



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

ZAVEDENÍ SPC VE VÝROBNÍM PROCESU

IMPLEMENTATION OF SPC INTO THE MANUFACTURING PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Simandl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. František Bartes, CSc.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav managementu
Student:	Bc. Martin Simandl
Studijní program:	Ekonomika a management
Studijní obor:	Řízení a ekonomika podniku
Vedoucí práce:	doc. Ing. František Bartes, CSc.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává diplomovou práci s názvem:

Zavedení SPC ve výrobním procesu

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Cíle práce, metody a postupy zpracování
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu
Vlastní návrhy řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Cílem této diplomové práce je navržení a implementace měřicí a vyhodnocovací stanice, která bude sloužit pro statistickou regulaci procesu SPC třískového obrábění.
Pomocí tohoto systému bude výrobní proces průběžně monitorován a v pravidelných intervalech bude určena jeho schopnost. V případě nezpůsobilosti bude operátor ihned informován, aby byl schopen včas na danou situaci zareagovat.

Základní literární prameny:

BARTES, F. Jakost v podniku. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. ISBN 978-8-214-3362-5.

FREHR, H. U. Total Quality Management. Brno: Unis publishing, 1995. ISBN 3-446-17135-5.

NENADÁL, J. a kol. Moderní systémy řízení jakosti. Praha: Management Press, 1998. ISBN 80-85943-63-8.

TOPFER, A. Six Sigma. Koncepce a příklady řízení bez chyb. Brno: Computer Press, a. s., 2008. ISBN 978-80-251-1766-8.

VEBER, J. Řízení jakosti a ochrana spotřebitele. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-01-4-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně dne 15.7.2019

L. S.

doc. Ing. Robert Zich, Ph.D.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na zavedení statistického řízení procesu ve vybrané výrobní společnosti XYZ. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část, přičemž v teoretické části jsou zpracovány teoretické poznatky metodiky SPC a z oblasti managementu kvality. Obsahem praktické části je návrh a implementace měřicí a vyhodnocovací stanice, která bude sloužit pro statistickou regulaci procesu SPC, do nově vznikající výroby třískového obrábění.

Klíčová slova

SPC, statistické řízení procesu, nástroje řízení kvality, stabilita, způsobilost procesu, analýza systému měření, MSA, regulační diagramy

Abstract

The diploma thesis focuses on the introduction of statistical process control in selected manufacturing company XYZ. It is divided into a theoretical and a practical part, while the theoretical part deals with theoretical knowledge of SPC methodology and quality management. The content of the practical part is the design and implementation of the measuring and evaluation station, which will be used for statistical control of the SPC process, into the emerging production of chip machining.

Key words

SPC, statistical process control, management quality tools, stability, process capability, measurement system analysis, MSA, control charts

Citace elektronického zdroje

SIMANDL, Martin. Zavedení SPC ve výrobním procesu [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/122342>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce František Bartes.

Čestné prohlášení

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

V Brně dne 28. srpna 2019

.....

podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Františku Bartesovi, CSc. za odborné připomínky a cenné rady, které přispěly ke zpracování této práce.

Dále děkuji všem zaměstnancům, kteří se na tomto projektu podíleli.

Poděkování také směřuje k mé rodině a přátelům, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

Obsah

Úvod.....	10
Cíl práce	12
Metody a postupy zpracování	12
1 Teoretická východiska práce	14
1.1 Statistická regulace procesu	14
1.1.1 Druhy variability	14
1.1.2 Fáze statistické regulace procesu	15
1.2 Regulační diagramy	17
1.2.1 Shewhartovy regulační diagramy	18
1.3 Základní nástroje managementu jakosti	21
1.3.1 Formuláře a kontrolní tabulky	22
1.3.2 Histogram.....	22
1.3.3 Vývojový diagram	25
1.3.4 Išikawův diagram.....	26
1.3.5 Paretův diagram	27
1.3.6 Metoda regresivní a korelační analýzy	29
1.4 Hodnocení způsobilosti procesu	30
1.4.1 Index C_p	30
1.4.2 Index C_{pk}	32
1.4.3 Index C_{pm}	33
1.4.4 Index C_{pm}^*	34
1.4.5 Index C_{pmk}	34
1.4.6 Index P_p	34
1.4.7 Index P_{pk}	35

1.4.8	Požadavky na způsobilost procesu	35
1.5	Analýza systému měření (MSA).....	36
1.5.1	Metoda hodnocení způsobilosti měřicího prostředku pomocí indexů c_g , c_{gk} (SPC Ford)	38
1.5.2	Metody pro výpočet ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti....	39
1.5.3	Metoda průměru a rozpětí GRR.....	39
2	Analýza současného stavu	43
2.1	Představení společnosti	43
2.1.1	Výrobní program.....	43
2.1.2	Součást	43
2.2	Volba znaku jakosti a popis výrobního procesu	43
2.3	Současná podoba ověřování velikosti průměrů.....	45
3	Vlastní návrhy řešení	46
3.1	Plánovaný sběr dat	46
3.2	Hodnocení prvotní stability a způsobilosti procesu	46
3.2.1	Test normality rozdělení	47
3.2.2	Histogram.....	49
3.2.3	Regulační diagram	49
3.2.4	Hodnocení způsobilosti procesu	51
3.3	Implementace měřicí a vyhodnocovací stanice do provozu	54
3.3.1	Výběr měřidla	54
3.3.2	Hodnocení způsobilosti dunitoměru Bowers XT3.....	55
3.3.3	Analýza systému měření (MSA).....	57
3.3.4	Rozšíření softwaru	63
3.4	Hodnocení dlouhodobé stability a schopnosti procesu za provozu	64
3.4.1	Test normality rozdělení za provozu	68

3.4.2	Histogram.....	69
3.4.3	Regulační diagram výběrových průměru a rozpětí za provozu	69
3.4.4	Hodnocení dlouhodobé schopnosti procesu	70
3.5	Zavedení statistické kontroly procesu (SPC)	72
3.6	Zhodnocení nákladů na projekt.....	73
3.7	Přínosy projektu	74
	Závěr	75
	Seznam použitých zdrojů.....	77
	Seznam použitých obrázků	79
	Seznam použitých tabulek	79
	Seznam použitých grafů.....	79

Úvod

V současné době je nutné z důvodů neustálých konkurenčních bojů snižovat náklady na výrobu, zvyšovat produktivitu, plně uspokojovat zákaznické potřeby a hlavně nepřetržitě zlepšovat jakost výrobků a služeb, neboť na tuto oblast jsou neustále zvyšovány požadavky ze strany zákazníků, kteří jsou v tomto ohledu čím dál více náročnější.

Zároveň si již mnoho společností uvědomuje, jak jsou investice do kvality důležité vzhledem k tomu, že samotné náklady na nekvalitu tvoří často značný podíl na obratu firmy, což se odrazí i na konečném výsledku hospodaření. K těmto nákladům můžeme zařadit již samotné náklady na opravu výrobků, případně ekologickou likvidaci zmetků či náklady spojené s vyřizováním reklamací, jak interních, tak reklamací od finálních zákazníků.

Statistická regulace procesu (SPC) představuje preventivní přístup k managementu jakosti, neboť je založena na včasném odhalování odchylek v průběhu procesu od předem stanovené úrovně. Tím umožňuje zasáhnout do procesu s cílem udržovat ho dlouhodobě na požadované a stabilní úrovni, kdy je stabilně dosahováno požadované úrovně jakosti, respektive ho zlepšovat. (Nenadál, 2008)

Dosažení a udržení procesu na požadované a stabilní úrovni jakosti je podmíněno důkladnou analýzou variability procesu, při které je nutno odhalit, jak proces funguje, jaké jsou jeho nedostatky a jejich příčiny, zda jsou opakující a co v procesu ovlivňují. (Nenadál, 2008)

Tato diplomová práce se zabývá implementací statistického řízení procesu (SPC). Realizace bude probíhat ve zvolené společnosti XYZ. Pomocí této metody je možné včas identifikovat změny v jakosti produktů a adekvátně na ně reagovat, aby byl minimalizován počet nekvalitních výrobků. Díky tomuto přístupu se tedy také minimalizují náklady spojené s výrobou nekvalitních výrobků.

V první části této diplomové práce budou z teoretického hlediska přiblíženy pojmy, metody a nástroje, které budou nutné pro zpracování praktické části. V první fázi se jedná o přiblížení pojmu statistické regulace proces (SPC), popsání jednotlivých fází implementace této metody a popsání druhů příčin působících na proces. Dále budou

přiblíženy veškeré nástroje a metody, které jsou potřebné při zavádění metody SPC. Konkrétně se bude jednat o regulační diagramy, základní nástroje managementu jakosti, hodnocení způsobilosti procesu a analýzu systému měřen (MSA).

V úvodu praktické části budou stručně uvedeny informace o společnosti, kde bude probíhat samotná implementace metody statistického řízení procesu. Zároveň bude určena součást, proces a znaky jakosti, na které se bude tato metoda zaměřovat. Bude popsán aktuální stav ověřování daného znaku jakosti. Následně bude analyzována a vyhodnocena stabilita a způsobilost procesu. V případě zjištění působení vymezených vlivů, budou tyto vlivy odstraněny pomocí vhodných nástrojů. Poté bude zvoleno měřicí zařízení, u kterého bude ověřena jak jeho schopnost, tak i schopnost systému měření. Zároveň bude zvolen příslušný software pro analýzu a vyhodnocení naměřených dat. Po implementaci měřicí stanice bude opět ověřena stabilita a způsobilost daného procesu. V poslední části budou vyčísleny finanční náklady na tento projekt a rozvedeny všechny přínosy plynoucí z tohoto projektu.

Cíl práce

Cílem této diplomové práce je navržení a implementace měřicí a vyhodnocovací stanice, která bude sloužit pro statistickou regulaci procesu SPC, do nově vznikající výroby třískového obrábění.

Pomocí tohoto systému bude výrobní proces průběžně monitorován a v pravidelných intervalech bude určena jeho schopnost. V případě nezpůsobilosti bude operátor ihned informován, aby byl schopen včas na danou situaci zareagovat.

Metody a postupy zpracování

V první fázi zavedení statistické regulace procesu bude u definovaného znaku jakosti v procesu soustružení provedeno prvotní hodnocení stability procesu, aby bylo zjištěno, v jakém stavu se daný proces nachází.

Pro tento účel bude vybráno 60 kusů výrobků, které budou operátorem odebrány až po dokončení celého procesu obrábění na CNC stroji. Měření a zaznamenávání naměřených dat bude prováděno na 3D měřicím zařízení od společnosti Zeiss. Vyhodnocení bude probíhat ve statistickém Softwaru Minitab 18, kde bude nejprve zkonstruován histogram, ze kterého lze odhadnuto, zda rozdělení znaku jakosti odpovídá normálnímu rozdělení a dá se zde i odhadnout způsobilost procesu. Bude vybrán a zkonstruován vhodný typ regulačního diagramu, pomocí kterého bude určeno, zda na daný proces působí pouze náhodné vlivy nebo i vymežitelné, jejichž případné působení bude následně pomocí různých opatření minimalizováno či zcela eliminováno. Pro přesnější vyhodnocení normality rozdělení bude následně proveden test normality rozdělení a v poslední řadě bude určena schopnost procesu dle indexů způsobilosti c_p , c_{pk} , které nám určí, zda se proces nachází ve stavu požadovaném finálním zákazníkem.

Po prvotním zhodnocení procesu bude následovat příprava a implementace měřicí a vyhodnocovací stanice za účely statistické kontroly procesu. Dle příslušných kritérií bude vybráno vhodné měřidlo, před jehož použitím bude ověřena jeho schopnost pomocí indexů c_g a c_{gk} . Následně bude ověřena také schopnost celého měřicího systému metodou MSA, konkrétně metodou průměru a rozpětí (GRR). Dále bude vybrán potřebný hardware a software, který bude v průběhu výroby v reálném čase naměřena

data zpracovávat, vyhodnocovat a bude upozorňovat operátora na případně odchylky v procesu.

Po implementaci měřicí a vyhodnocovací stanice do výroby bude opět provedeno hodnocení stability a schopnosti. Operátor bude v pravidelných kontrolních intervalech odebírat a měřit předem určený počet výrobků. Při posouzení stability procesu za provozu bude postupováno obdobně jako při předchozím posouzení stability na 60-ti výrobcích, nicméně v tomto případě budeme pracovat s rozsáhlejším souborem dat, neboť soubor hodnot bude s každou další naměřenou hodnotou v reálném čase narůstat. Finální vyhodnocení stability a způsobilosti procesu bude provedeno na základě 200 naměřených hodnot z periodického měření, přičemž bude zjištěno, zda se proces dlouhodobě nachází ve stavu vyhovujícího požadavkům zákazníka.

1 Teoretická východiska práce

1.1 Statistická regulace procesu

Při tradičním způsobu zajišťování jakosti se provádí kontrola jakosti výstupů a výrobky, které nesplňují předepsané specifikace, jsou vyříděny. Tento způsob je značně neekonomický, neboť se kontrola provádí „ex post“, kdy již byly vynaloženy zdroje k vytvoření daného výrobku a v případě výrobku nesplňující specifikace, byly tyto zdroje vynaloženy zbytečně. Moderní přístupy zabezpečování jakosti mají za cíl eliminovat takto zbytečnému vynakládání zdrojů. Prevence může být zajištěna pravidelným získáváním informací o chování procesu, jejich analýzou a působením na proces takovým způsobem, aby výrobky odpovídali požadovaným vlastnostem a funkcemi.

Jedním ze způsobů preventivního nástroje řízení jakosti je statistická regulace procesu (Statistical Process Control). Ta umožňuje na základě včasného odhalení významných odchylek od stanovené úrovně daných znaků procesu uskutečnit takové zásahy do průběhu procesu, které ho udrží v dlouhodobém horizontu na požadované a stabilní úrovni.

Statistická regulace procesu je založena na existenci variability, neboť i za relativně stálých podmínek působí na proces řada vlivů, díky nimž nelze vyrobit dva zcela stejné výrobky. Je ovšem možné tyto vlivy monitorovat, popsat a vytvořit podmínky, kdy se bude variabilita procesu pohybovat ve svých přirozených mezích. V tomto případě je možné na základě znalosti přirozených mezí variability předpovídat chování procesu v budoucnosti. (Tošenovský, 2000)

1.1.1 Druhy variability

Variabilitu procesu mohou způsobovat následující vlivy:

- a) **Náhodné vlivy** (přirozené, chronické, obvyklé, obecné)
- b) **Vymezitelné vlivy** (identifikovatelné, systematické, odstranitelné, speciální, zvláštní)

Pro náhodné vlivy je typické, že jsou inherentní, je jich velký počet, avšak každý jednotlivý vliv působí sám a v malém rozsahu. Nepřevažuje tedy nad ostatními vlivy. Jako příklady náhodných vlivů je možno uvést psychický stav pracovníka, kolísání teploty chladicí kapaliny při třískovém obrábění nebo vibrace stroje. V důsledku vlivů těchto příčin mají znaky jakosti stabilní rozdělení pravděpodobnosti, jehož parametry lze predikovat. Lze tedy předpovídat chování daného procesu. To umožňuje regulaci procesu a udržování jakosti v požadované hodnotě. Z ekonomických případně technických důvodů není zcela možné tyto vlivy eliminovat. Jejich působení může být částečně omezeno jistými zásahy do procesu jako například použitím kvalitnější surovin z hlediska stejnorodosti, použití přesnějšího stroje atd.

Druhou skupinou jsou vymezitelné vlivy. Na rozdíl od náhodných vlivů, každý vymezitelný vliv způsobuje značné odchylky od požadované úrovně jakosti. Jeho působení však může být minimalizováno nebo odstraněno v relativně krátkém časovém intervalu a při nízkých nákladech. Vlivy tohoto druhu mohou ovlivňovat hodnoty znaku jakosti či parametru procesu dvěma způsoby. Buď je mění náhle, kdy může být vlivem například nástup nového člověka nebo zlomení nástroje, nebo postupně. V tomto případě může jít například o opotřebení nástroje nebo postupné ucpávání filtru. (Nenadál, 2008; Tošenovský, 2000)

Při působení vymezitelných vlivů není daný proces reprodukovatelný a nelze predikovat jakost jeho výstupů. Takový proces se označuje jako nenacházející se ve statisticky zvládnutém stavu.

