

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ověření způsobilosti výrobního zařízení

Autor: **Bc. Simona DUDÁČKOVÁ**
Vedoucí práce: **Ing. Kateřina BÍCOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Simona DUDÁČKOVÁ
Osobní číslo:	S18N0038P
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie – technologie obrábění
Téma práce:	Ověření způsobilosti výrobního zařízení
Zadávající katedra:	Katedra technologie obrábění

Zásady pro vypracování

1. Obecný úvod do problematiky
2. Současné přístupy k hodnocení způsobilosti
3. Hodnocení způsobilosti navrženého kontrolního procesu
4. Ověření způsobilosti výrobního zařízení
5. Zhodnocení výsledků
6. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- Michálek, J.: Statistická regulace procesů (SPC), 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9
- ČSN ISO 8258 Shewhartovy regulační diagramy, 1994
- IATF 16949 Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu, 2016
- Staněk J., Němejc J.: Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací ZČU, Plzeň: 2005

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kateřina Bícová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Kateřina Bícová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

Prohlášení o autorství

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní Ing. Kateřině Bícové, Ph.D. za odborné rady, čas a ochotný přístup při tvorbě této diplomové práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Dudáčková	Jméno Simona	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bícová, Ph.D.	Jméno Kateřina	
PRACOVIŠTĚ	ZČU – FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Ověření způsobilosti výrobního zařízení		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK. ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	---------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	69	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	9
---------------	----	-------------------------	----	--------------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zaměřuje na hodnocení stability procesu pomocí metody SPC a jejím cílem je zjištění způsobilosti stroje na kterém probíhala výroba. Kontrola výrobků probíhala na dvou měřicích zařízeních. Po zjištění všech hodnot následovalo zhodnocení způsobilosti stroje a možná nápravná opatření.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	ISO 9001, IATF 16949, histogram, regulační diagram, způsobilost procesu, způsobilost výrobního zařízení,

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Dudáčková	Name Simona	
FIELD OF STUDY	Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degree) Ing. Bícová, Ph.D.	Name Kateřina	
INSTITUTION	ZČU – FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Verification of Production Equipment Capability		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	69	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DECIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis focuses on the evaluation of the stability process using the SPC method and its aim is to determine the capability of the machine on which the production took place. The product was inspected on two measuring devices. After finding all the values, the evaluation of the machine's suitability and possible corrective measures followed.
KEY WORDS	ISO 9001, IATF 16949, histogram, control diagram, process capability, machine capability

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíl	11
2	Současný přístup k hodnocení způsobilosti	12
2.1	Normální a nenormální rozdělení	16
2.1.1	Normální rozdělení	16
2.1.2	Nenormální rozdělení	16
2.2	Sedm základních nástrojů.....	17
2.2.1	Záznamníky	17
2.2.2	Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram).....	18
2.2.3	Vývojové diagramy.....	18
2.2.4	Histogram.....	19
2.2.5	Korelační diagram.....	20
2.2.6	Paretova analýza	21
2.2.7	Regulační diagram	22
2.3	Způsobilost procesu	24
2.3.1	Index způsobilosti C_p	25
2.3.2	Index způsobilosti C_{pk}	26
2.3.3	Stanovení směrodatné odchylky a střední hodnoty	27
2.4	Způsobilost výrobního zařízení	29
2.4.1	Metody zkoušení výrobního zařízení.....	29
2.4.2	Postup pro stanovení způsobilosti výrobního zařízení	29
2.4.3	Indexy způsobilosti pro výrobní stroj	30
3	Hodnocení způsobilosti navrženého kontrolního procesu	33
3.1	Popis procesu výroby.....	33
3.1.1	Multifunkční soustruh Quick Turn Nexus 250-II MY.....	34
3.1.2	Hrotový soustruh SUI 32	35
3.2	Měření součásti.....	36
3.2.1	Optický komparátor Keyence IM-7000	36
3.2.2	Profilo-drsměr HOMMEL ETAMIC T-8000.....	37
3.3	Statistická analýza dat z Keyence IM-7000	38
3.3.1	Ověření normality	39
3.3.2	Ověření statistické stability procesu	40
3.3.3	Způsobilost procesu	46

3.4	Statistická analýza dat z HOMMEL ETAMIC T-8000.....	48
3.4.1	Ověření normality	48
3.4.2	Ověření statistické stability procesu	49
3.4.3	Způsobilost procesu	52
4	Ověření způsobilosti výrobního zařízení	55
4.1	Ověření způsobilosti výrobního zařízení pomocí dat z Keyence IM-7000	55
4.2	Ověření způsobilosti výrobního zařízení pomocí dat z HOMMEL ETAMIC T-8000	56
5	Zhodnocení výsledků	58
5.1	Zhodnocení výsledků způsobilosti procesu	58
5.1.1	Výsledky z optického komparátoru Keyence IM-7000.....	58
5.1.2	Výsledky z drsnoměru Hommel Etamic T-8000	58
5.2	Zhodnocení výsledků způsobilosti výrobního zařízení	59
5.2.1	Výsledky z optického komparátoru Keyence IM-7000.....	59
5.2.2	Výsledky z drsnoměru Hommel Etamic T-8000	59
6	Závěr	61
	Literatura	62
	Přílohy	65

Seznam obrázků

Obr. 2-1: PDCA cyklus [4].....	12
Obr. 2-2: Model procesního přístupu [5].....	13
Obr. 2-3: Normální rozdělení – Gaussova křivka [8].....	16
Obr. 2-4: Ukázky hustot náhodných veličin [10]	17
Obr. 2-5: Ukázka záznamníku [22]	17
Obr. 2-6: Ukázka diagramu příčin a následků [11]	18
Obr. 2-7: Význam symbolů používaných ve vývojových diagramech [7].....	19
Obr. 2-8: Ukázka typů histogramů [12]	20
Obr. 2-9: Základní typy stochastické závislosti dvou proměnných [7].....	21
Obr. 2-10: Ukázka diagramu Paretova analýza [13]	22
Obr. 2-11: Ukázka regulačního diagramu pro průměr [15].....	23
Obr. 2-12: Zobrazení hodnot v grafu pro výpočet C_p [9]	25
Obr. 2-13 Změny v grafu při změně C_p a σ [9].....	26
Obr. 2-14: Zobrazení hodnot v grafu pro výpočet C_{pk} [9]	27
Obr. 2-15: Pravidlo Six Sigma [16].....	28
Obr. 2-16: Grafické vyjádření mezi rozptylem a velikostí tolerance [18]	31
Obr. 2-17: Srovnání průměrné hodnoty se středem tolerančního pole [18].....	32
Obr. 3-1: Přípravek na ohýbání trubek	33
Obr. 3-2: Multifunkční soustruh Quick Turn Nexus 250-II MY [19].....	34
Obr. 3-3: Hrotový soustruh SUI 32 [20]	35
Obr. 3-4: Parametry přípravku	36
Obr. 3-5: Optický komparátor Keyence IM-7000	37
Obr. 3-6: Profilo-drsnoměr HOMMEL ETAMIC T-8000	38
Obr. 3-7: Ilustrační obrázek pro měření drsnosti povrchu	38
Obr. 3-8: Ukázka bodu ležícího mimo toleranční mez v diagramu pro průměr.....	43

Seznam tabulek

Tab. 2-1: Volba minimální přijatelné hodnoty	28
Tab. 3-1: Parametry stroje Quick Turn Nexus 250-II MY [19]	34
Tab. 3-2: Parametry stroje SUI 32.....	35
Tab. 3-3: Rozdělení intervalů z optického komparátoru pro sestavení histogramu	39
Tab. 3-4: Rozdělení intervalů pro regulační diagram.....	40
Tab. 3-5: Vzorce pro regulační meze [14].....	40
Tab. 3-6: Rozdělení intervalů z drsnoměru pro sestavení histogram	48
Tab. 3-7: Rozdělení intervalů pro regulační diagram.....	49
Tab. 5-1: Hodnoty indexů způsobilosti procesu z komparátoru.....	58
Tab. 5-2: Hodnoty indexů způsobilosti procesu z profilo-drsnoměru.....	58
Tab. 5-3: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z komparátoru	59
Tab. 5-4: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z komparátoru při snížení HMR	59
Tab. 5-5: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z profilo-drsnoměru	59
Tab. 5-6: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z profilo-drsnoměru při snížení HMR	60

Seznam příloh

Příloha 1: Výkres součásti	65
Příloha 2: Naměřené hodnoty na Keyence IM-7000	66
Příloha 3: Součinitele pro výpočet přímek regulačních diagramů	67
Příloha 4: Naměřené hodnoty na Hommel Etamic T-8000	67

Přehled použitých symbolů a zkratk

ISO	International Organization for Standardization
IATF	International Automotive Task Force
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
PDCA	Plan, Do, Check, Act
SPC	Statistical Process Control
CL	Centrální přímka
UCL	Upper Control Limit
LCL	Lower Control Limit
USL	Upper Specific Limit
LSL	Lower Specific Limit
HMR	Horní mezní rozměr
DMR	Dolní mezní rozměr
C_m	Capability machine
C_{mk}	Capability index
C_p	Capability process
C_{pk}	Capability process index
C_{pU}	Horní ukazatel způsobilosti procesu
C_{pL}	Dolní ukazatel způsobilosti procesu
C_{mkU}	Horní ukazatel způsobilosti výrobního zařízení
C_{mkL}	Dolní ukazatel způsobilosti výrobního zařízení
ppm	Parts per million
ppb	Parts per billion

1 Úvod

Cílem současného trhu je snaha zrychlovat výrobní procesy a zvyšovat kvalitu výrobků a služeb. Kvalita je dnes velice důležitým aspektem pro zákazníka. Pokud společnosti chtějí být úspěšné na trhu, musí si být vědomi, že kvalita je základním ukazatelem pro zákazníka při rozhodování, zda si výrobek či službu zakoupí. Každá společnost se snaží dosáhnout co nejlepších výsledků, a tudíž je nucena zdokonalovat kvalitu výrobků či služeb a hledat stále nová inovační řešení.

