

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Studie způsobilosti procesu výroby na CNC obráběcích strojích ve
společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.**

Autor: **Petr Bulín**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Helena Zídková Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr BULÍN

Osobní číslo: S16B0283P

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: Strojírenská technologie-technologie obrábění

Název tématu: Studie způsobilosti procesu výroby na CNC obráběcích strojích ve společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

Zadávací katedra: Katedra technologie obrábění

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod, cíle práce
2. Teoretický základ
3. Změření padesáti po sobě jdoucích dílů
4. Výpočet indexů způsobilosti C_p , C_{pk} , C_m , C_{mk}
5. Zhodnocení výsledků
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

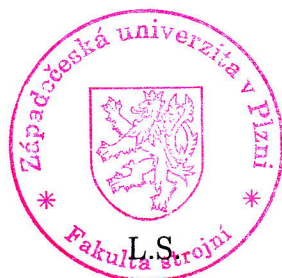
- **NENADÁL, Jaroslav. Moderní systémy řízení jakosti: quality management. 2. dopl. vyd. Praha: Management Press, 2005. ISBN 80-7261-071-6.**
- **VEBER, Jaromír, Marie HŮLOVÁ a Alena PLÁŠKOVÁ. Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce: legislativa, systémy, metody, praxe. 2., aktualiz. vyd. Praha: Management Press, 2010. ISBN 978-80-7261-210-9.**
- **Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Libor Hamouz, Ph.D.**
ASTRO KOVO, Plzeň, s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků, nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí své bakalářské práce paní Doc. Ing. Heleně Zídkové Ph.D. za odborné rady, které mi ochotně poskytla při vypracování bakalářské práce. Děkuji také konzultantovi panu Ing. Liboru Hamouzovi Ph.D. za cenné rady a za umožnění vypracovávat bakalářskou práci ve společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bulín	Jméno Petr		
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zídková, Ph.D.	Jméno Helena		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ		Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Studie způsobilosti procesu výroby na CNC obráběcích strojích ve společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	37	TEXTOVÁ ČÁST	32	GRAFICKÁ ČÁST	5
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce se zabývá hodnocením způsobilosti procesu výroby na CNC obráběcích strojích ve společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. Součástí práce je teoretický základ, na který je navázáno v praktické části. Výstupem práce je rozhodnutí o způsobilosti procesu výroby.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>způsobilost, proces, výroba, výrobní zařízení, sériová výroba, histogram, regulační diagram, jakost, kvalita, nástroje řízení jakosti, astro kovo,</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Petr	Name Bulín	
FIELD OF STUDY	B2301 „Department of Machining Technology“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zídková, Ph.D.	Name Helena	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The study of process capability of the production using CNC machines in the company ASTRO KOVO PLZEŇ Ltd.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	37	TEXT PART	32	GRAPHICAL PART	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis is about process capability of the production in the company ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. The result of this bachelor thesis are capability indexes Cm, Cmk, Cp, Cpk
KEY WORDS	capability, process, production, histogram, control diagram, quality, quality management tools, astro kovo,

1	Úvod, cíle práce	1
1.1	Představení společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. [4]	1
1.1.1	Kvalita [1], [5].....	1
1.1.2	Výroba.....	1
1.1.3	Měření a kontrola	2
2	Teoretický základ	3
2.1	Kvalita[1].....	3
2.1.1	Co je kvalita?.....	3
2.1.2	Význam	3
2.2	Koncepce managementu kvality [1]	3
2.2.1	Koncepce podnikových standardů.....	3
2.2.2	Koncepce ISO [2], [5], [6]	4
2.2.3	Koncepce TQM [2]	4
2.3	Neustálé zlepšování systémů managementu kvality [1]	5
2.3.1	Proces neustálého zlepšování	5
2.3.2	Cyklus PDCA.....	5
2.4	Základní nástroje řízení kvality [1], [2], [7]	6
2.4.1	Formulář pro sběr dat	6
2.4.2	Vývojový diagram.....	6
2.4.3	Diagram příčin a následků.....	7
2.4.4	Paretův diagram	8
2.4.5	Bodový diagram	8
2.4.6	Histogram.....	9
2.4.7	Regulační diagram	11
2.5	Analýza způsobilosti procesu [1], [7].....	14
2.5.1	Volba znaku kvality	14
2.5.2	Analýza systému měření	14
2.5.3	Shromáždění údajů.....	14
2.5.4	Ověření normality sledovaného znaku kvality	14
2.5.5	Posouzení statistické zvládnutosti procesu.....	15
2.5.6	Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami.....	15
2.6	Analýza způsobilosti výrobních zařízení	17
2.7	Výrobní zařízení	18
2.8	Výrobky	19
2.8.1	Výrobek 1 – Kluzné ložisko [10]	19
2.8.2	Výrobek 2 – Axiální kluzná podložka.....	20
3	Změření padesáti po sobě jdoucích dílů	21
3.1	Měřidla	21
3.2	Naměřené hodnoty pro výpočet C_p , C_{pk}	21
	Výrobek 1.....	21
	Výrobek 2.....	22
3.3	Naměřené hodnoty pro výpočet C_m , C_{mk}	22

Výrobek 1.....	22
Výrobek 2.....	23
4 Výpočet indexů způsobilosti C_p , C_{pk} , C_m , C_{mk}	24
4.1 Výrobek 1 – C_m , C_{mk}	24
4.1.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality	24
4.1.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu.....	24
4.1.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání.....	25
4.2 Výrobek 1 – C_p , C_{pk}	26
4.2.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality	26
4.2.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu.....	26
4.2.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání.....	27
4.3 Výrobek 2 – C_m , C_{mk}	28
4.3.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality	28
4.3.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu.....	28
4.3.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání.....	29
4.4 Výrobek 2 – C_p , C_{pk}	30
4.4.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality	30
4.4.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu.....	30
4.4.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání.....	31
5 Zhodnocení výsledků.....	32
6 Závěr.....	32

1 Úvod, cíle práce

Nejen v automobilovém průmyslu probíhá výroba sériově. Sériová výroba je velmi produktivní, ovšem často není reálné kontrolovat každý výrobek, a proto byly vyvinuty metody, které efektivně pomáhají sledovat výrobní procesy. V dnešní době je hodnocení způsobilosti procesu jednou z nejčastěji používaných metod při zpracovávání dat. Často je to zákazník, který požaduje vypracování analýzy způsobilosti procesu, aby získal informaci o tom, v jak stabilních podmínkách jsou výrobky vyráběny.

Cílem práce je vyhodnocení způsobilosti procesu výroby na CNC obráběcích strojích ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.. Předmětem zkoumání jsou dvě rotační součásti, které jsou vyráběny na výrobních zařízeních Nakamura-Tome WT-100.

1.1 Představení společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. [4]

Historie firmy sahá do roku 1992, kdy majitel firmy Miroslav Dušek začal podnikat v pronajatých prostorách. Výstavba vlastních výrobních prostor proběhla o dva roky později, tedy v roce 1994. Společnost ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. jako taková byla založena v roce 1998 a sídlí v obci Třemošná, okres Plzeň-sever. Nachází se v blízkosti města Plzeň, kde sídlí mnoho strojírenských firem. V současné době se v Třemošné nachází dvě výrobní haly této společnosti, administrativní budova a sklad materiálu.



Obr. 1 Sídlo společnosti v Třemošné [4]

1.1.1 Kvalita [1], [5]

Od roku 2000 je společnost ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. držitelem certifikace kvality dle ČSN EN ISO 9001. Tato norma se zabývá způsoby řízení procesů, lidských zdrojů, řízením dokumentace a infrastruktury. Do způsobů řízení lidských zdrojů spadá například motivace zaměstnanců, hodnocení dodavatelů nebo také komunikace se zákazníky. Velmi důležitá je zpětná vazba, se kterou souvisí měření výkonnosti procesů či zavádění interních auditů. Norma ISO 9001 může jejímu držiteli zajistit jistou konkurenční výhodu. Ovšem, aby byl podnik úspěšný, musí dbát na kvalitu, cenu a musí pružně reagovat na potřeby zákazníka.

1.1.2 Výroba

Společnost ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. se zabývá převážně sériovou výrobou velmi přesných rotačních součástí nejen pro automobilový průmysl. Specializuje se na zakázkovou

výrobu v dávkách 1000 – 10000 ks z velké části pro zahraniční zákazníky. Výroba probíhá na základě dokumentace dodané zákazníky, kterými jsou společnosti zabývající se převážně automobilovým (50%) nebo leteckým (20%) průmyslem.

Celkový roční objem výroby se pohybuje okolo 6 milionů ks. Obráběn je převážně tyčový materiál průměru 8 – 65 mm. Firma je schopna zajistit tepelné a povrchové zpracování nebo také finální montáž jednoduchých sestav. Celý proces výroby je napojen na interní informační systém. Všechny výrobky, které projdou výrobou, se ukládají s veškerými důležitými daty (výrobní dokumentace, měřicí protokol atd.) do firemní databáze. Ta v současné době obsahuje přibližně 2000 položek.



Obr. 2 Ukázka výrobků společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.[4]

1.1.3 Měření a kontrola

Měření a kontrola probíhá pomocí nejmodernějších zařízení od firem Keyence, Renishaw či Mitutoyo. K dispozici je také laboratoř s 3D CNC souřadnicovým strojem a dvě dílenské laboratoře. Přímou u obráběcích strojů jsou k dispozici běžná měřidla, kterými jsou mikrometry a posuvná měřidla. V každé dílně je měřicí sloup, kde jsou sdílena měřidla pro více pracovišť. Společnost vyvinula 6 plně automatizovaných robotických zařízení AstroBOX (obr. 3), které jsou v nepřetržitém provozu a kontrolují výrobky bez zásahu obsluhy.



Obr. 3 Robotické měřicí zařízení AstroBOX [4]

2 Teoretický základ

2.1 Kvalita[1]

2.1.1 Co je kvalita?

Synonymem k pojmu kvalita je jakost. Kvalita je dle normy ČSN EN ISO 9000:2001 definována jako „stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků.“ [1] Mezi hlavními požadavky pro splnění dostatečného stupně kvality jsou očekávání zákazníka a dodržování předpisů ve formě zákonů, norem, vyhlášek. Výsledkem je kvalitní produkt, u kterého lze jednoznačně určit typické znaky kvality. Ty se dělí na kvalitativní (měřitelné) a kvantitativní (neměřitelné). Znaků kvality je u každého produktu velké množství, proto je důležité správně vybrat, které znaky kvality důkladně sledovat.

2.1.2 Význam

V současné společnosti se na řízení kvality klade stále větší důraz, neboť podniky chtějí obstát v silném konkurenčním prostředí. Pokud je podnik schopen vyrábět kvalitní produkty za přijatelnou cenu, má velkou šanci prosadit se v takovém prostředí.

Správně nastavený systém kvality má spoustu pozitiv. Vede k většímu povědomí u zákazníků, tím se také mohou objevit nové příležitosti, co se trhů týče. Zlepšují se i ekonomické výsledky podniku. Systém kvality jde ruku v ruce s řízením lidských zdrojů. To vede ke zlepšení podnikové kultury, k motivaci a rozvoji zaměstnanců.

2.2 Koncepty managementu kvality [1]

Zabezpečování kvality bylo již v minulosti důležitou součástí výroby. Pozdější snahy o zvyšování produktivity vedly k navrhování potřebných opatření. Ve 30. letech 20. století zavedli Američané Shewhart a Romig první statistické metody výběrové kontroly do výrobních procesů. K častějšímu zavádění této metody do praxe docházelo po druhé světové válce v Japonsku při zavádění statistické regulace a statistické přejímky. Později došlo k rozšíření statistického řízení procesů i do dalších činností podniků. Bylo důležité sledovat a hodnotit předvýrobní část i dodavatele.

V dnešní době lze nalézt 3 základní koncepty managementu kvality:

1. Koncepty podnikových standardů
2. Koncepty ISO
3. Koncepty TQM

2.2.1 Koncepty podnikových standardů

Některé společnosti mají snahu o řízení managementu kvality, a proto dochází k sepisování požadavků do norem, které jsou platné v rámci dané společnosti či v rámci výrobního odvětví. Tyto podnikové standardy jsou o dost náročnější než požadavky norem ISO. Například pro dodavatele do automobilového průmyslu platí předpisy QS 9000. V rámci NATO je důležitá pro zabezpečování kvality směrnice AQAP.

2.2.2 Koncepce ISO [2], [5], [6]

Pro systém kvality jako takový vydala Mezinárodní organizace pro normy ISO sadu norem poprvé v roce 1987. Tyto normy jsou označovány jako normy ISO řady 9000. Od té doby prošly několika revizemi. Na základě těchto norem lze vytvořit v podniku systém managementu kvality. Jedná se o velmi univerzální soubor minimálních požadavků, tudíž je lze aplikovat do výroby, ale také do služeb. Normy ISO 9000 nejsou nijak závazné, a proto záleží na každé společnosti, zda chce tyto požadavky splňovat. Pokud podnik splňuje požadavky normy ISO 9000, automaticky to neznamená, že bude prosperovat. Je potřeba neustále se zlepšovat.

Struktura norem ISO:

ČSN EN ISO 9000:2016 – Systémy managementu kvality – základní principy a slovník

Popisuje základní pojmy a zásady managementu kvality, které podnikům slouží k získání důvěry a jako základ pro úspěšný chod.

ČSN EN ISO 9001:2016 – Systémy managementu kvality – požadavky

Souhrn požadavků, vydávaný Mezinárodní organizací pro standardizaci, které jsou potřebné pro efektivní zavedení systému managementu kvality do podniku. ISO 9001 je norma, která slouží jako příručka pro nastavení základních metod řízení procesů. Jedná se o řízení procesů, lidských zdrojů, dokumentace, infrastruktury, hodnocení dodavatelů, komunikace se zákazníky, vypracovávání interních auditů a v neposlední řadě měření výkonnosti procesů.

