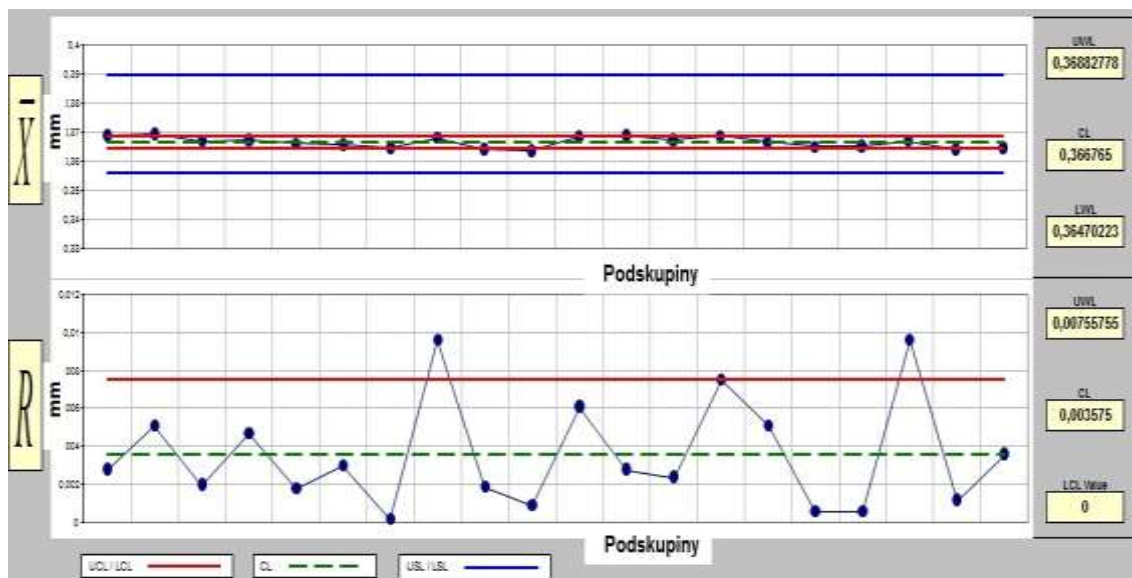
2.9.5 Regulovaná veličina Odpor EW vinutí $0,373 \pm 0,017 \Omega$



Graf 9: Ověření normality pro regulovanou veličinu odpor EW

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Data mají normální (Gaussovo) rozdělení pravděpodobnosti.



Graf 10: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu odpor EW vinutí

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

$$C_p = 3,04 > 1,66$$

$$C_{pk} = 1,93 > 1,66$$

$$P_p = 2,33 > 1,66$$

$$P_{pk} = 1,47 < 1,66$$

Min. naměřená hodnota = 0,3634

Max. naměřená hodnota = 0,375

Průměrná hodnota = 0,36677

Rozptyl = 0,01160

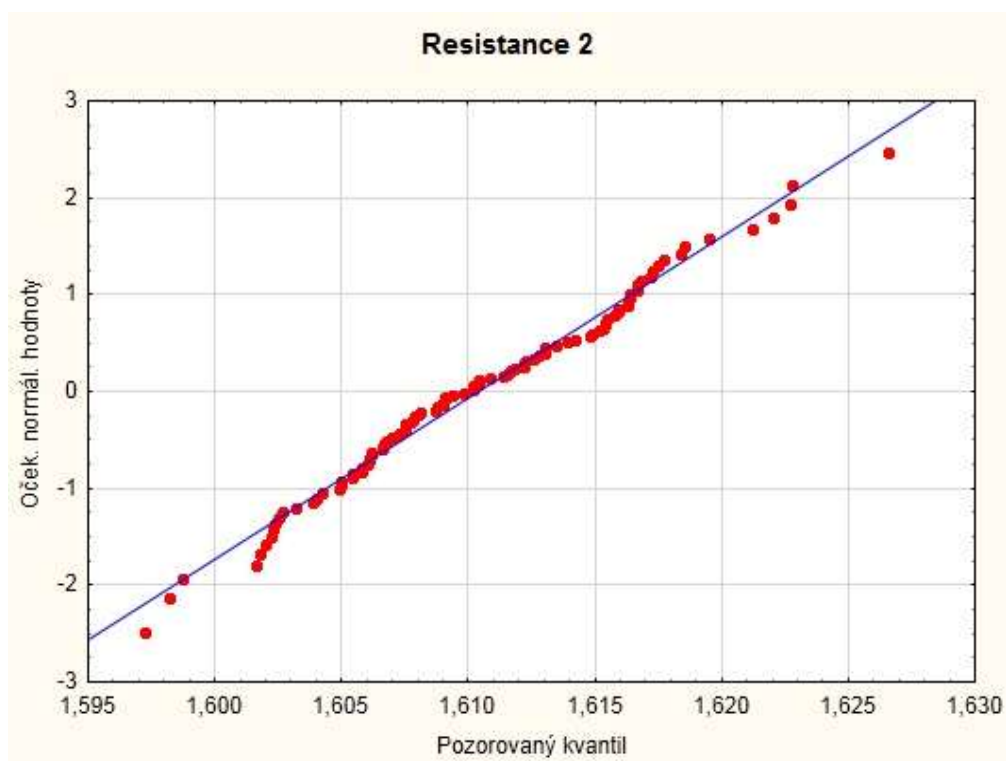
Z regulačního diagramu $\bar{X}$ vyplývá, jak je proces dobře zvládnutý a téměř všechny hodnoty podskupin se nachází v bezprostřední blízkosti centrální přímky.

Tento proces však může být ovlivněn i zvenčí, kdy velký vliv má kvalita drátu navíjeného na cívku. Pro odpor drátu je důležité jak chemické složení a kvalita materiálu, tak i správné skladování a zacházení s drátem během výroby. Tyto prognózy se však nenaplnily.

Tento proces je **způsobilý** a má velké rezervy podle indexů způsobilosti. Dokonce i dlouhodobé indexy vykazují výborné hodnoty a je tedy předpoklad stabilního procesu při zachování stávajících podmínek. Diagram rozptylů R nám ukazuje, že dvě podskupiny přesáhly varovnou mez rozptylů.

Z dat, které byly k dispozici, je zřejmé, že se jednalo pouze o náhodné tři vyrobené kusy, které se v těchto podskupinách objevily a značně ovlivnily tento výsledek. Ze 100 kusů ani jeden nepřesáhl dané meze. Kontrola probíhá na kalibrovaném miliohmometru a je tedy eliminován vliv chyb při měření.