Vymezitelné vlivy lze dále dělit:

- a) **Sporadické** – jejich vznik je náhlý a změny vyvolané v procesu trvají jen krátkou dobu. Poté se ztrácejí a následně se mohou opět kdykoliv vyskytnout.
- b) **Přetrvávající** – trvají stále, eventuálně se mění, a tím vyvolávají po určitou dobu změny v rozdělení regulované veličiny. (Tošenovský, 2000)

1.1.2 Fáze statistické regulace procesu

Primárním cílem statistické regulace procesu je dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutém stavu tak, aby byla zajištěna shoda produktů s jejich specifikací. Samotná realizace probíhá v následujících fázích (Tošenovský, 2000)

1.1.2.1 Fáze přípravná

- 1) Stanovení znaku/znaků jakosti nebo parametrů procesu představující regulovanou/ regulované veličiny. Dále se zvolí vhodná metoda pro získávání hodnot znaku jakosti
- 2) Zvolí se délka časového intervalu, ve kterém se budou zjišťovat respektive měřit hodnoty daného znaku jakosti takovým způsobem, aby byly identifikovány důležité změny v procesu.
- 3) Zvolí se způsob výběru takzvané logické podskupiny. Ta představuje skupinu měření, v rámci které je předpokládáno působení pouze náhodných vlivů. Při samotném výběru logické podskupiny je zapotřebí určit, jaký bude její rozsah. Je-li požadována větší senzibilita regulačního diagramu na změny v daném procesu, pak by měl být rozsah logické podskupiny spíše větší. Pokud je nutno přihlížet k ekonomickým či časovým nákladům, pak se volí menší rozsah logické podskupiny. Pokud to daná situace nevyklučuje, jsou používány výběry o konstantním rozsahu.
- 4) Určí se příslušný vhodný typ regulačního diagramu. Dále se připraví sběr a záznam dat a způsob jejich vyhodnocování. To je možné provést buď ručně nebo příslušnictvím vhodného softwaru.
- 5) Určí se místo v procesu, kde se bude provádět jeho kontrola. Hlavním důvodem je, aby zásah do průběhu procesu byl uskutečněn co nejdříve po zjištění vzniku vymezitelné příčiny.
- 6) Zvolí se vhodná metoda pro získávání hodnot daného znaku jakosti. Součástí tohoto kroky by měla být i analýza měřicího systému (MSA). (Tošenovský 2000)

1.1.2.2 Fáze analýzy a zabezpečení statistické stability procesu

Cílem této fáze je nejprve určit vymezitelné příčiny, u kterých se posléze minimalizuje či odstraní jejich působení a zároveň se vytvoří podmínky, aby se jejich působení neopakovalo. Během analýzy a zajištění statistické zvládnutosti procesu jsou nejlepším nástrojem regulační diagramy. (Tošenovský 2000)

1.1.2.3 Fáze analýzy zabezpečení způsobilosti procesu

V této fázi podléhá statisticky vládnutý proces zkoumání, zda také vyhovuje požadavkům finálního zákazníka. Proces se před touto fází musí nacházet ve statisticky zvládnutém stavu. K hodnocení se používají indexy způsobilosti. (Tošenovský 2000)

1.1.2.4 Fáze vlastní statistické regulace procesu

Během poslední fáze je proces udržován ve statisticky zvládnutém a způsobilém stavu. Za použití vhodného typu regulačního diagramu jsou zajištěny možné poruchy v jeho stabilitě, které se následně identifikují a odstraňují. (Tošenovský 2000)

1.2 Regulační diagramy

Regulační diagramy zobrazují graficky vývoj variability procesu v čase. Hlavním cílem je popsání statistické zvládnutelnosti procesu a zároveň upozornění na výskyt vymezitelné příčiny. Díky tomuto včasnému upozornění se může provést vhodný zásah do procesu a tím se působení této příčiny odstraní. (Tichá, 2006)

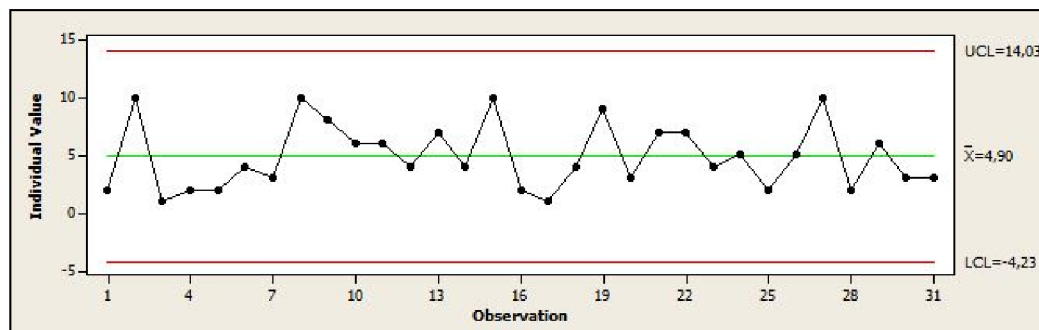
Pro vyhodnocení se z výrobního procesu odebírají pravidelně vzorky. Tato pravidelnost je definována buď počtem kusů, nebo časovým úsekem. Jsou odebrány vždy stejné druhy výrobků, u nichž je zkoumán stejný znak jakosti.

Pro rozhodnutí, zda se proces nachází ve statisticky zvládnutém stavu, složí tři základní přímký, které jsou rovnoběžné s časovou osou. Tyto přímký nazýváme CL, LCL a UCL. CL (central line) je takzvaná střední čára, jejíž hodnota odpovídá referenční (požadované) hodnotě. Referenční hodnotu můžeme určit několika způsoby:

- Jako nominální hodnota (např. jmenovitá hodnota či hodnota určena technickým předpisem)
- Jako hodnotu založenou na zkušenosti s daným procesem
- Jako odhad z hodnot regulované veličiny v podmínkách statisticky zvládnutého procesu (Tošenovský, 2000)

Křivky LCL (lower control limit) a UCL (upper kontrol limit) představují dolní a horní regulační meze. Tyto regulační meze určují oblast, kde působí na výrobní proces pouze

náhodné veličiny. Jsou hlavním rozhodovacím kritériem, zda provést zásah do průběhu procesu. Z tohoto důvodu se někdy označují také jako akční meze. (Tošenovský, 2000)



Obrázek 1: Příklad regulačního diagramu (Zdroj: <http://lean6sigma.cz>)

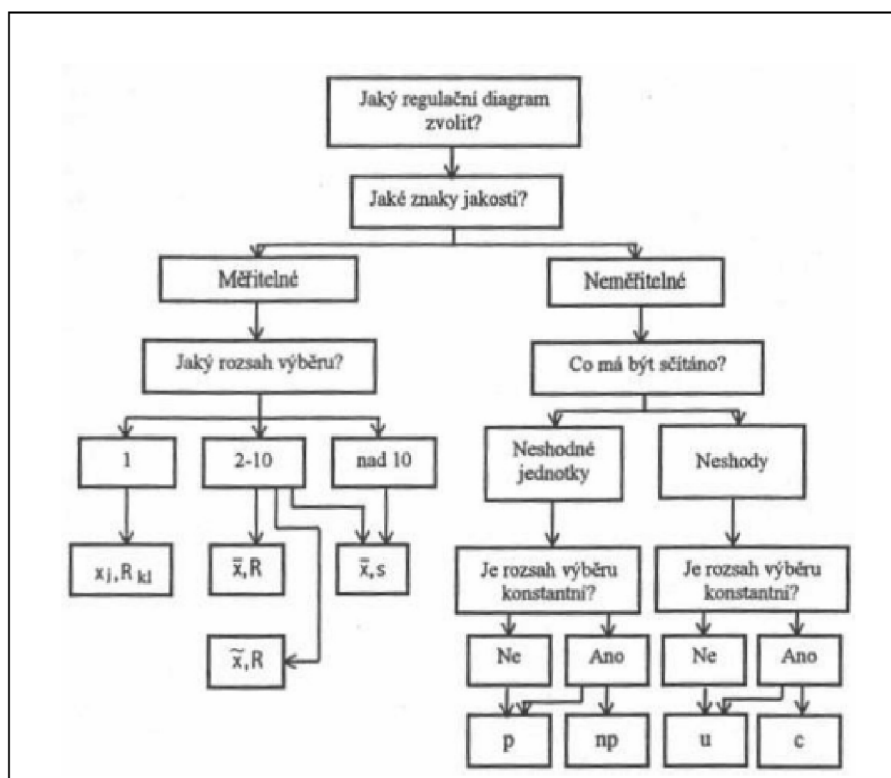
1.2.1 Shewhartovy regulační diagramy

Jak již samotný název napovídá, tyto diagramy vytvořil W. Shewhart v roce 1924 a tím položil základní kámen systému statistické regulace procesu. Shewhartovy diagramy jsou navrženy pro sledování pouze jednoho znaku jakosti. Předpokladem jejich použití je získání dostatečného počtu logickým podskupin a to za stálých podmínek procesu. Tyto diagramy spadají do skupiny diagramů „bez paměti“, což znamená, že při vyhodnocování neberou v potaz předchozí hodnoty regulované veličiny. (Tošenovský, 2000)

Shewhartovy diagramy můžeme dělit na následující 2 základní typy

- Regulační diagramy pro regulaci měření
- Regulační diagramy pro regulaci srovnáváním (Česká společnost pro jakost, 2006)

Dle měřitelnosti znaku jakosti a rozsahu výběru můžeme pro výběr vhodného regulačního diagramu zvolit následující postup [Obrázek 2].



Obrázek 2: Postup rozhodnutí ohledně typu Shewhartova diagramu (Zdroj: Tošenovský, 2000)

1.2.1.1 Regulační diagramy pro regulaci měřením

Tento typ diagramů se používá pro měřitelné znaky jakosti, které splňují následující předpoklady:

- jednotlivá měření jsou mezi sebou nezávislá
- regulovaná veličina je spojitou náhodnou veličinou a má normální rozdělení
- střední hodnota μ a směrodatná odchylka σ jsou konstantní, přičemž hodnota μ reprezentuje hodnotu sledované veličiny, na niž je proces reálně nastaven a hodnota σ reprezentuje přesnost výrobního procesu.

Tyto předpoklady je nutné před použitím daného regulačního diagramu ověřit a případně zvolit jiný. (Tošenovský, 2000)

Dle rozsahu výběru lze rozlišovat následující typy regulačních diagramů pro regulaci měřením.

Typy diagramů pro regulaci měření:

- 1) **Regulační diagramy (\bar{x} , R)** – regulace pomocí diagramů sledujících výběrové průměry a výběrové rozpětí. Je vhodný nejčastěji, pokud pracujeme s menšími rozsahy výběrů (rozsah logických podskupin 2-10)
- 2) **Regulační diagramy (\bar{x} , s)** – regulace pomocí diagramů sledujících výběrové průměry a směrodatnou odchylku. Použití těchto diagramů je vhodné pro větší rozsahy výběrů (rozsah logických podskupin > 10)
- 3) **Regulační diagramy (\tilde{x} , s)** – regulace pomocí diagramů sledujících medián a výběrové rozpětí. Tyto diagramy jsou alternativou k diagramům (\bar{x} , s) (ČSN ISO 8258:1991)

V následující tabulce [Tabulka 1] jsou uvedeny všechny vzorce pro výpočet centrální přímký a regulačních mezí pro jednotlivé typy regulačních diagramů pro regulaci měření.

Tabulka 1: Výpočet centrální přímký a regulačních mezí u regulačních diagramů měření

Typ diagramu	Typ grafu	Centrální přímký	Horní regulační mez	Dolní regulační mez
(\bar{x} , R)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R}$
	R	\bar{R}	$D_4 \cdot \bar{R}$	$D_3 \cdot \bar{R}$
(\bar{x} , s)	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_3 \cdot \bar{s}$	$\bar{\bar{x}} - A_3 \cdot \bar{s}$
	s	\bar{s}	$B_4 \cdot \bar{s}$	$B_3 \cdot \bar{s}$
(\tilde{x} , s)	\tilde{x}	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_4 \cdot \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_4 \cdot \bar{R}$
	s	\bar{R}	$D_4 \cdot \bar{R}$	$D_3 \cdot \bar{R}$

(Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2006)

Kde:

\bar{R} – aritmetický průměr variabilního rozpětí

\bar{s} – aritmetický průměr směrodatných odchylek

$\bar{\bar{x}}$ – aritmetický průměr z aritmetických průměrů

$\bar{\bar{x}}$ – aritmetický průměr mediánů (Česká společnost pro jakost, 2006)

1.2.1.2 Regulační diagramy pro regulaci srovnáváním

Regulační diagramy pro regulaci srovnáváním sledují počet neshodných výrobků nebo počet neshod na těchto výrobcích. Z toho vyplývá, že regulovaná veličina je diskrétní náhodnou veličinou. Obecně lze tento druh diagramů rozdělit na dvě další skupiny.

1) Regulační diagramy pro zjištění počtu neshod na jednotlivých výrobních

- Regulační diagram c – pro počet neshod na daných skupinách stejného produktu. Podmínkou je konstantní rozsah podskupin.
- Regulační diagram u – pro počet neshod na jednotku (výrobek)

2) Regulační diagramy pro zjištění počtu neshodných výrobků

- Regulační diagram np – počet neshodných jednotek ve výběru. Podmínkou je konstantní rozsah podskupin.
- Regulační diagram p – podíl neshodných jednotek. Tento typ regulačního diagramu je vhodný i v případě, že rozsahy výběrů nejsou konstantní. (Česká společnost pro jakost, 2006)

Tabulka 2: Výpočet centrální přímký a regulačních mezí u regulačních diagramů srovnáváním

Typ diagramu	Centrální přímký	Horní regulační mez	Dolní regulační mez
c	\bar{c}	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
u	\bar{u}	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$
np	$n \cdot \bar{p}$	$n \cdot \bar{p} + 3\sqrt{n \cdot \bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}$	$n \cdot \bar{p} - 3\sqrt{n \cdot \bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}$
p	\bar{p}	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$

(Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2006)

1.3 Základní nástroje managementu jakosti

Skupinu základních nástrojů managementu jakosti tvoří několik statistických a grafických metod, jejichž použití je nesmírně důležité pro zlepšování procesu, tedy i pro statistickou kontrolu procesu. Za pomoci některých těchto nástrojů lze například odhalit

a následně odstranit příčinu vymezených vlivů nebo odhadnout rozdělení sledovaného znaku jakosti. Mezi skupinu těchto základních nástrojů patří formuláře a kontrolní tabulky, histogram, vývojový diagram, Išikawův diagram a Paretův diagram.

1.3.1 Formuláře a kontrolní tabulky

Formuláře a kontrolní tabulky jsou nástroje pro účel systematického shromažďování dat potřebných při řízení jakosti. Jedná se o dokumentaci prvotních údajů o kvalitě zvoleného znaku v daném procesu. Mezi tyto údaje patří například datum, hodina, místo sběru dat, jméno pracovníka, název měřicího zařízení, číslo stroje a číslo výrobní dávky. V současnosti má každá společnost své vlastní formuláře pro záznam dat, které byly vytvořeny dle jejich potřeb. Hlavním znakem každého formuláře by však měla být jednoduchost a přehlednost.

Při samotném sběru dat je velice důležité se vyvarovat informacím, které jsou:

- **neúplné** - získané na základě neúplných údajů
- **opožděné** – nejsou dodané k dalšímu kroku včas
- **zkreslené** – získané na základě nesprávných zjištění nebo nesprávně zpracovaných údajů (Tichá, 2006)

Zároveň je ve fázi sběru dat data uspořádat takovým způsobem, aby se jejich záznam dal okamžitě interpretovat nebo dále použít pro zpracování za pomoci různých grafických či statistických nástrojů. Je nežádoucí, aby se data musela dále přepisovat do jiných formulářů, neboť hrozí riziko spojené s přepisem dat, čímž by mohlo dojít ke zkreslení prvotní informace. (Nenadál, 2008)

Používání formulářů a kontrolních tabulek je v současné době velice důležité při zajišťování jakosti v různých oblastech společnosti. Může jít o vstupní a výstupní kontrolu, analýzu strojů a zařízení, analýzu vadných výrobků atd. Pro statistickou kontrolu procesu bude nejdůležitější oblast záznamu vstupních údajů znaku jakosti, které budou následně dále analyzovány a zpracovávány. (Tichá, 2006)

1.3.2 Histogram

Při zpracovávání dat z formulářů či tabulek se nelze obejít bez jejich uspořádání nebo roztřídění do jednotlivých skupin. Histogram je grafický nástroj pro znázornění

intervalového rozdělení četností. V oblasti jakosti se jedná o znázornění rozdělení četnosti daného znaku jakosti, kterým může být například rozměr výrobku či jeho chemické složení.

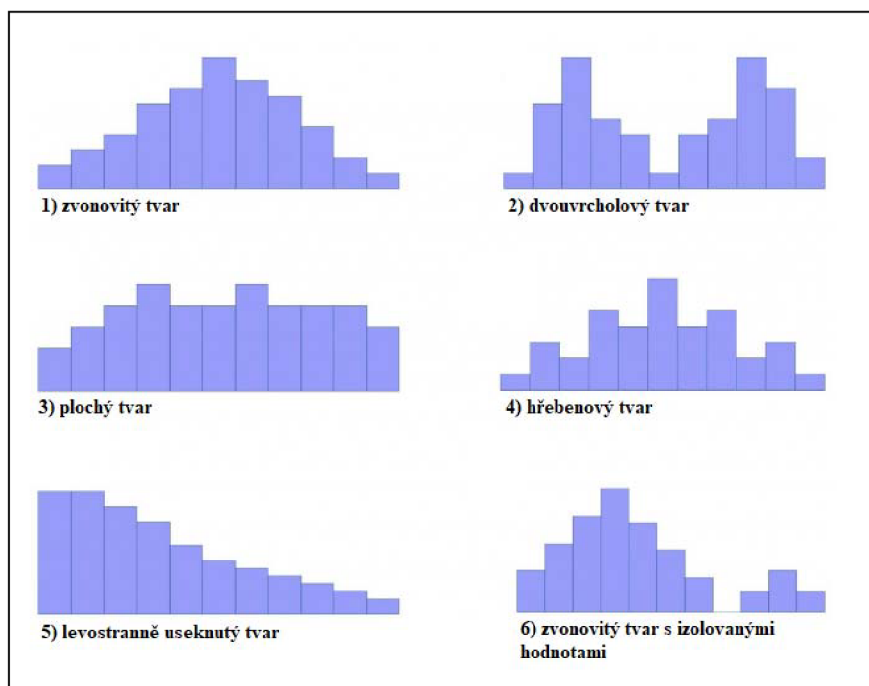
Histogram je sloupcový graf se sloupci stejné šířky, u kterých je stanovena horní a dolní hranice. Výška jednotlivých sloupců znázorňuje četnosti hodnot sledované veličiny.

Především díky jeho jednoduchosti při sestavování se jedná o nejznámější a nejpoužívanější statistický nástroj v praxi. (Nenadál, 2008)

Za pomoci histogramu lze vyčíst následující informace:

- odhad střední polohy a rozptylu hodnot daného znaku jakosti
- odhad rozdělení sledovaného znaku jakosti
- určení změn v procesu pomocí srovnání jednotlivých histogramů
- prvotní informace o způsobilosti procesu

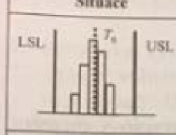
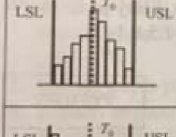
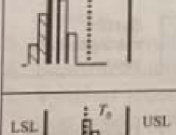
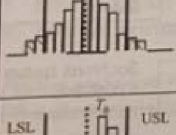

Dle tvaru histogramu je možné je rozlišit dle následujícího obrázku do několika skupin [Obrázek 3].