Přínosem této normy je dlouhodobé udržení požadované úrovně kvality a výkonnosti procesu výroby, ze kterého vznikají kvalitní výrobky. Řízením a optimalizací procesů lze dosáhnout i ekonomických úspor, kterými jsou úspory energie, nákladů nebo také úspory související s produkcí neshodných výrobků, kterých bude po úspěšném zavedení ISO 9001 méně. V dnešní době je tato norma důležitá pro udržení konkurenceschopnosti, neboť některé zakázky lze získat pouze, pokud společnost má úspěšně zavedený systém řízení kvality. Podnik se s normou ISO 9001 stává důvěryhodnějším na trhu.

ČSN EN ISO 9004:2010 – Řízení udržitelného úspěchu organizace – přístup managementu kvality

Norma slouží jako návod pro podniky, aby byly schopny trvale obstát v neustále se měnícím konkurenčním prostředí.

Zavedení norem ISO do podniku není jednoduchá věc, která by byla jednorázová. Naopak, jedná se o dlouhodobý strategický proces.

2.2.3 Koncepce TQM [2]

Total Quality Management (TQM) neboli Komplexní řízení kvality je celopodnikový systém řízení kvality. Tato koncepce má kořeny v Japonsku, odkud se postupně rozšířila dále. Na rozdíl od norem ISO, zde nejsou zavazující normy ani předpisy. Jedná se spíše o aplikování všeho pozitivního, co vede k neustálému zlepšování účinnosti všech podnikových procesů. Důležité je uplatňování některých principů, kterými jsou orientace na zákazníka, vedení lidí, týmová práce, partnerství s dodavateli, rozvoj zaměstnanců, neustálé zlepšování procesů.

2.3 Neustálé zlepšování systémů managementu kvality [1]

Neustálé zlepšování systému managementu kvality je důležitou součástí TQM, ČSN ISO EN 9001 a mnoha dalších systémů managementu. Důvodů, proč je důležité zdokonalování těchto systémů, je mnoho. Tím, jak jde doba kupředu, dochází k vývoji nových technologií, případně zlepšování těch starých. Mění se i požadavky zákazníků, kteří kladou stále větší a větší důraz na kvalitu výrobků. Na takovou situaci je potřeba reagovat, neboť hrozí ztráta konkurenční schopnosti. Neustálé zlepšování může vést k odstranění nedokonalostí ve výrobních procesech, a tím lze uspořit materiální i finanční prostředky, případně zlevnit finální výrobek.

2.3.1 Proces neustálého zlepšování

Podnik, který chce uplatňovat principy neustálého zlepšování procesu, by měl uplatňovat následující kroky, které je potřeba neustále opakovat:

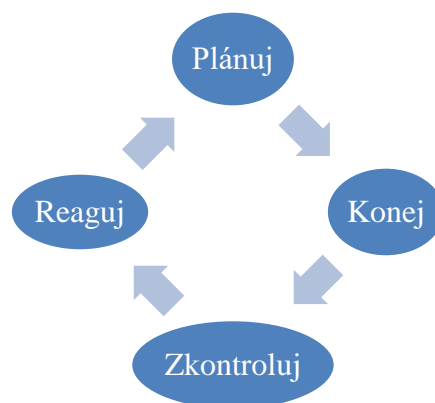
1. identifikace problému procesu
2. hodnocení současného stavu z hlediska efektivnosti a účinnosti procesu
3. analýza příčin zkoumaného problému
4. zkoumání možných řešení, nalezení nejvhodnějšího
5. vyhodnocení vlivu původního problému po aplikaci nového řešení
6. uplatňování nových řešení
7. hodnocení efektivnosti a účinnosti procesu

2.3.2 Cyklus PDCA

Základním modelem pro zlepšování procesů je PDCA cyklus, který je složen ze čtyř dílčích částí:

- Plan (Plánuj) – identifikování problému a vypracování plánu pro jeho odstranění
- Do (Konej) – naplnění vypracovaného plánu, realizace činností k odstranění problému
- Check (Zkontroluj) – kontrolování a vyhodnocení dosažených výsledků
- Act (Reaguj) – reagování na dosažené výsledky s následnou úpravou procesu

Jedná se o univerzální nástroj, který lze použít v mnoha různých oblastech. Z tohoto cyklu vychází většina metod zlepšování procesu, přičemž jsou kroky PDCA cyklu detailněji rozpracované.



Obr. 4 PDCA cyklus

2.4 Základní nástroje řízení kvality [1], [2], [7]

Základních nástrojů řízení kvality je sedm a pochází z japonské praxe. Poprvé je představil Kaoru Ishikawa. Jedná se o metodické postupy, které se využívají pro shromažďování, řazení a vyhodnocení informací. Tyto jednoduché statistické postupy by měly následně vést ke zlepšení sledovaného procesu a jsou použity v analýze hodnocení způsobilosti procesu.

2.4.1 Formulář pro sběr dat

Tento základní nástroj řízení kvality slouží k přehlednému zaznamenávání údajů sledovaného procesu. Tyto údaje jsou následně zpracovávány a vyhodnocovány. Formuláře se přizpůsobují sledované situaci. Měly by být co nejjednodušší a největnější, aby byly zaznamenané údaje užitečné. K nejčastějšímu použití formulářů pro sběr dat dochází v oblastech kontroly (vstupní, výstupní, operační), analýzy strojů, zařízení či technologických procesů. Formuláře pro sběr dat se dělí na čárkové, symbolické a číselné. Z těchto formulářů je možné vycházet například při řešení Paretovy analýzy či histogramů. Jejich oblast užití je velmi široká.


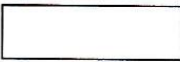
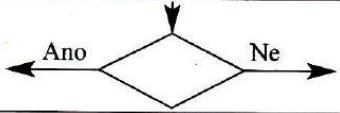



2.4.2 Vývojový diagram

Vývojový (postupový) diagram je grafický nástroj zobrazující posloupnost a vzájemnou návaznost procesu. Lze použít jak na jednoduché, tak především na složitější procesy, které nejsou tolik přehledné. Tento nástroj se také používá při realizaci nového procesu nebo při optimalizaci již zavedeného procesu. Hlavní složkou vývojového diagramu jsou geometrické objekty a šipky, které napomáhají k orientaci.

Vývojových diagramů se užívá k následujícím činnostem:

- k vysvětlení procesu zákazníkům, zaměstnancům
- k objasnění vzájemných vazeb jednotlivých činností procesu
- k odhalení chyb a nedostatků procesu

Důležité je, aby vývojový diagram měl přesně jeden začátek a jeden konec. Obr. 5 přehledně zobrazuje symboly používané ve vývojových diagramech.

Symbol	Význam
	Spojka, přechod na jinou část nebo pokračování vývojového diagramu
	Výkon operace, činnost
	Rozhodovací proces vždy jeden vstup a jen dva výstupy
	Subproces popsáný v jiném subdiagramu
	Začátek nebo konec procesu
	Dokument

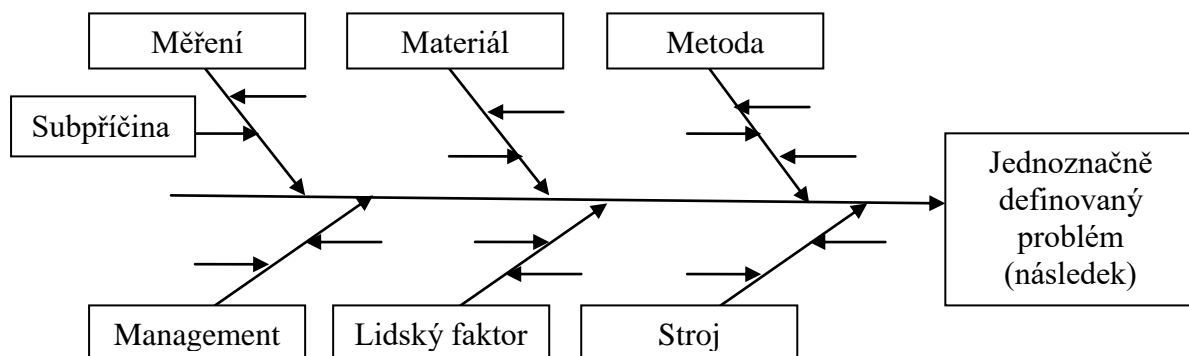
Obr. 5 Význam symbolů používaných ve vývojových diagramech [7]

2.4.3 Diagram příčin a následků

Diagram příčin a následků, známý také jako Ishikawův diagram nebo diagram rybí kostry, slouží ke zjištění souvislostí mezi následkem a jeho příčinami a k následnému hodnocení těchto souvislostí. Ke zjištění příčin daného problému slouží například brainstorming, kde se sepisují všechny nápady a následně dojde k diskuzi a vyhodnocení. Velmi důležitá je tedy týmová práce. Diagram příčin a následků pomáhá k vytvoření představy o daném problému a lze použít v mnoha oblastech.

Sestavení diagramu:

Na velký čistý papír se napíše vpravo jednoznačně definovaný problém (následek), u kterého je potřeba zjistit příčinu. Hlavní příčiny se zakreslí na vedlejší větve. Pokud je obtížné určit tyto hlavní příčiny, lze použít následující příčiny: měření, metoda, materiál, management, lidský faktor, stroj. Tyto příčiny by měly být velmi univerzální a často vedou k nalezení konkrétní příčiny. Pomocí brainstormingu tým určí k hlavním příčinám jejich subpříčiny, které jsou naznačeny šipkami v Obr. 6. Takový proces pokračuje tak dlouho, dokud jsou nalezeny elementární příčiny. K ohodnocení příčin lze použít například Paretovu analýzu.



Obr. 6 Ukázka diagramu příčin a následků

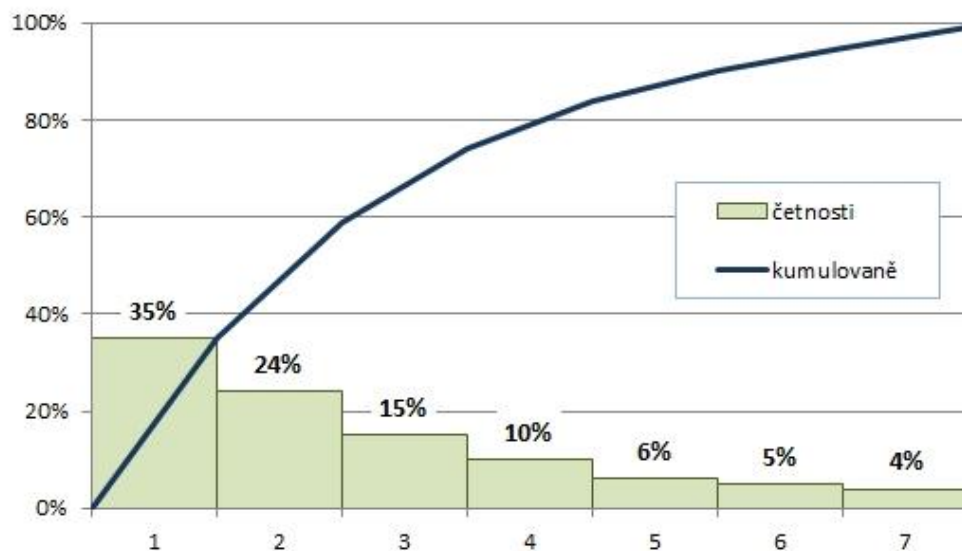
2.4.4 Paretův diagram

Tento diagram se používá převážně tam, kde je mnoho vad a je potřeba rozhodnout, která z těchto vad má největší vliv. Metoda je založena na tzv. Paretově principu 80:20, kde 20 % položek často způsobí 80 % následků. Tyto vztahy jsou znázorněny Lorenzovou křivkou. Sledované položky jsou řazeny podle významnosti. Ve výsledku jsou odděleny menšinové položky, které způsobují většinu problémů.

Postup při provádění Paretovy analýzy:

Nejprve je potřeba setřídít údaje sestupně, podle zvoleného ukazatele (počtu neshod, výše nákladů). Dále dochází k výpočtu kumulativních součtů hodnot zvoleného ukazatele a také k vyjádření těchto hodnot v procentech. Poté se sestrojí Paretův diagram, ze kterého je možné odečíst, které položky způsobují nejvíce problémů.

Paretův diagram - ukázka



Obr. 7 Ukázka Paretova diagramu [8]

2.4.5 Bodový diagram

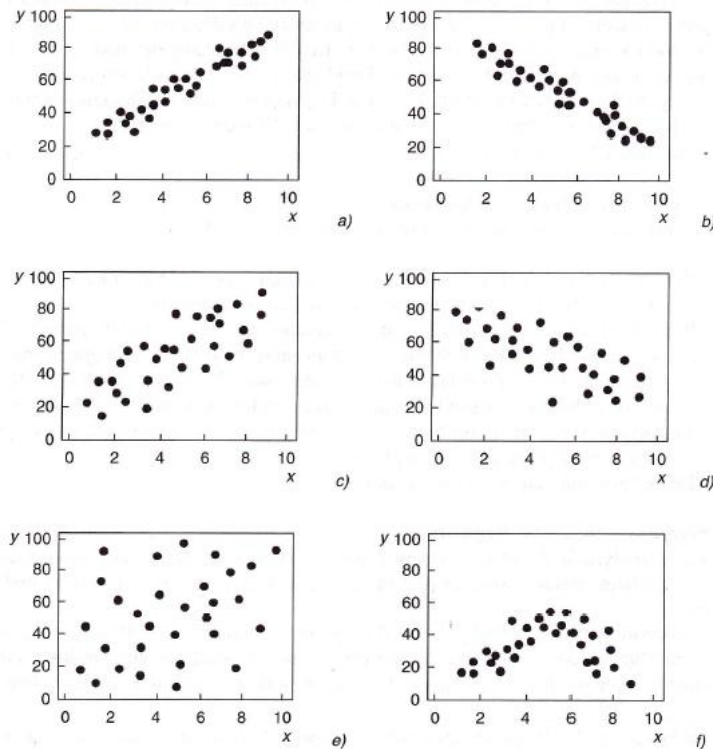
Bodový diagram orientačně zkoumá závislost mezi dvěma proměnnými soubory dat a určuje, o jaký typ závislosti se jedná. Také určuje, jak silná tato vazba je.