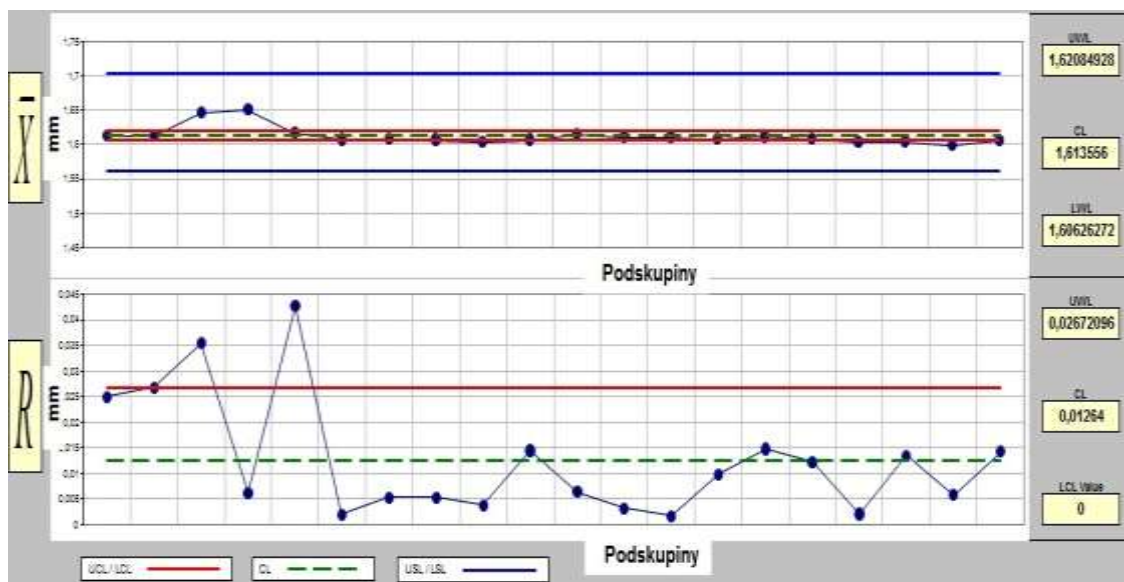
2.9.6 Regulovaná veličina odpor HW vinutí $1,633 \pm 0,07 \Omega$



Graf 11: Ověření normality pro regulovanou veličinu odpor HW vinutí

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

I v posledním případě měřených hodnot je splněna podmínka normálního rozdělení.



Graf 12: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu odpor HW vinutí

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

$$C_p = 3,32 > 1,66$$

$$C_{pk} = 2,40 > 1,66$$

$$P_p = 1,63 < 1,66$$

$$P_{pk} = 1,17 < 1,66$$

Min. naměřená hodnota = 1,597

Max. naměřená hodnota = 1,65690

Průměrná hodnota = 1,61356

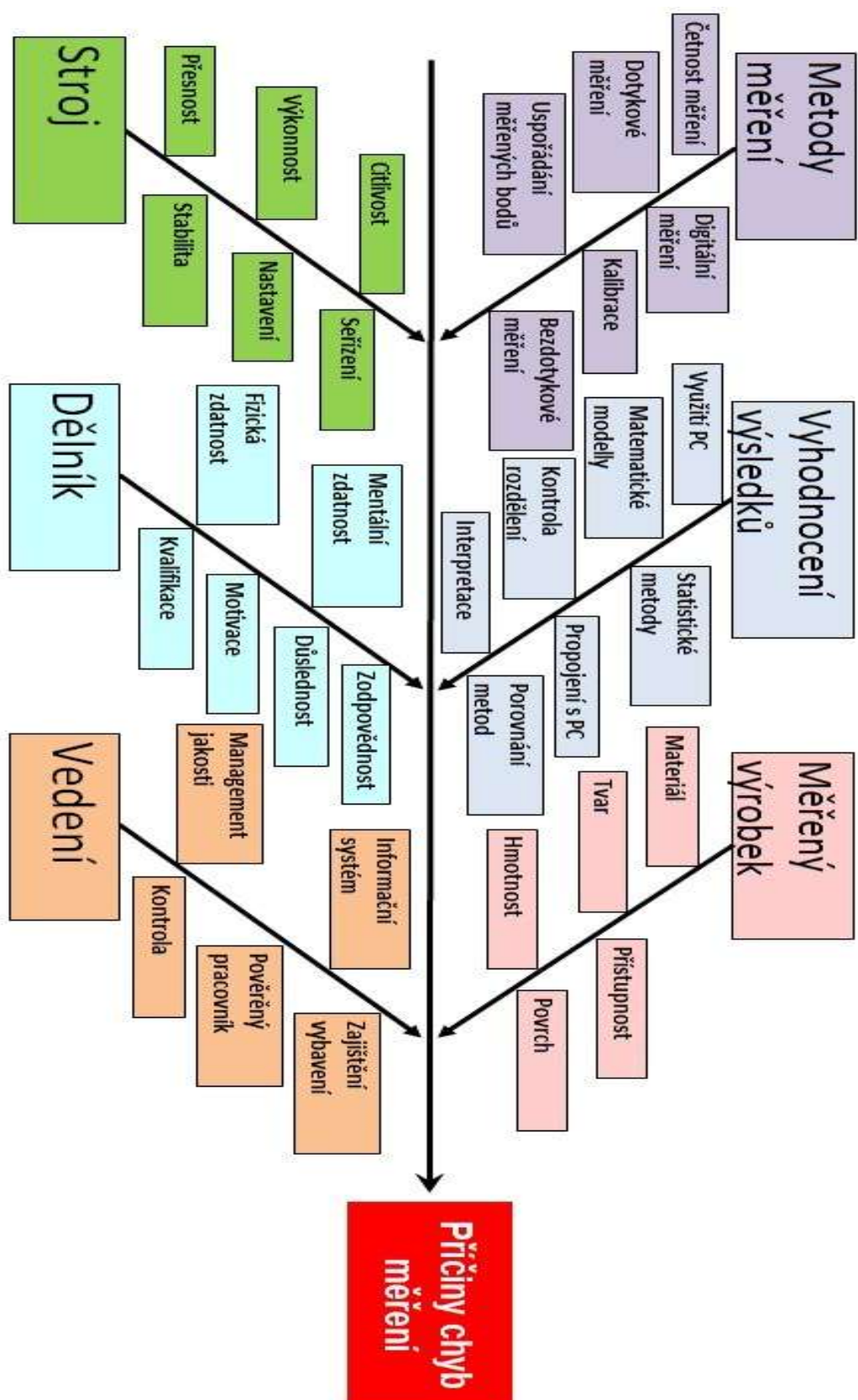
Rozptyl = 0,05990

Při kontrole tohoto znaku byly zjištěny velmi uspokojivé výsledky. Tento proces je **způsobilý**. Třetí a čtvrtá podskupina však významně vybočila z varovných mezí. V dalším průběhu směny už k takovému incidentu nedošlo. Zmíněný varovný signál nepotvrdil výskyt vymezitelné příčiny a proces je tedy správně nastaven.