Obrázek 3: Tvary histogramů a možné vymežitelné příčiny (Zdroj: www.kvalitaprodukcie.info)

- 1) **zvonovitý tvar** – na proces působí pouze náhodné vlivy
- 2) **dvouvrcholový tvar** – jedná se o smíchání dat dvou výběrových souborů. Například se jedná o dvě rozdílné výrobní dávky či rozdílné linky.
- 3) **plochý tvar** – je výsledkem součtu více rozdělení zvonovitého tvaru (postupně opotřebením nástroje)
- 4) **hřebenovitý tvar** – nesprávné zaokrouhlování hodnot nebo zařazení hodnot do tříd. Dále se může jednat o chyby měření.
- 5) **Levostranně useknutý tvar** – malá přesnost a rozlišovací schopnost měřidla nebo nesprávně zařazená analýza dat (vytřídění neshodných kusů před měřením znaku jakosti).
- 6) **Zvonovitý tvar s izolovanými hodnotami** – chyby při měření nebo přepisování hodnot (Nenadál, 2008)

Jak již bylo zmíněno, za pomoci histogramu lze také provést prvotní analýzu způsobilosti procesu. Pokud jsou do histogramu vyznačeny obě toleranční meze (USL a LSL) a zároveň střed tolerančního pole T_0 , lze provést odhad způsobilosti procesu. Jednotlivé situace, které mohou nastat, jsou znázorněny v následující tabulce.

Situace	Opatření
	Nejsou nutné žádné zásahy do procesu, proces je způsobilý.
	Proces je blízko způsobilosti, krátkodobě nejsou nutná žádná opatření, z dlouhodobého pohledu je třeba provádět analýzu procesu s cílem proces zdokonalit a zvýšit míru jeho způsobilosti
	Proces produkuje neshodné výrobky, není způsobilý. Je třeba stroj seřadit na střed tolerančního pole.
	Proces je na středu tolerančního pole, ale produkuje neshodné jednotky. Není způsobilý z důvodu velké variability. Je nutné přijmout opatření ke snížení této variability: převod výroby na jiný, přesnější stroj, nákup nového přesného stroje, zvážení, zda toleranční meze nejsou zbytečně přísné...
	Proces není na středu tolerančního pole, a současně jeho variabilita je velká. Není způsobilý. Opatření lze hledat v nákupu nového stroje, je třeba zvážít zúžení tolerančního pole.

Obrázek 4: Odhad způsobilosti procesu za pomoci histogramu (Zdroj: Nenadál, 2008)

1.3.3 Vývojový diagram

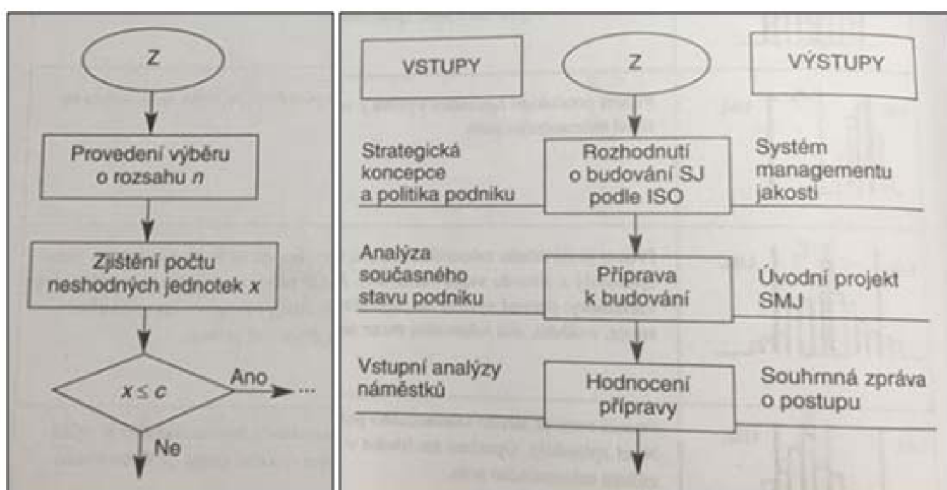
Vývojový diagram se používá k popsání jakéhokoliv procesu. Přehledně graficky znázorňuje posloupnost procesu a vzájemnou návaznost jednotlivých kroků. Jedná se o konečný orientovaný gram, má tedy jeden začátek a jeden konec. Tento nástroj nachází využití zejména v následujících případech:

- při objasňování procesu zákazníkům společnosti
- při zaškolení nových pracovníků, kterým jsou vysvětlovány vazby mezi jednotlivými činnostmi
- při odkrývání a objasňování vazeb mezi jednotlivými odděleními podílející se na procesu
- při zjišťování nedostatků procesu a návrhu zlepšení. Nedostatky procesu jsou myšleny nevhodné nebo zbytečné činnosti, chybějící činnosti, zdvojení úsilí nebo zpoždování.

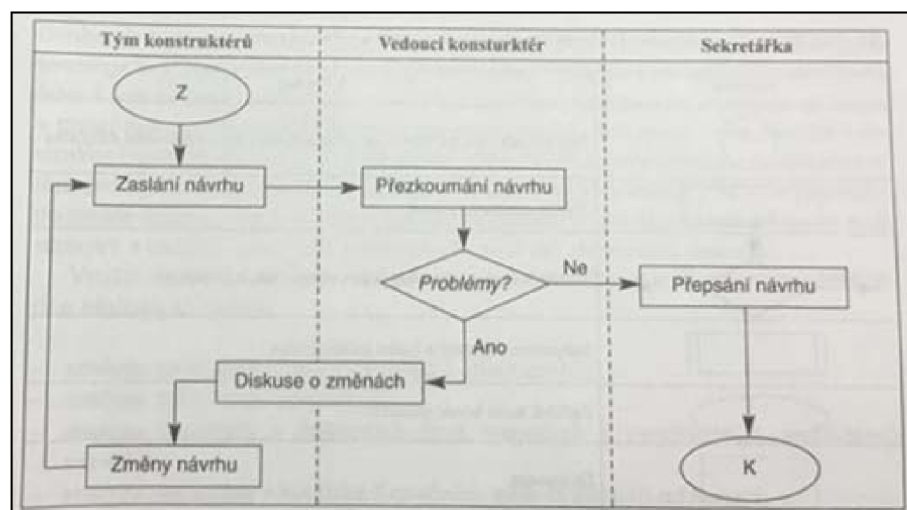
Vývojové diagramy je možno dělit na tři typy:

- 1) **lineární vývojový diagram**
- 2) **vývojový diagram vstup/výstup**
- 3) **integrovaný vývojový diagram**

Rozdíly mezi jednotlivými vývojovými diagramy jsou patrné z následujících obrázků. (Nenadál, 2008)



Obrázek 5: Lineární vývojový diagram /vývojový diagram vstup/výstup (Zdroj: Nenadál, 2008)

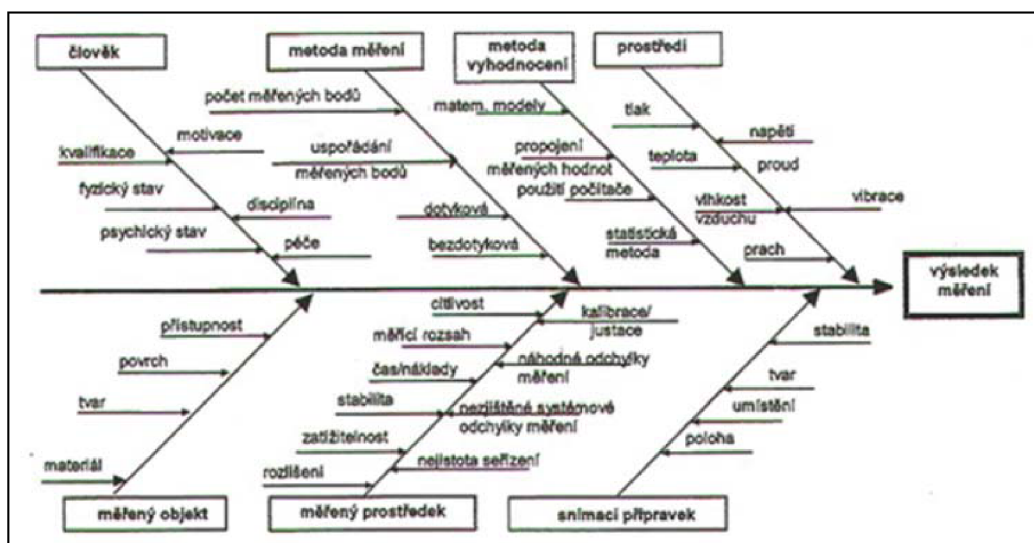


Obrázek 6: Integrovaný vývojový diagram (Zdroj: Nenadál, 2008)

1.3.4 Išikawův diagram

Tento nástroj je pojmenován podle svého tvůrce profesora Ishikawi a jedná se o jeden ze základních nástrojů pro analýzu problému za účelem zlepšení procesů. Mnohdy je také nazýván jako rybí kost podle svého tvaru. Umožňuje nalézt skutečné příčiny následku a stanovit nejlepší cestu k řešení problému. Tento diagram slouží pro analýzu variability procesu. Postup při tvorbě diagramu je následující:

- 1) jasně a stručně se popíše zkoumaný problém, který má být předmětem analýzy a který chceme následně eliminovat
- 2) stanoví se hlavní kategorie možných příčin
- 3) pomocí brainstormingu se definují příčiny na nižších úrovních. Tento proces je ukončen až s nalezením všech prvotních příčin
- 4) pro následující analýzu je využito metod, které vedou k odhalení hlavní příčiny (Kožíšek, 2015)



Obrázek 7: Išikawův diagram – příklad (Zdroj: <http://www.ikvalita.cz>)

1.3.5 Paretův diagram

Jedná se o nástroj, který byl vytvořen Vilfredem Paretem, italským ekonomem a sociologem. Ten jako první zmínil, že 80% celkového bohatství vlastní 20% obyvatelstva. Později tento princip zobecnil americký specialista na kvalitu Joseph Moses Juran, který uvedl, že 80% kvalitativních problémů je způsobeno 20% příčin. Toto pravidlo je současně známo jako pravidlo 80/20. Právě tyto hlavní příčiny označil jako „životně důležitou menšinou“ a právě na tyto příčiny je důležité se v první řadě zaměřit, analyzovat je a minimalizovat nebo zcela eliminovat jejich působení. Zbývajících 80% příčin označil jako „užitečná většina“. (Noskievičová, 1996)

V oboru řízení jakosti je Paretův diagram jeden z nejefektivnějších a lehce aplikovatelných nástrojů, díky které mu je umožněno oddělit podstatné faktory od těch méně podstatných. Umožňuje tedy určit, kam přednostně má směřovat úsilí při zlepšování procesů. (Noskievičová, 1996)

Využití Paretovi analýzy je mnohostranné, může jít například o:

- Analýzu počtu neshodných produktů
- Analýzu s nimi souvisejících ztrát
- Analýzu časových a finančních ztrát souvisejících s vypořádáním neshodných produktů

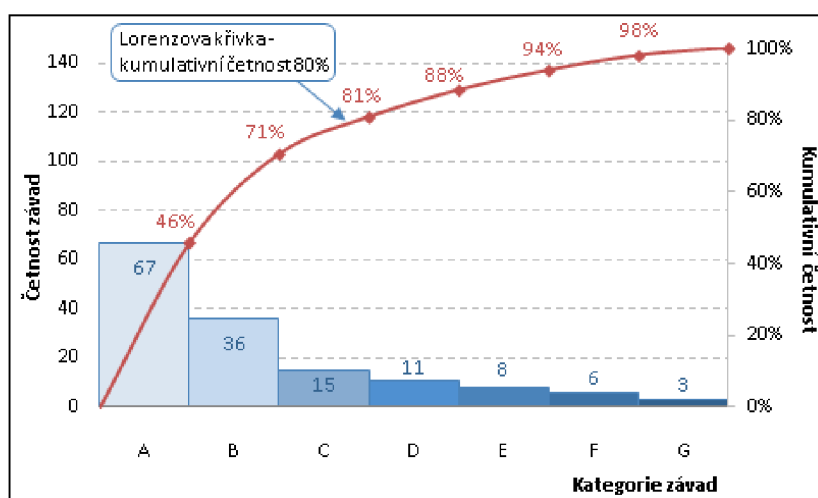
- Analýzu reklamací z hlediska předmětu reklamace
- Analýzu příčin neshodných produktů
- Analýzu příčin prostojů strojních zařízení
- Analýzu poruch a havárií zařízení
- Analýzu opotřebování nástrojů (Nenadál, 2008)

Při realizaci Paretovy analýzy je zapotřebí uskutečnit následující kroky:

- 1) **Volba faktorů** – je dána předmětným problémem, který je nutno vyřešit. Může se jednat například o vysoký výskyt vad, velký počet zákaznických reklamací nebo časté prostoje strojů. Každý problém je možno hodnotit z hlediska prosté četnosti, nákladového hlediska nebo z hlediska významnosti sledovaných faktorů.
- 2) **Volba z hlediska analýzy** – je závislá na cílech a prioritách řešení problému. Analýzu lze provést buď pouze na základě jednoho hlediska či na základě více hledisek. V tomto případě faktory, na které je zapotřebí se při řešení problému prioritně zaměřit, jsou ty, které tvoří průnik veškerých získaných životně důležitých menšin.
- 3) **Sběr a záznam dat** – před samotným sběrem a záznamem dat je nutné definovat období sběru, pracovníka provádějícího sběr a způsob zjišťování dat. Dále je třeba mít k dispozici i vhodný formulář. Při tvorbě Paretova diagramu je nutné uskutečnit tyto činnosti:
 - Seřadit sestupně faktory dle hodnot definovaného ukazatele
 - Vypočítat absolutní a kumulativní četnosti
 - Sestrojit Paretoův diagram. To zahrnuje vyznačení faktorů na ose x, sestavení levé a pravé osy y, vytvoření sloupců pro jednotlivé faktory, sestavení Lorenzovy křivky
- 4) **Volba kritéria pro stanovení životně důležitých menšin faktorů a stanovení životně důležitých menšin faktorů** – základní kritériem pro stanovení životně důležitých menšin je pravidlo 80/20. Na ose y se tedy odečte hodnota 80% a přes Lorenzovu křivku se přeneso na osu x. Faktory ležící na levé straně od tohoto bodu na ose x představují životně důležitých menšin. V případě, že je Paretovo rozdělení plošší, neuplatňuje se pravidlo 80/20, ale například 70/30 nebo 60/40.

- 5) **Analýza faktorů stanovených jako životně důležitá menšina** – samotná analýza faktorů určených jako životně důležitá menšina. Cílem je zavést nápravná opatření, která povedou k omezení vlivů těchto příčin a tím i ke zlepšení daného procesu.

Paretův diagram je možné použít i opakovaně s cílem ověření účinnosti zavedených opatření. Zde by měl být patrný rozdíl mezi stavem před zavedením opatření a po zavedení daných opatření. (Nenadál, 2008)



Obrázek 8: Příklad Paretova diagramu (Zdroj: <https://lorenc.info/3MA381/>)

1.3.6 Metoda regresivní a korelační analýzy

Pomocí této metody lze zkoumat závislost vztahů mezi jednotlivými vlivy. Primárním nástrojem je zde korelační diagram, kde jsou rozmístěny jednotlivé body, které odpovídají hodnotám příslušných proměnných.

Z pohledu těsnosti mezi jednotlivými proměnnými lze rozlišovat dva základní typy závislostí:

- 1) **Závislost pevná (funkční)** – změně jednoho znaku jednoznačně odpovídá změna druhého znaku dle určitého funkčního vztahu
- 2) **Závislost volná (statistická)** – změnám jedné veličiny odpovídají změny druhé veličiny tak, že určité hodnotě jednoho znaku může odpovídat více hodnot znaku druhého, což je způsobeno současným působením řady náhodných vlivů

Následně po vnesení dvojice proměnných do korelačního diagramu je možné provést analýzu. Regresivním úkolem je kvantitativně popsat průběh korelačního vztahu například za pomoci regresivní funkce.

1.4 Hodnocení způsobilosti procesu

Třetí fáze statistické regulace procesu se věnuje samotnému hodnocení způsobilosti procesu. Pod pojmem způsobilost procesu můžeme chápat schopnost procesu trvale dosahovat definovaná kritéria kvality. Způsobilost procesu vyjadřujeme kvantitativně pomocí indexů způsobilosti. Pro hodnocení způsobilosti bohužel neexistuje žádný univerzální index, proto pro finální hodnocení používáme kombinaci jednotlivých indexů. Cíly hodnocení bývá zpravidla:

- zjištění, jak proces dokáže udržet cílovou hodnotu definovaného znaku jakosti
- určení míry variability kolem cílové hodnoty

Před výpočtem ukazatelů způsobilosti však musí proces splňovat následující předpoklady:

- je statisticky zvládnutý
- hodnoty znaku jakosti vykazují normální rozdělení
- je správně stanovena tolerance (Tošenovský, 2000)

1.4.1 Index C_p

Základním indexem způsobilosti procesu je index C_p . Předpokladem pro jeho vytvoření je, že střední hodnota definovaného znaku kvality leží přímo uprostřed tolerančních mezí. Index C_p vyjadřuje potenciální schopnost procesu vyrábět produkty se sledovaným znakem jakosti uvnitř tolerančních mezí. Nicméně jeho použití je možné pouze v případech, jsou-li definovány oboustranné toleranční hranice. Hodnota indexu C_p je vyjádřena poměrem maximální přípustné variability hodnot znaku jakosti a skutečné variability znaku jakosti. Samotný index C_p tedy vyjadřuje potenciální možnosti procesu daného jeho variabilitou (schopnost znaku jakosti vejít se do definované tolerance). Neříká ale nic o skutečnosti, zda a jak jsou tyto možnosti reálně využity. Vypočítá se dle následujícího vztahu: (Nenadál, 2008)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Kde:

USL – horní toleranční mez

LSL – dolní toleranční mez

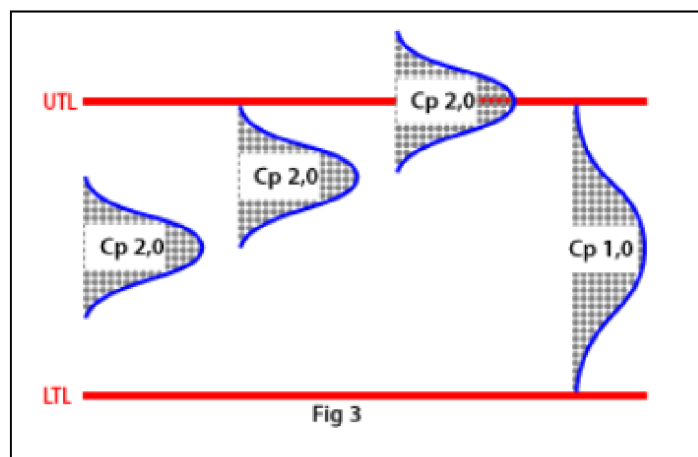
σ – směrodatná odchylka

Interpretace získaných hodnot je následující:

$C_p < 1$ – dosahovaná přesnost je menší než předpokládaná, proces je nezpůsobilý

$C_p = 1$ – dosahovaná přesnost je přesně rovna předepsané. Proces je způsobilý, ale jakékoliv sebemenší zvětšení směrodatné odchylky σ způsobí nezpůsobilost procesu

$C_p > 1$ – dosahovaná přesnost je větší než předepsaná, proces je způsobilý (Kropáč, 2008)



Obrázek 9: Příklady indexu způsobilosti Cp (Zdroj: statisticalprocesscontrol.info)

Skutečná variabilita znaku jakosti se vyjadřuje hodnotou 6σ . Pokud se v daném případě jedná o normální rozdělení, vyjadřuje tato hodnota oblast, v které bude ležet s pravděpodobností 99,73% každá následující hodnota znaku jakosti (Nenadál, 2008)

V podnikové praxi je nejčastěji minimální požadovaná hodnota indexu C_p 1,33.