Postup pro sestavení bodového diagramu:

1. zvolení nezávislé proměnné X a závislé proměnné Y
2. naměření minimálně 30 (nejlépe 50-100) dvojic hodnot závislé a nezávislé proměnné X_i, Y_i
3. sestavení bodového diagramu, kde každá dvojice je vynesena bodem o souřadnicích $[X_i, Y_i]$

Typy závislostí vyobrazených na obr. 8:

- a) Přímá lineární závislost - silná
- b) Nepřímá lineární závislost - silná
- c) Přímá lineární závislost – slabá
- d) Nepřímá lineární závislost – slabá
- e) Žádná závislost
- f) Nelineární závislost



Obr. 8 Typy stochastické závislosti dvou proměnných [7]

2.4.6 Histogram

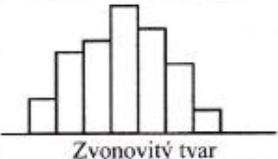
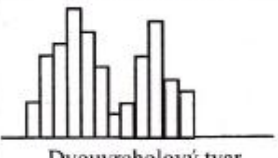
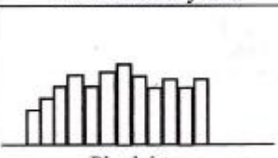
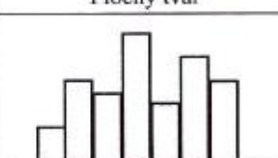
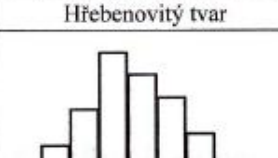
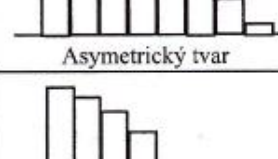
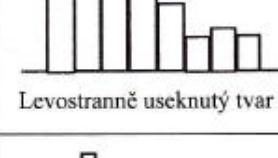
Tato grafická metoda popisuje rozdělení naměřených (sledovaných) hodnot. Histogram je sloupcový graf. Z tvaru histogramu poznáme, zda je rozdělení normální (Gaussova křivka, zvonovitý tvar) a jestli na proces působí pouze náhodné nebo vymežitelné příčiny. U tohoto rozdělení lze odhadnout, v jakém rozmezí se bude většina hodnot nacházet. Histogram zobrazuje aktuální stav sledovaného znaku kvality.

Sestrojení histogramu:

- 1. výpočet rozpětí naměřených hodnot
- 2. stanovení šíře a počtu intervalů (sloupců)
- 3. výpočet četností
- 4. stanovení spodní a horní meze intervalů
- 5. přiřazení naměřených hodnot do jednotlivých intervalů
- 6. sestavení histogramu

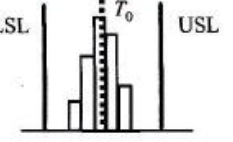
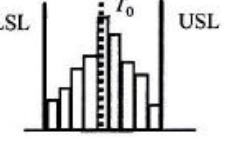
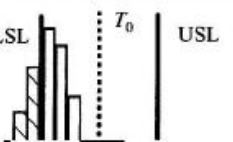
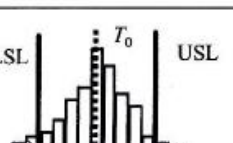
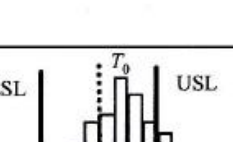
Analýza tvaru sestrojeného histogramu:

Z tvaru sestrojeného histogramu lze posoudit typ rozdělení, zda je symetrické nebo asymetrické. Lze také posoudit působení vymežitelných příčin variability, to je ukázáno na obr. 9.

Tvar histogramu	Možné příčiny odchylek tvaru histogramu
 <p>Zvonovitý tvar</p>	Působení náhodných vlivů
 <p>Dvouvrcholový tvar</p>	Smíchání dat ze dvou výběrových souborů (data ze dvou výrobních dávek, dvou výrobních linek, od dvou pracovníků...)
 <p>Plochý tvar</p>	Výsledek součtu několika rozdělení zvonovitého tvaru (nárůst opotřebení nástroje) Neúplný výrobní předpis Nedodržování výrobního předpisu
 <p>Hřebenovitý tvar</p>	Nesprávné zaokrouhlování hodnot Nesprávné zařazování hodnot do tříd Chyby měření
 <p>Asymetrický tvar</p>	Působení objektivních fyzikálních zákonů Použití neúplných dat
 <p>Levostranně useknutý tvar</p>	Přesnost a rozlišovací schopnost přístroje Nesprávně zařazená analýza dat (vytřídění neshodných jednotek před měřením znaku jakosti)
 <p>Zvonovitý tvar s izolovanými hodnotami</p>	Chyby při přepisování Chyby při měření

Obr. 9 Tabulka možných vymežitelných příčin [7]

Na obr. 10 jsou zobrazeny histogramy, jejich rozložení vůči mezím, které má požadovaný znak kvality splňovat. Na základě tohoto rozložení lze proces lépe pochopit, případně přijmout některá opatření, která by pomohla procesu ke způsobilosti.

Situaace	Opatření
	<p>Nejsou nutné žádné zásahy do procesu, proces je způsobilý.</p>
	<p>Proces je blízky způsobilosti, krátkodobě nejsou nutná žádná opatření, z dlouhodobého pohledu je třeba provádět analýzu procesu s cílem proces zdokonalit a zvýšit míru jeho způsobilosti</p>
	<p>Proces produkuje neshodné výrobky, není způsobilý. Je třeba stroj seřadit na střed tolerančního pole.</p>
	<p>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...</p>
	<p>Proces není na středu tolerančního pole, a současně jeho variabilita je velká. Není způsobilý. Opatření lze hledat v nákupu nového stroje, je třeba zvážit zúžení tolerančního pole.</p>

Obr. 10 Histogram v souvislosti s analýzou způsobilosti procesu [7]

Shrnutí:

Pro analýzu způsobilosti procesu je požadován histogram, který je symetrický, zvonovitého tvaru a všechny hodnoty sledovaného znaku kvality leží uvnitř tolerančních mezí.

2.4.7 Regulační diagram

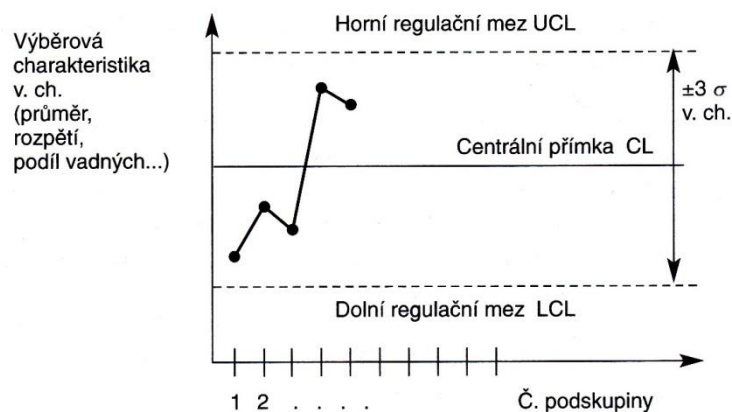
Regulační diagram je základním nástrojem statistické regulace procesu a slouží k zobrazení sledovaného znaku jakosti v průběhu času. Pravidelně se kontroluje výstupní znak kvality, který se porovnává s požadovanými hodnotami, které většinou určí zákazník. Kontrolou to ovšem nekončí. V případě neshod, lze do procesu zasáhnout, upravit ho a udržovat ho na požadované úrovni. Regulační diagramy tedy slouží k bezprostřední a průběžné kontrole.

Na proces vždy působí vlivy. Tyto vlivy lze rozdělit na náhodné (obvyklé) a vymezitelné (odstranitelné). Náhodné vlivy není možné zcela eliminovat. Je potřeba se zaměřit na vymezitelné vlivy, které způsobují velké odchylky. Takové vlivy je potřeba odhalit a eliminovat, případně snížit jejich vliv. Mezi tyto vlivy patří například opotřebením nástroje, nezkušený pracovník.

Regulační diagramy lze dělit dle měřitelnosti sledovaných znaků na regulační diagramy měření a regulační diagramy srovnáním. V této práci budou sledované znaky kvality měřitelné.

Popis regulačního diagramu:

„Na ose x se vynášejí pořadová čísla podskupin, na ose y hodnoty výběrových charakteristik sledovaného znaku jakosti či parametru procesu“ [1] Dále jsou v diagramu 3 přímky: Horní regulační mez UCL, centrální přímka CL a dolní regulační mez LCL. Regulační meze ohraničují pásmo, ve kterém lze s předem zvolenou pravděpodobností očekávat hodnoty výběrových charakteristik jednotlivých podskupin. Nejčastěji se tato pravděpodobnost volí tak, aby UCL a LCL ležely ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$. Kde σ je směrodatná odchylka dané výběrové charakteristiky.



Obr. 11 Ukázka struktury regulačního diagramu [7]


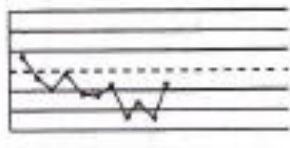
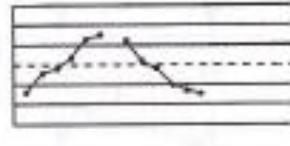
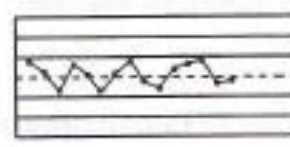
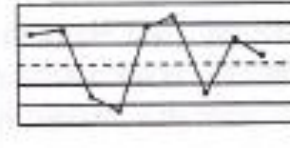
Postup při použití regulačního diagramu:

1. odběr předem stanoveného počtu výrobků v pravidelných časových intervalech
2. naměření sledovaného znaku kvality
3. výpočet jedné nebo více výběrových charakteristik z naměřených hodnot
4. výpočet hodnot centrální přímky CL a regulačních mezí UCL, LCL
5. chronologické zakreslení do regulačního diagramu
6. analýza regulačního diagramu

Analýza regulačního diagramu:

Jedná se o pozorování, zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu. To je takový stav, kdy je proces stabilní. Pokud body v regulačním diagramu leží mimo regulační meze nebo tvoří nenáhodná seskupení (viz obr. 12), je proces ve statisticky nezvládnutém stavu. Takový proces je nutné detailně prozkoumat a určit vymežitelné příčiny, které je potřeba eliminovat. Pro analýzu způsobilosti procesu je důležité, aby proces byl statisticky zvládnutý.

(\bar{x}, R) – typ regulačního diagramu měření, který byl použit v této práci. Jedná se regulační diagram pro výběrový průměr a rozpětí, který je vhodný pro malé rozsahy podskupin (2-10).

Situace v regulačním diagramu	Popis	Možné vymezitelné příčiny
 <p>UCL CL LCL</p>	Body mimo regulační meze	<p><i>Regulační diagram (R)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – zvětšení rozptylu vlivem změny v prvcích procesu v daném okamžiku – změna měřidla, kontrolora – vylepšení dat <p><i>Regulační diagram (\bar{x})</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – proces se posunul právě u dané podskupiny – změna měřicího systému
 <p>UCL CL LCL</p>	9 bodů za sebou leží nad CL nebo pod CL	<p><i>Regulační diagram (R)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – zvětšení (zmenšení) rozptylu vlivem změny v prvcích procesu – změna měřidla, kontrolora – vylepšení dat <p><i>Regulační diagram (\bar{x})</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – změna měřidel, způsobu měření – změna prvků procesu
 <p>UCL CL LCL</p>	6 bodů za sebou stoupá nebo klesá (trend)	<p><i>Regulační diagram (R)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – zvětšení (zmenšení) rozptylu vlivem změny v prvcích procesu – změna měřidla, kontrolora – vylepšení dat <p><i>Regulační diagram (\bar{x})</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – opotřebení nástroje
 <p>UCL CL LCL</p>	15 bodů v řadě za sebou leží ve vnitřní třetině pásma mezi regulačními mezemi	<p><i>Oba regulační diagramy</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – nesprávně vypočítané regulační meze – nesprávně zakreslené body – nesprávně kalibrované měřidlo – podskupiny obsahující výrobky ze dvou či více strojů s různou úrovní procesu – zlepšení procesu
 <p>UCL CL LCL</p>	8 bodů za sebou leží na obou stranách CL, ale žádnými ve vnitřní třetině pásma mezi regulačními mezemi	<p><i>Oba regulační diagramy</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – nesprávně vypočítané regulační meze – nesprávně zakreslené body – nesprávně kalibrované měřidlo – podskupiny obsahující výrobky ze dvou či více strojů s různou úrovní procesu, v jednom výběru jsou výrobky z jednoho stroje – změny v procesu, v metodách měření

Obr. 12 Používané testy vymezitelných příčin [7]

2.5 Analýza způsobilosti procesu [1], [7]

Způsobilost procesu se řadí mezi statistické metody, které jsou důležité v managementu kvality. S velkým objemem výroby nelze, z důvodu hospodárnosti, kontrolovat kvalitu každého výrobku. Způsobilost procesu je tedy pojem, vyjadřující schopnost procesu pracovat s určitou přesností. Dnes se převážně využívá v automobilovém průmyslu, kde je kladen velký důraz na kvalitu a přesnost vyráběných produktů. Je žádoucí neustále zlepšovat proces výroby hledáním produktivnějších způsobů výroby. Tyto účinnější metody pomáhají splnit obchodní cíl, kterým je uspokojení zákazníka. Zejména zákazníkovi je určena tato analýza, neboť ukazuje, s jakou přesností by měl být výrobek vyráběn v budoucnu. Podmínkou je, že proces musí být statisticky stabilní a musí být ověřena normalita.

Postup pro hodnocení způsobilosti procesu:

1. volba znaku kvality
2. analýza systému měření
3. shromáždění údajů
4. ověření normality sledovaného znaku kvality
5. posouzení statistické zvládnutosti procesu
6. výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami

2.5.1 Volba znaku kvality

Při hodnocení způsobilosti procesu je nutné určit sledovaný znak kvality. Takových znaků kvality u každého produktu může být více, proto je nutné volit takový znak kvality, který ukazuje úspěšnost daného procesu. Zákazník většinou určí, který znak sledovat. Mohl by to být rozměr, který má být nejmenší, největší, nejpřesnější, kritický nebo jakkoliv jinak důležitý. Pro každý znak kvality se způsobilost procesu hodnotí zvlášť.