Všechny tyto přístupy se snaží podporovat standardy ISO řady 9000. Především ISO 9001, který stanovuje požadavky na systém řízení kvality. Zaměřuje se především na oblast kvality výrobků a poskytování služeb zákazníkům, a také udržení způsobilosti výrobního procesu a s tím spojenou způsobilost stroje nebo měřicího zařízení. Pro oblast automobilového průmyslu byla norma ISO 9001 doplněna o dokument IATF 16949. Dokument obsahuje požadavky kladené na automobilový průmysl, zejména při zavádění nových výrobků, schvalování výrobků zákazníkem apod.

V současné době se bezvadnost bere za samozřejmost, ale ani při nejlepší vůli nelze dosáhnout nulové zmetkovitosti. I přesto musí každá společnost dbát na to, aby se k zákazníkovi dostal pouze bezvadný výrobek. Sériová výroba je velmi produktivní, tudíž není reálné kontrolovat každý výrobek. Z toho důvodu byly vyvinuty metody, které efektivně pomáhají sledovat výrobní proces. Včasné odhalení neshod, analýzy dat a jejich správná interpretace může vést ke snížení nákladů na výrobu a zaručení dlouhodobé stability kvalitních výstupů – to patří mezi hlavní přínosy při aplikaci statistických metod v řízení kvality.

Aplikace statistických metod slouží nejen pro kontrolu, ale také umožňuje včas zasáhnout do výrobního procesu, a tím proces udržet na přípustné a stabilní úrovni tak, aby byla zajištěna shoda výrobků se specifickými požadavky zákazníka. Základem těchto metod je zjištění změn v kvalitě a minimalizace počtu neshodných výrobků. Statistické metody se používají především v hromadné a sériové výrobě, kde není možné použití jiných metod pro udržení výrobního procesu na požadované stabilitě.

Tato diplomová práce se bude soustředit právě na způsobilost, protože právě způsobilost procesu je důležitým aspektem kvalitní produkce. Hlavní myšlenka pro následnou studii je ta, že způsobilý proces může probíhat pouze na výrobním zařízení, u kterého je prokázána jeho způsobilost. Proto bude dále ověřována způsobilost výrobního zařízení, a tím i schopnost vyrábět komponenty pro oblast automobilového průmyslu, kde jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu a přesnost.

1.1 Cíl

Tato diplomová práce se zaměřuje na přesnou výrobu. Je zde nutnost kontroly konstrukčně zásadních prvků určené zákazníkem pro správnost funkce vyráběných součástí. Jelikož se jedná o malosériovou výrobu, není často reálné kontrolovat každý výrobek, a proto byly vyvinuty metody, které pomáhají efektivně sledovat výrobu. Pro tuto práci bude využito statistických metod, převážně použití regulačních diagramů a ověřování indexů způsobilosti výrobního procesu a stroje.

Cílem diplomové práce je ověřit způsobilost vybraného výrobního zařízení a jeho vhodnost pro použití na výrobu přesných komponent v oblasti automobilového průmyslu. Převážná část výroby probíhá na multifunkčním soustruhu Quick Turn Nexus 250-II MY. V případě zjištění nestability procesu nebo jeho nezpůsobilosti bude vypracovaný plán pro nápravná opatření.

2 Současný přístup k hodnocení způsobilosti

O kvalitě se převážně hovoří v souvislosti s produkty, tedy s tím, co zákazník obdrží od dodavatele. Kvalita je důležitým aspektem pro zákazníka. Důvodem vysoké konkurenceschopnosti je snaha vyhovět požadavkům zákazníka. Mezinárodně uznávaná norma ČSN EN ISO 9000:2015 definuje kvalitu jako „stupeň splnění požadavků souborem inherentních charakteristik“. To znamená, že kvalita představuje komplexní vlastnost služeb, výrobků, informací, osob i systémů, které se projevují určitou mírou schopnosti plnit požadavky, které jsou na ně kladeny. Zároveň se jedná o vlastnost, která umožňuje rozlišovat produkty podobného charakteru a přiřazovat jim rozdílné hodnoty. [2]

ISO 9001 stanovuje požadavky na systém řízení kvality. Pomáhá podnikům a organizacím zvyšovat efektivitu a zlepšovat spokojenost zákazníků. ISO 9001 je založena na myšlence neustálého zlepšování celkové účinnosti, výkonnosti a efektivnosti organizace. Norma prosazuje dosažení procesního přístupu pomocí metodiky Plan – Do – Check – Act (PDCA), která zároveň bere v potaz možná rizika, kterým se snaží zabránit. Metoda byla vytvořena z důvodu zjištění, co způsobilo, že produkty nesplňují očekávání zákazníků. Jeho řešení pomáhá podnikům vyvinout hypotézu o tom, co je potřeba změnit a následně je testovat v nepřetržité zpětné vazbě. Slouží pro zlepšování procesů, ale i výrobků, služeb a managementu kvality jako takového. [3]

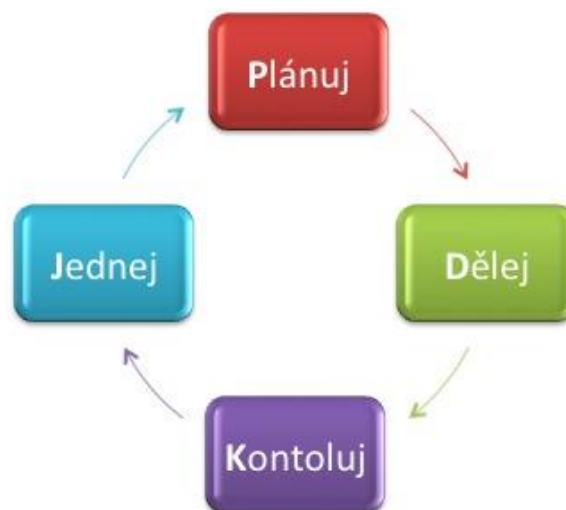
Model metodiky PDCA se skládá ze 4 základních činností (viz obr. 2-1):

Plan (plánuj) – Identifikovat a analyzovat problém nebo příležitost. Stanovit cíle, kterých chce firma dosáhnout.

Do (dělej) – Vyzkoušet potenciální řešení, které bylo naplánováno.

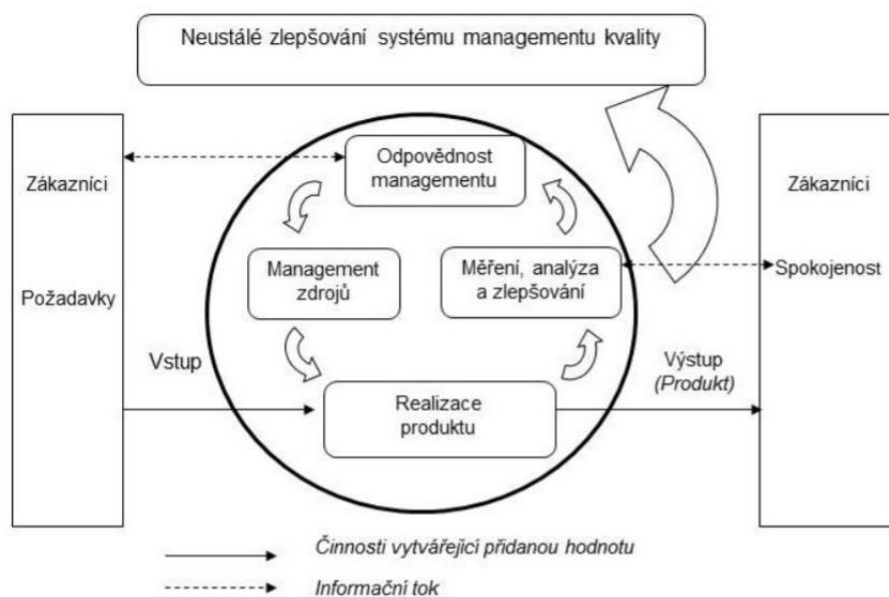
Check (kontroluj) – Kontrola dosažených výsledků, zda splňují plán.

Act (jednej) – Zavedení do procesů nebo systému. V případě, že se výsledky liší od očekávání a problém není vyřešen, hledání příčiny problému. [3]



Obr. 2-1: PDCA cyklus [4]

Norma ISO 9001 modifikuje cyklus PDCA a požadavky na systém managementu kvality specifikuje následujícím schématem (viz obr. 2-2). Je zde kladen důraz na procesní přístup.



Obr. 2-2: Model procesního přístupu [5]

Ze schématu je zřejmé, že zákazníci hrají významnou roli při určování požadavků jako vstupů pro organizaci. Míry splnění potřeb a očekávání zákazníků jsou vyhodnocovány na základě informací ze soustavného sledování spokojenosti zákazníků. Společnosti provádí neustálé zlepšování svých procesů a činností s ohledem na požadavky zákazníků.