1.4.2 Index C_{pk}

Index C_{pk} se odlišuje od indexu C_p tím, že zohledňuje umístění hodnot sledovaného znaku jakosti v tolerančním poli a určuje tedy skutečnou schopnost procesu dodržovat definované toleranční hranice.

Hodnotu tohoto indexu lze stanovit jak u jednostranné, tak i u oboustranné tolerance. K příslušným výpočtům se využívá následujících vztahů (Nenadál, 2008):

1) jednostranná tolerance – předpis dolní toleranční meze

$$C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} > 1,33$$

2) jednostranná tolerance – předpis horní toleranční meze

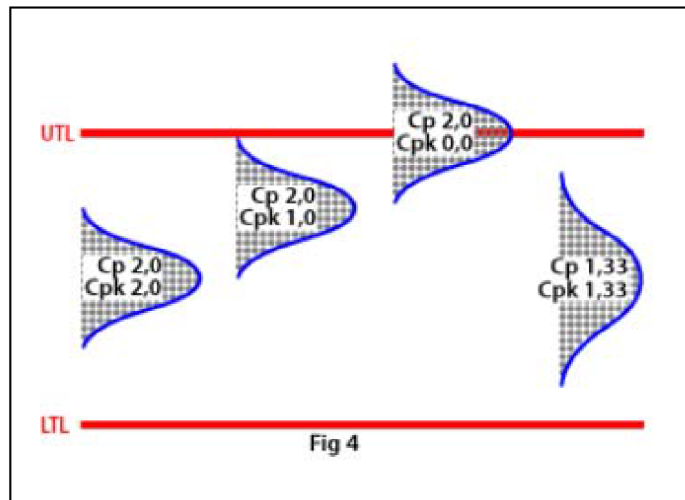
$$C_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} > 1,33$$

3) oboustranná tolerance – předpis obou tolerančních mezí

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

Hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je odlišná od C_p a obecně je menší a maximálně rovna hodnotě C_p . Rozdíl mezi hodnotami obou indexů je tím vyšší, čím více je střední hodnota sledovaného znaku vzdálena od středu tolerančního pole. Rovnosti obou těchto indexů způsobilosti je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti leží právě ve středu tolerance. (Nenadál, 2008)

V podnikové praxi je nejčastěji minimální požadovaná hodnota indexu C_p 1,33.



Obrázek 10: Příklady indexu způsobilosti Cpk (Zdroj: statisticalprocesscontrol.info)

1.4.3 Index C_{pm}

Dalším indexem je index C_{pm} , který porovnává maximální přípustnou variabilitu sledovaného znaku jakosti (určeno šířkou tolerančních mezí) a skutečnou variabilitu kolem cílové hodnoty. Bere tedy v potaz jak variabilitu hodnot znaku jakosti, tak úroveň dosažení cílové hodnoty.

Předpoklady použití:

- Jedná se o oboustrannou toleranci
- Cílová hodnota leží ve středu tolerančních mezí (Nenadál, 2008)

Index C_m se vypočítá dle následujícího vztahu:

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

Kde:

T – cílová hodnota

Mezi indexy C_{pm} a C_p platí nerovnost, při níž je index C_{pm} vždy menší nebo roven indexu C_p . K rovnosti těchto dvou indexů může dojít pouze tehdy, je-li střední hodnota znaku jakosti rovna cílové hodnotě. (Nenadál, 2008)

Proces je způsobilý, pokud $C_{pm} \geq 1$.

1.4.4 Index C_{pm}^*

Pokud se cílová hodnota nenachází na středu tolerančních mezí nebo pokud máme danou jednostrannou toleranci, můžeme použít index C_{pm}^* . Tento index srovnává vzdálenost mezi cílovou hodnotou znaku jakosti a nejbližší toleranční meze s 50% skutečné variability znaku jakosti kolem cílové hodnoty. Vypočítá se tedy dle vztahu:

$$C_{pm}^* = \min \left\{ \frac{T - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - T}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\}$$

Pokud se cílová hodnota nachází ve středu tolerančních mezí, je hodnota indexu C_{pm}^* rovna indexu C_{pm} . (Nenadál, 2008)

1.4.5 Index C_{pmk}

Index C_{pmk} srovnává vzdálenost střední hodnoty znaku jakosti k bližší toleranční meze s 50% variability znaku jakosti kolem cílové hodnoty.

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\}$$

Pokud můžeme stanovit indexy C_p a C_{pm} a zároveň se jedná o oboustrannou toleranci, můžeme výše uvedený vzorec převést na následující tvar:

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk} \cdot C_{pm}}{C_p}$$

Jak je zřejmé z výše uvedeného tvaru, index C_{pmk} je kombinací výše uvedených indexů. (Nenadál, 2008)

1.4.6 Index P_p

Index P_p spolu s indexem P_{pk} se označují jako indexy výkonnosti. Tento název vyplývá z toho, že tyto indexy porovnávají výkon procesu s maximálním dovoleným kolísáním, které ohraničují toleranční pole. Tento ukazatel tedy vyjadřuje, do jaké míry splňuje proces požadavek na kolísání a používá se k hodnocení způsobilosti v delším časovém horizontu. Jeho výpočet je velmi podobný výpočtu index C_p , rozdíl je pouze ve výpočtu variability. Stejně jako index C_p není ani index P_p ovlivněn polohou procesu.

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s}$$

Kde:

σ_p – celkové kolísání

s – výběrová směrodatná odchylka

1.4.7 Index P_{pk}

Druhým indexem výkonnosti je P_{pk} , který na rozdíl od indexu P_p zohledňuje i polohu procesu. V případě, že by byl proces ideálně vycentrován, může se hodnota P_{pk} rovnat hodnotě P_p . Nikdy však hodnota P_{pk} nemůže být větší. Jeho výpočet je znázorněn v následující rovnici.

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma_p}; \frac{USL - \mu}{3\sigma_p} \right\} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3s}; \frac{USL - \mu}{3s} \right\}$$

V případě, že se proces nachází ve statisticky zvládnutém stavu, je hodnota indexů způsobilosti procesu C_p a C_{pk} velice blízká hodnotám indexů výkonnosti P_p a P_{pk} . Větší rozdíl mezi těmito hodnotami může poukazovat na přítomnost zvláštních příčin.

1.4.8 Požadavky na způsobilost procesu

Požadavky na způsobilost procesu většinou souvisí s indexem C_{pk} , který, jak již bylo zmíněno v předchozí části, zohledňuje umístění hodnot sledovaného znaku jakosti v tolerančním poli a určuje tedy skutečnou schopnost procesu dodržovat definované toleranční hranice. Minimální požadovaná hodnota tohoto indexu se z důvodu neustále se rozvíjejících nových technologií postupně zvyšuje. Aktuálně se za způsobilý proces považuje proces, u kterého je hodnota C_{pk} minimálně $\geq 1,33$. V tomto případě se střední hodnota sledovaného znaku jakosti nachází nejméně ve vzdálenosti 4σ od tolerančních mezí.

Někdy se ovšem můžeme setkat s ještě přísnějšími požadavky, jak je tomu například u jakosti „Six sigma“. Zde se očekává 3,4 ppm (part per milion) neshodných výrobků a

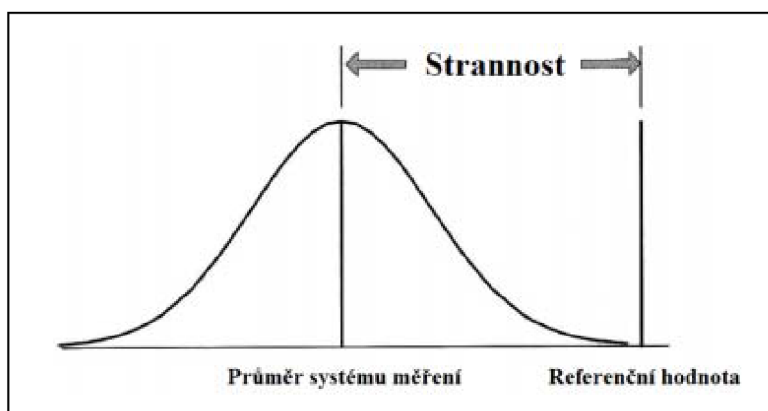
z tohoto důvodu jsou kladeny požadavky na způsobilost procesu $C_p = 2$, $C_{pk} = 1,5$. (Nenadál, 2008)

1.5 Analýza systému měření (MSA)

Management jakosti se nemůže obejít bez naměřených hodnot daného znaku, které jsou základním podkladem pro rozhodování. Správnost daných rozhodování však ovlivňuje kvalita získaných dat, jež jsou závislé na způsobilosti použitého systému měření.

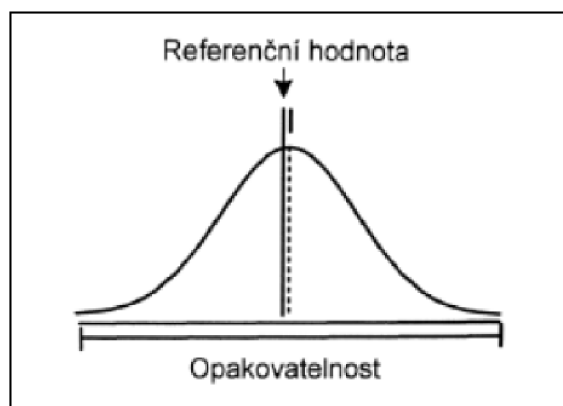
Způsobilost systému měření lze posuzovat na základě několika klíčových statistických vlastností, které jsou charakterizovány níže.

- **Strannost** – je vyjádřena rozdílem aritmetického průměru výsledků opakovaného měření stanoveného znaku jakosti a přijatou referenční hodnotou. Vyjadřuje tedy celkovou systematickou chybu měření.



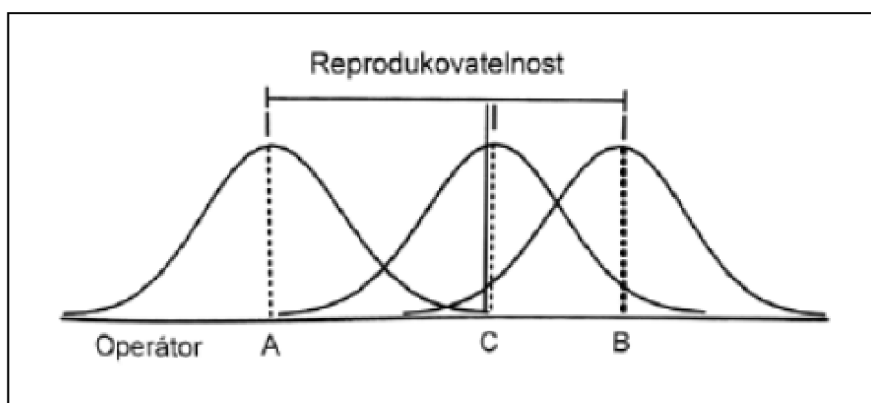
Obrázek 11: Strannost měření (Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2011)

- **Shodnost** – vyjadřuje variabilitu výsledků opakovaného měření daného znaku jakosti. Míra shodnosti je označována jako neshodnost a je vyjádřena směrodatnou odchylkou výsledků měření. Shodnost tedy charakterizuje působení náhodných chyb měření.
- **Opakovatelnost** – vyjadřuje shodnost měření v podmínkách opakovatelnosti. Podmínku opakovatelnost lze charakterizovat tím, že měření provádí stejný operátor stejnou metodou, stejným měřicím zařízením, na stejném místě a v co možná nejkratším časovém intervalu.



Obrázek 12: Opakovatelnost měření (Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2011)

- **Reprodukovatelnost** - představuje variabilitu středních hodnot opakovaných měření stejného znaku jakosti provedených za různých podmínek. Nejčastěji se jedná o měření různými operátory, měření jedním operátorem různými měřidly nebo měření na různých stanovištích. (Nenadál, 2008)



Obrázek 13: Reprodukovatelnost měření (Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2011)

- **Stabilita** – vyjadřuje celkovou variabilitu výsledků měření stejného znaku jakosti v dalším časovém horizontu
- **Linearita** – je dána rozdílem strannosti v očekávaném provozním (měřicím) rozsahu zařízení. Lze ji považovat za změnu strannosti vzhledem k velikosti. (Nenadál, 2008)

Před prvotním použitím systému měření se v praxi často provádí vyhodnocení způsobilosti měřicího prostředku pomocí indexů c_g a c_{gk} .

1.5.1 Metoda hodnocení způsobilosti měřicího prostředku pomocí indexů

c_g , c_{gk} (SPC Ford)

Jedním z hledisek, jak lze hodnotit kvalitu měřidel je hledisko přesnosti. Tato metoda je založená na opakovaném měření etalonu, kterým je samotný výrobek, a následném zjištění rozptylu a porovnání s částí tolerančního pole, které je obvykle 15-20%.

Oba tyto indexy mají podobný princip jako indexy způsobilosti procesu či výrobního zařízení. Porovnávají variabilitu opakovaných měření s určitým podílem šířky tolerančního pole, kde má být systém měření používán. Samotný index C_g zohledňuje jen shodnost měření, oproti tomu index C_{gk} zohledňuje jak shodnost, tak strannost měření. (Plura, 2001).

Veškeré vzorce potřebné pro výpočet obou indexů jsou shrnuty níže:

1) c_g – index způsobilosti měřicího prostředku

$$c_g = \frac{0,2 * T}{6 * s_g}$$

s_g – výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu

2) c_{gk} – kritický index způsobilosti měřicího prostředku

$$c_{gk} = \frac{0,1 * T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 * s_g}$$

T – tolerance měřeného rozměru

x_m – nominální hodnota etalonu, střed tolerance

3) s_g – výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2}$$

4) \bar{x}_g – výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

x_i – výsledek i-tého měření

5) T – tolerance měřeného rozměru

$$T = HMR - DMR$$

HMR – horní mezní rozměr

DMR – dolní mezní rozměr

Pro rozhodnutí o konečné způsobilosti daného měřidla nám bude nápomocna následující tabulka, která obsahuje požadované hodnoty indexů vůči velikosti tolerančního pole.

Tabulka 3: Kritéria způsobilosti indexů c_g a c_{gk}

Verdikt	Velikost tolerance		
	$\leq 20\mu\text{m}$	$> 20\mu\text{m} < 50\mu\text{m}$	$\geq 50\mu\text{m}$
KMZ vyhovuje	$c_g; c_{gk} > 1,00$	$c_g; c_{gk} > 1,14$	$c_g; c_{gk} > 1,33$
KMZ vyhovuje podmíněně	$1,00 \geq c_g; c_{gk} \geq 0,80$	$1,14 \geq c_g; c_{gk} \geq 0,89$	$1,33 \geq c_g; c_{gk} \geq 1,00$
KMZ nevyhovuje	$c_g; c_{gk} < 0,80$	$c_g; c_{gk} < 0,89$	$c_g; c_{gk} < 1,00$

(Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2011)

1.5.2 Metody pro výpočet ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Analýza systému měření může být provedena pomocí různých postupů, které se buď zaměřují pouze na jednu vlastnost, nebo mohou vyhodnotit několik statistických vlastností naráz. Základním vyhodnocením by měla být analýza stability systému měření. Ta je základním předpokladem pro objektivní vyhodnocení dalších statistických vlastností.

V praxi se nejčastěji k analýze systému měření požadují studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, konkrétně metoda průměru a rozpětí.

1.5.3 Metoda průměru a rozpětí GRR

Jak již z názvu napovídá, tato metoda je založena na průměru a rozpětí a využívá se ke zhodnocení ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti v systému měření. Celkovou variabilitu měřicího systému může rozdělit na dvě oddělené složky, opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Postup realizace této metody zahrnutí následující kroky:

- 1) zajistí se výběr $n > 5$ dílů (v ideálním případě 10), které představují skutečné nebo očekávané rozmezí variability procesu a díly se očísloví tak, aby operátoři nemohli tato čísla vidět.
- 2) definuje se počet opakovaných měření 2-10 (v ideálním případě 3)
- 3) definuje se počet operátorů a označí se jako A, B, C (možnost stanovit 2-10)
- 4) operátor A změří počet n dílů v náhodném pořadí a výsledky se zanesou do tabulky
- 5) operátor B a C změří stejných n dílů, aniž by si vzájemně ukazovali čtení a výsledky se opět zanesou do tabulky
- 6) tento cyklus se opakuje při jiném náhodném pořadí měření (Palán, Mergl, 2005)

Po získání veškerých hodnot měření následuje numerické vyhodnocení této metody. Pro výpočet finální hodnoty GRR je třeba následujících výpočtů.

- 1) **Výpočet rozpětí** - prvním krokem je výpočet rozpětí R_{ik} všech naměřených hodnot pro všechny díly. U každého dílu a každého operátora zvlášť se od maximální naměřené hodnoty odečte minimální naměřená hodnota.

$$R_{ik} = |\max(x_{ijk}) - \min(x_{ijk})|$$

x_{ijk} – naměřená hodnota při j -tém měření na i -tém vzorku k -tým operátorem

- 2) **Průměrné rozpětí jednotlivých operátorů** -veškerá vypočtená rozpětí se u jednotlivých operátorů sečtou a vydělí počtem vzorků.

$$\bar{R}_k = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g R_{ik}$$

- 3) **Průměr všech rozpětí** – průměrné rozpětí jednotlivých operátorů se sečte a vydělí jejich počtem

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{R}_k$$

- 4) **Horní regulační mez UCL_R a dolní regulační mez LCL_R**

$$UCL_R = \bar{\bar{R}} * D_4$$

$$LCL_R = \bar{\bar{R}} * D_3$$

$D_{3,4}$ – konstanta závislá na počtu opakování měření.