2.5.2 Analýza systému měření

Je nutné analyzovat systém měření, zda je vhodný pro měření daného znaku kvality, zda ukazuje správné hodnoty. Systém, který není vhodný, by mohl při hodnocení způsobilosti procesu vykazovat nesprávné výsledky.

2.5.3 Shromáždění údajů

Pokud je určen vhodný znak kvality i systém měření, je potřeba shromáždit naměřené údaje. Měření probíhá v dostatečně dlouhém časovém období, ve kterém se projeví veškeré aspekty, které by mohly mít vliv na proces. Těmito aspekty jsou změny obsluhy, změny směny, změny prostředí, údržba stroje a další. V pravidelných časových intervalech probíhá měření údajů podskupin, které tvoří 4-5 po sobě jdoucích výrobků. Takových podskupin musí být nejméně 25, aby bylo možné určit způsobilost procesu.

2.5.4 Ověření normality sledovaného znaku kvality

Indexy způsobilosti procesu jsou založeny na předpokladu normálního rozdělení hodnot sledovaného znaku kvality. Pokud rozdělení neodpovídá normálnímu, je nutné naměřit takové hodnoty, které budou odpovídat normálnímu rozdělení. K ověření normality slouží analýza tvaru sestrojeného histogramu. Ten by měl být zvonovitého tvaru, tedy symetrický a jednovrcholový. Další možností je použití grafické metody s využitím pravděpodobnostní sítě.

2.5.5 Posouzení statistické zvládnutosti procesu

Statisticky zvládnutý proces je takový proces, na který působí pouze náhodné příčiny. Pouze takový proces lze hodnotit analýzou způsobilosti procesu. K hodnocení zvládnutosti procesu se používají regulační diagramy, které rozlišují, zda na změny sledovaného znaku kvality působí pouze náhodné příčiny nebo vymezené příčiny. Pokud tato analýza vede k závěru, že je proces nezpůsobilý, je možné odstranit ty podskupiny, na které působí vymezené příčiny a získat tak údaje, které odpovídají statisticky zvládnutému procesu. K tomu slouží postupná analýza vymezených příčin a jejich odstranění. Pokud nejsou informace k analýze a odstranění vymezených příčin lze určit pouze skutečné chování procesu. To ovšem neslouží k předpovědi, jak se proces bude chovat.

2.5.6 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami

K hodnocení způsobilosti procesu se používají indexy způsobilosti C_p a C_{pk} . V menší míře také C_{pm} , C_{pmk} .

C_p – míra potenciální schopnosti procesu, která zajistí, aby sledovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančních mezí. Toleranční meze musí být oboustranné, jinak není možné C_p určit. Udává možnosti procesu, které jsou dané jeho variabilitou, ovšem neudává, jak jsou tyto možnosti využity. C_p se vypočítá následujícím vztahem:

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

kde

- LSL - dolní toleranční mez
- USL - horní toleranční mez
- σ - směrodatná odchylka

Skutečnou variabilitu sledovaného procesu určuje hodnota 6σ , která u normálního rozdělení vymezuje oblast, ve které s 99,73% pravděpodobností budou ležet všechny hodnoty. Například $C_p=1$, znamená, že z procesu vystupuje 0,27% neshodných výrobků (zmetků). U výsledku $C_p=1$ leží střední hodnota sledovaného znaku kvality ve středu tolerančního pole. Čím vyšší je hodnota C_p , tím je menší zmetkovitost.

Směrodatná hodnota odchylky se často nahrazuje vhodným odhadem, který lze získat pomocí následujících vztahů:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

nebo

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_4}$$

nebo

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k s_j^2}{k}},$$

kde

- \bar{R} - průměrné variační rozpětí v podskupinách
- \bar{s} - průměrná hodnota výběrových směrodatných odchylek v podskupinách
- d_2, C_4 - konstanty závislé na rozsahu podskupiny (viz Tab.1)

- s_j - výběrová směrodatná odchylka hodnot v j-té podskupině
 k - počet podskupin

C_{pk} – charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze, jelikož zohledňuje variabilitu i umístění hodnot sledovaného znaku kvality v tolerančním poli. Hodnotu C_{pk} lze určit jak pro oboustranné toleranční meze, tak pro jednostranné toleranční meze.

Výpočty probíhají na základě následujících vztahů:
pokud je předepsaná dolní toleranční mez

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma};$$

pokud je předepsaná horní toleranční mez

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma};$$

pokud je předepsaná dolní i horní toleranční mez

$$C_{pk} = \min\{C_{pL}; C_{pU}\};$$

kde

μ - střední hodnota sledovaného znaku kvality

Požadavky na způsobilost procesu:

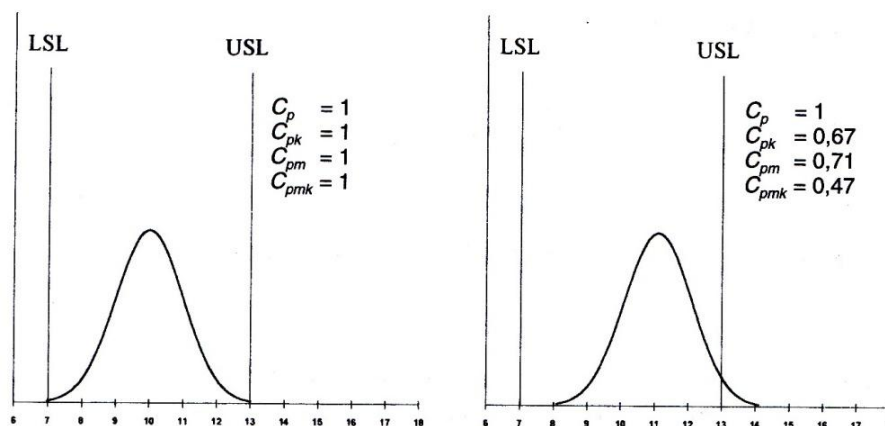
Ve většině případů se sleduje hodnota C_{pk} , neboť tato hodnota vypovídá o způsobilosti reálného procesu. Mezi hodnotou C_p a C_{pk} platí následující vztah:

$$C_p \geq C_{pk},$$

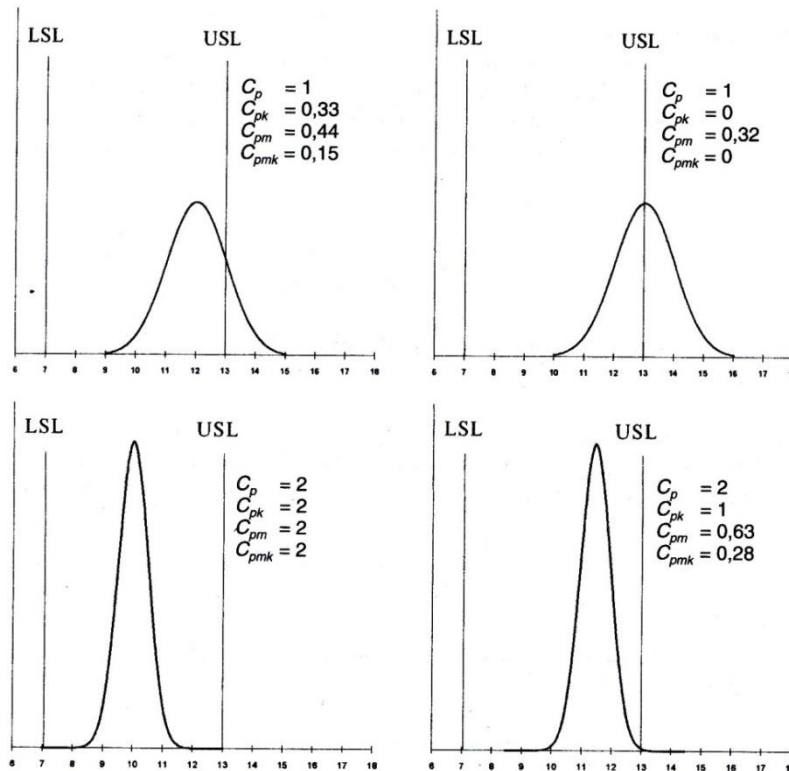
jelikož lze odvodit:

$$C_{pk} = C_p - \frac{|USL + LSL - 2\mu|}{6\sigma}.$$

Hodnota C_{pk} se nejčastěji porovnává s hodnotou 1,33. Pokud je hodnota C_{pk} větší nebo rovna této hodnotě, lze proces považovat za způsobilý. Hodnota 1,33 požaduje, aby minimální vzdálenost, mezi tolerančními mezemi a střední hodnotou sledovaného znaku jakosti, byla 4σ . V automobilovém průmyslu a v dalších průmyslech, kde je požadována větší přesnost, se hodnota 1,33 nahrazuje hodnotami, které většinou určuje zákazník. Mohou to být například hodnoty 1,67 nebo 2. V této práci bude porovnávací hodnotou hodnota 1,67. Na základě indexu C_{pk} je možné odhadnout pravděpodobnost výskytu neshodných výrobků.



Obr. 13 Ukázka rozdělení hodnot sledovaného znaku kvality v tolerančním poli včetně hodnot C_p , C_{pk} [7]



Obr. 14 Ukázka rozdělení hodnot sledovaného znaku kvality v tolerančním poli včetně hodnot C_p , C_{pk} [7]

Tabulka konstant pro regulační diagramy \bar{X} , R:

Rozsah podskupiny	\bar{X} -diagramy	R-diagramy	
	Konst. pro regulační meze	Dělitelé pro odhad směr. odch.	Konstanty pro regulační meze
n	A_2	d_2	D_3 D_4
2	1,880	1,128	- 3,267
3	1,023	1,693	- 2,574
4	0,729	2,059	- 2,282
5	0,577	2,326	- 2,114

Tab. 1 Tabulka konstant pro regulační meze [3]

2.6 Analýza způsobilosti výrobních zařízení

K hodnocení způsobilosti výrobních zařízení dochází před hodnocením způsobilosti procesu. Způsobilost výrobních zařízení slouží k ověření schopnosti výrobních zařízení opakovaně vyrábět v zadaných tolerancích během kratší doby. Nejčastěji se tato analýza provádí před zahájením výroby nového typu výrobku. Dále po uvedení nového výrobního zařízení do provozu, aby se zjistilo, zda stroj vyrábí přesně. Tuto analýzu je také možno dělat po jakékoliv opravě výrobního zařízení.

Aby výsledek této analýzy byl použitelný, je nutno zajistit stálé podmínky provozu a zamezit všem faktorům, které by mohly mít vliv na chod stroje. Stálými podmínkami je myšlena stejná obsluha, stejné nastavení výrobního zařízení, stejný materiál a další. Pokud jsou nastaveny vhodné podmínky, je potřeba u sledovaného znaku kvality změřit přibližně 50 po sobě jdoucích rozměrů. Stejně jako u způsobilosti procesu dochází k ověření normality

sledovaného znaku kvality a k ověření statistické zvládnutosti procesu. Indexy způsobilosti výrobních zařízení se značí C_m a C_{mk} . Výpočtové vztahy jsou stejné jako u výpočtu způsobilosti procesu.

Postup pro hodnocení způsobilosti výrobních zařízení:

1. volba znaku kvality
2. analýza systému měření
3. shromáždění údajů
4. ověření normality sledovaného znaku kvality
5. posouzení statistické zvládnutosti procesu
6. výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami

2.7 Výrobní zařízení

Výroba obou zadaných výrobků probíhá na strojích společnosti Nakamura-Tome precision industry. Jedná se o japonskou společnost založenou v roce 1949. Hodnocení způsobilosti procesu a výrobních zařízení probíhalo na strojích Nakamura-Tome WT-100, které společnost ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. vlastní.

Nakamura-Tome WT-100 je 8-osé CNC soustružnické centrum.



Obr. 15 Soustružnické centrum Nakamura-Tome WT-100 [9]

Parametry:

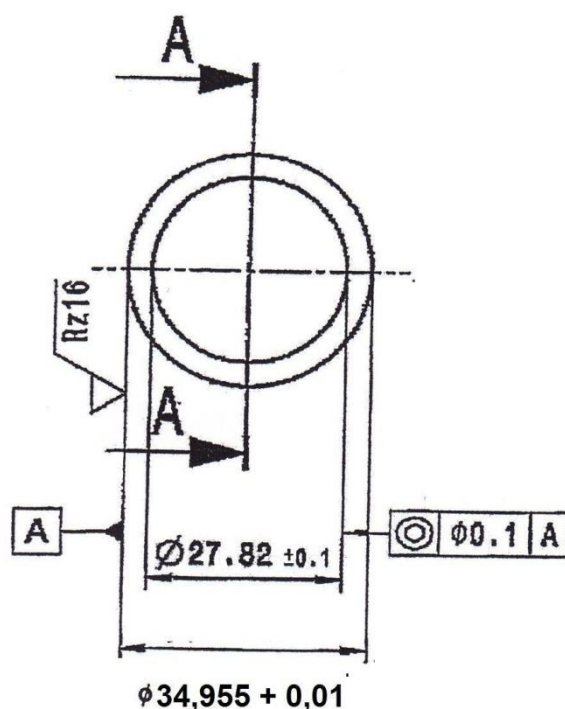
Maximální průměr soustružení	190 mm
Maximální délka soustružení	503 mm
Maximální průchozí průměr vřetene	42 mm
Pojezd os X1/X2	135/135 mm
Pojezd os Z1/Z2/B	503/503/525 mm
Pojezd osy Y horního revolveru	± 31 mm
Rychlost vřetene pravé/levé	6000 ot/min
Počet revolverových hlav	2
Počet poháněných pozic na revolveru	12
Rozměry (délka/šířka/výška)	2300 mm / 1620 mm / 1940 mm
Hmotnost	5650 kg

Tab. 2 Parametry stroje Nakamura-Tome WT-100 [9]

2.8 Výrobky

2.8.1 Výrobek 1 – Kluzné ložisko [10]

Výrobkem 1 je kluzné ložisko. Tato součást je délky $12,95_{-0,05}^{+0,02}$ mm a vnitřní průměr má hodnotu $\text{Ø}27,82 \pm 0,1$ mm. K tomuto rozměru se váže geometrická tolerance kruhovitosti. Vnější průměr má hodnotu $\text{Ø}34,955 + 0,01$ mm. Tento rozměr je při výrobě nejdůležitějším, proto byl zvolen jako sledovaný znak kvality. Dále je na výkrese předepsána geometrická tolerance rovnoběžnosti. Součásti jsou předepsány následující drsnosti: Rz100, Rz25 a Rz16. Polotovarem je kruhová tyč o průměru $\text{Ø}36$ mm z legované oceli ČSN 14141 (34Cr4) vhodná pro kalení a temperování. Tento materiál má požadovanou pevnost v tahu 700 – 950 Mpa a používá se pro výrobu součástí pro pohonné prvky, jako jsou klikové hřídele, přední nápravy vozidla atd.