Z pozice centrální přímky konstatujeme, že proces je ideálně vycentrován. Z hlediska dlouhodobých indexů, které v celé analytické části mají pouze orientační charakter, již žádané hodnoty proces nedosahuje. Proto je nutné tento proces i nadále sledovat a udržovat jej ve způsobilém stavu.

2.9.7 Shrnutí výsledků analytické části

Z výsledků analýzy způsobilosti procesu je navržen diagram příčin a následků, které mohou vést k nepřesnému měření při sběru kontrolních dat. V Ishikawově diagramu je uvedeno šest hlavních kategorií které mají vliv na výslednou kvalitu naměřených hodnot.



Obr. 37: Diagram příčin a následků pro příčiny chyb měření (Zdroj: vlastní zpracování autora)

3 VLASTNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ PROBLÉMU

V této kapitole jsou uvedeny návrhy zavedení nového systému záznamu a zpracování měřených dat ve výrobě cívek. Vychází z diagramu příčin a následků z kapitoly 2.9.7. a z výsledků analýzy dat pro regulované veličiny. Tyto návrhy jsou ověřeny a výsledky znázorněny na přepočítaných výsledcích pro dvě regulované veličiny EW a HW vinutí.

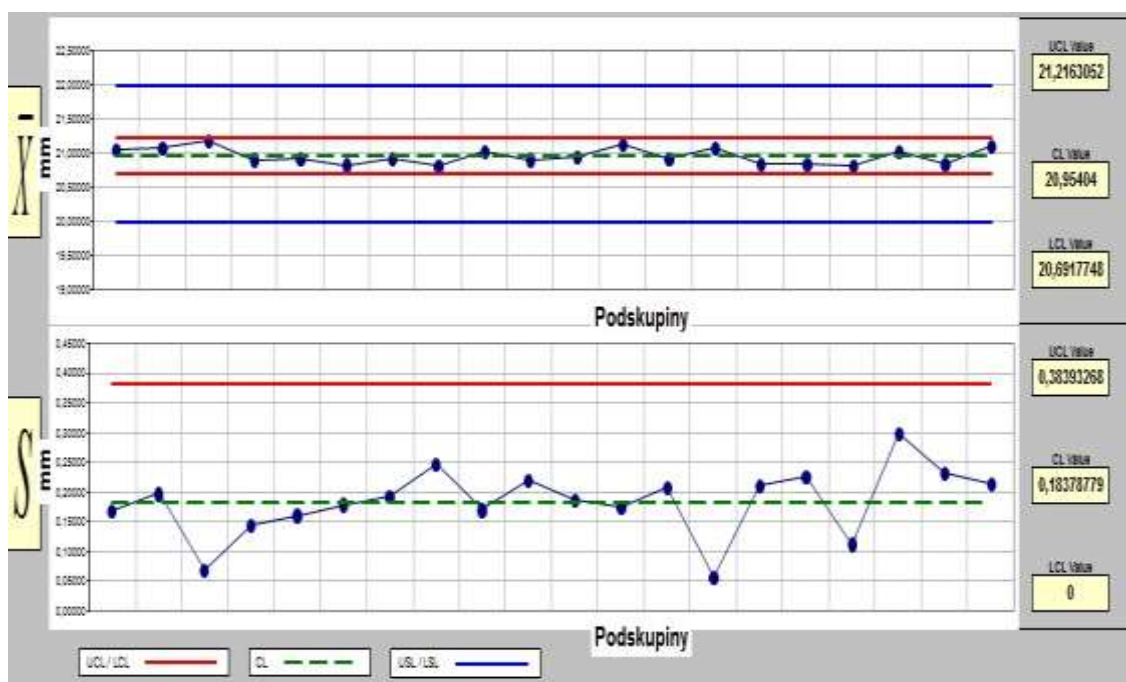
3.1 Návrh automatického záznamu dat a vyhodnocení způsobilosti procesu

Měření digitálním mikrometrem poskytuje možnost propojení tohoto zařízení s PC a také možnost zadávat data přímo do digitální podoby. Tento systém je zatím v pozici testování na jednom měřicím přístroji na této výrobní lince, ale neexistuje již přímé propojení s integrovaným informačním softwarem. Jedná se o novou výrobu, která vykazuje značný potenciál pro firmu, a investice do implementace tohoto automatického zaznamenávání dat by se vyplatila zejména v dlouhodobém horizontu. Snížila by se časová náročnost kontroly a zamezilo by se výskytu dat vlivem lidského faktoru. Na českém trhu existují firmy zabývající se měřicími přístroji, které nabízejí propojení interaktivního měření dat, vyhodnocení indexů způsobilosti a regulačního diagramu přímo na pracovišti. Tato možnost by snížila nároky na oddělení statistiky a kvality ve firmě, které je v současné době již velmi vytíženo.

3.2 Ověření navrhovaných řešení

Dle poznatků, které byly zjištěny v analytické části, byly provedeny úpravy u dvou zvolených charakteristik a byl proveden dodatečný sběr dat pro hodnoty regulované veličiny s označením 20 + 2 Z a 20 + 2 K. Tento sběr proběhl o týden později, tentokrát na druhé výrobní směně. Opět bylo zaznamenáno 100 po sobě jdoucích hodnot od každé regulované veličiny. Pro podrobnější vyhodnocení podskupin v tomto případě byla použita metoda regulačních diagramů pro aritmetické průměry a směrodatné odchylky ($\bar{X}, S$).