V případě, že průměrné rozpětí jednoho z operátorů překročilo regulační meze, musí tento operátor měření zopakovat.

- 5) **Aritmetický průměr hodnot naměřených jednotlivými operátory** – u každého dílu a každého operátora zvlášť se vypočítá aritmetický průměr naměřených hodnot.

$$\bar{x}_k = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g x_{ik}$$

- 6) **Diference průměrů** – rozdíl mezi maximálním a minimálním naměřeným průměrem jednotlivými operátory na jednotlivých dílech

$$\bar{X}_{DIFF} = \max(\bar{x}_A, \bar{x}_B, \bar{x}_C) - \min(\bar{x}_A, \bar{x}_B, \bar{x}_C)$$

- 7) **Rozdíl největšího a nejmenší naměřené hodnoty**

$$R_p = \max(x_i) - \min(x_i)$$

- 8) **Opakovatelnost (variabilita zařízení) EV**

$$EV = \bar{R} * K_1$$

$$\%EV = 100 * \frac{EV}{TV} [\%]$$

K_1 – konstanta závislá na počtu měření.

- 9) **Reprodukovatelnost (proměnlivost operátora) AV**

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n * r}\right)}$$

$$\%AV = 100 * \frac{AV}{TV} [\%]$$

K_2 – konstanta závislá na počtu operátorů

- 10) **Opakovatelnost a reprodukovatelnost GRR**

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

$$\%GRR = 100 * \frac{GRR}{TV} [\%]$$

11) Variabilita měřeného dílu PV

$$PV = R_p * K_3$$

$$\%PV = 100 * \frac{PV}{TV} [\%]$$

K_3 – konstanta závislá na počtu měřených dílů.

12) Celková variabilita TV

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

13) Počet tříd ndc

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{GRR}$$

Na základě zjištěné hodnoty GRR lze posoudit, zda je daný systém měření způsobilý či nikoliv. Rozhodnutí o způsobilosti na základě hodnoty GRR je vysvětleno v následující tabulce [Tabulka 4]. (Daimler-Chrysler, General motors, 2011)

Tabulka 4: Kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

GRR	Rozhodnutí	Komentář
> 10 %	Systém měření vyhovuje a jedná se o přijatelný systém měření	Doporučuje se. Lze využít v případě, požaduje-li se zpřísněná regulace procesu
10 – 30 %	Systém měření může být vyhovující, ale bude záležet na konkrétní aplikaci	Rozhodnutí by mělo vycházet z důležitosti měření aplikace, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, z nákladů na přepracování nebo opravu. Mělo by být schváleno zákazníkem
< 30 %	Systém měření je považován za nepřijatelný	Veškeré úsilí se má vynaložit na zlepšení systému měření. Tento stav by měl být řešen použitím vhodné strategie měření, například použitím průměrného výsledku několika odečtů u stejné charakteristiky dílu s cílem redukovat výslednou variabilitu měření

(Zdroj: Česká společnost pro jakost, 2011)

2 Analýza současného stavu

2.1 Představení společnosti

Společnost XYZ byla založena po roce 2000. Již od počátku je hlavním předmětem podnikání výroba produktů pomocí technologie třískového obrábění.

Dle kategorizace SME (small and medium Enterprise), definovanou Evropskou unií, se jedná o střední podnik.

Za největší konkurenční výhodu společnost považuje rychlost a flexibilitu, které společnost dosahuje především díky nízké byrokracii a plochým organizačním strukturám.

2.1.1 Výrobní program

Jak již bylo zmíněno v předchozí části, hlavním předmětem podnikání je výroba produktů pomocí technologie třískového obrábění. Jedná se o různé druhy výrobků, které jsou dodávány k zákazníkům společnosti.

Společnost XYZ působí jak na domácím trhu, tak na zahraničních trzích.

2.1.2 Součást

Po dohodě s vedením společnosti se implementace statistické regulace procesu bude vztahovat na výrobek nového typu tělesa pro regulační ventil. Jedná se o nově vznikající výrobu. Hlavním důvodem zavedení SPC konkrétně na tento výrobek byl požadavek zákazníka, pro kterého je daný znak jakosti velice důležitý pro funkčnost finálního výrobku. Tento výrobek se bude vyrábět na automatických CNC soustruzích od německé společnosti Scherer Feinbau.

2.2 Volba znaku jakosti a popis výrobního procesu

Jedním z hlavních cílů společnosti je vysoká úroveň spokojenosti zákazníků, kterou samozřejmě ovlivňuje kvalita dodaných produktů. Je tedy nutné výrobní procesy řídit takovým způsobem, aby byly včas zjištěny případné problémy a následně bylo implementováno nápravné opatření, které zamezí výrobě neshodných produktů a

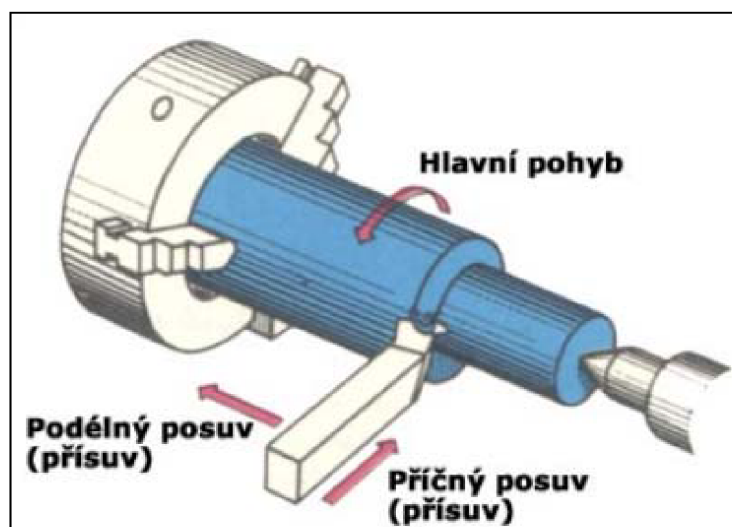
především odeslání takovýchto produktů směrem k zákazníkovi. Toho by mělo být docíleno zavedením SPC do procesu třískového obrábění pomocí technologie soustružení.

Při samotném procesu soustružení dochází k obrábění vnějších a vnitřních průměrů výrobku. Po diskuzi s finálním zákazníkem a představiteli společnosti bude zvolený znak jakosti vnitřní průměr tělesa ventilu [Obrázek 15], který má v konečné fázi velký vliv na samotnou funkci výrobku.

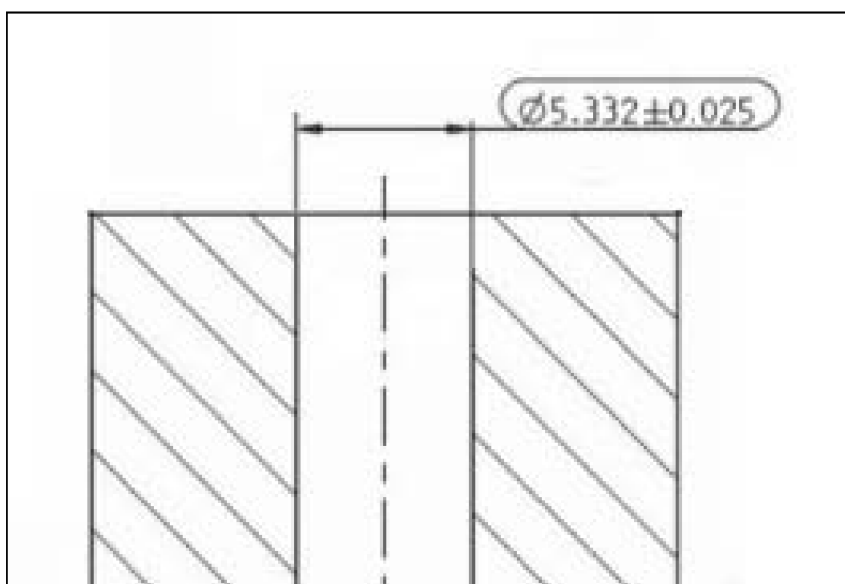
Technologie soustružení se vyznačuje tím, že se při obrábění výrobek otáčí, zatímco nástroj se obvykle pohybuje přímočaře. Jeho pracovní posuv je tedy buď ve směru osy obrobku, poté hovoříme o podélném posuvu, nebo v kolmém směru na osu obrobku a poté hovoříme o příčném posuvu.

Touto technologií lze obrábět vnitřní a vnější válcové nebo kuželovité plochy, tvarové plochy i obecné plochy jako například vačky. Na soustruhu je možné vrtat, řezat závity, vystružovat, soustružit rovinné i kulové plochy.

Kromě toho na nich lze konat i zvláštní práce jako vroubkování, dokončovací operace a pomocí přídatného zařízení lze brousit i frézovat.



Obrázek 14: Princip soustružení (Zdroj: www.osu.cz)



Obrázek 15: Zvolený znak jakosti – vnitřní průměr tělesa (Zdroj: vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

2.3 Současná podoba ověřování velikosti průměrů

Správnost geometrie vnitřních případně vnějších průměrů je v současné době pro jednotlivé druhy výrobků ověřována v předepsaných kontrolních intervalech, kdy měření podstupuje vždy určitý počet výrobků dle kontrolního plánu.

Výsledné naměřené hodnoty jsou zaznamenávány a uchovávány v příslušných tabulkách. Kritériem pro hodnocení, zda je daný výrobek v pořádku, je rozmezí tolerančního pole dané výrobním výkresem.

V případě, že se jedná o funkčně nebo bezpečnostně důležitý rozměr, jsou výrobky 100% kontrolovány za pomoci kalibrů nebo měřidel.

Správná funkce měřidel popřípadě kalibrů je zajišťována pomocí pravidelné kalibrace.

Aktuálně není ve společnosti XYZ definován postup pro pravidelné určování míry variability a střední hodnoty procesu. Naměřené hodnoty nejsou tedy pravidelně statisticky vyhodnocovány a k případnému zásahu do procesu tedy dochází až tehdy, nachází-li se naměřené hodnoty mimo toleranční meze. V tomto případě proces již produkuje neshodné dílce a vznikají tudíž náklady spojené s touto nekvalitou.

3 Vlastní návrhy řešení

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, zavedení statistické regulace procesu bude implementováno pro výrobek tělesa regulačního ventilu, přičemž znak jakosti, tedy regulovanou veličinu bude představovat vnitřní průměr tělesa.

Po stanovení znaku jakosti je nutné v rámci první přípravné fáze naplánovat sběr dat, která budou následně vyhodnocena.

3.1 Plánovaný sběr dat

V tomto kroku budeme systematicky pozorovat zvolený znak jakosti, který je vnitřní průměr tělesa. Sběr a zaznamenávání dat bude v první fázi pro vyhodnocení stability procesu prováděno na 3D měřicím zařízení od společnosti Zeiss. Samotné výrobky budou operátorem odebrány až po dokončení celého procesu obrábění na CNC stroji.

V druhé fázi bude měření prováděno přímo v provozu pomocí definovaného měřidla a záznamy budou automaticky přenášeny do PC, kde budou za pomoci příslušného softwaru zpracovány a bude vyhodnocena stabilita a způsobilost daného procesu. Tímto způsobem bude operátor ihned informován o aktuálním stavu procesu. Avšak před samotným zavedením měřidla do provozu bude nejprve nutné provést analýzu způsobilosti měřidla a zároveň i analýzu způsobilosti systému měření.

3.2 Hodnocení prvotní stability a způsobilosti procesu

Cílem je tedy statisticky řídit proces soustružení vnitřního průměru tělesa viz [Obrázek 15]. Po plánovaném sběru dat je nutné provést testy, které nám určí, zda je proces soustružení vnitřního průměru stabilní.

Pro prvotní vyhodnocení nám poslouží 60 naměřených hodnot, které byly získány z měření na 3D měřicím zařízení od společnosti Zeiss. Hlavním důvodem, proč bylo provedeno měření na tomto zařízení je ten, že má velmi vysokou přesnost měření a tudíž získáme přesné hodnoty pro testy stability a schopnosti procesu. Naměřené hodnoty jsou znázorněny v následující tabulce [Tabulka 5].

Tabulka 5: Naměřené hodnoty z 3D měřicího zařízení

číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]
1	5,324	21	5,337	41	5,327
2	5,328	22	5,340	42	5,328
3	5,326	23	5,330	43	5,329
4	5,325	24	5,329	44	5,330
5	5,330	25	5,334	45	5,332
6	5,328	26	5,329	46	5,330
7	5,328	27	5,328	47	5,331
8	5,330	28	5,331	48	5,332
9	5,332	29	5,333	49	5,332
10	5,336	30	5,336	50	5,333
11	5,334	31	5,334	51	5,328
12	5,327	32	5,341	52	5,330
13	5,323	33	5,338	53	5,332
14	5,337	34	5,323	54	5,342
15	5,330	35	5,326	55	5,334
16	5,332	36	5,326	56	5,335
17	5,323	37	5,328	57	5,327
18	5,339	38	5,333	58	5,334
19	5,330	39	5,321	59	5,340
20	5,329	40	5,323	60	5,337

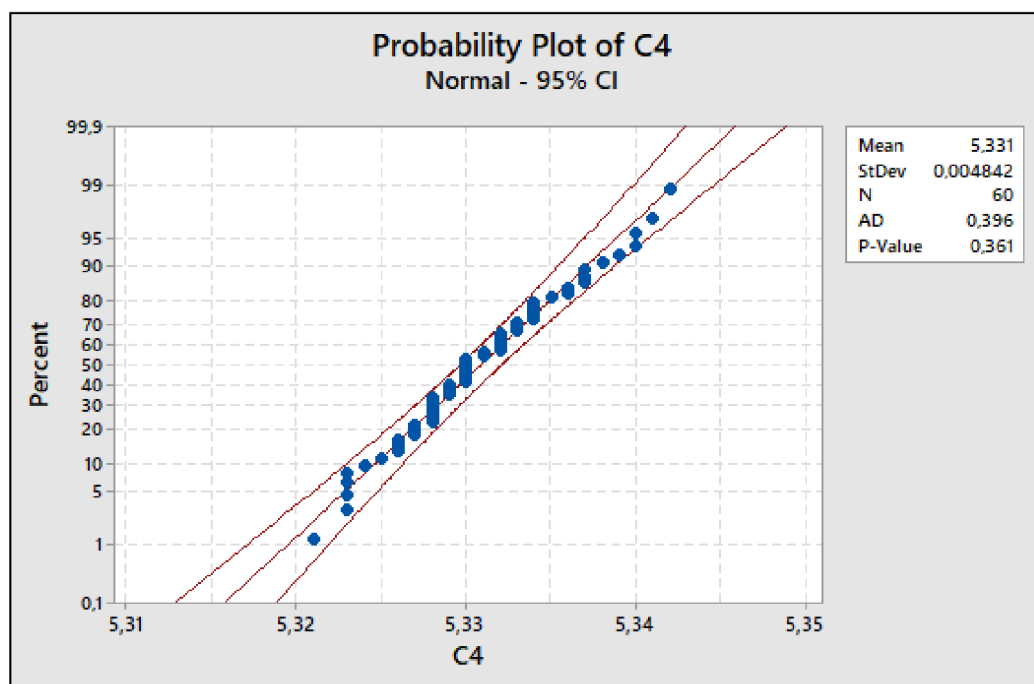
(Zdroj:vlastní zpracování)

Pro vyhodnocení stability procesu soustružení byl použit statistický software Minitab 18, pomocí kterého byl proveden test normality rozdělení, dále byl zhotoven histogram, a byly vytvořeny regulační diagramy. V poslední řadě byly určeny indexy způsobilosti procesu.

3.2.1 Test normality rozdělení

Normální rozdělení pravděpodobnosti je spojité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje řadu veličin. Hodnoty těchto veličin se symetricky shlukují kolem střední hodnoty a vytvářejí zde charakteristický tvar Gaussovy křivky. Jedná se o zvonovitý tvar, který souvisí s tím, že variabilita normálního rozdělení kolem střední hodnoty je dána dodatečným vlivem mnoha „slabě působících faktorů“. S tímto rozdělením se často setkáváme u řady biologických znaků, jakými jsou například výška člověka, délka končetin a podobně. (Zdroj: portal.matematickabiologie.cz)

V následujícím grafu jsou na ose x znázorněny všechny hodnoty sledovaného znaku jakosti, tedy velikost vnitřního průměru tělesa. Tyto naměřené hodnoty jsou zde seřazené od nejmenšího po největší. Na ose y jsou vynášeny hodnoty empirické distribuční funkce vynášené na nelineární stupnici.



Graf 1: Prvotní test normality rozdělení (Zdroj: vlastní zpracování)

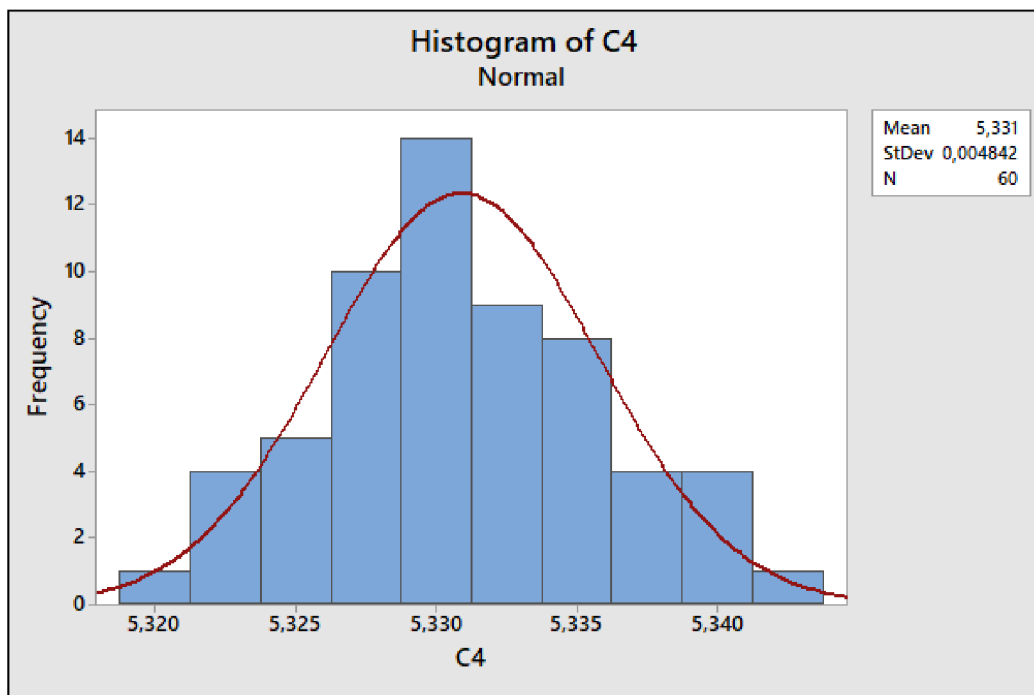
Při pohledu na jednotlivé body není patrné, že by vykazovali nelineární trend. Všechny leží v blízkosti lineární přímky.