Při neustálém zlepšování jsou uplatňovány dva principy:

- skokové zlepšování
- zlepšování po malých krocích

Skokové zlepšování

Skokové zlepšování vede k výrazné změně současných procesů nebo realizaci nových procesů. Dochází k výrazné změně celého návrhu. Do zlepšování jsou zařazeni specialisté z jednotlivých útvarů, kteří realizují potřebnou změnu. [7]

Zlepšování po malých krocích

Zlepšování po malých krocích je realizováno pracovníky organizace v rámci již existujícího procesu, jelikož jsou zdrojem námětů a znají nejlépe určitý proces, do kterého jsou zapojeni. Velmi často se používají na zlepšení stávajícího procesu a využívá se týmová práce. Pracovníci by měli být vybaveni pravomocemi, technikou a nezbytnými zdroji. [7]

Proces neustálého zlepšování by měl být nedílnou součástí každé společnosti. S tím souvisí i snaha minimalizovat vznik příčin variability, které způsobují kolísání výstupu výrobního či jiného procesu kolem požadované hodnoty.

Rozlišujeme příčiny:

- náhodné (přirozené) příčiny variability
- vymežitelné (zvláštní) příčiny variability

Náhodné příčiny

Nekonečné množství neidentifikovatelných příčin. Působení těchto příčin je trvalé a relativně předvídatelné. Jsou obsaženy v každém procesu. Součet těchto náhodných příčin je měřitelný. Způsobují pouze krátkodobé rozdíly a vedou k přirozenému kolísání procesu, tzv. inherentnímu kolísání. Je-li proces ovlivněn pouze náhodnými příčinami jedná se o staticky zvládnutelný proces. Celkové působení náhodných příčin lze omezit pouze radikální změnou ve výrobním procesu (změna technologie, změna výrobního zařízení atd.).

Vymežitelné příčiny

Jedná se o identifikovatelnou změnu jednoho nebo více faktorů procesu, která vede k nežádoucím změnám výrobního procesu. Působení vymežitelných příčin je náhodné a nepředvídatelné, tudíž je nutnost je odstranit, jinak nelze proces považovat za staticky stabilní. Vymežitelné příčiny lze rozdělit na:

- nepředvídatelné
- předvídatelné

Nepředvídatelné vymežitelné příčiny nepředstavují přirozené chování procesu, tudíž jsou identifikovatelné a měly by být odstraněny.

Předvídatelné vymežitelné příčiny jsou dány fyzikální podstatou daného procesu (např. otupování nástroje při obrábění atd.). Příčiny jde do určité míry omezit, ale nikoliv zcela odstranit. Mezi tyto vlivy obecně patří [6]:

- materiál (tvrdost, homogenita materiálu, pnutí atd.)
- obsluha (nedostatečná kvalifikace, monotonie práce, školení atd.)
- stroj a zařízení (špatné seřízení, chvění, použití nesprávných nástrojů atd.)
- měření (postup měření, způsobilost měřidla, výpočty atd.)
- metody (postupy, nedodržení technologických postupů atd.)
- prostředí (teplotní změny atd.)

Pokud nastanou problémy s kvalitou výroby, je nutné co nejdříve odhalit příčinu a pokud možno ji odstranit. K jejich spolehlivé a rychlé identifikaci můžou složit různé analýzy a metody. Pro jejich použití musí být pozorovatel velmi dobře seznámen s celým procesem výroby. Pro vyhodnocování znaků kvality se nejčastěji používají statistické metody, které jsou

založené na matematických výpočtech – statistice a pravděpodobnosti. Dále pak je často využíváno „Seven Basic Tools of Quality“ neboli sedm základních nástrojů řízení kvality. Jsou používány při aplikaci podle požadavků ISO. Využívají se převážně v sériové výrobě, kde je možnost získat větší množství dat, a tudíž lépe sledovat zmetkovitost, popř. chyby zaměstnanců či strojů. Z naměřených dat lze určit způsobilost procesu či stoje nebo další požadované ukazatele. Skupinu sedmi základních nástrojů řízení kvality tvoří [7]:

- 1) záznamníky
- 2) diagram příčin a následků (Ishikawův diagram)
- 3) vývojové diagramy
- 4) histogram
- 5) korelační diagram
- 6) paretova analýza
- 7) regulační diagram

Nástroje řízení kvality tvoří jednoduché statistické, a především grafické metody, které napomáhají řešit problémy s kvalitou výstupů. Jako například u regulačních diagramů, u kterých probíhá pravidelná kontrola výstupních veličin s cílem dosáhnout stabilního procesu, kde výstupy nevykazují velké odchylky kolem stanovené hodnoty. Pro stoprocentní kontrolu se využívá regulační diagram jako základní nástroj pro statistickou regulaci. Sledované hodnoty jsou zaznamenávány, a pomocí těchto nástrojů lze určit, zda se jedná o statisticky zvládnutý proces. [7]

Dá se říct, že cílem všech těchto nástrojů a metod je dozvědět více o výrobním procesu. S tím souvisí důležitý krok, a to sběr dat.

Sběr dat

Konkurence vytváří tlak na produktivitu a kvalitu výroby a podniky jsou proto nuceny hledat stále nová zlepšení parametrů výroby. To není možné bez detailních informací o výrobě a jejím průběhu, proto je stále více kladen důraz na sběr dat a stále častěji jsou pro to využívány výrobní informační systémy a další softwary. [23]

Sběr dat bývá nejčastěji i nepracnější fáze. Je to důležitý krok, jelikož od kvality dat se vše odvíjí. Kvalita sesbíraných dat ovlivňuje kvalitu výstupu analýzy zpracované právě z těchto dat. Data potřebujeme pro využití patřičného statistického nástroje. Před sběrem dat je nutné si říct, jak celý výrobní proces probíhá, co je cílem zjistit, jaká data jsou k tomu potřeba, a jak s nimi bude pracováno. Základní popisná statistika zjišťuje a sumarizuje informace, které následně zpracovává ve formě tabulek a grafů a vypočítává jejich číselné charakteristiky jako je průměr, rozpětí apod. [21]

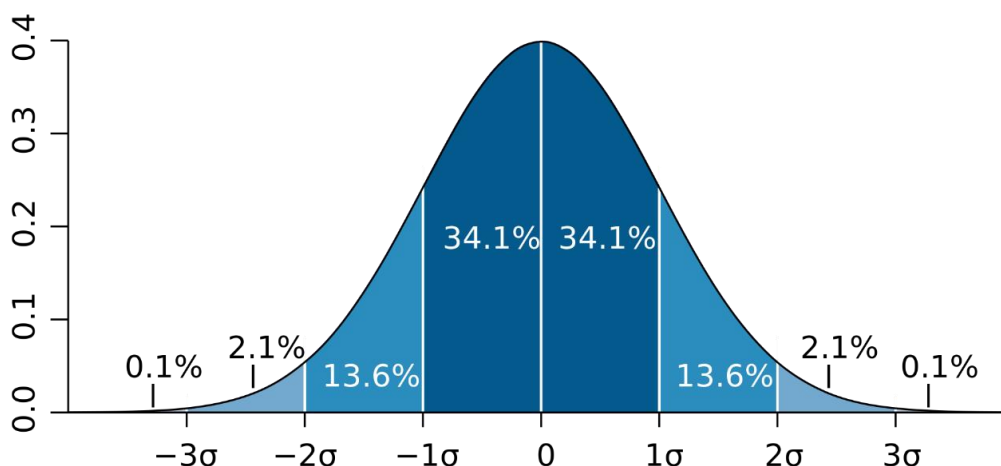
Pomocí základní popisné statistiky a prvotního zpracování dat lze získat nejdůležitější vlastnosti sledovaného znaku, které je nutné znát před použitím jednotlivých metod a nástrojů. Mezi první důležitou vlastnost patří, jakému typu rozdělení data odpovídají.

2.1 Normální a nenormální rozdělení

Většina nástrojů řízení jakosti vyžaduje normální rozdělení. Pro hodnocení procesu pomocí ukazatelů C_p a C_{pk} se vyžadují data, která lze popsat normálním rozdělením. Rozdělení lze ověřit např. pomocí histogramu.