Obr. 16 Část výrobního výkresu Výrobku 1

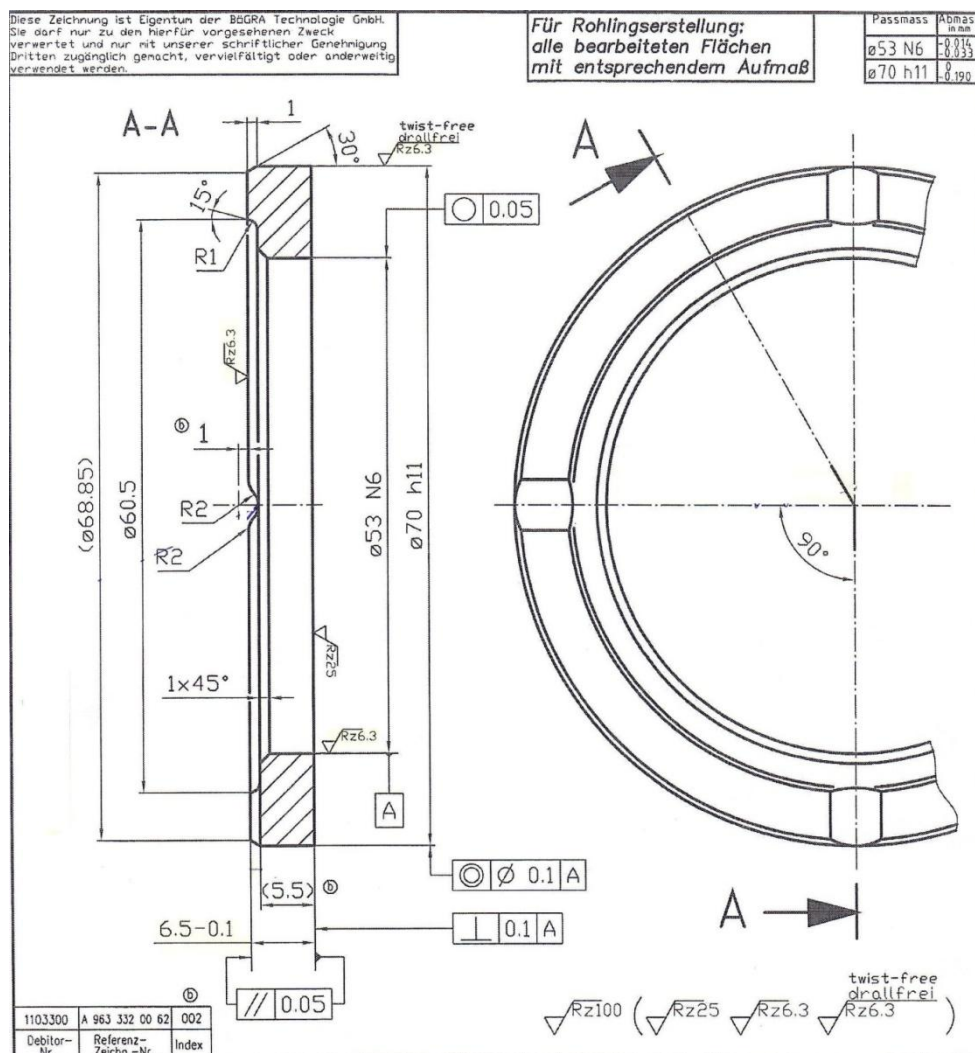
Tento výrobek je následně tepelně zpracováván, vnější rozměr se na základě této operace zvětší. Proto se toleranční meze posouvají a spodní toleranční mez LSL je $\text{Ø}34,950$ a horní toleranční mez USL je $\text{Ø}34,975$.

2.8.2 Výrobek 2 – Axiální kluzná podložka

Jedná se o rotační součást, která slouží k nasunutí na hřídel a k zajištění polohy dalších součástí podél hřídele. Používá se jako alternativa ke kuličkovým ložiskům, pokud jsou rychlosti otáčení mírné.

Součást je délky 6,5 – 0,1 mm a největší průměr má hodnotu $\text{Ø}70$ h11. Vnitřní průměr má hodnotu $\text{Ø}53$ N6. Tento rozměr je nejpřesnější ze všech rozměrů, a proto byl zvolen za sledovaný znak kvality. Po 90° jsou vyfrézovány 4 drážky. Dále se na součásti nachází zkosení i zaoblení. Drsnosti, které se na daném výrobku nacházejí, jsou Rz100, Rz25, Rz6,3. Na výkrese jsou předepsány geometrické tolerance tvaru, směru i polohy. Konkrétně se jedná o kolmost, rovnoběžnost, kruhovitost vnitřního průměru $\text{Ø}53$ N6, soustřednost a sousost průměru $\text{Ø}70$ h11 k průměru $\text{Ø}53$ N6.

U tohoto výrobku si sám zákazník dodává polotovary, kterým je bronzová trubka 49 mm x 72 mm x 3000 mm vyrobena ze slitiny CuSn12Ni. Tato slitina niklu, cínu a mědi má velmi dobrou odolnost proti opotřebení, je korozivzdorná a odolná vůči mořské vodě. Výrobní podmínky jsou přísně kontrolovány. Technologii výroby je kontinuální odlévání.



Obr. 17 Část výrobního výkresu Výrobku 2

Tolerance pro rozměr $\text{Ø}53$ N6 jsou uvedeny v pravém horním rohu na Obr. 17. Spodní toleranční mez LSL je $\text{Ø}52,967$ a horní toleranční mez USL je $\text{Ø}52,986$.

3 Změření padesáti po sobě jdoucích dílů

3.1 Měřidla

Sběr dat probíhal ve výrobní hale společnosti ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. v Třemošné. Na obr. 18 vlevo je digitální mikrometr, který byl použit pro měření hodnot vnějšího průměru Výrobku 1. Vpravo na obr. 18 je měřicí přípravek, na kterém byly měřeny hodnoty vnitřního průměru Výrobku 2.



Obr.18 Digitální mikrometr (vlevo) a měřicí přípravek (vpravo)

3.2 Naměřené hodnoty pro výpočet C_p , C_{pk}

Měření rozměrů pro analýzu způsobilosti procesu probíhalo v dlouhém časovém období, aby bylo dosaženo co možná nejpřesnějších výsledků.

Podskupin bylo zvoleno 25 a každá z podskupin obsahovala 4 po sobě jdoucí výrobky. Každý pracovní den byly naměřeny 2 podskupiny. První vždy na ranní směně, druhá z podskupin na odpolední směně. Celkem bylo naměřeno 100 rozměrů pro každý výrobek.

Výrobek 1

Datum	Čas		1	2	3	4	Průměr podskupiny – \bar{X}	Rozpětí podskupiny – R
12.úno	7:30	Podskupina 1	34,961	34,962	34,965	34,964	34,963	0,004
12.úno	16:30	Podskupina 2	34,964	34,964	34,966	34,959	34,96325	0,007
13.úno	7:30	Podskupina 3	34,962	34,963	34,965	34,964	34,9635	0,003
13.úno	16:30	Podskupina 4	34,965	34,962	34,963	34,960	34,9625	0,005
27.úno	7:30	Podskupina 23	34,962	34,961	34,966	34,962	34,96275	0,005
27.úno	16:30	Podskupina 24	34,958	34,960	34,963	34,961	34,9605	0,005
28.úno	7:30	Podskupina 25	34,964	34,963	34,957	34,960	34,961	0,007
							874,06	0,101

Tab.3 Ukázka naměřených hodnot výrobku 1 pro výpočet C_p , C_{pk}

Výrobek 2

Datum	Čas		1	2	3	4	Průměr podskupiny \bar{X}	Rozpětí podskupiny -R
12.úno	8:00	Podskupina 1	52,974	52,973	52,974	52,977	52,9745	0,004
12.úno	17:00	Podskupina 2	52,972	52,975	52,974	52,973	52,9735	0,003
13.úno	8:00	Podskupina 3	52,971	52,974	52,972	52,975	52,973	0,004
13.úno	17:00	Podskupina 4	52,973	52,975	52,975	52,974	52,97425	0,002
26.úno	8:00	Podskupina 21	52,972	52,971	52,974	52,974	52,97275	0,003
26.úno	17:00	Podskupina 22	52,975	52,976	52,974	52,975	52,975	0,002
27.úno	8:00	Podskupina 23	52,972	52,972	52,975	52,976	52,97375	0,004
27.úno	17:00	Podskupina 24	52,975	52,973	52,972	52,973	52,97325	0,003
28.úno	8:00	Podskupina 25	52,975	52,974	52,974	52,976	52,97475	0,002
							1324,3475	0,07

Tab.4 Ukázka naměřených hodnot výrobku 2 pro výpočet C_p , C_{pk}

3.3 Naměřené hodnoty pro výpočet C_m , C_{mk}

Všechny hodnoty pro analýzu způsobilosti výrobních zařízení byly naměřeny v jeden den. Naměřeno bylo 50 po sobě jdoucích výrobků. Tyto rozměry byly uměle rozděleny do 25 podskupin po dvou.

Výrobek 1

Datum	Čas		1	2	Průměr podskupiny \bar{X}	Rozpětí podskupiny - R
11.úno	7:30	Podskupina 1	34,966	34,962	34,964	0,004
11.úno	7:32	Podskupina 2	34,961	34,964	34,9625	0,003
11.úno	7:34	Podskupina 3	34,963	34,965	34,964	0,002
11.úno	7:36	Podskupina 4	34,967	34,963	34,965	0,004
11.úno	8:10	Podskupina 21	34,962	34,965	34,9635	0,003
11.úno	8:12	Podskupina 22	34,962	34,964	34,963	0,002
11.úno	8:14	Podskupina 23	34,965	34,964	34,9645	0,001
11.úno	8:16	Podskupina 24	34,961	34,964	34,9625	0,003
11.úno	8:18	Podskupina 25	34,964	34,965	34,9645	0,001
					874,09	0,052

Tab.5 Ukázka naměřených hodnot výrobku 1 pro výpočet C_m , C_{mk}

Výrobek 2

Datum	Čas		1	2	Průměr podskupiny - \bar{X}	Rozpětí podskupiny - R
11.úno	8:45	Podskupina 1	52,974	52,975	52,9745	0,001
11.úno	8:49	Podskupina 2	52,975	52,974	52,9745	0,001
11.úno	8:53	Podskupina 3	52,973	52,975	52,974	0,002
11.úno	8:57	Podskupina 4	52,974	52,975	52,9745	0,001
11.úno	10:05	Podskupina 21	52,974	52,973	52,9735	0,001
11.úno	10:09	Podskupina 22	52,973	52,974	52,9735	0,001
11.úno	10:13	Podskupina 23	52,974	52,976	52,975	0,002
11.úno	10:17	Podskupina 24	52,976	52,973	52,9745	0,003
11.úno	10:21	Podskupina 25	52,973	52,974	52,9735	0,001
					1324,3475	0,037

Tab.6 Ukázka naměřených hodnot výrobku 2 pro výpočet C_m , C_{mk}

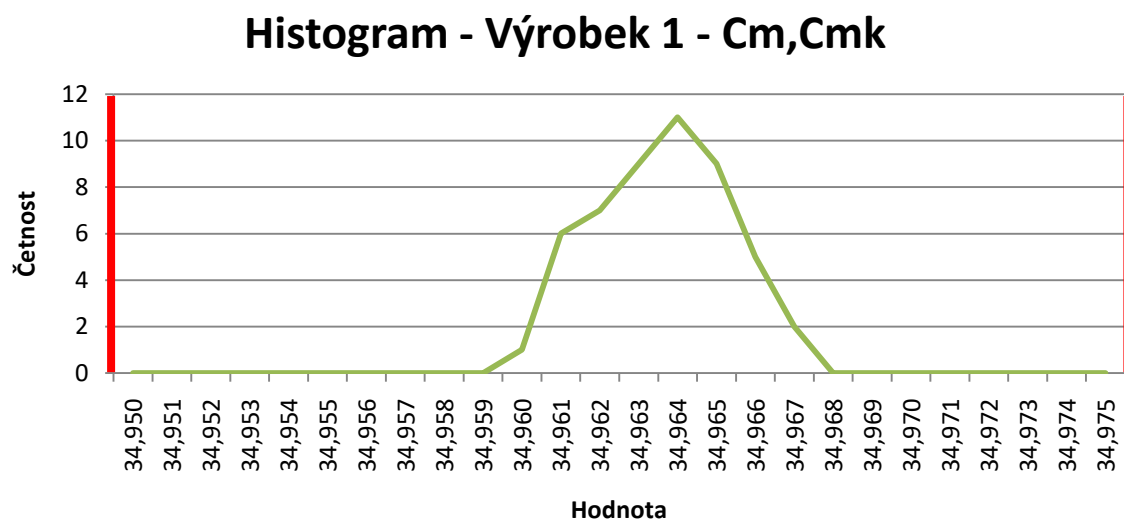
4 Výpočet indexů způsobilosti C_p , C_{pk} , C_m , C_{mk}

4.1 Výrobek 1 – C_m , C_{mk}

Hodnocení způsobilosti výrobních zařízení se často vypracovává před hodnocením způsobilosti procesu, proto budou nejdříve stanoveny hodnoty C_m a C_{mk} .