3.3 Výsledky návrhu pro regulovanou veličinu 20 + 2 Z

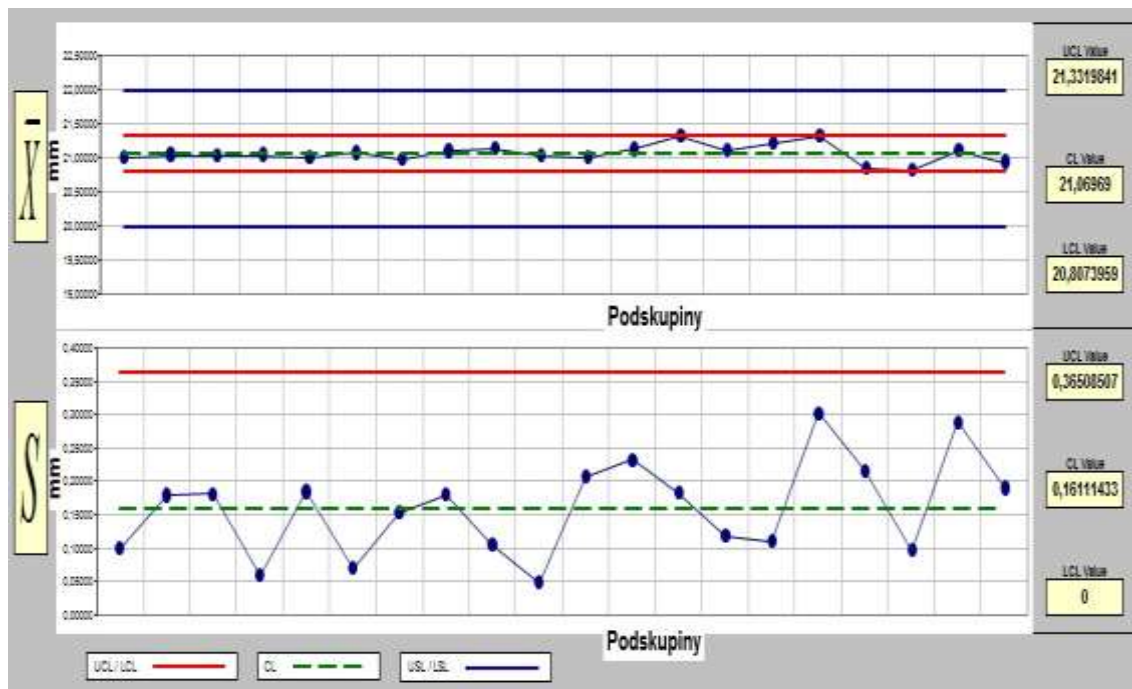


Graf 13: Výsledek návrhu pro veličinu 20 + 2 Z v diagramu (X, S)

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Pro nově naměřené hodnoty můžeme konstatovat podstatné zlepšení procesu. Zejména eliminování variability díky odstranění špatného seřízení stroje a změně zaznamenávání dat rovnou do laptopu při odečítání dat z měřicího přístroje. Mnohem lepší by ovšem bylo zavedení automatického systému zaznamenávání dat přímo do počítače. Z grafu lze vyčíst zejména výraznou změnu ve vycentrování procesu. Hodnota indexů způsobilosti při tomto měření dat již charakterizuje tento proces jako způsobilý. Hodnota indexu $C_p = 1,90 > 1,66$ a hodnota indexu $C_{pk} = 1,77 > 1,66$. Obě hodnoty jsou vyhovující pro způsobilost nového výrobního procesu a můžeme tedy konstatovat, že metody regulace pomocí regulačních diagramů pomohly odhalit vymezené příčiny nezpůsobilosti procesu.

3.4 Výsledky návrhu pro regulovanou veličinu 20 + 2 K



Graf 14: Výsledek návrhu pro veličinu 20 + 2 K v diagramu (X, S)

(Zdroj: vlastní zpracování v programu STATISTICA)

Index $C_p = 1,71 > 1,66$

Index $C_{pk} = 1,63 < 1,66$

Podle indexů způsobilosti se proces nachází na hranici, kdy jej můžeme označit jako způsobilý, tak i nezpůsobilý. Index C_p , určuje možnou dosažitelnou hodnotu, která odpovídá způsobilému výrobnímu procesu. Naopak Index C_{pk} je již pod kritickou hranicí způsobilosti 1,66. Proto doporučuji tento proces dále sledovat a zajistit dosažení lepších výsledků stability. Proces je však poměrně dobře centrován zejména na začátku směny. V posledních pěti podskupinách se již objevují signály nesprávně nastaveného zařízení. Hodnoty podskupin již dosahují výrazných odchylek a zejména 17. a 18. podskupina se nachází na hranici varovných mezí.

ZÁVĚR

V této práci jsem se zabýval zpracováním výrobních dat a zhodnocením stability a způsobilosti výrobních procesů, které nastávají při výrobě cívky zapalování pro společnost Hanhart Morkovice, s.r.o. Konkrétně se jednalo o šest znaků, které ovlivňují kvalitu cívky.

Nejprve bylo důležité prostudovat teoretické podklady pro zpracování, vyhodnocení a interpretaci nashromážděných dat pomocí Shewhartových diagramů. Dále byl důsledně rozebrán výrobní proces cívky typu 226 a popsán postup kontroly na jednotlivých pracovištích uvedeného výrobního procesu. Dle informací získaných z výrobní dokumentace a požadavků zákazníka byly stanoveny parametry, u nichž byla provedena kontrola způsobilosti výrobního procesu.

Data pro analýzu procesu byla získána přímo ve výrobě při kontrole cívek na pracovišti. Tato data byla zaznamenána do kontrolních karet a pomocí softwaru MS EXCEL zpracována do digitální podoby. Při tomto způsobu zaznamenávání dat není možné úplně eliminovat chyby při odečítání dat z měřicích přístrojů nebo při jejich přepisování do počítače. I z těchto důvodů je nutné zavedení automatického systému zaznamenávání dat pro snížení tohoto rizika výskytu chyb.

V analytické části jsou zhodnoceny a rozebrány výsledky zpracovaných dat pomocí regulačních diagramů a indexů způsobilosti procesu C_p , C_{pk} a pro prognózu dlouhodobějších výsledků způsobilosti byly vypočteny i indexy P_p a ap_{pk} . Tyto dosažené hodnoty byly konfrontovány s požadavky na způsobilost nového výrobního procesu.

Dále byly zpracovány návrhy, které eliminovaly vymezitelné příčiny a odstranily velkou variabilitu hodnot podskupin u dvou měřených hodnot, a tyto návrhy jsou doloženy i novým měřením a zpracováním do regulačních diagramů pro průměry a směrodatné odchylky, které jsou pro výrobní průmysl přesnější a odhalí nedostatky diagramů s rozptyly.