Samotným výstupem tohoto testu je p-hodnota, která je hlavním indikátorem k posouzení normality rozdělení procesu. Pokud je tato hodnota nižší než hladina významnosti α , je testovaná hypotéza na hladině významnosti α zamítnuta.

Na základě výstupu ze softwaru Minitab 18, je p-hodnota rovna 0,361. Hladina významnosti α je v tomto případě 0,05. P-hodnota je tedy vyšší než hladina významnosti α , proto hypotéza o normalitě rozdělení není zamítnuta a hodnoty procesu vykazují na 95% normální rozdělení.

3.2.2 Histogram

Dalším nástrojem pro stanovení stability procesu je histogram, pomocí něhož lze zjistit typ rozdělení sledovaného znaku jakosti a i samotné chování procesu. Na základě jeho tvaru je také možné odhadnout schopnost procesu.



Graf 2: Histogram (Zdroj: vlastní zpracování)

Na základě tvaru histogramu předpokládám, že hodnoty sledovaného znaku jakosti, kterým je vnitřní průměr tělesa, vykazují normální rozdělení, jelikož je tvar histogramu téměř totožný s tvarem Gaussovy křivky. Na samotný proces by měli tedy působit pouze náhodné vlivy.

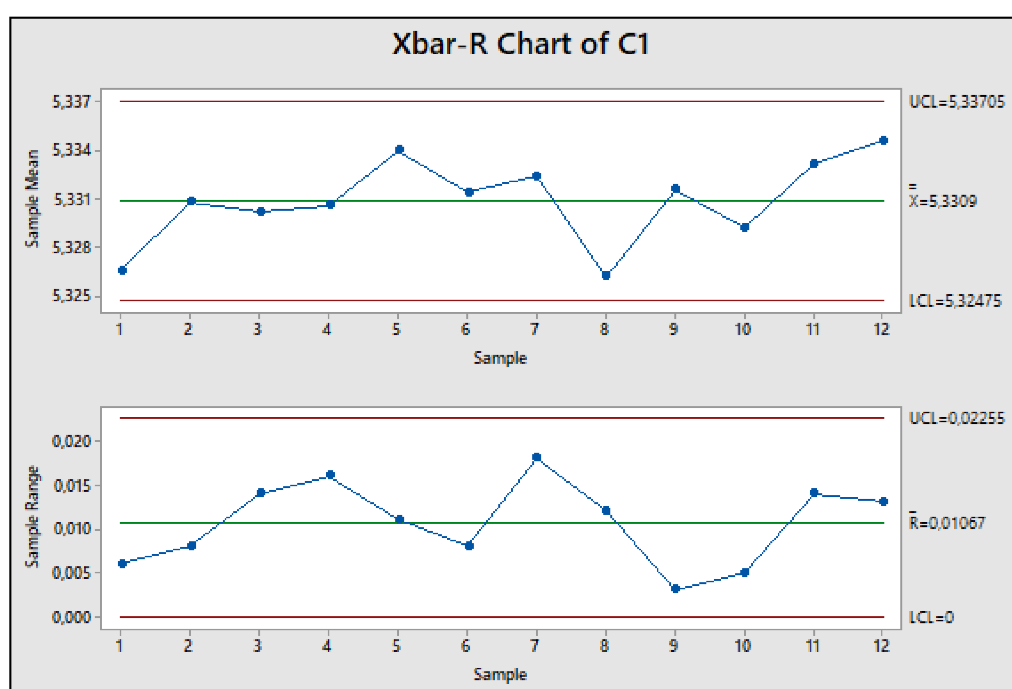
3.2.3 Regulační diagram

Za pomoci regulačních diagramů je možné sledovat stabilitu výrobního procesu v dlouhodobém časovém horizontu. V této fázi budeme analyzovat nejprve data pořízená z měření na 3D měřicím zařízení. Teprve v druhé fázi bude sběr dat probíhat za provozu a automaticky bude zaznamenávána a vyhodnocována jeho stabilita.

Pro daný proces byl zvolen z následujících důvodů regulační diagram pro výběrové průměry a výběrová rozpětí:

- znak jakosti vnitřní průměr tělesa je měřitelný
- velikost jednotlivých podskupin byla stanovena na 5

Získaná data byla zpracovávána ve statistickém softwaru Minitab 18, který z daných hodnot určil velikost centrální linie (CL) a následně i velikost horní a dolní regulační meze (UCL a LCL). Tyto dvě hraniční linie určují oblast, v níž se nachází s pravděpodobností 99,73% hodnoty zvoleného znaku jakosti.



Graf 3: Regulační diagram \bar{x} , R (Zdroj: vlastní zpracování)

Po sestavení regulačního diagramu je následně nutné ověřit, zda na daný proces působí opravdu pouze náhodné vlivy. To provedeme pomocí testu vymezených příčin.

- 1) *Jedna z hodnot leží mimo regulační meze.* Ve většině případů se jedná o chybné měření nebo odlehlou hodnotu procesu. Pokud se opakuje pouze na jedné straně, může jít o asymetrické rozdělení. Pokud se ovšem opakuje na obou stranách regulačních mezí, může jít o zvýšení nestability procesu nebo rozptylu dat.

- 2) *9 po sobě jdoucích hodnot je na stejné straně od centrální linie.* Tento jev bývá nejčastěji způsoben snížením rozptylu či posunutím střední hodnoty.
- 3) *6 po sobě jdoucích hodnot monotónně roste či klesá.* Zde může jít o lineární trend způsobený opotřebením nebo výpadkem.
- 4) *14 hodnot v řadě za sebou alternuje.* Nestabilní proces.
- 5) *2 ze 3 hodnot se nachází mimo interval $\pm 2\sigma$.* Jedná se o varování před potencionálním překročením regulačních mezí.
- 6) *4 z 5ti po sobě jdoucích hodnot se nachází v oblasti mimo interval $\pm \sigma$.* Jedná se o varování před potencionálním překročením regulačních mezí. S největší pravděpodobností posunutí střední hodnoty.
- 7) *15 hodnot v řadě za sebou se nachází v oblasti $\pm \sigma$.* Nejspíše došlo ke snížení variability mezi podskupinami. Může se jednat o vymyšlená data
- 8) *Ani jedna z 8mi hodnot se nenachází v oblasti $\pm \sigma$.* Možné zvýšení variability mezi podskupinami. (Zdroj: ČSN ISO 8258:1991)

Po prověření jednotlivých bodů testu vymežitelných příčin můžeme konstatovat, že žádný z bodů nebyl ve výše uvedeném regulačním grafu nalezen a z toho důvodu můžeme daný proces považovat za stabilní. Je tedy statisticky zvládnutý a ovlivňují jej pouze náhodné příčiny.

Proces soustružení vnitřního průměru tělesa je tedy statisticky stabilní. V dalším kroku bude nutno provést vyhodnocení způsobilosti procesu pomocí indexů způsobilosti. Díky této analýze bude zjištěno, jaká je rezerva mezi regulačními mezemi a technickými tolerancemi definovanými výrobním výkresem. Výsledky indexů způsobilosti jsou nesmírně zajímavé pro zákazníka, který díky tomu zjistí, jak způsobilý tento proces reálně je.

3.2.4 Hodnocení způsobilosti procesu

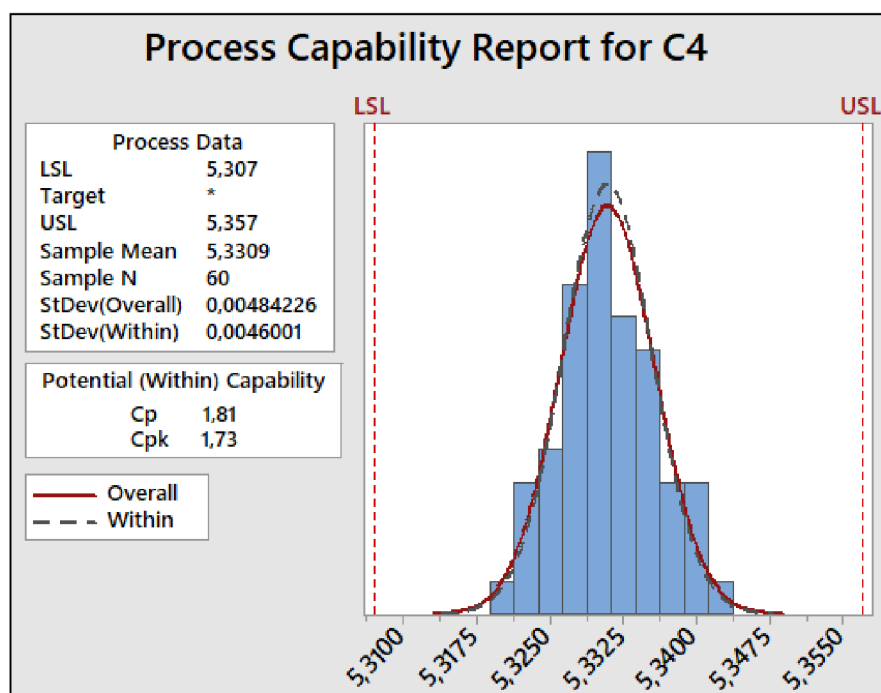
Jak již bylo zmíněno v teoretickém východisku této diplomové práce, způsobilost procesu znamená schopnost procesu trvale dosahovat definovaná kritéria kvality, v tomto případě tedy vnitřního průměru tělesa. Způsobilost se vyjadřuje kvantitativně pomocí indexů způsobilosti.

Proces soustružení vnitřního průměru, který má být statisticky řízen, splňuje primární podmínky pro posouzení způsobilosti:

- 1) Proces je statisticky zvládnutý
- 2) Znak jakosti (vnitřní průměr) vykazuje normální rozdělení

Pro posouzení způsobilosti procesů jsem zvolil indexy C_p a C_{pk} . Požadavek zákazníka a současně i vedení společnosti je, aby index způsobilosti $C_p \geq 1,67$ a současně $C_{pk} \geq 1,67$. V případě, že proces dosáhne těchto požadovaných hodnot obou indexů, bude považován za způsobilý.

Vyhodnocení indexů způsobilosti bylo provedeno pomocí softwaru Minitab 18, jak můžeme vidět na následujícím obrázku [Obrázek 16].



Obrázek 16: Způsobilost procesu (Zdroj: vlastní zpracování)

- 1) **Index způsobilosti C_p :** Hodnota tohoto indexu způsobilosti je v tomto případě 1,81. Z pohledu tohoto indexu můžeme tedy proces považovat za způsobilý.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{5,357 - 5,307}{6 * 0,0046001} = \mathbf{1,81}$$

2) **Index způsobilosti C_{pk}** : Hodnota tohoto indexu způsobilosti je v tomto případě 1,73, z pohledu tohoto indexu můžeme tedy proces považovat za způsobilý

$$C_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} = \frac{5,357 - 5,3309}{3 * 0,0046001} = 1,89$$

$$C_{pkL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} = \frac{5,3309 - 5,307}{3 * 0,0046001} = 1,73$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\} = \mathbf{1,73}$$

Oba indexy způsobilosti odpovídají požadovaným hodnotám a z tohoto důvodu lze proces považovat za způsobilý.

Je možné tedy přejít k další fázi, kterou bude implementace měřicí a vyhodnocovací stanice, která bude sloužit pro statistickou regulaci procesu přímo v provozu.

3.3 Implementace měřicí a vyhodnocovací stanice do provozu

Na základě výsledků z předchozí kapitoly můžeme tedy považovat proces soustružení za statisticky stabilní, způsobilý a vyhovuje požadavkům zákazníka. Nicméně do této chvíle probíhalo měření a i samotné vyhodnocení mimo samotnou výrobu.

Dalším krokem tedy bude implementace statistického řízení procesu přímo do provozu. K tomu bude nutné nejprve vybrat a vyhodnotit schopnost konkrétního měřidla a měřicího systému a dále také určit vhodný software, který bude výsledky z měřicího zařízení vyhodnocovat a informovat pracovníka o aktuálním stavu procesu.

3.3.1 Výběr měřidla

Po dohodě s managerem výroby a zodpovědnými pracovníky byl vybrán a zakoupen dutinoměr od společnosti Bowers. Jedná se o digitální dutinoměr XT3 s nástavcem pro měření průměrů v rozsahu 5 až 6 mm, což je pro náš znak jakosti postačující. Měřidlo má rozlišení 0,001mm a také umožňuje bezdrátový přenos dat z pomoci bluetooth. Před zavedení měřidla do výroby bude nutné provést hodnocení způsobilosti měřicího zařízení pomocí indexů c_g a c_{gk} a provést analýzu měřicího systému.



Obrázek 17: Digitální dutinoměr Bowers XT3 (Zdroj: vlastní zpracování)

3.3.2 Hodnocení způsobilosti dunitoměru Bowers XT3

Celá zkouška a vyhodnocení indexů bude provedena následujícím způsobem. Nejprve se zvolí etalon s určitou referenční hodnotou, která by měla být blízka středu pole tolerance. Pro tyto účely byl vybrán výrobek s vnitřním průměrem 5,332mm, který byl již přeměřen na 3D měřicím zařízení od společnosti Zeiss v rámci hodnocení původní stability procesu.

Na tomto etalonu bude následně probíhat měření. Obvykle se provádí 50 měření, avšak tento počet může být snížen až na 25, přičemž při každém měření musí být etalon vyndán a opět vložen do měřidla. Pro hodnocení způsobilosti bylo zvoleno 50 měření.

Veškerá měření bude provádět operátor, který byl vybrán po dohodě s managerem výroby. Všechna měření budou provedena v krátkém časovém sledu v měřicí laboratoři, kde je stabilní udržovaná teplota.

Naměřené výsledky vybraným operátorem znázorňuje následující tabulka [Tabulka 6].

Tabulka 6: Výsledky měření v rámci hodnocení způsobilosti měřícího prostředku

číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]
1	5,332	26	5,333
2	5,333	27	5,332
3	5,333	28	5,333
4	5,333	29	5,333
5	5,333	30	5,332
6	5,332	31	5,332
7	5,331	32	5,332
8	5,331	33	5,332
9	5,333	34	5,331
10	5,332	35	5,331
11	5,332	36	5,333
12	5,333	37	5,332
13	5,332	38	5,332
14	5,332	39	5,333
15	5,332	40	5,332
16	5,331	41	5,332
17	5,332	42	5,332
18	5,333	43	5,333
19	5,332	44	5,333

20	5,333	45	5,333
21	5,332	46	5,332
22	5,332	47	5,332
23	5,332	48	5,331
24	5,333	49	5,332
25	5,332	50	5,332

(Zdroj: vlastní zpracování)

Po provedeném měření byly provedeny výpočty nutné k určení obou indexů způsobilosti.

1) Tolerance měřeného rozměru

$$T = HMR - DMR = 5,357 - 5,307 = 0,05$$

2) \bar{x}_g – výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{50} * 266,611 = 5,33222$$

3) s_g – výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etanolu

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{49} * 0,00002058} = 0,000648074$$

4) c_g – index způsobilosti měřícího prostředku

$$c_g = \frac{0,2 * T}{6 * s_g} = \frac{0,2 * 0,05}{6 * 0,000648074} = 2,57$$

5) c_{gk} – kritický index způsobilosti měřícího prostředku

$$c_{gk} = \frac{0,1 * T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 * s_g} = \frac{0,1 * 0,05 - |5,33222 - 5,332|}{3 * 0,000648074} = 2,46$$

Hodnoty obou indexů způsobilosti měřicího prostředku jsou větší než požadovaná hodnota 1,33. Z tohoto důvodu můžeme tedy dunitoměr Bowers XT3 považovat za způsobilý a můžeme tedy pokračovat analýzou systému měření (MSA).

3.3.3 Analýza systému měření (MSA)

Úkolem analýzy měřicího systému je prověřit způsobilost systému měření v běžných podmínkách. Tato analýza zkoumá několik primárních charakteristik měřicího systému, mezi nich patří například stabilita, linearita, strannost, opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Společnost XYZ používá k analýze měřicího systému metodu průměru a rozpětí, které je též v praxi obecně nejpoužívanější. Je schopna variabilitu systému měření rozdělit na opakovatelnost a reprodukovatelnost.

Plán metody průměru a rozpětí (GRR)

Před samotným sběrem dat je nutné naplánovat průběh experimentu.

- 1) *Stanovení počtu dílů k měření* – minimálně by mělo být měřeno 5 výrobků, pro analýzu systému měření bylo zvoleno 10 výrobků
- 2) *Stanovení počtu opakování měření* – počet opakovaných měření by měl být v rozmezí od 2 do 10. V tomto případě byla zvolena 3 opakovaná měření
- 3) *Stanovení počtu operátorů* – byli zvoleni 3 operátoři. Je to z toho důvodu, že se jedná o třísměnný provoz, kde se všichni 3 operátoři budou střídat
- 4) *Stanovení postupu měření* – každý z operátorů bude měřit postupně za sebou 3x 10 výrobků. Začne tedy operátor A, který změří 10 výrobků, následně operátor B a C a poté se tento sled bude ještě 2x opakovat. Výrobky budou označeny a seřazeny náhodně, jak je znázorněno v níže uvedených třech tabulkách. Aby bylo zajištěno, že operátor nebude vědět, o jaký kus se jedná, budou díly označeny pomocí řecké abecedy. Pořadí jednotlivých dílů určených k měření je znázorněno v následujících tabulkách [Tabulka 7, Tabulka 8, Tabulka 9].