2.1.1 Normální rozdělení

Normální neboli Gaussovo rozdělení je základním rozdělením spojitých náhodných veličin. Označení „Gaussovo“ je podle svého objevitele Gausse. V názvu pojem „normální“ má význam „řídící se zákonem, předpisem nebo modelem“. Normální rozdělení je žádoucí, protože lze předvídat, co se bude dít v budoucnu. [7]



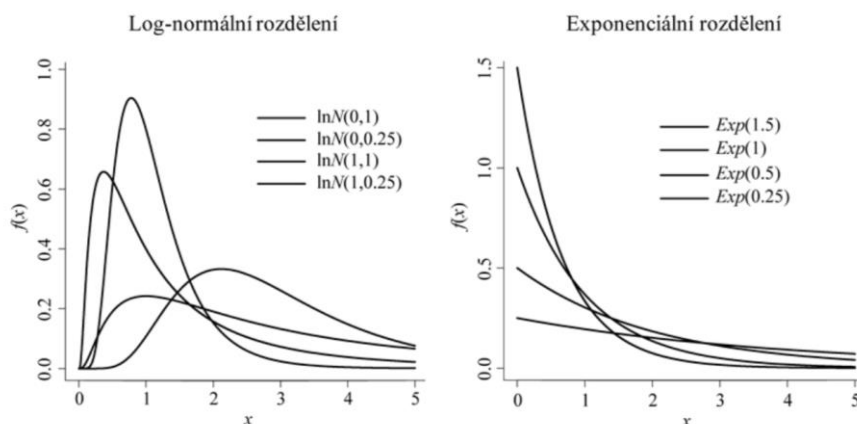
Obr. 2-3: Normální rozdělení – Gaussova křivka [8]

Jedná se o symetrickou křivku se střední hodnotou μ , která leží právě pod jejím vrcholem, a směrodatnou odchylkou σ . Polovina hodnot je větší než průměr a druhá polovina je menší. Jednotlivá procenta na obr. 2-3 znázorňují pravděpodobnost, že náhodně vybraný případ bude ležet v uvedeném intervalu. Např., že do jedné směrodatné odchylky (σ) na každou stranu spadá 68,2 % případů. Při zvyšujícím se intervalu nastává růst k výskytu 100 %. Křivka vodorovné osy by se nikdy neměla dotknout. Funkce je popsána následujícím vztahem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

2.1.2 Nenormální rozdělení

Jde o každé rozdělení, které neodpovídá normálnímu. Nejčastěji vyskytující se rozdělení je exponenciální či log-normální. Zjišťování parametrů a typů rozdělení vyžaduje zkušenosti a je časově velmi náročné, tudíž je nutnost použití vhodných softwarů. V nenormálním rozdělení nelze predikovat, jak se bude proces chovat po čase. [9]



Obr. 2-4: Ukázky hustot náhodných veličin [10]

2.2 Sedm základních nástrojů

2.2.1 Záznamníky

Záznamníky neboli kontrolní tabulky patří mezi první ze sedmi základních nástrojů řízení kvality. Slouží k zaznamenávání prvotních údajů sledovaného procesu, které jsou následně zpracovávány a vyhodnocovány. Způsoby zaznamenávání dat do tabulek musí být jednoduché a jasné. Pro zjednodušení zápisu se používají čárky, značky nebo symboly místo čísel nebo textu. Každý formulář musí obsahovat informace o původu dat (datum, hodinu, místo, jméno pracovníka apod.) Při zaznamenávání během procesu musí být data uspořádána tak, aby mohla být ihned dále použitelná jako vstup pro zpracování pomocí dalších nástrojů řízení kvality. [7]

Kontrolní list sestavení motoru

Data zaznamenal: Lester B. Rapp
Místo: Rochester, New York
Období datového záznamu: 17.1. - 23.1.

Typy defektů \ Vyskyt	Datum							CELKEM
	Pondělí 17.1.	Úterý 18.1.	Středa 19.1.	Čtvrtek 20.1.	Pátek 21.1.	Sobota 22.1.	Neděle 23.1.	
Rez na dodaných dílech								20
Vychýlený svár								5
Nesprávný zkušební postup								0
Nesprávná součástka								3
Špinavé součásti								0
Dutiny v odlitku								6
Nesprávné rozměry								2
Selhání lepidla								0
Nedostatečné krytí								1
Porucha rozprašovače								5
CELKEM	10	13	10	5	4			42

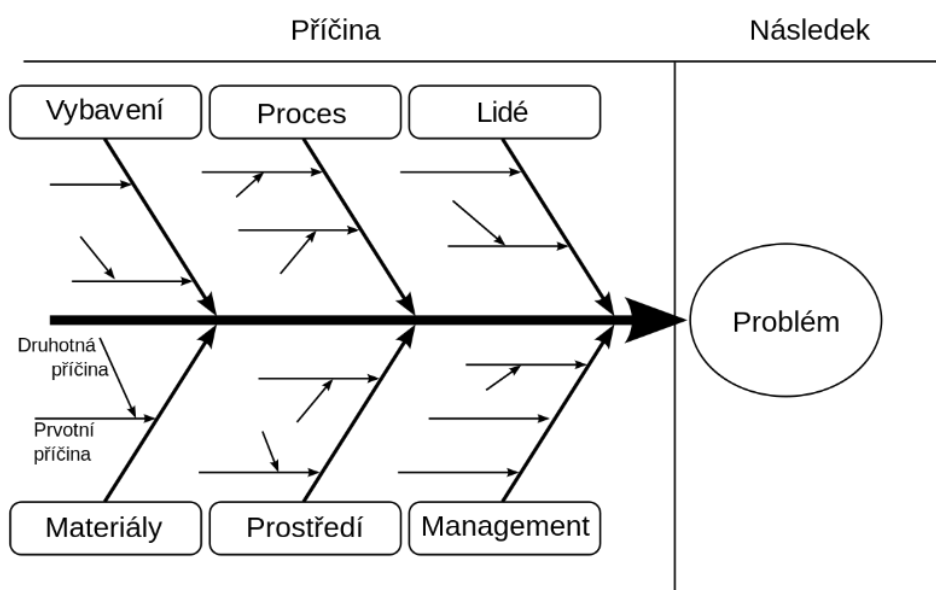
Obr. 2-5: Ukázka záznamníku [22]

2.2.2 Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram)

Diagram příčin a následků, někdy známý také jako Ishikawův diagram nebo „diagram rybí kosti“. Jedná se o grafický nástroj, který stanoví nejpravděpodobnější příčiny problému, který je následně řešen. Obecné příčiny jsou stroj, proces, lidé, materiál, prostředí a management. Diagram se používá pro shromažďování informací o procesech, výkonnosti procesu či výsledcích za účelem zlepšování procesů, tudíž je obvykle používán v týmové spolupráci, kde lze definovat veškeré možné příčiny. Tvar diagramu svou strukturou připomíná tvar rybí kosti, proto je graf někdy označován jako diagram rybí kosti. [7]

Diagram je strukturován následovně:

V pravé části diagramu je umístěn následek tzv. „rybí hlava“, který je řešen. Z rybí hlavy vede vodorovná čára, která symbolizuje její páteř vedoucí do hlavy, ke které se svisle zbíhají příčiny. Tyto příčiny se dále větví na subpříčiny ve vodorovném směru.



Obr. 2-6: Ukázka diagramu příčin a následků [11]



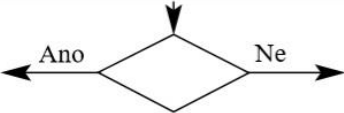



Vyhodnocování diagramu probíhá pomocí tzv. metody bodového hodnocení. Každý člen týmu dostane určitý počet bodů (např. 6), které přiděluje příčinám, které jsou podle něho nejpravděpodobnější. Bodování probíhá ve třech kolech kde v prvním kole se přidělí 3 body k nejvíce pravděpodobné příčině, ve druhém kole 2 body a ve třetím kole 1 bod. Příčina s nejvyšším počtem bodů má při řešení nejvyšší prioritu.

2.2.3 Vývojové diagramy

Jedná se o grafickou pomůcku, která stručně popisuje procesy a usnadňuje jejich pochopení. Lze je použít u jakýchkoliv procesů. Diagram zobrazuje pořadí událostí, které se vyskytují v daném procesu. Diagram má vždy pouze jeden začátek a jeden konec. Při tvorbě vývojových diagramů se používá několik symbolů, které jsou popsány v normě ČSN ISO 5807. Nejčastěji používané symboly jsou přehledně zobrazeny na obr. 2-7. [7]

Velmi užitečným nástrojem jsou vývojové diagramy při:

- vysvětlování procesu zákazníkům, zaměstnancům,
- objasňování vazeb jednotlivých činností procesu novým pracovníkům,
- odhalování nedostatků v procesu,
- srovnání skutečného a ideálního průběhu procesu.

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. 2-7: Význam symbolů používaných ve vývojových diagramech [7]

2.2.4 Histogram

Jedná se o grafickou metodu, která bývá používána jako jeden z prvních nástrojů řízení kvality. Histogram je sloupcový diagram, kde každý ze sloupců zastupuje určitou třídu. Četnost výskytu dat v jednotlivých třídách je dána výškou sloupců. Sestrojený histogram poskytuje informace nejen o dosahované variabilitě a charakteru rozdělení sledovaného znaku, ale i o poloze vůči tolerančním mezím a míře dodržení těchto mezí. Informace jsou důležité i pro další postup a jsou důležitou součástí výsledků analýzy způsobilosti procesu. Pro sestavení diagramu je potřeba mít dostatečný počet dat, aby byl zřetelný tvar daného souboru. Postup sestavení histogramu je následující:

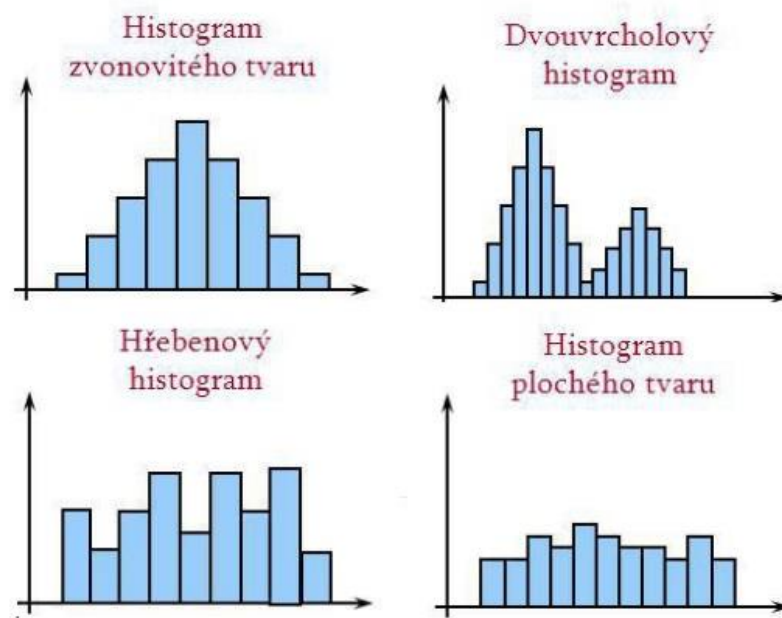
- seskupení dat a záznam údajů
- výpočet rozpětí v souboru dat (vzdálenost největší a nejmenší hodnoty = R)
- stanovení počtu a šíře intervalů
- zařazení naměřených hodnot do zvolených tříd (nutné stanovit nejvyšší a nejnižší hodnotu každé třídy a definovat hranice mezi nimi)
- stanovení četnosti
- sestavení histogramu