Cílem mé práce bylo vyhodnotit stabilitu a způsobilost nového výrobního procesu. Cíle bylo naplněno dle požadavků společnosti, která v současné době používá pro výrobní data pouze metodu analýzy histogramů. Pro nový výrobní proces bylo důležité ihned na

začátků sériové výroby odstranit vymezitelné příčiny, zajistit stabilní výrobu a eliminovat tak produkci vadných kusů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literatura

- 1) ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN ISO 8258. *Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Český normalizační institut 1994.
- 2) FIALA, A. *Statistické řízení jakosti*. Brno: VUT, 1997. 93 s. ISBN 80-214-0895-2.
- 3) HENDL, J. *Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat*. 1.vydání. Praha: Portál, 2004. 583 s. ISBN 80-7178-820-1.
- 4) KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV, statistika a pravděpodobnost*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2522-9.
- 5) KOTZ S., LOVELACE C. R. *Process Capability Indices in Theory and Practice*. Londýn: Arnold, 1998.
- 6) KRÁL J., KŘEPELA J., MICHÁLEK J. *Analýza výrobního procesu: vyhodnocení způsobilosti a výkonnosti se softwarovou podporou..* 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. 210 s. ISBN 978-80-02-02200-8.
- 7) KROPÁČ, J. *Statistika C*. 1. vydání. Brno : VUTFP, 2008. 97 s. ISBN 80-214-3591-9.
- 8) KUPKA, K. *Statistické řízení jakosti*. Pardubice: TriloByte Statistical Software, 1997. 200 s. ISBN 80-238-1818-X.
- 9) MICHÁLEK, J. *Statistická regulace procesů (SPC)*. 2. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. 216 s. ISBN 80-02-01810-9.

- 10) MICHÁLEK, J. *Vyhodnocování způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu*. Praha: CQR, 2009.
- 11) MELOUN M., MILITKÝ J. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2002. 764 s. ISBN 80-200-1008-4.
- 12) MELOUN M., MILITKÝ J. *Statistické zpracování experimentálních dat*. Praha: East publishing, 1998. 839 s. ISBN 80-7219-003-2.
- 13) PERNIKÁŘ J., TYKAL M., VAČKÁŘ J. *Jakost a metrologie* 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- 14) PLÁŠKOVÁ, A. *Metody a techniky analýzy a zlepšování kvality*. 1. vydání. Praha: VŠE, 1999. 95 s. ISBN 80-7079-119-5.
- 15) PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001. 256 s. ISBN 80-7226-543-1.
- 16) SWOBODA, H. *Moderní statistika*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Svoboda, 1977. 351 s.
- 17) TOŠENOVSKÝ J., NOSKIEVIČOVÁ D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.

Jiné zdroje:

- 18) Interní dokumentace firmy Hanhart Morkovice s.r.o.
- 19) Výrobní dokumentace firmy Hanhart Morkovice s.r.o.

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ, TABULEK

Seznam obrázků

Obr. 1: Zvonovitý tvar histogramu	19
Obr. 2: Dvouvrcholový histogram	19
Obr. 3: Histogram s odhalenými hodnotami	19
Obr. 4: Plochý tvar histogramu.....	20
Obr. 5: Zešikmený tvar histogramu	20
Obr. 6: Useknutý tvar histogramu.....	20
Obr. 7: Ishikawův diagram příčin a následků	21
Obr. 8: Obecný tvar regulačního diagramu	23
Obr. 9: Typické použití regulačních diagramů	24
Obr. 10: Histogram vstupních dat.....	25
Obr. 11: Pravidlo 1 dle Nelsona	27
Obr. 12: Pravidlo 2 dle Nelsona.....	27
Obr. 13: Pravidlo 3 dle Nelsona	28
Obr. 14: Pravidlo 4 dle Nelsona	28
Obr. 15: Pravidlo 5 dle Nelsona	28
Obr. 16: Pravidlo 6 dle Nelsona	29
Obr. 17: Pravidlo 7 dle Nelsona	29
Obr. 18: Pravidlo 8 dle Nelsona	30
Obr. 19: Tvary Indexu způsobilosti vzhledem k hodnotě 1	36
Obr. 20: Certifikáty společnosti Hanhart Morkovice.....	42
Obr. 21: Organizační struktura firmy	43
Obr. 22: Ukázka obráběných dílů ve výrobě	44
Obr. 23: Příklady z výrobního programu navíjení	45
Obr. 24: Díly vyráběné pro automobilku ŠKODA a WOLKSVAGEN.....	46
Obr. 25: Výrobní hala podniku Hanhart Morkovice.....	47
Obr. 26: Detail sváření kontaktu na výkresu	49
Obr. 27: Ukázka kontrolního plánu u cívky 226	50
Obr. 28: Vzor operační návodky pro kontrolní pracoviště	52
Obr. 29: Základní konstrukce pro cívku.....	53
Obr. 30: Ukázka kontrolní šablony a EW vinutí	54
Obr. 31: Lepení oboustranné pásky na EW vinutí	56
Obr. 32: Ukázka cívky po HW vinutí	57

Obr. 33: Bandáž cívky	58
Obr. 34: Poloha a vzhled sváru kontaktu	59
Obr. 35: Stočení kontaktů na výrobním zařízení	60
Obr. 36: vyznačení kontrolovaných parametrů u kontaktů EW a HW vinutí.....	64
Obr. 37: Diagram příčin a následků pro příčiny chyb měření	77

Seznam grafů

Graf 1: Ověření normality pro regulovanou veličinu $12 - 2 Z$	65
Graf 2: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu $12 - 2 Z$	65
Graf 3: Ověření normality pro regulovanou veličinu $20 + 2 Z$	67
Graf 4: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu $20 + 2 Z$	67
Graf 5: Ověření normality pro regulovanou veličinu $12 - 2 K$	69
Graf 6: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu $12 - 2 K$	69
Graf 7: Ověření normality pro regulovanou veličinu $20 + 2 K$	71
Graf 8: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu $20 + 2 K$	71
Graf 9: Ověření normality pro regulovanou veličinu odpor EW	73
Graf 10: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu odpor EW vinutí.....	73
Graf 11: Ověření normality pro regulovanou veličinu odpor HW vinutí.....	75
Graf 12: Regulační diagramy (X, R) pro veličinu odpor HW vinutí	75
Graf 13: Výsledek návrhu pro veličinu $20 + 2 Z$ v diagramu (X, S)	79
Graf 14: Výsledek návrhu pro veličinu $20 + 2 K$ v diagramu (X, S).....	80

Seznam tabulek

Tab. 1: Vzorce CL, UCL a LCL přímek pro předem stanovené hodnoty a kolísání procesu.....	33
Tab. 2: Doporučené hodnoty indexu C_{pk} pro různé typy procesů.....	37
Tab. 3: Kontrola na pracovišti 1	54
Tab. 4: Kontrola na pracovišti 2	55
Tab. 5: Kontrola na pracovišti 3	56
Tab. 6: Kontrola na pracovišti 4	57
Tab. 7: Kontrola na pracovišti 5	58
Tab. 8: Kontrola na pracovišti 6	59
Tab. 9: Kontrola na pracovišti 7	60
Tab. 10: Kontrola na pracovišti 8	61