Tabulka 7: Pořadí prvního měření v rámci GRR

	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3
číslo měřeného výrobku	8	9	9
	5	7	10
	4	3	7
	9	5	1
	6	8	5
	2	4	3
	7	1	8
	10	6	2
	3	10	6
	1	2	4

(Zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 8: Pořadí druhého měření v rámci GRR

	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3
číslo měřeného výrobku	5	4	4
	2	2	2
	6	8	8
	4	10	10
	10	3	3
	9	9	9
	8	6	6
	3	5	5
	7	7	7
	1	1	1

(Zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 9: Pořadí třetího měření v rámci GRR

	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3
číslo měřeného výrobku	7	6	8
	9	5	10
	5	3	1
	4	2	9
	1	7	3
	2	4	6
	6	10	5
	10	1	4
	8	9	2
	3	8	7

(Zdroj: vlastní zpracování)

Vlastní analýza systému měření metodou průměru a rozpětí (GRR)

Výsledky měření získané od operátorů A, B a C jsou znázorněny v následujících třech tabulkách. Dále je zde již ke každému kusu vypočten rozpětí a průměrná hodnota měření.

Tabulka 10: Výsledky měření operátora A

číslo dílu	měření			R_A	\bar{x}
	první	druhé	třetí		
1	5,321	5,320	5,321	0,001	5,321
2	5,326	5,327	5,328	0,002	5,327
3	5,333	5,332	5,333	0,001	5,333
4	5,333	5,333	5,333	0,000	5,333
5	5,332	5,333	5,332	0,001	5,332
6	5,334	5,333	5,334	0,001	5,334
7	5,335	5,334	5,335	0,001	5,335
8	5,335	5,335	5,335	0,000	5,335
9	5,337	5,339	5,338	0,002	5,338
10	5,339	5,339	5,340	0,001	5,339

(Zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 11: Výsledky měření operátora B

číslo dílu	měření			R _A	\bar{x}_A
	první	druhé	třetí		
1	5,320	5,320	5,319	0,001	5,320
2	5,328	5,328	5,327	0,001	5,328
3	5,333	5,332	5,333	0,001	5,333
4	5,333	5,332	5,333	0,001	5,333
5	5,334	5,334	5,333	0,001	5,334
6	5,335	5,335	5,335	0,000	5,335
7	5,335	5,334	5,335	0,001	5,335
8	5,335	5,336	5,336	0,001	5,336
9	5,339	5,339	5,338	0,001	5,339
10	5,339	5,340	5,340	0,001	5,340

(Zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 12: Výsledky měření operátora C

číslo dílu	měření			R _A	\bar{x}_A
	první	druhé	třetí		
1	5,321	5,319	5,319	0,002	5,320
2	5,327	5,326	5,326	0,001	5,326
3	5,332	5,332	5,333	0,001	5,332
4	5,333	5,332	5,332	0,001	5,332
5	5,334	5,332	5,332	0,002	5,333
6	5,334	5,334	5,336	0,002	5,335
7	5,334	5,334	5,335	0,001	5,334
8	5,336	5,334	5,335	0,002	5,335
9	5,338	5,339	5,338	0,001	5,338
10	5,340	5,340	5,340	0,000	5,340

(Zdroj: vlastní zpracování)

Na základě těchto dat vypočteny všechny potřebné charakteristiky k určení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému GRR.

1) Průměrné rozpětí jednotlivých operátorů

$$\bar{R}_k = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g R_{ik}$$

Operátor A:

$$\overline{R}_A = \frac{1}{10} * 0,01 = 0,001$$

Operátor B:

$$\overline{R}_B = \frac{1}{10} * 0,009 = 0,0009$$

Operátor C:

$$\overline{R}_C = \frac{1}{10} * 0,013 = 0,0013$$

2) Průměr všech rozpětí

$$\overline{\overline{R}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \overline{R}_k = \frac{1}{3} * 0,0032 = 0,0010667$$

3) Horní regulační mez UCL_R

$$UCL_R = \overline{\overline{R}} * D_4 = 0,0010667 * 2,574 = 0,0027456$$

D_4 – konstanta závislá na počtu opakování měření. V případě tří měření je hodnota této konstanty 2,58

4) Aritmetický průměr hodnot naměřených jednotlivými operátory

$$\overline{x}_k = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g x_{ik}$$

Operátor A:

$$\overline{x}_A = \frac{1}{10} * 53,3263 = 5,33263$$

Operátor B:

$$\overline{x}_B = \frac{1}{10} * 53,330 = 5,3330$$

Operátor C:

$$\bar{x}_C = \frac{1}{10} * 53,3257 = 5,33257$$

14) Diference průměrů

$$\bar{X}_{DIFF} = \max(\bar{x}_A, \bar{x}_B, \bar{x}_C) - \min(\bar{x}_A, \bar{x}_B, \bar{x}_C) = 5,3330 - 5,33257 = 0,00043$$

15) Rozdíl největšího a nejmenšího průměru dílu

$$R_p = \max(x_i) - \min(x_i) = 0,021$$

16) Opakovatelnost (variabilita zařízení) EV

$$EV = \bar{R} * K_1 = 0,0010667 * 0,5908 = 0,00063$$

$$\%EV = 100 * \frac{EV}{TV} = \frac{0,00063}{0,00664} = 9,49\%$$

K_1 – konstanta závislá na počtu měření. V případě tří měření je hodnota této konstanty 0,5908.

17) Reprodukovatelnost (proměnlivost operátora) AV

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n * r}\right)} = \sqrt{(0,00043 * 0,5231)^2 - \left(\frac{0,00063^2}{10 * 3}\right)}$$

$$= 0,0001953$$

$$\%AV = 100 * \frac{AV}{TV} = \frac{0,0001953}{0,00664} = 2,94\%$$

K_2 – konstanta závislá na počtu operátorů. V případě tří operátorů je hodnota této konstanty 0,5231.

18) Opakovatelnost a reprodukovatelnost GRR

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{0,00063^2 + 0,0001953^2} = 0,00066$$

$$\%GRR = 100 * \frac{GRR}{TV} = 100 * \frac{0,00066}{0,00664} = 9,93\%$$

Vzhledem k tomu, že GRR je menší než 10%, můžeme daný systém měření považovat za způsobilý a jeho použití je možno doporučit.

19) Variabilita měřeného dílu PV

$$PV = R_p * K_3 = 0,021 * 0,3146 = 0,0066$$

$$\%PV = 100 * \frac{PV}{TV} = 100 * \frac{0,0066}{0,00664} = 99,5\%$$

K_3 – konstanta závislá na počtu měřených dílů. V případě deseti měřených dílů je hodnota této konstanty 0,3146.

20) Celková variabilita TV

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = \sqrt{0,00066^2 + 0,0066^2} = 0,00664$$

21) Počet tříd ndc

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{GRR} = 1,41 * \frac{0,0066}{0,00066} = 14$$

Systémem měření lze rozlišit 14 kategorií. Citlivost systému měření je tedy také v pořádku, jelikož minimální počet dřív musí být větší nebo roven 5.

Závěr:

Systém měření lze na základě MSA analýzy metodou GRR považovat za způsobilý, neboť výsledná hodnota GRR vyšla v tomto případě 9,93%. Zároveň i citlivost systému měření je dobrá, jelikož systém měření dokáže spolehlivě rozlišit celkem 14 tříd.

3.3.4 Rozšíření softwaru

Po výběru měřidla a prověření jeho způsobilosti bylo zapotřebí definovat software, který bude naměřená data z měřicího zařízení zpracovávat a následně informovat pracovníka o stavu procesu.

V současné době používá společnost XYZ k řadě svých aktivit různé moduly softwaru od společnosti PalstatCAQ. Za dobu jejich používání jsou uživatelé s tímto softwarem velice spokojeni a i z těchto důvodů byl pro účely statistické kontroly procesu vybrán tento software. Pro účely statistické kontroly procesu byl tedy zakoupen nový modul pod názvem „SPC“.

tyto náměry automaticky zpracovány v modulu SPC od společnosti PalstatCAQ a operátor bude ihned informován o aktuálním stavu procesu.

Tímto postupem bylo operátory za provozu změřeno celkem 200 výrobků v reálném čase. Následně bylo opět nutné posoudit normalitu rozdělení, vytvořit a posoudit histogram a regulační diagram a v neposlední řadě vyhodnotit dlouhodobou způsobilost procesu. Všechna tato vyhodnocení byla provedena za pomoci modulu „SPC“, který je vyhodnocoval postupně v reálném čase.

Naměřené hodnoty znaku jakosti během měření za provozu znázorňují následující tabulky [Tabulka 13, Tabulka 14].

Tabulka 13: Naměřené hodnoty za provozu 1-99

číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]
1	5,337	34	5,329	67	5,340
2	5,327	35	5,332	68	5,329
3	5,323	36	5,337	69	5,337
4	5,330	37	5,340	70	5,334
5	5,334	38	5,327	71	5,331
6	5,332	39	5,334	72	5,333
7	5,339	40	5,335	73	5,336
8	5,323	41	5,334	74	5,332
9	5,329	42	5,328	75	5,330
10	5,330	43	5,332	76	5,329
11	5,341	44	5,342	77	5,335
12	5,334	45	5,330	78	5,332
13	5,338	46	5,333	79	5,337
14	5,326	47	5,331	80	5,334
15	5,323	48	5,330	81	5,326
16	5,334	49	5,332	82	5,333
17	5,340	50	5,329	83	5,322
18	5,337	51	5,336	84	5,333
19	5,329	52	5,327	85	5,321
20	5,330	53	5,339	86	5,328
21	5,333	54	5,336	87	5,331
22	5,327	55	5,335	88	5,336
23	5,326	56	5,329	89	5,331
24	5,334	57	5,328	90	5,333
25	5,330	58	5,325	91	5,337
26	5,321	59	5,330	92	5,332
27	5,328	60	5,332	93	5,318
28	5,326	61	5,332	94	5,327
29	5,333	62	5,339	95	5,328
30	5,322	63	5,323	96	5,330
31	5,330	64	5,330	97	5,333
32	5,328	65	5,332	98	5,327
33	5,327	66	5,330	99	5,336

(Zdroj: vlastní zpracování)

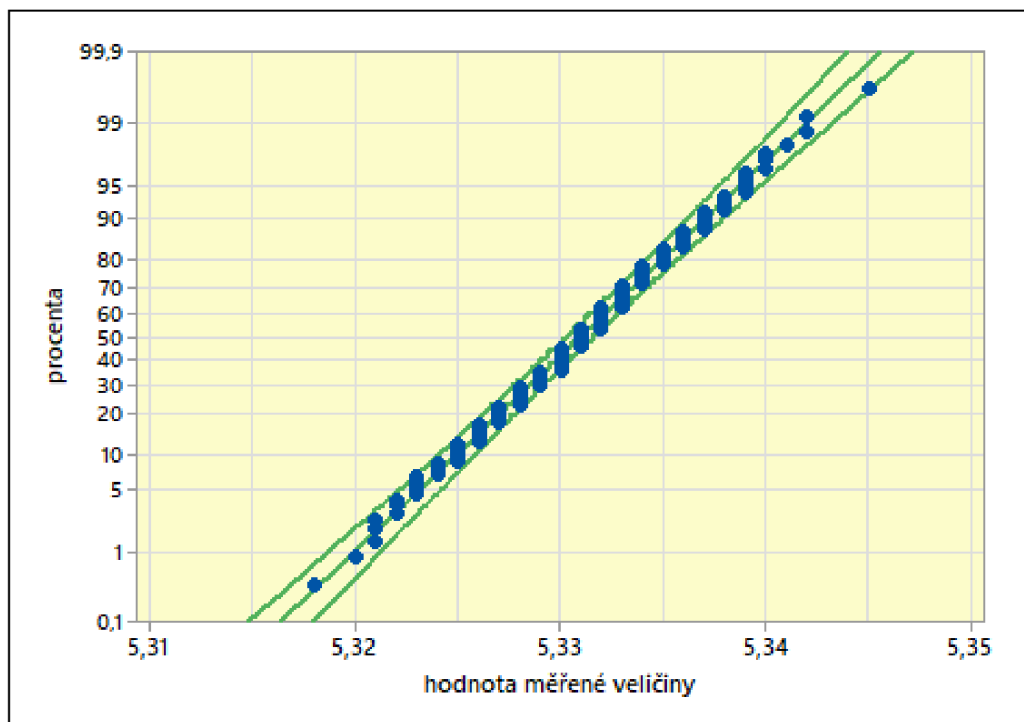
Tabulka 14: Naměřené hodnoty za provozu 100-200

číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]	číslo měření	hodnota [mm]
100	5,323	134	5,321	168	5,332
101	5,326	135	5,327	169	5,339
102	5,328	136	5,328	170	5,334
103	5,330	137	5,334	171	5,333
104	5,325	138	5,325	172	5,327
105	5,324	139	5,328	173	5,325
106	5,326	140	5,330	174	5,334
107	5,330	141	5,331	175	5,331
108	5,331	142	5,329	176	5,335
109	5,333	143	5,335	177	5,339
110	5,332	144	5,335	178	5,337
111	5,328	145	5,331	179	5,335
112	5,334	146	5,333	180	5,331
113	5,345	147	5,332	181	5,324
114	5,336	148	5,332	182	5,342
115	5,330	149	5,330	183	5,338
116	5,327	150	5,331	184	5,335
117	5,333	151	5,335	185	5,325
118	5,330	152	5,336	186	5,331
119	5,338	153	5,325	187	5,326
120	5,332	154	5,338	188	5,332
121	5,333	155	5,335	189	5,333
122	5,328	156	5,330	190	5,331
123	5,331	157	5,336	191	5,333
124	5,329	158	5,328	192	5,329
125	5,337	159	5,332	193	5,338
126	5,330	160	5,328	194	5,331
127	5,326	161	5,324	195	5,329
128	5,333	162	5,331	196	5,333
129	5,329	163	5,325	197	5,326
130	5,334	164	5,335	198	5,324
131	5,326	165	5,322	199	5,332
132	5,328	166	5,325	200	5,320
133	5,333	167	5,331		

(Zdroj: vlastní zpracování)

3.4.1 Test normality rozdělení za provozu

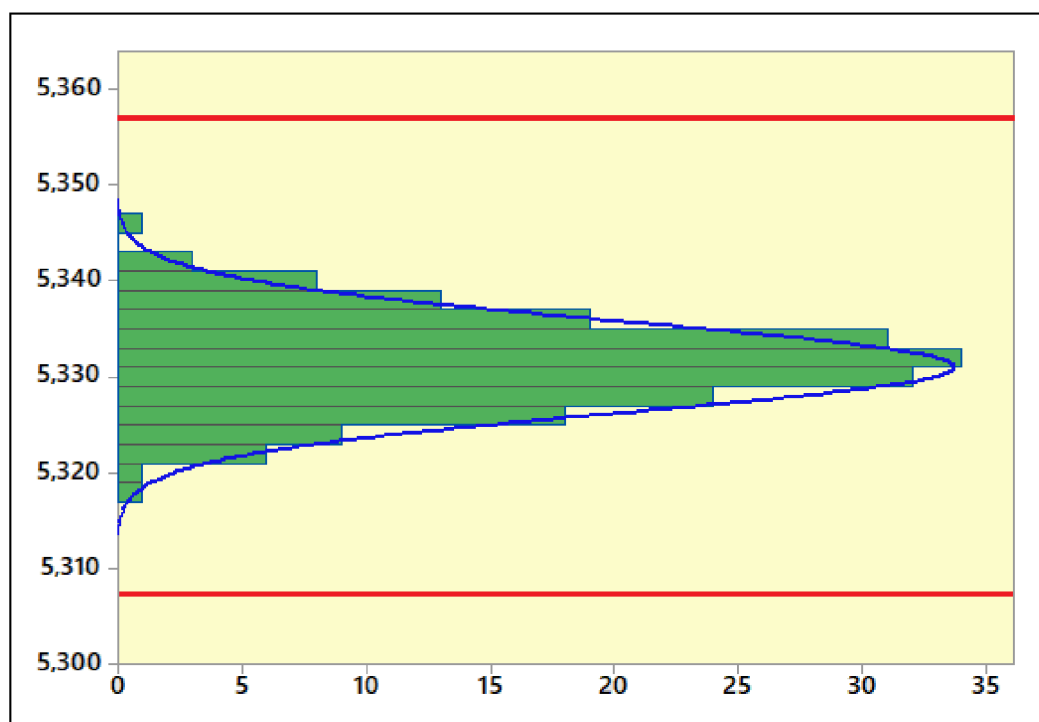
Prvním krokem bylo opět ověření normality rozdělení.



Graf 4: Test normality rozdělení za provozu (Zdroj: vlastní zpracování)

P-hodnota je v tomto případě rovna 0,298, což je více než hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Z tohoto není zamítnuta hypotéza o normalitě rozdělení. Naměřené hodnoty znaku jakosti tedy vykazují normální rozdělení s pravděpodobností 95%.

3.4.2 Histogram

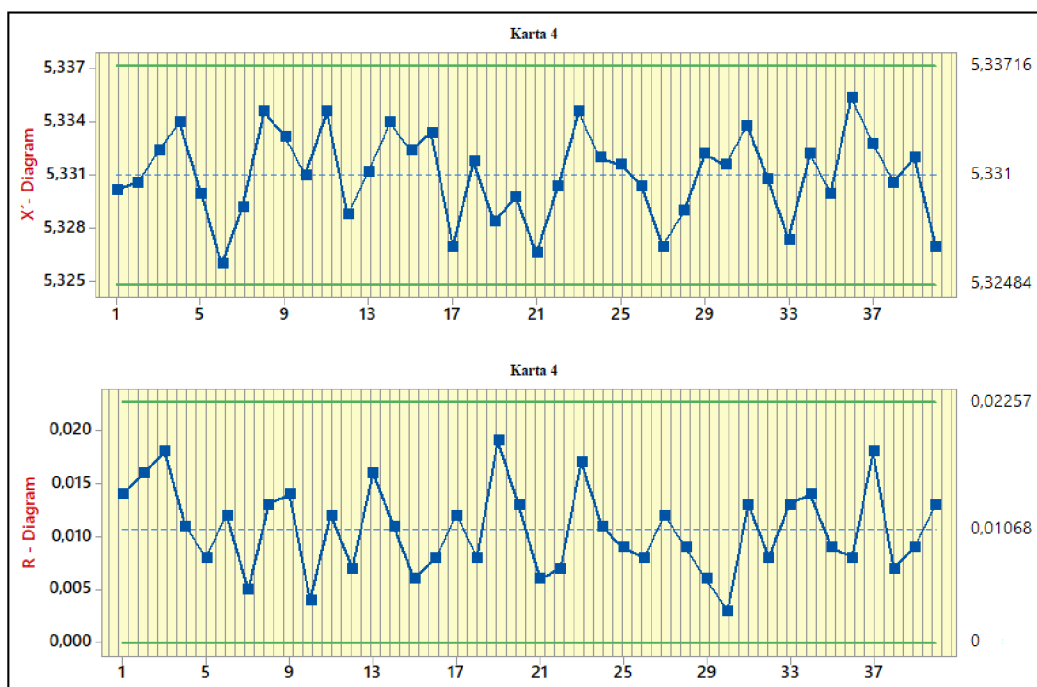


Graf 5: Histogram za provozu (Zdroj: vlastní zpracování)

Při pohledu na tvar histogramu a na základě testu normality rozdělení lze předpokládat, že hodnoty sledovaného znaku jakosti vykazují normální rozdělení a působí na ně tedy pouze náhodné vlivy.