Z tvaru diagramu lze získat přehled o charakteru proměnlivosti procesu, jeho přesnosti a poloze střední hodnoty. Dále je možné vyhodnotit [7]:

- minimální hodnotu
- maximální hodnotu
- šířku třídy
- špičatost
- zešíkmení

Typy tvarů histogramu mohou být:

- zvonovitý tvar (představují normální rozdělení)
- dvouvrcholový tvar (zobrazuje smíchání dvou souborů – data ze dvou výrobních dávek, ...)
- plochý tvar (např. neúplný výrobní předpis)
- hřebenovitý tvar (dochází zde k nesprávnému zaokrouhlení hodnot a k chybám měření)
- asymetrický tvar (použití neúplných dat a působení objektivních fyzikálních zákonů)

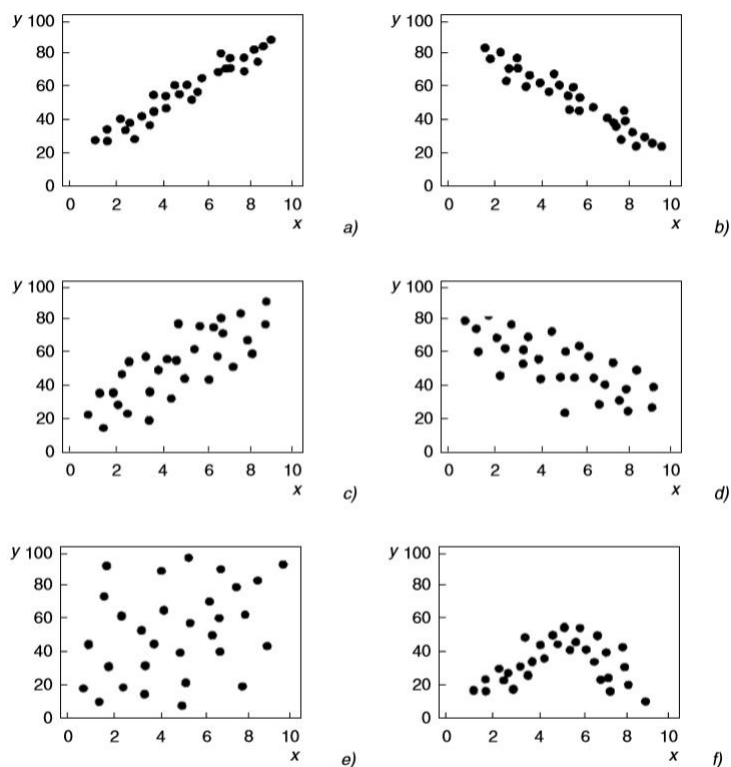


Obr. 2-8: Ukázka typů histogramů [12]

2.2.5 Korelační diagram

Diagram korelační neboli bodový slouží pro hodnocení závislosti dvou náhodných proměnných. Z grafu lze závislost mezi proměnnými vyčíst. Výsledkem může být i zjištění, že hodnoty proměnných nejsou závislé. Existuje několik typů závislostí podle charakteru rozptýlení bodů [7]:

- 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. 2-9: Základní typy stochastické závislosti dvou proměnných [7]

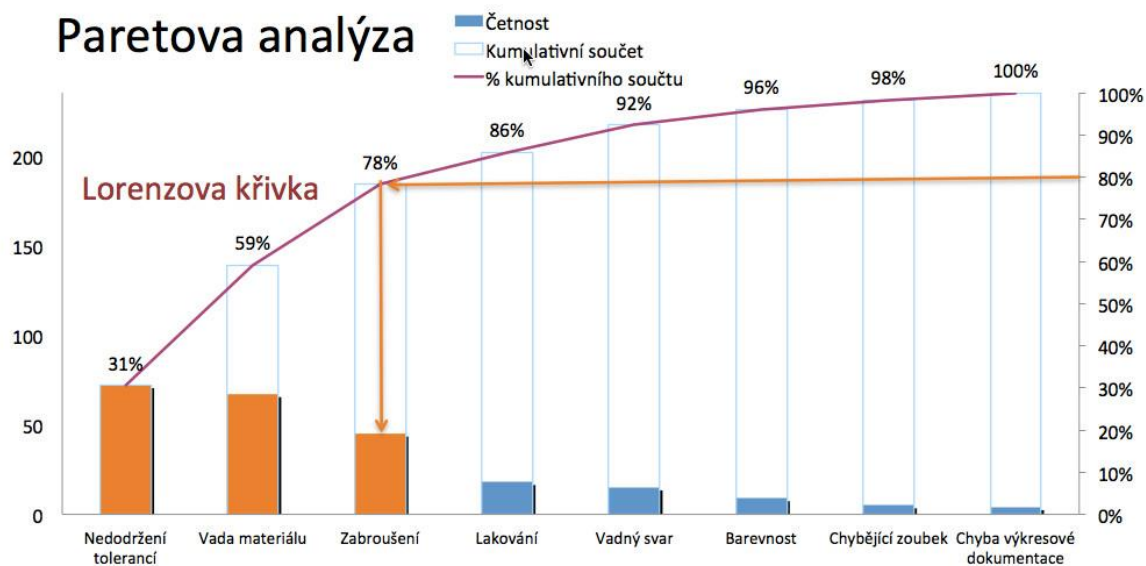
Míra závislosti mezi dvěma proměnnými je tzv. koeficient korelace „ r “ a nabývá hodnot od -1 do +1. Pokud se hodnota r blíží k hodnotě +1, jedná se o velmi silnou přímou lineární závislost. Pokud se blíží k hodnotě -1, jde o velmi silnou nepřímou lineární závislost. Hodnoty kolem nuly vyjadřují nezávislost parametrů.

2.2.6 Paretova analýza

Nástroj pojmenovaný podle italského ekonoma Vilfredo Pareta. Někdy známý jako pravidlo 80/20. Paretův diagram v oblasti řízení je jedním z nejefektivnějších, běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů. Jedná se o graf tvořen sloupci a křivkou. Sloupce vyjadřují četnost jednotlivých vlivů. Jsou seřazeny zleva od nejvyššího po nejnižší. Křivka pak představuje kumulativní četnost v procentech. Diagram znázorňuje důležitost jednotlivých vlivů. Metoda se používá především tam, kde je zjištěno mnoho vad a je nutné rozhodnout, která z těchto vad má největší vliv. Paretova analýza je založena na principu 80/20, kde 80 % problémů bývá způsobeno pouze 20 % příčin. Tyto příčiny byly nazvány jako „životně důležitou menšinou“. Pokud se zaměříme na těchto 20 % z celkových 100 % příčin, je důležité je podrobně analyzovat a věnovat jim patřičnou pozornost. V tomto případě lze dosáhnout podstatného úspěchu při zlepšování kvality. [7]

Cílem této analýzy je oddělit důležité faktory od méně důležitých faktorů a poukázat, kam se přednostně zaměřit pro zlepšování procesu.

Kritérium 80/20 uplatníme tak, že na pravé ose y odečteme 80 % a promítneme je přes Lorenzovu křivku na osu x . Vlivy, které leží na levé straně od kolmice promítnuté přes Lorenzovu křivku na osu x , tvoří hledanou životně důležitou menšinu vlivů.



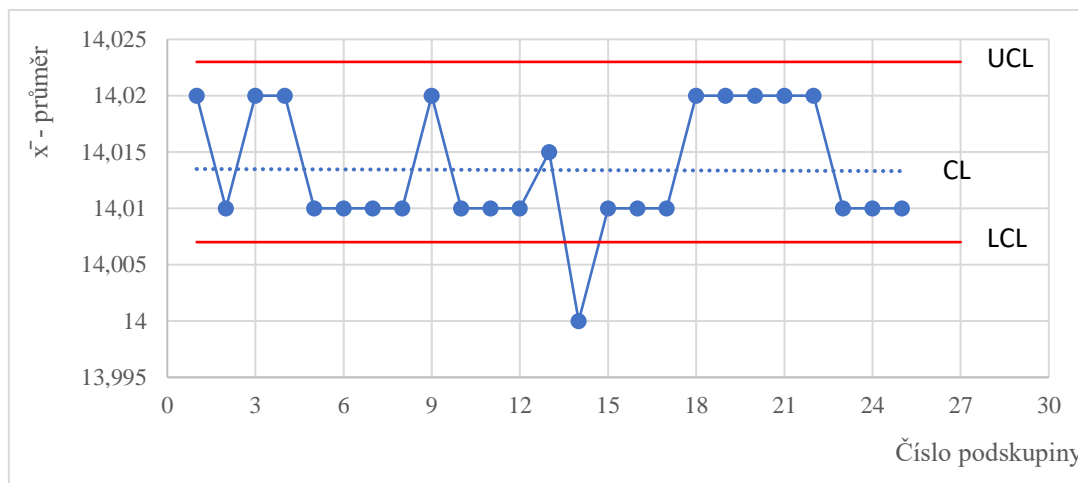
Obr. 2-10: Ukázka diagramu Paretova analýza [13]

2.2.7 Regulační diagram

Walter Shewhart v roce 1924 sestrojil první regulační diagram a položil tak základy statistického řízení jakosti. Metoda, která slouží k pravidelnému zaznamenávání dat z procesu v časovém sledu. Pravidelně se kontrolují výstupní znaky kvality, které se porovnají s požadovanými hodnotami. Regulační diagramy jsou hlavním nástrojem pro statistickou regulaci procesu (SPC). Lze sledovat stabilitu daného systému, zda se proces chová tak, jak se očekává. Při statistické regulaci procesu je cílem zavedení a udržení procesu na požadované úrovni, kterou zákazník vyžaduje.