SEZNAM PŘÍLOH

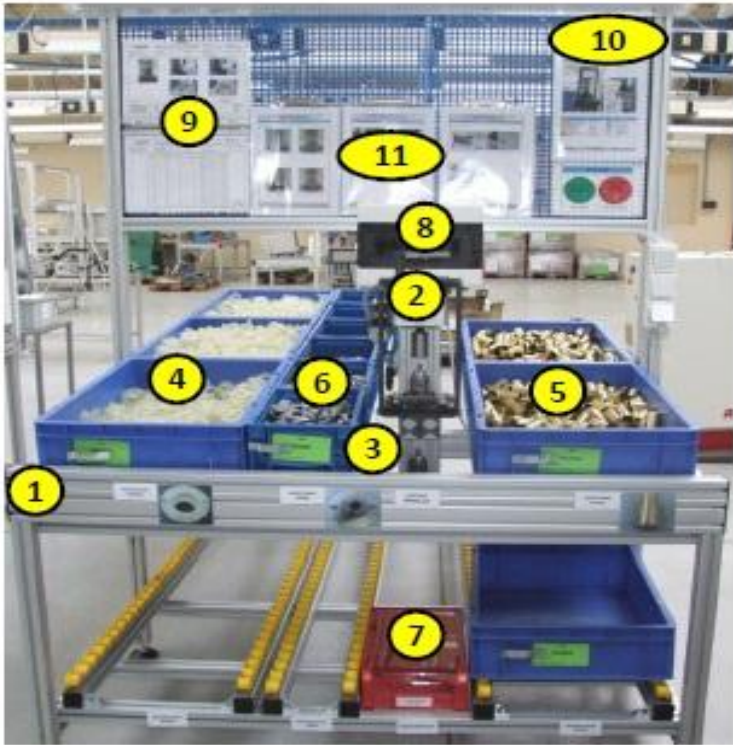
Příloha 1: Systém 5S na pracovišti

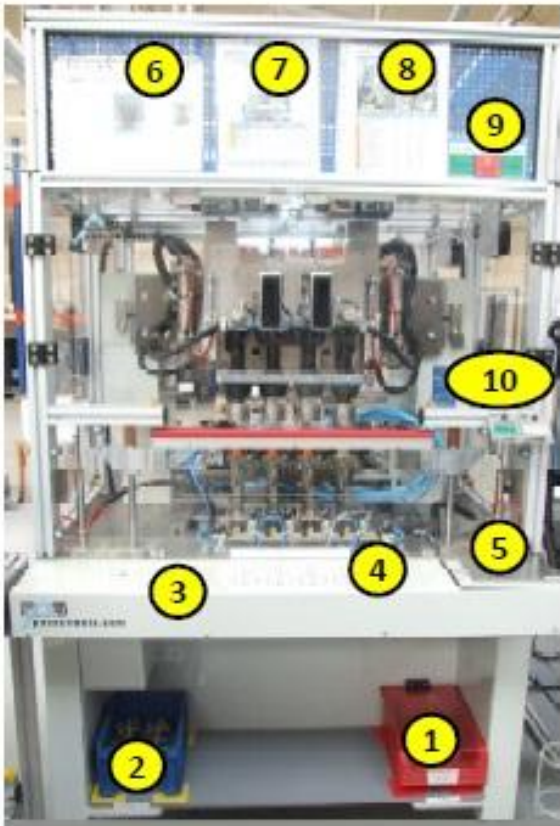
Příloha 2: Měřená data

Příloha 3: Hodnota součinitelů pro výpočet regulačních mezí

Příloha 1

Systém 5S na pracovišti – dle firemních dokumentů

STANDARD 5S		Číslo: 430/66/2011	
		Verze: 1/1	
stroj: Pneumatické lisovací zařízení		Číslo stroje: 40 03 002	
			
P.č.	Položka	Činnost	Kdo
1	Pracovní stůl	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor
2	Lis včetně přípravku		
3	Lisovací přípravek		
4	Bedny na kostry 3x		
5	Bedny na trubky 3x		
6	Bedny na jádra 6x		
7	Červená bedna na zmetky		
8	Měřicí šablona		
9	Pracovní postupy		
10	Standard údržby		
11	Manuál pracoviště		

		STANDARD 5S		Číslo: 430/10/2012	
				List: 1/1	
stroj: Navijecí stroj PAS-4080-V			Číslo stroje: 110322A		
					
P.č.	Položka	Činnost	Kdo		
1	Bedna na zmetky	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor		
2	KLT - trny + čepy				
3	Navijecí stroj EV vinutí				
4	Odkládací podložka				
5	Odkládací paletka				
6	Pracovní návodky				
7	Manuál pracoviště, 5S				
8	Standard údržby				
9	Vizualizace údržby				
10	Měřicí šablony - 2 ks				

STANDARD 55		Číslo: 430/14/2012	
		List: 1/1	
stroj: Bandážovací stroj		Číslo stroje: 1100120	
P.č.	Položka	Činnost	Kdo
1	Bedna - zmetky	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor
2	Náhradní pásky -2 bílé, 2 žluté		
3	Pracovní stůl		
4	Odkládací paletka		
5	Bandážovací stroj		
6	Měřicí šablona		
7	Pracovní návodky		
8	Vizuálizace OK/ NOK kus		
9	Manuál pracoviště, 5S		
10	Standard údržby		
11	Vizuálizace údržby		