3.4.3 Regulační diagram výběrových průměru a rozpětí za provozu

Během pravidelného měření ve výrobě byl softwarem automaticky vyhodnocován i regulační diagram výběrových průměrů a výběrových rozpětí. Jeho podobu po 200 měřeních znázorňuje následující obrázek.



Graf 6: Regulační diagram \bar{x} , R za provozu (Zdroj: vlastní zpracování)

Během výroby nedošlo k překročení regulačních ani tolerančních mezí. Zároveň ani test vymežitelných příčin, který provádí software automaticky a případně upozorní operátora, nezjistil žádné působení vymežitelných příčin. Na proces tedy působí pouze náhodné vlivy.

3.4.4 Hodnocení dlouhodobé schopnosti procesu

V předchozím hodnocení prvotní schopnosti procesu jsme se zabývali pouze krátkodobou schopností, která byla určena na 60-ti výrobcích. Nyní je ovšem nutné určit, jaká je schopnost procesu v dlouhodobém časovém horizontu. Důvodem je případný výskyt dlouhodobé variability daného procesu.

Dlouhodobá schopnost procesu bývá označována také jako výkonnost procesu a její výpočet je obdobný jako u krátkodobé schopnosti procesu.

Všechny tyto indexy jsou automaticky přepočítávány v reálném čase a operátor je o jejich výši hodnot také informován. V případě překročení minimální nastavené hodnoty je také na tuto skutečnost ihned upozorněn.

Index výkonnosti P_p poskytuje informaci, čeho jsme dlouhodobě schopní v procesu dosáhnout. Nebere však ohled na decentralizaci procesu.

Oproti tomu index výkonnosti P_{pk} bere ohled i na decentralizaci procesu a informuje, čeho bylo ve skutečnosti v procesu dosaženo.

- 1) **Index výkonnosti P_p :** Hodnota tohoto indexu způsobilosti je v tomto případě 1,76. Z pohledu tohoto indexu můžeme tedy proces považovat za způsobilý.

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{5,357 - 5,307}{6 * 0,00473308} = \mathbf{1,76}$$

- 2) **Index výkonnosti P_{pk} :** Hodnota tohoto indexu způsobilosti je v tomto případě 1,73, z pohledu tohoto indexu můžeme tedy proces považovat za způsobilý

$$P_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} = \frac{5,357 - 5,331}{3 * 0,00473308} = 1,83$$

$$P_{pkL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} = \frac{5,331 - 5,307}{3 * 0,00473308} = 1,69$$

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\} = \mathbf{1,69}$$

Oba indexy dlouhodobé způsobilosti procesu odpovídají požadovaným hodnotám, můžeme je tedy považovat za způsobilý a zároveň vyhovující zákaznickým požadavkům.

3.5 Zavedení statistické kontroly procesu (SPC)

Na základě výsledků analýzy dlouhodobé schopnosti procesu se proces nachází ve stavu, kdy vyhovuje zákaznickým požadavkům. Operátoři měří v pravidelných intervalech vnitřní průměr tělesa pomocí dutinoměru Bowers XT3. Naměřené hodnoty se automaticky přenáší do PC prostřednictvím bezdrátového přenosu Bluetooth a zde jsou analyzovány a vyhodnocovány softwarem od společnosti Palstat CAQ, konkrétně v modulu „měřicí stanice“, která je součástí modulu SPC.

Zde je operátor ihned informován ohledně průběhu variabilních znaků prostřednictvím regulačních diagramů pro výběrové průměry a výběrová rozpětí. Z naměřených dat se také automaticky vyhodnocují a zobrazují indexy způsobilosti procesu C_p , C_{pk} a výkonnosti P_p , P_{pk} dle metodik AIAG SPC, VDA 4 a ISO 22514-2. Součástí programu jsou také nástroje na testování souboru dat.

Na základě jednání s vedoucím výroby a odpovědným technologem byly stanoveny fixní intervaly měření na 5 kusů výrobku po každých 4 hodinách výroby. Velikost podskupiny v regulačním diagramu výběrových průměrů a výběrových rozpětí je tedy také volena 5. Postup zadávání dat je stanoven měřicím plánem zadaným přímo do softwaru. Operátor je tedy veden programem ke správnému zadávání a k případné reakci v případě odchylek.

Všichni příslušní operátoři byli seznámeni a proškoleni s novou měřicí a vyhodnocovací stanicí pro statistickou regulaci procesu. V první řadě jim byl představen systém měření a následně poté byli také proškoleni na práci s novým modulem SPC. Všem operátorům byl také představen přínos tohoto projektu jak pro společnost samotnou, tak pro její konečné zákazníky.

3.6 Zhodnocení nákladů na projekt

Součástí této diplomové práce je také vyčíslení nákladů, které byli zapotřebí na realizaci tohoto projektu. Jednotlivé položky společně s cenou jsou uvedeny v následující tabulce.

V prvé řadě bylo zapotřebí zakoupit digitální dutinoměr XT3 od společnosti Bowers a zároveň byl zhotoven přípravek na dílce, kam se budou během periodického měření vkládat.

Po ověření způsobilosti měřidla a způsobilosti měřícího zařízení bylo také nutné pořídit potřebný hardware a software. Jak již bylo zmíněno v předchozích částech této diplomové práce, vybrán byl software od společnosti PalstatCAQ, konkrétně modul SPC. Vybraná společnost již software od této společnosti využívá pro jiné účely, z tohoto důvodu se jednalo spíše o rozšíření stávajícího softwaru o nový modul. Před samotnou implementací bylo nutno vyjasnit se společností PalstatCAQ možnosti a funkčnost softwaru a zároveň i jeho implementaci. Následně bylo nutné upravit dokumentaci a proškolit všechny potřebné pracovníky. Školení proběhlo přímo v areálu společnosti externím školitelem ze společnosti PalstatCAQ. Co se týče potřebného hardwaru, zde byla zakoupena kompletní PC sestava, která vyhovuje příslušným požadavkům.

Celkové náklady vynaložené na tento projekt byly vyčísleny na **86.001 Kč**.

Tabulka 15: Vyčíslení nákladů projektu

Položka	Cena bez DPH
Digitální dutinoměr Bowers XT3	33 089 Kč
Přípravek na dílce	3 328 Kč
PC sestava	8 330 Kč
Poradenství	3 318 Kč
Úprava dokumentace	2 544 Kč
Školení pracovníků	11 771 Kč
Licence modulu SPC	23 621 Kč
Celkové náklady	86 001 Kč

(Zdroj: vlastní zpracování)

3.7 Přínosy projektu

Hlavním důvodem zavedení statistického řízení procesu u výrobku tělesa regulačního ventilu byla skutečnost, že v souvislosti s tímto novým projektem sám zákazník požadoval zavedení na vnitřní průměr tělesa, který je velice důležitý pro funkčnost finálního produktu.

Finanční přínosy tohoto projektu tedy souvisí s touto novou zakázkou, díky níž bude společnost XYZ v budoucnu generovat část svých příjmů. Zároveň dojde ke snížení počtu zmetkovitosti, tedy i souvisejících nákladů na výrobu neshodných dílů. Bez zavedení statistického řízení procesu by operátor zasáhl do procesu až v okamžiku, kdy by výrobní zařízení produkovalo neshodné výrobky. V tu chvíli by již část z nich mohla být v dalších výrobních procesech nebo v nejhorsím případě již u finálního zákazníka. V tomto případě by vznikali pro společnost XYZ dodatečné náklady buďto na interní přebírací akce v rámci společnosti nebo náklady spojené s řešením případné reklamace. Zároveň ne všechny neshodné výrobky by byli opravitelné. Pokud by byl vnitřní průměr tělesa mimo maximální toleranční mez, jednalo by se o neopravitelný zmetek, který by musel být následně zlikvidován.

S projektem však souvisí i další aspekty, které jsou pro společnost XYZ neméně důležité. V současné době se na trhu vyskytuje velký počet zákazníků, kteří statistické řízení výroby u svých dodavatelů, zejména ve strojírenském průmyslu, pro své projekty přímo vyžadují. Bez zavedeného a zcela funkčního statistického řízení výroby tedy společnosti přichází o nespočet potenciálních nových zákazníků, kteří by byli zdrojem nových potenciálních příjmů. Za pomoci zavedeného systému řízení procesu může společnost XYZ do budoucna usilovat o řadu nových zakázek u těchto zákazníků.

Za pomoci tohoto projektu došlo tedy k zlepšení potenciálu společnosti XYZ a zároveň ke zlepšení konkurenceschopnosti.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývala tématem zavedení metody statistické regulace procesu do procesu soustružení na automatických CNC soustružích od německé společnosti Scherer Feinbau v konkrétní společnosti XYZ. Cílem byl návrh a implementace vyhodnocovací a měřící stanice, která bude sloužit pro statistickou regulaci procesu do nově vznikající výroby třískového obrábění. Součástí tohoto zavedení bylo také vyčíslení nákladů spojených s tímto projektem a zároveň definování přínosů projektu.

Práce byla rozdělena na dvě části, část teoretickou a část praktickou. V první části byly za pomoci odborné literatury vymezeny pojmy, metody a nástroje, jejichž znalost byla zapotřebí k realizaci praktické části práce. Jednalo se o přiblížení pojmu statistické regulace proces (SPC), popsání jednotlivých fází implementace této metody a popsání druhů příčin působících na proces. Dále byly popsány veškeré nástroje a metody, které jsou potřebné při zavádění metody SPC. Konkrétně se jednalo o regulační diagramy, základní nástroje managementu jakosti, hodnocení způsobilosti procesu a analýzu systému měření (MSA).

V úvodu praktické části byly stručně uvedeny informace o společnosti, kde bude probíhat samotná realizace metody statistického řízení procesu. V prvním kroku bylo nutné určit výrobní proces a znak jakosti, na který má být metoda statistické regulace procesu implementována. V rámci tohoto nového projektu vzešel požadavek na regulovaný znak jakosti přímo ze strany finálního zákazníka, který požadoval zavedení systému SPC na vnitřní průměr tělesa ventilu, který má pro něj v konečné fázi největší vliv na správnou funkci finálního výrobku. Tento znak jakosti je ve společnosti XYZ vyráběn metodou soustružení na CNC soustružích od německé společnosti Scherer Feinbau.

V dalším kroku bylo nutné analyzovat a vyhodnotit prvotní stabilitu a způsobilost procesu. Analýza byla provedena na základě výsledků měření 60-ti kusů výrobku, které byly pro prvotní posouzení změřeny na 3D měřicím zařízení od společnosti Zeiss. Pro vyhodnocení byl následně použit software Minitab 18. Oba tyto předpoklady jak stability, tak schopnost procesu byly splněny. Proces se tedy nacházel ve stavu

vyhovujícím požadavkům finálního zákazníka. Z tohoto důvodu bylo možné přejít k navržení a implementaci měřicí a vyhodnocovací stanice.

Po jednání s managerem výroby a zodpovědnými pracovníky byl vybrán a zakoupen digitální dutinoměr XT3 od společnosti Bowers, u kterého byla ověřena jeho způsobilost a posléze i způsobilost měřicího systému. Po výběru měřidla byl zakoupen a nainstalován potřebný software, kterým byl v tomto případě modul „SPC“ od společnosti PalstatCAQ.

Poté již bylo možné měřit a vyhodnocovat stav procesu přímo za provozu v předepsaných kontrolních intervalech. Finální vyhodnocení stability a způsobilosti procesu bylo provedeno na základě 200 naměřených hodnot z periodického měření, přičemž bylo zjištěno, že proces se nachází ve stavu vyhovujícího požadavkům zákazníka.

V posledních krocích byly vyčísleny jednotlivé náklady s tímto projektem a rozvedeny všechny přínosy tohoto projektu.

Realizace projektu zavedení statistického řízení procesu ve společnosti XYZ proběhla úspěšně. Byla zavedena měřicí a vyhodnocovací stanice, která daný proces monitoruje a statisticky řídí. Za pomoci této stanice je operátor včas upozorněn na významné odchylky v procesu, na které má čas zareagovat zásahem do výrobního systému, čímž předejde výrobě neshodných výrobků. Tím jsou výrazně sníženy náklady na neshodné výrobky oproti situaci, kdy by proces nebyl statisticky řízen. Zároveň je možné v případě potřeby dohledat veškerá data z historie a tím zjistit, v jakém stavu se proces v určitém časovém období vyskytoval.

Cíle tohoto projektu byly tedy naplněny, avšak společnosti XYZ doporučuji zavedení tohoto systému i pro další strojní zařízení. Dále doporučuji společnosti do budoucna zakoupit další licence do modulu „SPC“. V rámci tohoto projektu byla zakoupena pouze 1 licence, kterou využívá daný operátor u CNC soustruhu. V případě zakoupení více licencí by mohlo v tomto modulu pracovat více osob najednou a tedy kdokoliv, kdo má nainstalovaný tento software na svém PC by mohl kdykoliv nahlédnout a zjistit aktuální stav daného procesu nebo nahlédnout do dat z historie.

Seznam použitých zdrojů

3MA381: Paretova analýza [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://lorenc.info/3MA381/graf-paretova-analyza.htm>

Analýza systému měření (MSA). 4. vydání. Praha 1: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02323-5.

ČSN ISO 8258:1991. Shewhart control charts. 1991

Ikvalita.cz: DIAGRAM PŘÍČIN A NÁSLEDKU [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=26>

KOŽÍŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. Management kvality I. 4. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05673-8.

KROPÁČ, Jiří. Statistika C: statistická regulace, indexy způsobilosti, řízení zásob, statistické přejímky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2008. ISBN 978-80-214-3591-9.

Kvalita produkcie: Histogram [online]. [cit. 2019-08-28]. Dostupné z: <http://www.kvalitaprodukcie.info/histogram/>

Lean Six Sigma: Interpretace naměřených dat [online]. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://lean6sigma.cz/interpretace-namerenych-dat/>

Matematická biologie: Normální rozdělení pravděpodobnosti [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinicky-ch-a-biologicky-ch-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--nahodna-velicina-rozdeleni-pravdepodobnosti-a-realna-data--normalni-rozdeleni-pravdepodobnosti>

NENADÁL, Jaroslav. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.

NOSKIEVIČOVÁ, Darja. Statistické metody v řízení jakosti. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-318-4.

Ostravská univerzita: Soustružení [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>

PALÁN, Jaromír a Marek MERGL. Analýza systému měření MSA: Implementační směrnice ME - IMS 110 [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2604_PALAN_1.pdf

Palstat CAQ: SPC [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.palstat.cz/kvalita/monitorovani/statisticka-procesni-kontrola/>

PLURA, Jiří. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN 80-7226-543-1.

PQM [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: http://www.pqm.cz/nvcss/met_PDF/MSA_webcss.pdf

Statistical Process Control (SPC) [online]. [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: <http://statisticalprocesscontrol.info/glossary.html>

Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.

TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1209-6.

TOŠENOVSKÝ, Josef. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-X.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Příklad regulačního diagramu	18
Obrázek 2: Postup rozhodnutí ohledně typu Shewhartova diagramu	19
Obrázek 3: Tvary histogramů a možné vymezené příčiny	23
Obrázek 4: Odhad způsobilosti procesu za pomoci histogramu	24
Obrázek 5: Lineární vývojový diagram /vývojový diagram vstup/výstup	25
Obrázek 6: Integrovaný vývojový diagram	26
Obrázek 7: Išikawův diagram – příklad	27
Obrázek 8: Příklad Paretova diagramu	29
Obrázek 9: Příklady indexu způsobilosti C_p	31
Obrázek 10: Příklady indexu způsobilosti C_{pk}	33
Obrázek 11: Strannost měření	36
Obrázek 12: Opakovatelnost měření	37
Obrázek 13: Reprodukovatelnost měření	37
Obrázek 14: Princip soustružení	44
Obrázek 15: Zvolený znak jakosti – vnitřní průměr tělesa	45
Obrázek 16: Způsobilost procesu	52
Obrázek 17: Digitální dutinoměř Bowers XT3	54
Obrázek 18: Modul SPC-měřicí stanice	64

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Výpočet centrální přímky a regulačních mezí u regulačních diagramů měření	20
Tabulka 2: Výpočet centrální přímky a regulačních mezí u regulačních diagramů srovnáváním	21
Tabulka 3: Kritéria způsobilosti indexů c_p a c_{pk}	39
Tabulka 4: Kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	42
Tabulka 5: Naměřené hodnoty z 3D měřicího zařízení	47
Tabulka 6: Výsledky měření v rámci hodnocení způsobilosti měřicího prostředku	55
Tabulka 7: Pořadí prvního měření v rámci GRR	58

Tabulka 8: Pořadí druhého měření v rámci GRR	58
Tabulka 9: Pořadí třetího měření v rámci GRR	59
Tabulka 10: Výsledky měření operátora A	59
Tabulka 11: Výsledky měření operátora B	60
Tabulka 12: Výsledky měření operátora C	60
Tabulka 13: Naměřené hodnoty za provozu 1-99	66
Tabulka 14: Naměřené hodnoty za provozu 100-200	67
Tabulka 15: Vyčíslení nákladů projektu	73

Seznam použitých grafů

Graf 1: Prvotní test normality rozdělení	48
Graf 2: Histogram	49
Graf 3: Regulační diagram \bar{x} , R	50
Graf 4: Test normality rozdělení za provozu	68
Graf 5: Histogram za provozu	69
Graf 6: Regulační diagram \bar{x} , R za provozu	70