Naměřená data se musí pohybovat mezi hodnoty regulačních mezí. Je nutno data zachovat v pořadí, v jakém byla naměřena. Pokud hodnoty vybočují z regulačních mezí, nastává náhlé stoupání či klesání hodnot apod. Lze konstatovat, že proces vyžaduje pozornost a je nutné odhalit vlivy, které způsobují náhlou změnu procesu. [14]

Jak již bylo zmíněno, diagram se skládá ze dvou regulačních mezí – horní (UCL) a dolní (LCL) a jedné centrální regulační přímkou CL. Centrální regulační přímkou vyjadřuje průměrnou hodnotu zvolené charakteristiky. Regulační meze se stanovují pomocí variability náhodných příčin. Pokud předpokládáme, že působí pouze náhodné příčiny, budou naměřené hodnoty s největší pravděpodobností ležet uvnitř v regulačních mezích.



Obr. 2-11: Ukázka regulačního diagramu pro průměr [15]

Regulační diagramy měříme vždy ve dvojicích (např. v tomto případě se jedná o dvojici \bar{x} , R – zde je ukázka pouze diagramu pro \bar{x}). Díky regulačnímu diagramu si můžeme udělat představu o tom, zda se jedná o statisticky zvládnutelný proces. O statisticky zvládnutelný proces se jedná tehdy, je-li ovlivněn pouze náhodnými příčinami, tzn., že naměřené hodnoty nepřekračují regulační meze.

Typy regulace

V závislosti na charakteru zvoleného sledovaného znaku určujeme dva typy statistické regulace:

- statistická regulace měřením
- statistická regulace srovnáváním

Statistická regulace měření

Používá se jen v případě, kdy je sledovaný znak jakosti měřitelný. Jedná se např. o délku, hmotnost, tvrdost atd. Při regulaci měřením se vždy pracuje s dvojicí regulačních diagramů. V jednom diagramu se vyhodnocuje výběrová charakteristika v závislosti na čase, která popisuje polohu procesu. Ve druhém diagramu se analyzuje variabilita procesu. Regulační diagramy měřením jsou užitečné hlavně z důvodu, že většina procesů má měřitelné znaky, a tudíž je aplikace velmi široká. Dále z důvodu, že zjištění dat o vyrobeném kusu jsou hůře dosažitelné a nákladnější, ale pomocí vhodné analýzy lze zjistit mnohem více údajů, které mohou vést ke snížení celkových nákladů. Nejpoužívanější regulační diagramy měřením jsou [14]:

- diagram pro výběrový průměr a výběrové rozpětí (\bar{x} , R)
- diagram pro výběrový průměr a výběrovou směrodatnou odchylku (\bar{x} , s)
- diagram pro výběrový medián a výběrové rozpětí (Me – R)
- diagram pro individuální hodnoty a výběrové rozpětí (x_i – R)

Statistická regulace srovnání

V případě statistické regulace srovnání se sleduje neměřitelný znak jakosti (např. vzhled výrobku). Identifikují se neshodné výrobky nebo se stanovuje počet vad na výrobku. Pracuje se pouze s jedním diagramem. Výhodou těchto diagramů je, že není potřeba mnoho dat pro získání údajů a kvalitativní údaje se vyskytují v jakémkoliv technickém i netechnickém procesu, tudíž získávání údajů je rychlejší a levnější. Nevyžaduje zvláštní kvalifikace. Mezi regulační diagram srovnání patří [14]:

- diagram pro podíl neshodných jednotek (diagram p)
- počet neshodných jednotek (diagram np)
- počet neshod na jednotku nebo na 100 jednotek (diagram c)
- podíl neshod na jednotku nebo na 100 jednotek (diagram u)

2.3 Způsobilost procesu

Způsobilost procesu je vlastně schopnost procesu dlouhodobě vyrábět výrobky v určité kvalitě. Hodnocení způsobilosti procesu se vypočte pomocí hodnot, které jsou zjištěny z měření kontrolovaných rozměrů. Používá se zejména v automobilovém průmyslu, kde jsou vysoké požadavky na kvalitu a přesnost vyráběných součástí.

Naměřené hodnoty jsou zpracovávány pomocí vzorců a grafů pro zjištění indexů způsobilosti, které porovnávají výsledné hodnoty s předepsanými minimálními hodnotami tolerančních mezí. Pro hodnocení způsobilosti procesu se nejčastěji využívají indexy C_p a C_{pk} , které posuzují potenciální a skutečnou schopnost procesu nepřetržitě vyrábět výrobky, které odpovídají tolerančním mezím. Pro hodnocení způsobilosti procesu pomocí indexů musí být splněny následující podmínky [7]:

- statisticky zvládnutelný proces – zjištění pomocí regulačních diagramů
- sledované hodnoty musí odpovídat Gaussovu rozdělení – lze posoudit např. pomocí histogramu

V automobilovém průmyslu se proces považuje za způsobilý, pokud je index nejméně 1,33, tedy $C_p \geq 1,33$ a $C_{pk} \geq 1,33$.

2.3.1 Index způsobilosti C_p

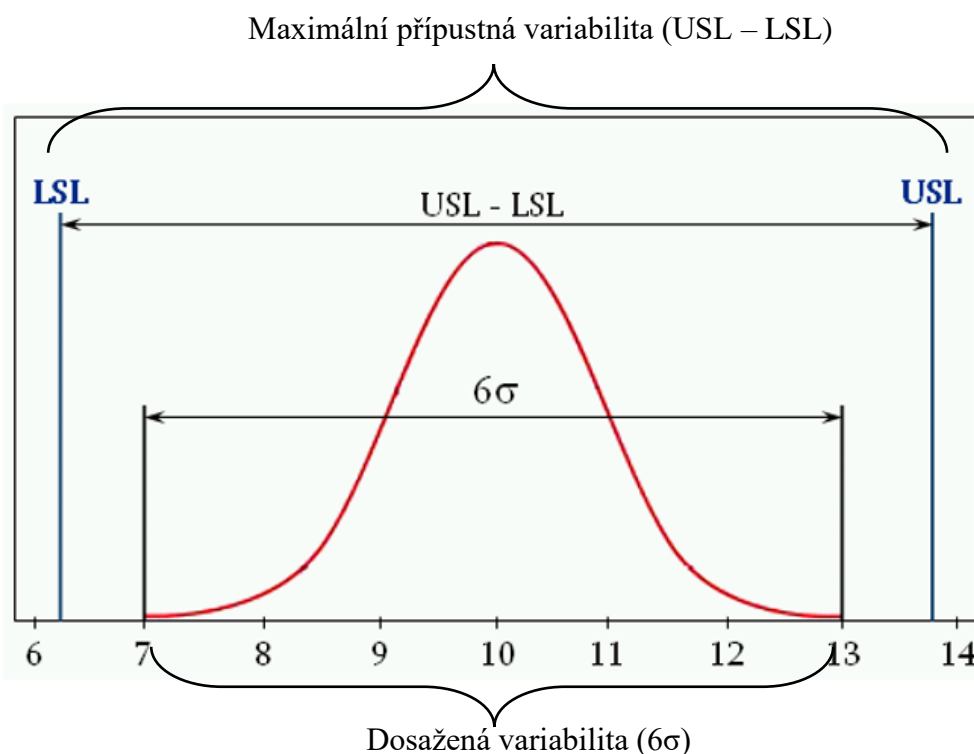
Index způsobilosti C_p nám udává míru potenciální schopnosti procesu zajistit, aby pozorovaný znak kvality ležel uvnitř tolerančních mezí. C_p tedy charakterizuje krajní možnosti procesu, což znamená, že ho můžeme stanovit pouze v případě, kdy známe obě toleranční meze. Index udává pouze jakou část zabírá přirozené rozptýlení 6σ z tolerančního pole, ale neudává polohu průměru x vzhledem k cílové hodnotě. Výpočet indexu C_p je definován vztahem [7]:

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

USL – horní stanovená mez

LSL – dolní stanovená mez

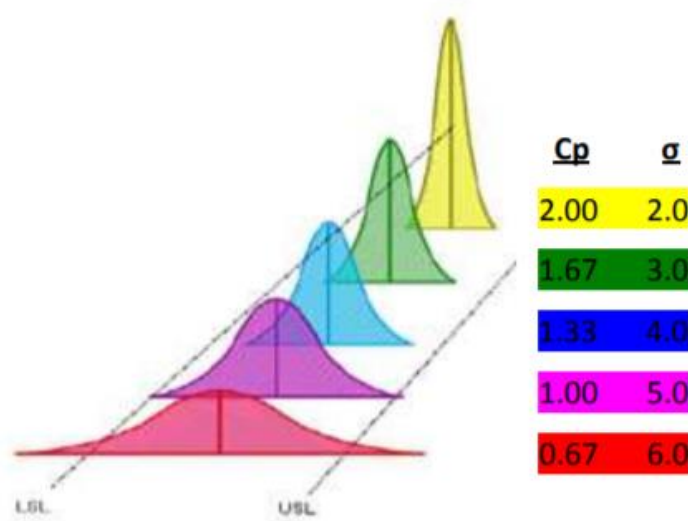
σ – směrodatná odchylka



Obr. 2-12: Zobrazení hodnot v grafu pro výpočet C_p [9]

Z rovnice pro výpočet indexu C_p je zřejmé, že jde o podíl mezi maximální přípustnou variabilitou a skutečnou dosaženou variabilitou. Jedná se tedy o podíl, mezi tolerančním polem a výrobním rozmezím, jehož poloha vůči tolerancím neovlivňuje výsledek, tzn., že hodnota indexu C_p může být podle požadavků, ale výsledné hodnoty mohou být zcela mimo toleranci.