4.1.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality

K ověření normality naměřených dat byla použita analýza tvaru sestrojeného histogramu. Sestrojené histogramy by měly mít jednovrcholový zvonovitý tvar, tím na proces působí pouze náhodné vlivy. A všechny hodnoty by měly ležet uvnitř tolerančních mezí, aby nebylo nutné zasahovat do procesu. Viz kapitola 2.4.6.

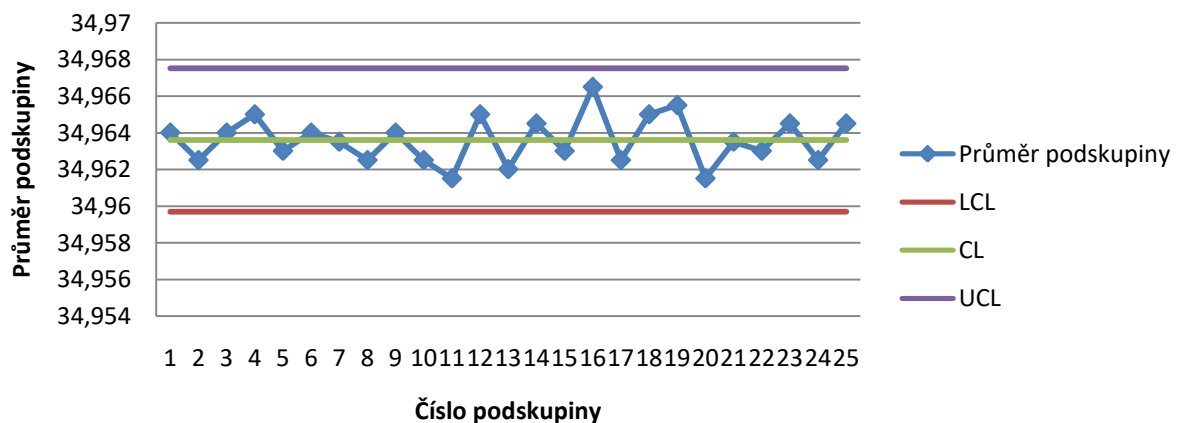


Obr. 19 Histogram výrobku 1 pro C_m, C_{mk}

Na základě sestrojeného histogramů lze tvrdit, že naměřená data splňují normální rozdělení, jelikož histogram má jeden vrchol a je zvonkovitého tvaru. Naměřená data se nacházejí uvnitř tolerančního pole, které je v diagramu znázorněno červenými čarami.

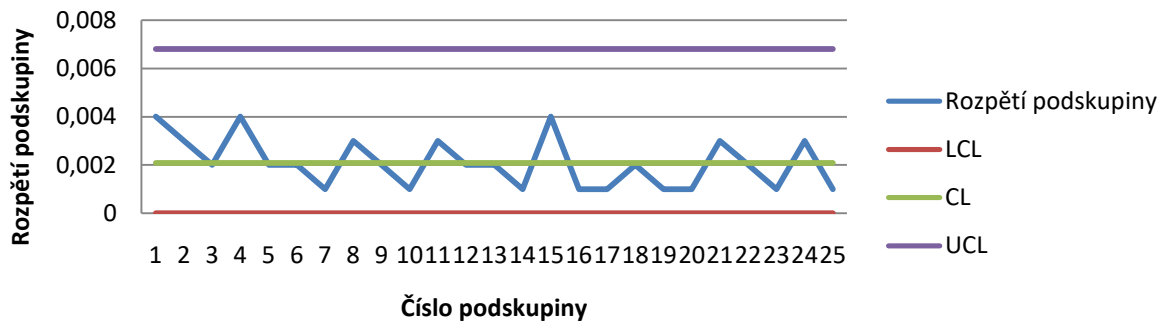
4.1.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu

Regulační diagram pro \bar{X} :



Obr. 20 Regulační diagram pro \bar{X}

Regulační diagram pro R:



Obr.21 Regulační diagram pro pro R

- Žádný z bodů regulačních diagramů pro \bar{X} a R neleží mimo regulační meze.
- Ani v jednom z diagramů neleží 9 bodů za sebou pod/nad CL.
- Ani v jednom z diagramů 6 bodů v řadě za sebou neklesá/nestoupá.
- U obou diagramů se rozložení bodů jeví jako náhodné

Lze říci, že se jedná o statisticky zvládnutý proces.

4.1.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání

C_m - potenciální schopnost výrobního zařízení, která zajistí, aby sledovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančních mezí.

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{34,975 - 34,950}{6 \cdot 0,001844} = 2,26$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,00208}{1,128} = 0,001844$$

$$C_{mk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{34,975 - 34,9636}{3 \cdot 0,001844}; \frac{34,9636 - 34,950}{3 \cdot 0,001844} \right\} = \text{Min}\{2,06; 2,46\} = 2,06$$

$$\mu \approx \bar{\bar{x}} = \frac{874,09}{25} = 34,9636$$

Zákazníkem požadovaná hodnota k porovnání je 1,67.

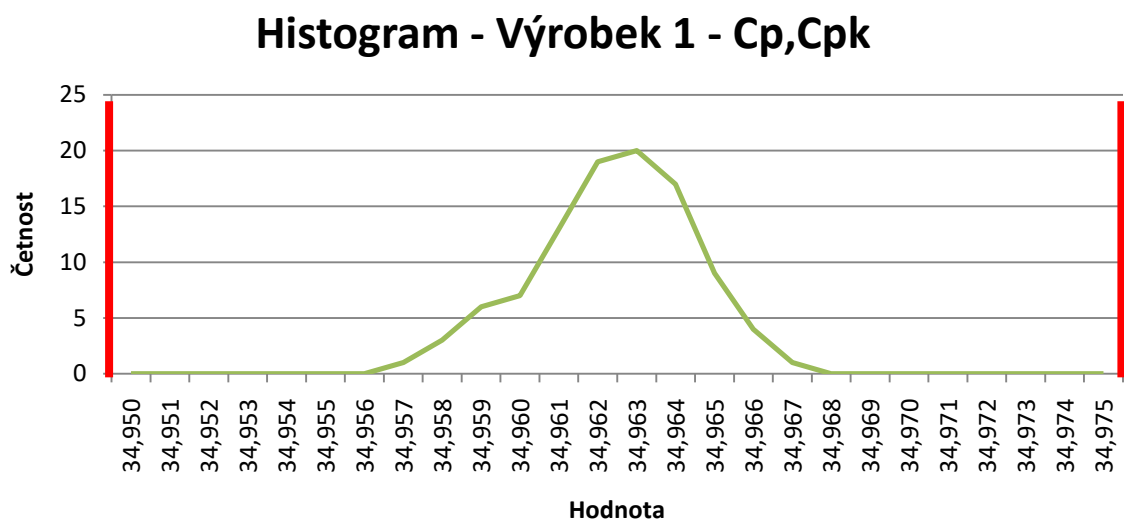
$$C_{mk} \geq 1,67$$

$$2,06 \geq 1,67$$

Podmínka je splněna, výrobní zařízení je způsobilé.

4.2 Výrobek 1 – C_p , C_{pk}

4.2.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality

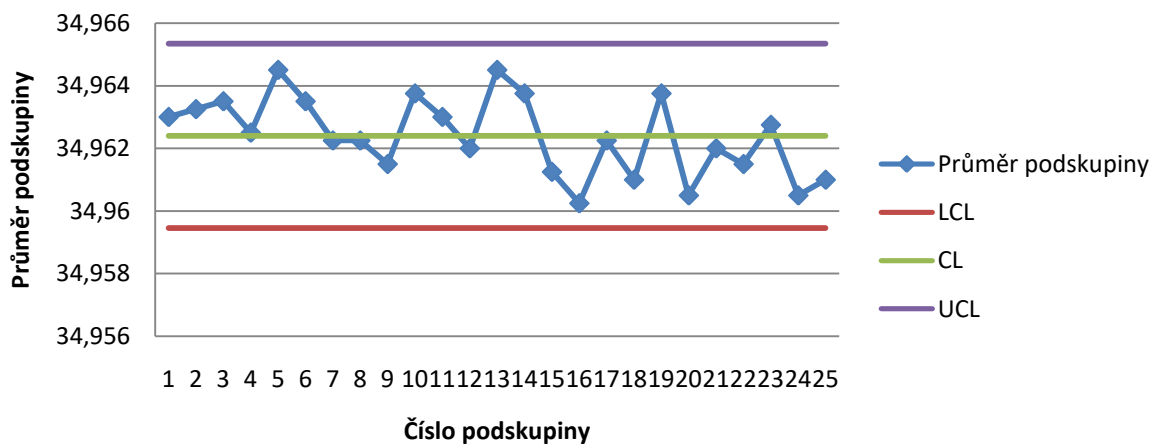


Obr. 22 Histogram výrobku 1 pro C_p , C_{pk}

Na základě sestrojeného histogramů lze tvrdit, že naměřená data splňují normální rozdělení, jelikož histogram má jeden vrchol a je zvonovitého tvaru. Naměřená data se nacházejí uvnitř tolerančního pole, které je v diagramu znázorněno červenými čarami.

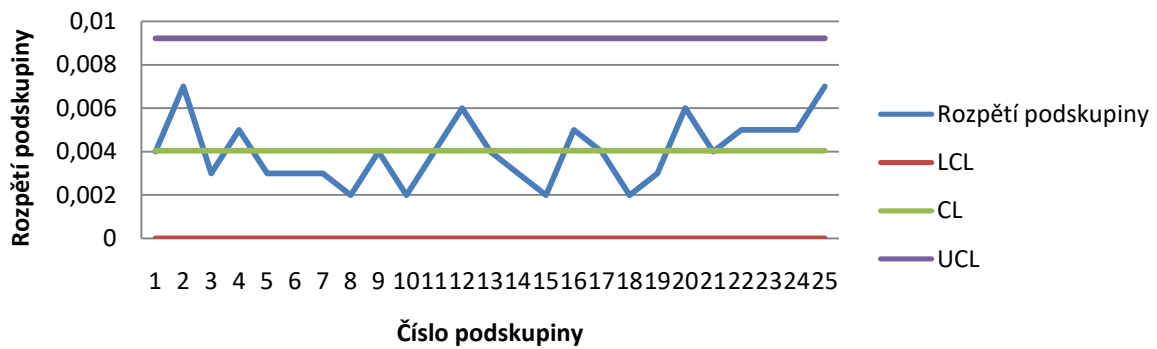
4.2.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu

Regulační diagram pro \bar{X} :



Obr.23 Regulační diagram pro pro \bar{X}

Regulační diagram pro R:



Obr.24 Regulační diagram pro pro R

- Žádný z bodů regulačních diagramů pro \bar{X} a R neleží mimo regulační meze.
- Ani v jednom z diagramů neleží 9 bodů za sebou pod/nad CL.
- Ani v jednom z diagramů 6 bodů v řadě za sebou neklesá/nestoupá.
- U obou diagramů se rozložení bodů jeví jako náhodné

Lze říci, že se jedná o statisticky zvládnutý proces.

4.2.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání

C_p - potenciální schopnost procesu, která zajistí, aby sledovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančních mezí. Jedná se o možnosti procesu, které jsou dané jeho variabilitou.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{34,975 - 34,950}{6 \cdot 0,001962} = 2,12$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,00404}{2,059} = 0,001962$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{34,975 - 34,9624}{3 \cdot 0,001962}; \frac{34,9624 - 34,950}{3 \cdot 0,001962} \right\} = \text{Min}\{2,14; 2,11\} = 2,11$$

$$\mu \approx \bar{\bar{x}} = \frac{874,06}{25} = 34,9624$$

Zákazníkem požadovaná hodnota k porovnání je 1,67.

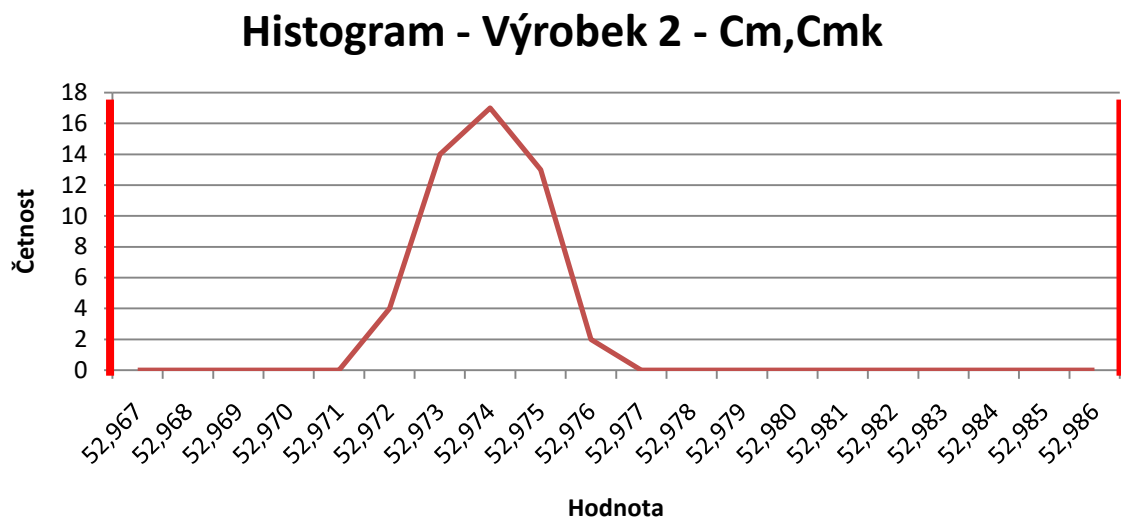
$$C_{pk} \geq 1,67$$

$$2,11 \geq 1,67$$

Podmínka je splněna, proces je způsobilý.