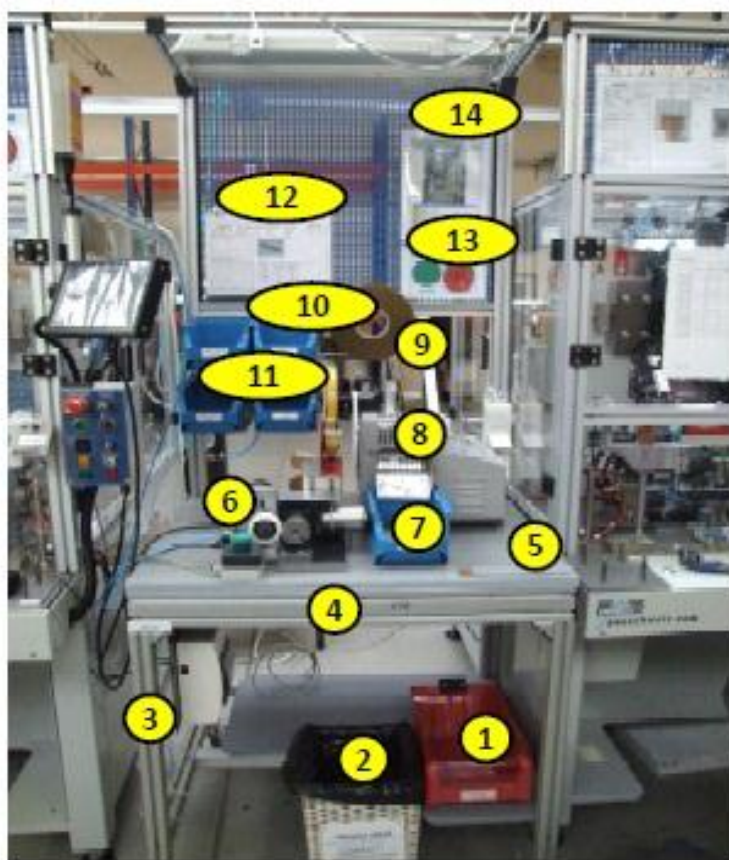
STANDARD 5S

Číslo: 430/11/2012

List: 1/1

Stroj: Prešpan

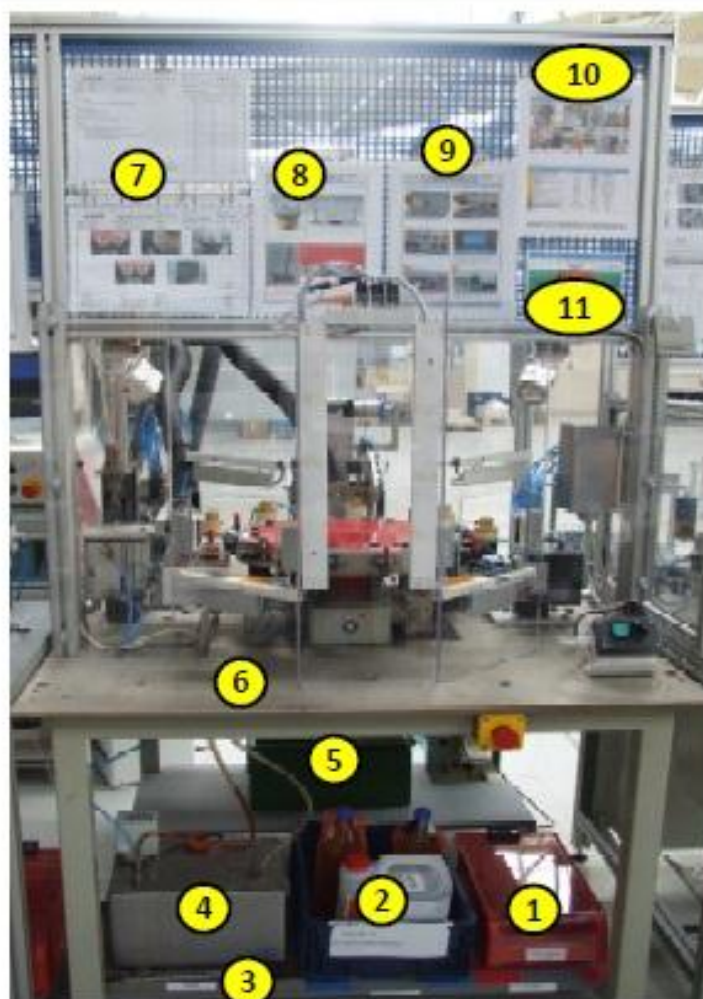
Číslo stroje: 4002071



P.č.	Položka	Činnost	Kdo
1	Bedna na zmetky	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor
2	Odpadkový koš		
3	Stojan na PET láhev		
4	Pracovní stůl		
5	Délkové měřidlo		
6	Montážní přípravek		
7	KLT ustřížený prešpan		
8	Stříhací stroj		
9	Náhradní kolo - lep. páska		
10	Náhradní prešpan - zezadu		
11	KLT na zbylý prešpan - 4 ks		
12	Pracovní návodky		
13	Denní údržba		
14	Standard 5S, manuály...		

	STANDARD 5S	Číslo: 430/17/2012
		Úst: 1/1

Stroj: Pájecí zařízení MARSILLI WM 15/F	Číslo stroje: 3178
---	--------------------



P.č.	Položka	Činnost	Kdo
1	KLT zmetky	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor
2	KLT - Tavíadlo + Isopropylalkohol		
3	Hustoměr		
4	Nádobka s tavídelem		
5	KLT - cinový odpad		
6	Pájecí stroj Marsilli		
7	Pracovní návodky		
8	Vizualizace OK/ NOK kus		
9	Manuál pracoviště, 5S		
10	Standard údržby		
11	Vizualizace údržby		

--	--	--

STANDARD 5S		Číslo: 430/12/2012
		Úst: 1/1
stroj: Svářecí stroj JESVA JZ-48		Číslo stroje: 001

P.č.	Položka	Činnost	Kdo
1	Svářecí stroj JESVA	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor
2	Odkládací paletka		
3	Měřicí šablony (malá, velká)		
4	Pracovní návody		
5	Manuál pracoviště		
6	KLT - špatné elektrody		
7	KLT - klíč, imbus		
8	KLT - elektrody pro svaření		
9	Svařovací přípravek		
10	Standard údržby		
11	Vizualizace údržby		
12	Stáčecí zařízení		
13	Bedna - zmetky po svaření		
14	Bedna - zmetky po stáčení		

STANDARD 5S		Číslo: 430/15/2012
		List: 1/1
Stroj: Zkušební zařízení		Číslo stroje: 2101171 (40 02 070)

P.č.	Položka	Činnost	Kdo
1	Bedna na zmetky	Odpovědnost za správné uložení a čistotu	Operátor
2	Držák PET láhve		
3	Šuplík - přípravky, OK kusy...		
4	Pracovní stůl		
5	KLT - izolační trubičky 2 ks		
6	Pracovní návody		
7	Manuál pracoviště, 5S ...		
8	Standard údržby		
9	Vizualizace údržby		
10	Zkušební zařízení		
11	KLT - hotové kusy		