Pro představu je na obr. 2-13 znázorněno, jak se index C_p mění. Jsou zde znázorněny křivky, k nim příslušné hodnoty C_p a hodnoty odchylky σ .



Obr. 2-13 Změny v grafu při změně C_p a σ [9]

2.3.2 Index způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} nám udává skutečnou schopnost procesu držet sledovanou hodnotu mezi stanovenými tolerančními mezemi. Index C_{pk} se od indexu C_p odlišuje tím, že nezohledňuje pouze variabilitu sledované hodnoty, ale je brán i ohled na vycentrování vůči stanoveným mezím. Výpočet indexu C_{pk} je definován vztahem [7]:

$$C_{pk} = \min\{C_{pkU}; C_{pkL}\}$$

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

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

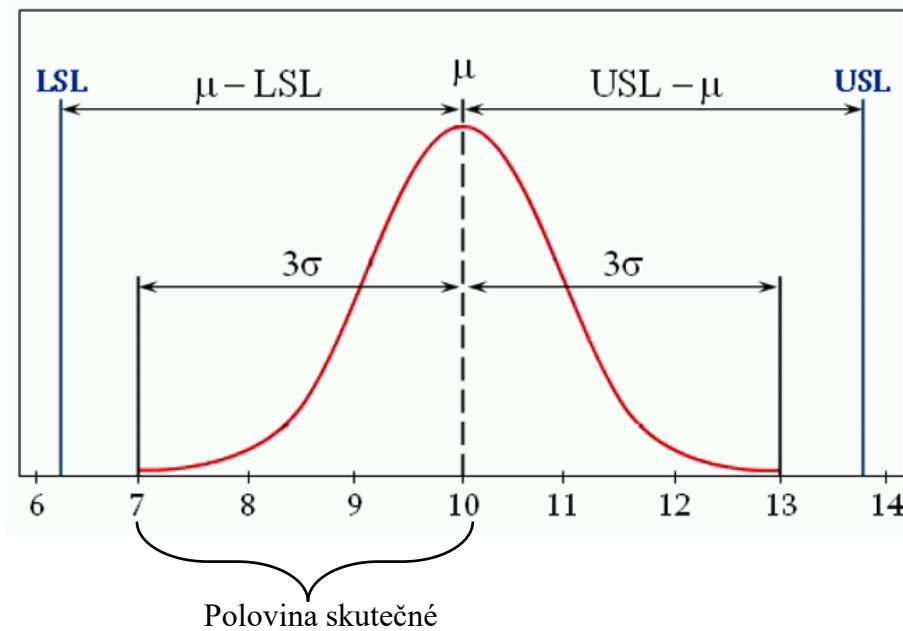
USL – horní stanovená mez

LSL – dolní stanovená mez

σ – směrodatná odchylka

μ – střední hodnota – také značená jako aritmetický průměr \bar{x}

Ve vzorci pro výpočet indexu C_{pk} je charakteristika polohy přímo jeho součástí. V čitateli se vyjadřuje, jak daleko se střední hodnota nalézá od technických specifikací, kterými jsou $USL - \mu$ a $LSL - \mu$. Do jmenovatele se dosadí 3σ .



Obr. 2-14: Zobrazení hodnot v grafu pro výpočet Cpk [9]

Jsou-li si hodnoty C_p a C_{pk} rovny, střední hodnota sledovaného znaku leží přímo ve středu tolerance. Pokud jsou hodnoty rozdílné, můžeme usoudit, že aktuální poloha (vycentrování) procesu je mimo požadavek (není v polovině rozmezí $USL - LSL$).

2.3.3 Stanovení směrodatné odchylky a střední hodnoty

Jedná se o hodnoty, které se ve většině případů musejí vhodně odhadnout, jelikož nejsou zadané. K odhadu těchto hodnot lze použít více metod, ale je doporučeno použít vztahy, které jsou založeny na průměrné variabilitě:

Směrodatná odchylka:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Střední hodnota:

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

x_i – jmenovitá hodnota

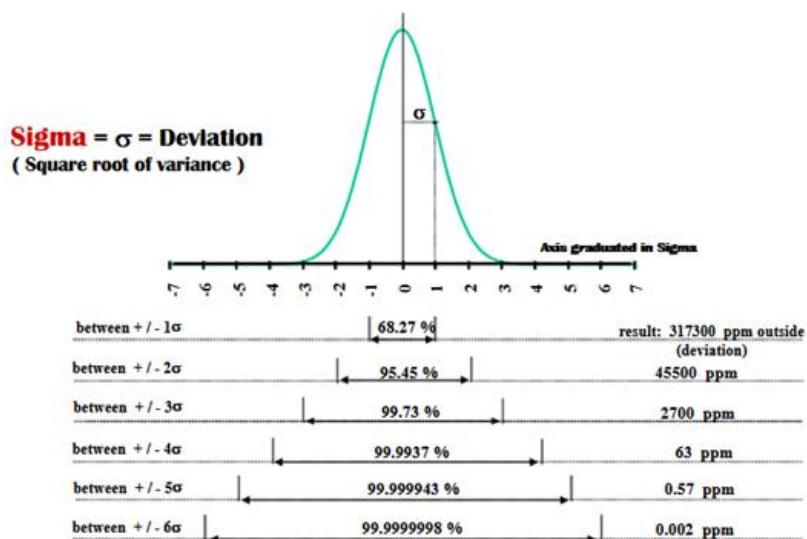
N – počet hodnot

i – index jmenovité hodnoty

Six sigma

O tom, zda jsou hodnoty vyhovující, vypovídá následující obrázek 2-15, kde je ukázáno pravidlo Six sigma s uvedením ukazatele ppm pro jednotlivá pásma. Cílem Six sigma je zvládat proces takovým způsobem, že se při výrobě nebude vyskytovat víc než 3,4 chyby na jeden milion výrobků.

Maximální hodnoty, které indexy C_p a C_{pk} mohou dosáhnout je hodnota 2. Pro automobilový průmysl je požadavek 1,33. Hodnota C_p musí být vždy větší než C_{pk} .



Obr. 2-15: Pravidlo Six Sigma [16]

Pro představu je zde uvedena tabulka s minimálními hodnoty indexů, podle nichž se určuje způsobilost procesu. Hodnoty v jednotlivých společnostech se mohou lišit z důvodu vlastních požadavků společnosti.

Vlastnosti procesu	Minimální doporučená způsobilost	Počet špatných kusů
Existující proces	1,33	64 ppm
Bezpečný nebo kritický parametr pro nový proces	1,67	1 ppm
Proces kvality – automobilový průmysl	2	2 ppb

Tab. 2-1: Volba minimální přijatelné hodnoty

Parts per million (ppm) je výraz pro jednu miliontinu (celku). Množství zmetků z jedné dávky nebo za sledované časové období se vydělí celkovým počtem kusů ve stejné dávce nebo za sledované období a následně vynásobí 1 000 000. Výraz ppb představuje 1 neshodný výrobek z miliardy. [17]

2.4 Způsobilost výrobního zařízení

Způsobilost výrobního zařízení je velice důležitý ukazatel, jelikož způsobilý proces může probíhat výhradně na výrobním zařízení, u kterého je prokázána jeho způsobilost. Na rozdíl od způsobilosti výrobního procesu se způsobilost výrobního zařízení vztahuje k opakovatelnosti produktu za určitých podmínek během kratší doby. Nejčastěji se analýza provádí před zahájením výroby nového výrobku. Dále pak po určité době běhu výrobního zařízení, opravě či změně výrobních a technologických postupů. [7]

Během celého shromažďování údajů pro zjištění způsobilosti výrobního stroje je množství ovlivňujících vlivů mimo výrobní zařízení, které mají velký vliv na zhoršení výsledků zkoušky. Mezi tyto vlivy patří např.: obsluha stroje, materiál, nastavení stroje, způsobilost měřidel apod. V případě hodnocení způsobilosti výrobního stroje, kde se uvažuje jen variabilita stroje, by měly být všechny ostatní vlivy v procesu omezeny na minimum. Tím dochází k zajištění stabilních podmínek chodu stroje. K zajištění stabilních podmínek chodu stroje slouží např.: stejná obsluha stroje, stejné nastavení stroje, stabilní provozní parametry, stejný materiál apod.