4.3 Výrobek 2 – C_m , C_{mk}

4.3.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality

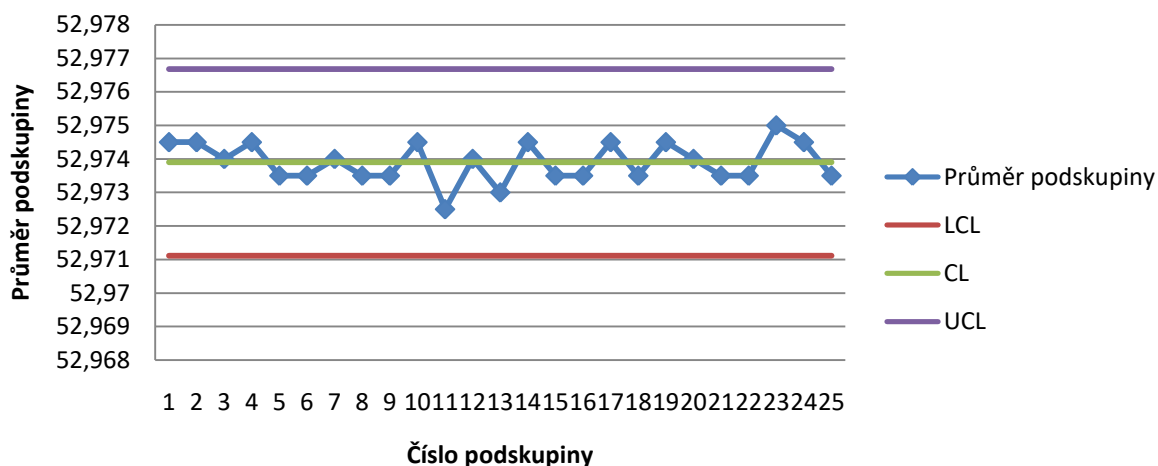


Obr. 25 Histogram výrobku 2 pro C_m , C_{mk}

Na základě sestrojeného histogramů lze tvrdit, že naměřená data splňují normální rozdělení, jelikož histogram má jeden vrchol a je zvonovitého tvaru. Naměřená data se nacházejí uvnitř tolerančního pole, které je v diagramu znázorněno červenými čarami.

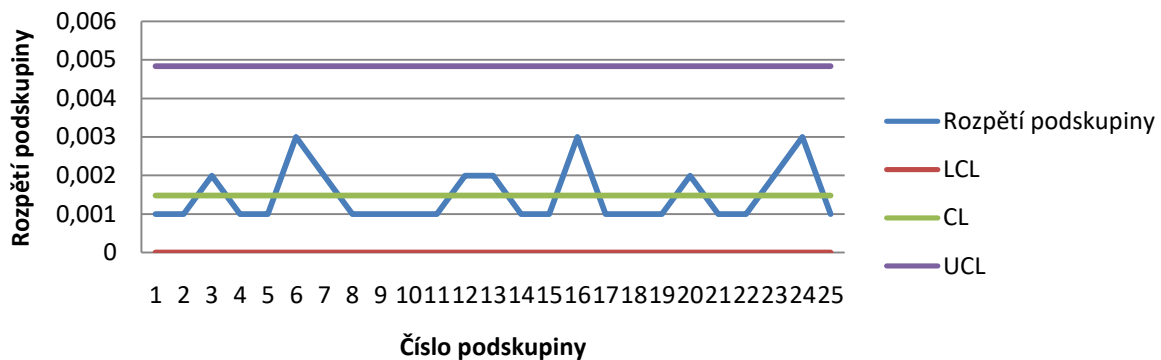
4.3.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu

Regulační diagram pro \bar{X} :



Obr.26 Regulační diagram pro \bar{X}

Regulační diagram pro R:



Obr.27 Regulační diagram pro pro R

- Žádný z bodů regulačních diagramů pro \bar{X} a R neleží mimo regulační meze.
- Ani v jednom z diagramů neleží 9 bodů za sebou pod/nad CL.
- Ani v jednom z diagramů 6 bodů v řadě za sebou neklesá/nestoupá.
- U obou diagramů se rozložení bodů jeví jako náhodné

Lze říci, že se jedná o statisticky zvládnutý proces.

4.3.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání

C_m - potenciální schopnost výrobního zařízení, která zajistí, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí.

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{52,986 - 52,967}{6 * 0,001312} = 2,41$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,00148}{1,128} = 0,001312$$

$$C_{mk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{52,986 - 52,9739}{3 * 0,001312}; \frac{52,9739 - 52,967}{3 * 0,001312} \right\} = \text{Min}\{3,07; 1,75\} = 1,75$$

$$\mu \approx \bar{\bar{x}} = \frac{1324,35}{25} = 52,9739$$

Zákazníkem požadovaná hodnota k porovnání je 1,67.

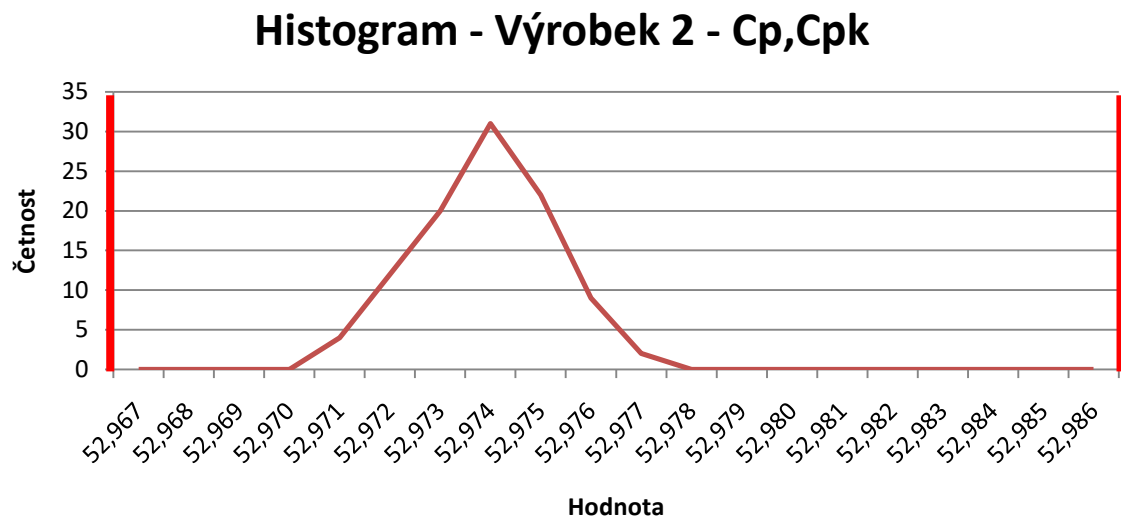
$$C_{mk} \geq 1,67$$

$$1,75 \geq 1,67$$

Podmínka je splněna, výrobní zařízení je způsobilé.

4.4 Výrobek 2 – C_p , C_{pk}

4.4.1 Ověření normality sledovaného znaku kvality

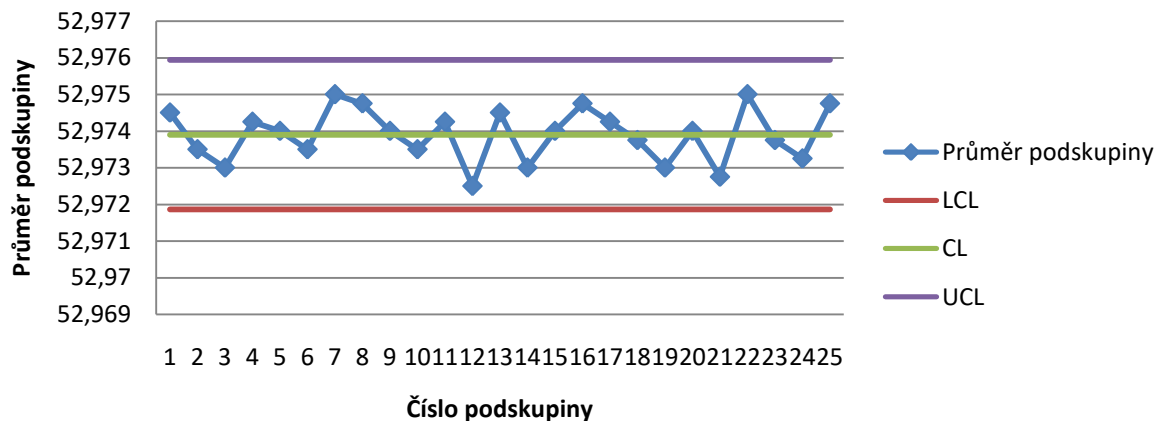


Obr. 28 Histogram výrobku 2 pro C_p , C_{pk}

Na základě sestrojeného histogramů lze tvrdit, že naměřená data splňují normální rozdělení, jelikož histogram má jeden vrchol a je zvonovitého tvaru. Naměřená data se nacházejí uvnitř tolerančního pole, které je v diagramu znázorněno červenými čarami.

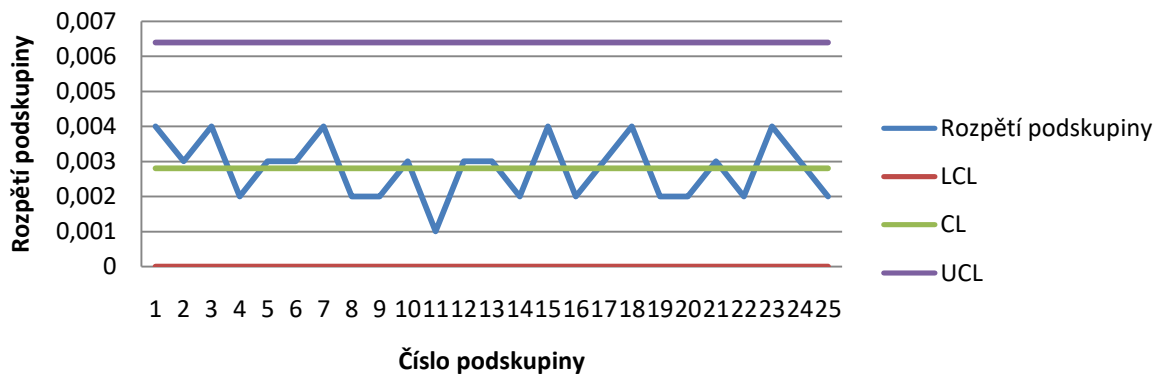
4.4.2 Posouzení statistické zvládnutosti procesu

Regulační diagram pro \bar{X} :



Obr.29 Regulační diagram pro pro \bar{X}

Regulační diagram pro R:



Obr.30 Regulační diagram pro R

- Žádný z bodů regulačních diagramů pro \bar{X} a R neleží mimo regulační meze.
- Ani v jednom z diagramů neleží 9 bodů za sebou pod/nad CL.
- Ani v jednom z diagramů 6 bodů v řadě za sebou neklesá/nestoupá.
- U obou diagramů se rozložení bodů jeví jako náhodné

Lze říci, že se jedná o statisticky zvládnutý proces.

4.4.3 Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání

C_p - potenciální schopnost procesu, která zajistí, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Jedná se o možnosti procesu, které jsou dané jeho variabilitou.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{52,986 - 52,967}{6 \cdot 0,001360} = \mathbf{2,33}$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,0028}{2,059} = 0,001360$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{52,986 - 52,9739}{3 \cdot 0,001360}; \frac{52,9739 - 52,967}{3 \cdot 0,001360} \right\} = \text{Min}\{2,97; 1,69\} = \mathbf{1,69}$$

$$\mu \approx \bar{\bar{x}} = \frac{1324,3475}{25} = 52,9739$$

Zákazníkem požadovaná hodnota k porovnání je 1,67.

$$C_{mk} \geq \mathbf{1,67}$$

$$\mathbf{1,69} \geq \mathbf{1,67}$$

Podmínka je splněna, proces je způsobilý.

5 Zhodnocení výsledků

U obou výrobků byl požadavek zákazníka, aby způsobilost procesu byla větší než hodnota 1,67.

Přehled výsledků:

Výrobek 1		Výrobek 2	
Cm	2,26	Cm	2,41
Cmk	2,06	Cmk	1,75
Cp	2,12	Cp	2,33
Cpk	2,11	Cpk	1,69

Tab. 7 Přehled výsledků

Způsobilost procesu u Výrobku 1 vyšla 2,11, což je větší než hodnota 1,67. Tento proces by prošel i přísnějšími požadavky. Není tedy nutné do procesu jakkoliv zasahovat.

Způsobilost procesu u Výrobku 2 také splňuje požadavky dané zákazníkem, ovšem splňuje je jen těsně. To může být způsobeno větším průměrem obráběného výrobku, větší upínací silou. Dalším faktorem by mohla být výroba 9 kusů v cyklu.

6 Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnocení způsobilosti procesu výroby na CNC obráběcích strojích, na žádost zákazníka. Společnost ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. dodává výrobky převážně do automobilového průmyslu, kde jsou velmi přísné požadavky na finální výrobek. Z toho důvodu zákazník často požaduje informaci o tom, v jakých podmínkách a jak stabilně, je jeho výrobek vyráběn. Takovou informaci poskytuje analýza způsobilosti procesu.

Před samotným hodnocením způsobilosti procesu, bylo provedeno hodnocení výrobních zařízení, kterými byly stroje Nakamura-Tome WT-100. To bylo provedeno, aby bylo zjištěno, zda daná výrobní zařízení dokážou během krátké doby vyrábět výrobky v určitých tolerancích. Výrobek 1 a Výrobek 2 sloužily k proměření sledovaných znaků kvality.

V praktické části proběhlo naměření hodnot potřebných pro vypracování způsobilosti procesu výroby. Celkem bylo potřeba pro tuto analýzu naměřit pro každý výrobek 150 rozměrů. Byly vypočteny indexy způsobilosti, které byly porovnány s požadovanými hodnotami. U obou výrobků byly procesy způsobilé (viz. Tab 7).