Příloha 2

Měření dat – zpracováno v MS EXCEL

12 - 2 Z Length	12 - 2 K Length	20 + 2 Z Length	20 + 2 K Length	0,373 +/- 0,017 Resistanc	1,633 +/- 0,07 Resistanc
10,907	10,868	21,474	20,911	0,3686	1,6330
11,277	11,437	21,078	21,215	0,3690	1,6096
10,593	11,697	21,244	20,854	0,3680	1,6079
11,399	11,738	21,054	21,217	0,3687	1,6087
11,655	11,472	21,240	21,337	0,3708	1,6099
11,325	11,647	21,082	21,038	0,3684	1,6099
11,713	11,004	20,963	21,384	0,3692	1,6090
11,176	11,421	21,350	20,927	0,3692	1,6061
10,928	10,997	21,185	21,122	0,3733	1,6330
10,500	11,697	20,956	20,886	0,3682	1,6068
11,348	11,556	21,146	21,158	0,3679	1,6214
11,714	11,421	20,959	21,148	0,3680	1,6564
11,136	11,257	21,135	21,261	0,3660	1,6569
11,581	11,473	21,201	21,234	0,3670	1,6563

11,612	11,738	21,149	21,091	0,3670	1,6509
11,864	11,166	21,105	20,794	0,3672	1,6539
11,451	11,257	21,788	20,722	0,3673	1,6550
11,381	11,352	21,123	20,905	0,3710	1,6526
10,973	11,368	21,988	20,682	0,3663	1,6487
10,840	11,597	21,013	21,243	0,3663	1,6488
11,229	11,412	20,794	21,134	0,3662	1,6468
11,312	10,861	20,865	20,704	0,3672	1,6040
11,530	11,324	21,638	20,612	0,3654	1,6168
11,555	11,073	20,991	20,688	0,3655	1,6119
11,795	11,694	21,179	21,270	0,3669	1,6084
11,291	10,879	21,113	20,614	0,3651	1,6072
11,217	11,428	21,085	20,689	0,3681	1,6079
11,395	11,408	20,959	21,085	0,3658	1,6075
11,578	10,819	21,696	21,048	0,3655	1,6093
11,457	11,294	21,140	20,931	0,3651	1,6091
11,100	11,215	21,447	20,527	0,3649	1,6097

11,568	11,085	21,470	20,398	0,3651	1,6081
11,740	11,283	21,130	20,636	0,3651	1,6065
10,738	11,428	21,106	20,773	0,3649	1,6119
11,148	11,331	21,044	20,900	0,3650	1,6108
10,851	11,212	21,346	21,007	0,3654	1,6086
10,947	10,998	20,999	20,890	0,3750	1,6072
11,546	11,180	21,240	20,398	0,3689	1,6056
10,716	11,296	21,035	20,986	0,3660	1,6068
11,734	11,188	20,907	20,771	0,3661	1,6110
11,808	11,316	21,112	21,118	0,3653	1,6064
11,691	11,015	21,277	21,212	0,3643	1,6042
11,325	11,597	20,997	21,025	0,3645	1,6043
11,288	10,993	21,213	21,046	0,3641	1,6026
11,287	11,092	21,168	20,756	0,3634	1,6050
11,232	11,686	21,475	20,638	0,3640	1,6023
11,050	11,638	21,054	21,248	0,3643	1,6034
10,758	10,923	21,118	20,823	0,3635	1,6104

11,117	11,007	21,024	20,912	0,3634	1,6076
11,486	11,166	21,457	20,882	0,3639	1,6169
10,379	10,858	20,849	21,081	0,3678	1,6140
11,033	11,823	21,523	20,870	0,3670	1,6157
10,468	11,612	20,947	21,191	0,3674	1,6205
10,815	11,211	20,919	20,732	0,3674	1,6152
10,508	11,816	20,936	20,844	0,3731	1,6172
10,510	11,689	21,051	21,197	0,3689	1,6123
10,575	11,520	20,920	21,207	0,3700	1,6124
11,287	11,000	20,972	20,906	0,3678	1,6137
11,224	11,291	21,547	21,691	0,3685	1,6105
11,393	11,371	21,935	21,443	0,3706	1,6122
11,507	11,294	21,547	20,840	0,3685	1,6112
10,737	11,580	21,056	21,191	0,3679	1,6096
11,486	10,533	21,430	21,354	0,3672	1,6108
10,674	11,515	21,294	20,642	0,3676	1,6114
10,788	10,617	21,285	20,697	0,3661	1,6114

11,015	11,255	20,887	21,080	0,3672	1,6095
11,024	10,747	21,111	20,695	0,3679	1,6153
10,873	11,067	21,092	20,653	0,3740	1,6074
10,398	11,637	20,965	21,043	0,3665	1,6063
10,679	11,685	21,176	21,137	0,3688	1,6053
10,949	11,230	21,283	20,665	0,3663	1,6030
11,515	11,623	21,171	21,046	0,6650	1,6179
11,482	10,646	21,151	20,733	0,3703	1,6136
11,022	11,095	21,145	20,392	0,3652	1,6138
11,267	11,298	21,743	20,315	0,3655	1,6154
11,142	11,216	21,140	20,842	0,3652	1,6151
10,727	11,709	21,352	20,144	0,3655	1,6169
10,914	10,494	21,353	20,918	0,3650	1,6045
11,421	10,980	21,690	20,516	0,3653	1,6054
11,440	11,240	21,781	20,782	0,3649	1,6051
10,954	10,915	21,048	20,720	0,3656	1,6049
11,018	11,190	21,007	20,685	0,3656	1,6037

11,220	11,055	20,986	20,936	0,3658	1,6040
11,250	11,296	20,998	20,801	0,3656	1,6059
10,988	10,562	20,999	20,913	0,3652	1,6057
10,626	10,869	20,986	20,065	0,3652	1,6015
10,533	11,612	20,708	20,848	0,3740	1,6047
11,384	11,302	21,124	20,847	0,3644	1,6040
11,482	11,133	20,919	21,199	0,3676	1,6151
11,135	10,921	21,508	20,369	0,3651	1,6034
11,471	11,277	21,602	21,181	0,3647	1,6029
10,946	11,418	21,779	20,589	0,3645	1,6007
10,767	10,973	21,127	20,868	0,3640	1,5970
11,093	11,554	21,563	20,656	0,3640	1,5995
10,776	11,646	20,876	20,898	0,3652	1,6017
11,246	11,367	21,239	20,950	0,3635	1,6009
11,298	11,404	21,138	20,934	0,3662	1,6153
11,700	11,184	21,152	21,383	0,3640	1,6102
11,064	11,227	21,033	21,286	0,3671	1,6034
11,459	11,209	20,967	20,961	0,3640	1,6055

Příloha 3

Hodnota součinitelů pro výpočet regulačních mezí

n	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	1,0194	3,407	0,2935
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2787
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,9882	1,0119	3,819	0,2618
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,858	0,2592
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,0105	3,931	0,2544