Výrobek 1		Výrobek 2	
Cm	2,26	Cm	2,41
Cmk	2,06	Cmk	1,75
Cp	2,12	Cp	2,33
Cpk	2,11	Cpk	1,69

Tab. 7 Přehled výsledků

Použité zdroje

- [1] NENADÁL, Jaroslav. Moderní systémy řízení jakosti: quality management. 2. dopl. vyd. Praha: Management Press, 2005. ISBN 80-7261-071-6.
- [2] VEBER, Jaromír, Marie HŮLOVÁ a Alena PLÁŠKOVÁ. Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce: legislativa, systémy, metody, praxe. 2., aktualiz. vyd. Praha: Management Press, 2010. ISBN 978-80-7261-210-9.
- [3] Statistická regulace procesů (SPC): příručka. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
- [4] ASTRO-KOVO Plzeň s.r.o.. ASTRO-KOVO Plzeň s.r.o. [online]. Dostupné z: <http://www.astro-kovo.cz/>
- [5] ISO » ISO 9001. ISO [online]. Dostupné z: <http://www.iso.cz/iso-9001>
- [6] Object moved. Document Moved [online]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/test/normy-serie-iso-9001-a-jejich-aplikace>
- [7] NENADÁL, Jaroslav. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [8] Jak na Excel (Word, PowerPoint, Access, ...) - . Jak na Excel (Word, PowerPoint, Access, ...) - [online]. Copyright © [cit. 20.05.2018]. Dostupné z: <http://office.lasakovi.com/>
- [9] WT-100 - Products | Nakamura-Tome Precision Industry. 中村留精密工業株式会社 [online]. Copyright © Nakamura [cit. 20.05.2018]. Dostupné z: <http://www.nakamura-tome.co.jp/products/en/turret/wt-100.html>
- [10] 34Cr4 (High grade steel) | High Grade Steel | Ferrous Metals | Metals | Material Categories | Chemical, mechanical, physical and environmental properties of materials | Matbase: the independent online material selection resource. Chemical, mechanical, physical and environmental properties of materials | Matbase: the independent online material selection resource [online]. Dostupné z: <https://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-34cr4.html>

Příloha č. 1

Naměřené hodnoty pro výpočet C_p , C_{pk} - Výrobek 1

Datum	Čas		1	2	3	4	Průměr podskupiny – \bar{X}	Rozpětí podskupiny – R
12.úno	7:30	Podskupina 1	34,961	34,962	34,965	34,964	34,963	0,004
12.úno	16:30	Podskupina 2	34,964	34,964	34,966	34,959	34,96325	0,007
13.úno	7:30	Podskupina 3	34,962	34,963	34,965	34,964	34,9635	0,003
13.úno	16:30	Podskupina 4	34,965	34,962	34,963	34,960	34,9625	0,005
14.úno	7:30	Podskupina 5	34,963	34,966	34,964	34,965	34,9645	0,003
14.úno	16:30	Podskupina 6	34,962	34,964	34,963	34,965	34,9635	0,003
15.úno	7:30	Podskupina 7	34,962	34,962	34,964	34,961	34,96225	0,003
15.úno	16:30	Podskupina 8	34,963	34,962	34,961	34,963	34,96225	0,002
16.úno	7:30	Podskupina 9	34,963	34,961	34,963	34,959	34,9615	0,004
16.úno	16:30	Podskupina 10	34,965	34,963	34,964	34,963	34,96375	0,002
19.úno	7:30	Podskupina 11	34,961	34,963	34,965	34,963	34,963	0,004
19.úno	16:30	Podskupina 12	34,962	34,959	34,965	34,962	34,962	0,006
20.úno	7:30	Podskupina 13	34,964	34,963	34,967	34,964	34,9645	0,004
20.úno	16:30	Podskupina 14	34,963	34,963	34,966	34,963	34,96375	0,003
21.úno	7:30	Podskupina 15	34,961	34,962	34,960	34,962	34,96125	0,002
21.úno	16:30	Podskupina 16	34,961	34,958	34,963	34,959	34,96025	0,005
22.úno	7:30	Podskupina 17	34,962	34,963	34,964	34,960	34,96225	0,004
22.úno	16:30	Podskupina 18	34,961	34,962	34,961	34,960	34,961	0,002
23.úno	7:30	Podskupina 19	34,964	34,964	34,965	34,962	34,96375	0,003
23.úno	16:30	Podskupina 20	34,959	34,961	34,964	34,958	34,9605	0,006
26.úno	7:30	Podskupina 21	34,962	34,962	34,960	34,964	34,962	0,004
26.úno	16:30	Podskupina 22	34,961	34,959	34,962	34,964	34,9615	0,005
27.úno	7:30	Podskupina 23	34,962	34,961	34,966	34,962	34,96275	0,005
27.úno	16:30	Podskupina 24	34,958	34,960	34,963	34,961	34,9605	0,005
28.úno	7:30	Podskupina 25	34,964	34,963	34,957	34,960	34,961	0,007
							874,06	0,101

Tab.3 Naměřené hodnoty výrobku 1 pro výpočet C_p , C_{pk}

Příloha č. 2

Naměřené hodnoty pro výpočet C_p , C_{pk} - Výrobek 2

Datum	Čas		1	2	3	4	Průměr podskupiny - \bar{X}	Rozpětí podskupiny - R
12.úno	8:00	Podskupina 1	52,974	52,973	52,974	52,977	52,9745	0,004
12.úno	17:00	Podskupina 2	52,972	52,975	52,974	52,973	52,9735	0,003
13.úno	8:00	Podskupina 3	52,971	52,974	52,972	52,975	52,973	0,004
13.úno	17:00	Podskupina 4	52,973	52,975	52,975	52,974	52,97425	0,002
14.úno	8:00	Podskupina 5	52,973	52,974	52,973	52,976	52,974	0,003
14.úno	17:00	Podskupina 6	52,972	52,975	52,974	52,973	52,9735	0,003
15.úno	8:00	Podskupina 7	52,973	52,975	52,977	52,975	52,975	0,004
15.úno	17:00	Podskupina 8	52,976	52,974	52,974	52,975	52,97475	0,002
16.úno	8:00	Podskupina 9	52,973	52,975	52,974	52,974	52,974	0,002
16.úno	17:00	Podskupina 10	52,973	52,972	52,975	52,974	52,9735	0,003
19.úno	8:00	Podskupina 11	52,975	52,974	52,974	52,974	52,97425	0,001
19.úno	17:00	Podskupina 12	52,974	52,973	52,971	52,972	52,9725	0,003
20.úno	8:00	Podskupina 13	52,975	52,973	52,976	52,974	52,9745	0,003
20.úno	17:00	Podskupina 14	52,973	52,973	52,974	52,972	52,973	0,002
21.úno	8:00	Podskupina 15	52,973	52,975	52,972	52,976	52,974	0,004
21.úno	17:00	Podskupina 16	52,976	52,974	52,974	52,975	52,97475	0,002
22.úno	8:00	Podskupina 17	52,974	52,974	52,976	52,973	52,97425	0,003
22.úno	17:00	Podskupina 18	52,971	52,974	52,975	52,975	52,97375	0,004
23.úno	8:00	Podskupina 19	52,974	52,973	52,972	52,973	52,973	0,002
23.úno	17:00	Podskupina 20	52,974	52,975	52,974	52,973	52,974	0,002
26.úno	8:00	Podskupina 21	52,972	52,971	52,974	52,974	52,97275	0,003
26.úno	17:00	Podskupina 22	52,975	52,976	52,974	52,975	52,975	0,002
27.úno	8:00	Podskupina 23	52,972	52,972	52,975	52,976	52,97375	0,004
27.úno	17:00	Podskupina 24	52,975	52,973	52,972	52,973	52,97325	0,003
28.úno	8:00	Podskupina 25	52,975	52,974	52,974	52,976	52,97475	0,002
							1324,3475	0,07

Tab.4 Naměřené hodnoty výrobku 2 pro výpočet C_p , C_{pk}

Příloha č. 3

Naměřené hodnoty pro výpočet C_m , C_{mk} - Výrobek 1

Datum	Čas		1	2	Průměr podskupiny - \bar{x}	Rozpětí podskupiny - R
11.úno	7:30	Podskupina 1	34,966	34,962	34,964	0,004
11.úno	7:32	Podskupina 2	34,961	34,964	34,9625	0,003
11.úno	7:34	Podskupina 3	34,963	34,965	34,964	0,002
11.úno	7:36	Podskupina 4	34,967	34,963	34,965	0,004
11.úno	7:38	Podskupina 5	34,962	34,964	34,963	0,002
11.úno	7:40	Podskupina 6	34,963	34,965	34,964	0,002
11.úno	7:42	Podskupina 7	34,964	34,963	34,9635	0,001
11.úno	7:44	Podskupina 8	34,961	34,964	34,9625	0,003
11.úno	7:46	Podskupina 9	34,963	34,965	34,964	0,002
11.úno	7:48	Podskupina 10	34,962	34,963	34,9625	0,001
11.úno	7:50	Podskupina 11	34,963	34,960	34,9615	0,003
11.úno	7:52	Podskupina 12	34,966	34,964	34,965	0,002
11.úno	7:54	Podskupina 13	34,961	34,963	34,962	0,002
11.úno	7:56	Podskupina 14	34,964	34,965	34,9645	0,001
11.úno	7:58	Podskupina 15	34,965	34,961	34,963	0,004
11.úno	8:00	Podskupina 16	34,967	34,966	34,9665	0,001
11.úno	8:02	Podskupina 17	34,962	34,963	34,9625	0,001
11.úno	8:04	Podskupina 18	34,964	34,966	34,965	0,002
11.úno	8:06	Podskupina 19	34,966	34,965	34,9655	0,001
11.úno	8:08	Podskupina 20	34,962	34,961	34,9615	0,001
11.úno	8:10	Podskupina 21	34,962	34,965	34,9635	0,003
11.úno	8:12	Podskupina 22	34,962	34,964	34,963	0,002
11.úno	8:14	Podskupina 23	34,965	34,964	34,9645	0,001
11.úno	8:16	Podskupina 24	34,961	34,964	34,9625	0,003
11.úno	8:18	Podskupina 25	34,964	34,965	34,9645	0,001
					874,09	0,052

Tab.5 Naměřené hodnoty výrobku 1 pro výpočet C_m , C_{mk}

Příloha č. 4

Naměřené hodnoty pro výpočet C_m , C_{mk} - Výrobek 2

Datum	Čas		1	2	Průměr podskupiny - \bar{X}	Rozpětí podskupiny - R
11.úno	8:45	Podskupina 1	52,974	52,975	52,9745	0,001
11.úno	8:49	Podskupina 2	52,975	52,974	52,9745	0,001
11.úno	8:53	Podskupina 3	52,973	52,975	52,974	0,002
11.úno	8:57	Podskupina 4	52,974	52,975	52,9745	0,001
11.úno	9:01	Podskupina 5	52,973	52,974	52,9735	0,001
11.úno	9:05	Podskupina 6	52,972	52,975	52,9735	0,003
11.úno	9:09	Podskupina 7	52,975	52,973	52,974	0,002
11.úno	9:13	Podskupina 8	52,973	52,974	52,9735	0,001
11.úno	9:17	Podskupina 9	52,974	52,973	52,9735	0,001
11.úno	9:21	Podskupina 10	52,975	52,974	52,9745	0,001
11.úno	9:25	Podskupina 11	52,972	52,973	52,9725	0,001
11.úno	9:29	Podskupina 12	52,973	52,975	52,974	0,002
11.úno	9:33	Podskupina 13	52,974	52,972	52,973	0,002
11.úno	9:37	Podskupina 14	52,974	52,975	52,9745	0,001
11.úno	9:41	Podskupina 15	52,973	52,974	52,9735	0,001
11.úno	9:45	Podskupina 16	52,972	52,975	52,9735	0,003
11.úno	9:49	Podskupina 17	52,975	52,974	52,9745	0,001
11.úno	9:53	Podskupina 18	52,973	52,974	52,9735	0,001
11.úno	9:57	Podskupina 19	52,975	52,974	52,9745	0,001
11.úno	10:01	Podskupina 20	52,975	52,973	52,974	0,002
11.úno	10:05	Podskupina 21	52,974	52,973	52,9735	0,001
11.úno	10:09	Podskupina 22	52,973	52,974	52,9735	0,001
11.úno	10:13	Podskupina 23	52,974	52,976	52,975	0,002
11.úno	10:17	Podskupina 24	52,976	52,973	52,9745	0,003
11.úno	10:21	Podskupina 25	52,973	52,974	52,9735	0,001
					1324,3475	0,037

Tab.6 Naměřené hodnoty výrobku 2 pro výpočet C_m , C_{mk}

Příloha č. 5

Výpočet regulačních mezí:

Výrobek 1 – C_m , C_{mk}

$$UCL_R = D_4 * \bar{R} = 3,26 * 0,00208 = 0,00678$$

$$LCL_R = D_3 * \bar{R} = 0 * 0,00208 = 0$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} = 34,9636 + 1,88 * 0,00208 = 34,96751$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} = 34,9636 - 1,88 * 0,00208 = 34,95969$$

Výrobek 1 – C_p , C_{pk}

$$UCL_R = D_4 * \bar{R} = 2,282 * 0,00404 = 0,00922$$

$$LCL_R = D_3 * \bar{R} = 0 * 0,00404 = 0$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} = 34,9624 + 0,729 * 0,00404 = 34,96535$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} = 34,9624 - 0,729 * 0,00404 = 34,95945$$

Výrobek 2 – C_m , C_{mk}

$$UCL_R = D_4 * \bar{R} = 3,26 * 0,00148 = 0,00484$$

$$LCL_R = D_3 * \bar{R} = 0 * 0,00148 = 0$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} = 52,9739 + 1,88 * 0,00148 = 52,97668$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} = 52,9739 - 1,88 * 0,00148 = 52,97112$$

Výrobek 2 – C_p , C_{pk}

$$UCL_R = D_4 * \bar{R} = 2,282 * 0,0028 = 0,0064$$

$$LCL_R = D_3 * \bar{R} = 0 * 0,0028 = 0$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} = 52,9739 + 0,729 * 0,0028 = 52,9759$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} = 52,9739 - 0,729 * 0,0028 = 52,9719$$

Kde

UCL_R je horní regulační mez pro rozpětí,

LCL_R je dolní regulační mez pro rozpětí,

$UCL_{\bar{x}}$ je horní regulační mez pro průměry,

$LCL_{\bar{x}}$ je dolní regulační mez pro průměry.