Pro zjištění způsobilosti stroje je potřeba provést kontrolní měření sledovaného znaku kvality přibližně na 50 vyrobených součástí po sobě jdoucích ze stroje. Stejně jako u zjišťování způsobilosti procesu i zde musí dojít k ověření normality a statistické zvládnutelnosti procesu.

2.4.1 Metody zkoušení výrobního zařízení

Metody zkoušení výrobního zařízení lze rozdělit na přímé a nepřímé. Tato práce se soustřeďuje na metodu nepřímou, kdy bude zajištěna způsobilost výrobního zařízení pomocí sledovaného znaku kvality na požadovaném výrobku.

Přímé

Zkoumají se geometrické vlastnosti jako je rovinnost, přesnost polohování, souosost apod. Dále lze zjistit statické vlastnosti stroje. Pomocí těchto zkoušek lze odhalit závady na montáži.

Nepřímé

Zkoumají se přesnosti na základě výsledků jejich práce. Metoda spočívá v kontrole výrobku, přičemž je sledován zvolený znak jakosti. Cílem zkoušky je prokázat způsobilost výrobního zařízení. [7]

2.4.2 Postup pro stanovení způsobilosti výrobního zařízení

Stanovení dohod a podmínek – před samotnou zkouškou se musí dohodnout podmínky zkoušení, rozsah a způsob provedení zkoušky. Určí se měřená veličina, způsob odběru a měření vzorku, okolní podmínky, následuje zpracování a poté vyhodnocení dat, a podání výsledků zkoušky.

Fáze zahřívání stroje – je nutné uvést stroj do chodu, aby se zahřál na provozní teplotu a předešlo se možným tepelným dilatacím.

Zkušební fáze – stroj se nastavuje na výrobní parametry. Je použit dohodnutý materiál ve stanovené kvalitě s vhodnou teplotou. Dále se provede seřízení stroje.

Výrobní fáze – probíhá výroba konkrétního produktu, kde jsou všechny možné nežádoucí vlivy omezeny. Vzorky se odebírají nepřetržitě za sebou v závislosti na druhu výroby.

Fáze měření – je nutné zvolit nejpřesnější metodiku pro kontrolu vzorků. Kontrolují se zvolené znaky jakosti. Metrolog u kontrolního zařízení musí být dostatečně kvalifikován. Během měření jsou zajištěny optimální podmínky prostředí.

Vyhodnocení zkoušky – všechny naměřené údaje se zobrazí v časové řadě a provede se statistická analýza. Určí se model rozdělení měřené veličiny a vypočítají se indexy způsobilosti výrobního zařízení C_m a C_{mk} . Podle výsledků zjištěných ukazatelů se určí, zda se jedná o způsobilý stroj. V případě, že se jedná o nezpůsobilý stroj, musí být navrženo příslušné opatření. [7]

2.4.3 Indexy způsobilosti pro výrobní stroj

Pro stanovení hodnoty způsobilosti výrobního stroje se používají indexy C_m a C_{mk} . Indexy nejsou nadefinovány v žádné ISO. Každá firma si stanovuje svá individuální pravidla. Ve většině případů se indexy způsobilosti výrobního zařízení počítají obdobně jako indexy způsobilosti procesu. Z důvodu, že informace zohledňují pouze zdroje variability související s chodem stroje, jsou požadavky na index C_{mk} přísnější než na index C_{pk} .

Index způsobilosti výrobního stroje C_m – charakteristika přesnosti. Výpočet indexu C_m je definován vztahem:

$$C_m = \frac{T}{6s} = \frac{HMR - DMR}{6s}$$

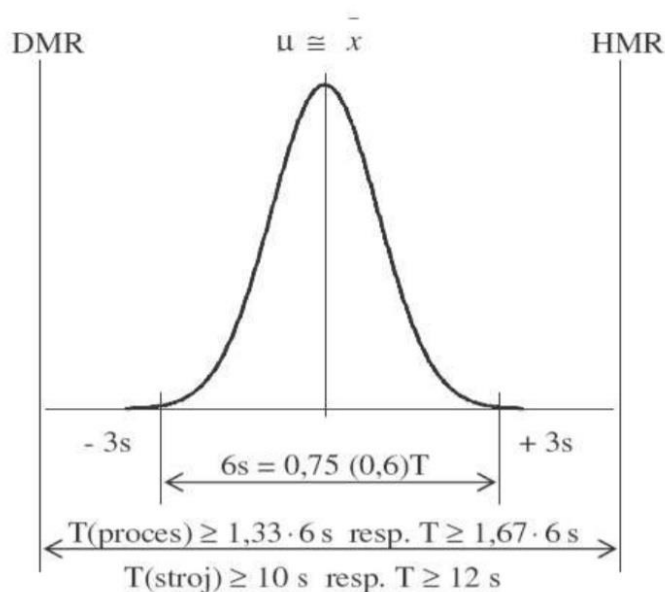
HMR – horní statistická toleranční mez

DMR – dolní statistická toleranční mez

s – odchylka

Z rovnice je patrné, že je brána v úvahu pouze odchylka a velikost tolerance.

Dosahuje-li výrobní zařízení velkého rozptylu a jsou vyžadovány vysoké požadavky na výrobek, hodnota C_m bude nízká. Pokud má stroj malý rozptyl, ale nároky na výrobek mají širší hranice tolerance, bude hodnota C_m vysoká. To je hlavním cílem, jelikož čím je odchylka vzhledem k hranicím tolerance menší, tím je nižší riziko, že výrobky budou mimo uvedenou toleranci. [7]



Obr. 2-16: Grafické vyjádření mezi rozptylem a velikostí tolerance [18]

Vztah mezi tolerancí a rozptylem je dán:

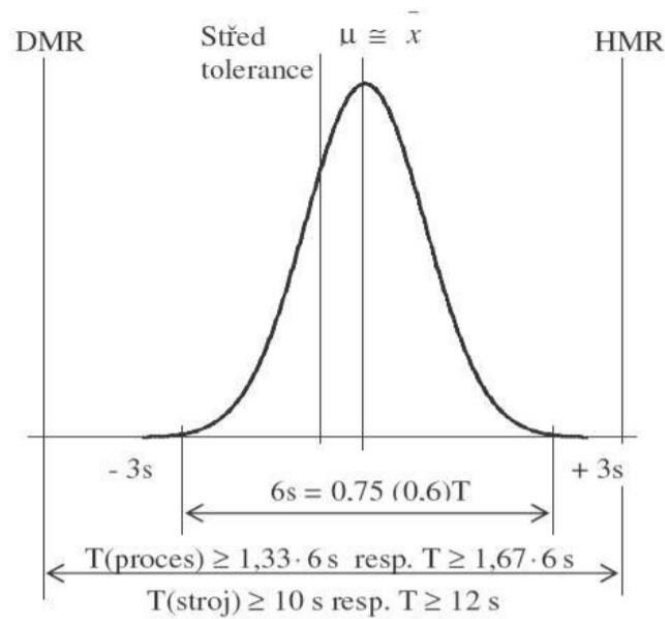
- $6s = 0,75 T \quad T/6s = 1/0,75 \Rightarrow 1,33$
- $6s = 0,6 T \quad T/6s = 1/0,60 \Rightarrow 1,67$
- $6s = T \quad T/6s \Rightarrow 1$

Rozptýlení musí být v každém případě menší než toleranční pole, aby se vůbec dalo uvažovat o způsobilém stroji. Jako u indexu C_p i v tomto případě index C_m nepotvrzuje, že je stroj vyhovující či nevyhovující. Neudává polohu průměrné hodnoty měřené veličiny ke středu tolerančního pole. Proto je i v tomto případě nutné zavést ještě jeden ukazatel, který nám určí polohu průměrné hodnoty ke středu tolerančního pole.

Kritický ukazatel způsobilosti výrobního stroje C_{mk} – charakteristika správnosti nastavení. Výpočet indexu C_{mk} je definován vztahem:

$$C_{mk} = \frac{\min[HMR - \bar{x}; \bar{x} - DMR]}{3s}$$

Index určuje polohu průměrné hodnoty měřené veličiny vůči středu tolerančního pole. Zároveň lze zjistit i polohu průměrné hodnoty rozdělení četností vzhledem ke stanoveným mezím. Jak je ze vzorce pro index C_{mk} patrné, výpočet spočívá v rozdělení polohy průměrné hodnoty se středem tolerančního pole na dvě části. Výpočet se provádí pro každou stranu zvlášť. Nižší hodnota udává index C_{mk} .



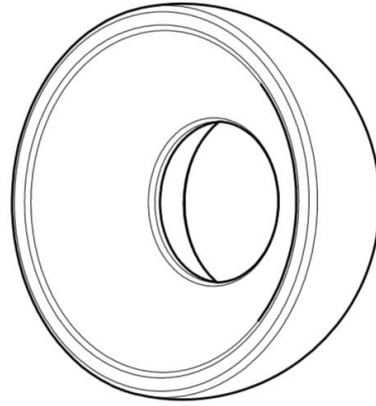
Obr. 2-17: Srovnání průměrné hodnoty se středem tolerančního pole [18]

Stejně jako při zjišťování indexu C_{pk} , pokud jsou si obě hodnoty rovny, průměr výsledků měření leží přímo ve středu tolerance. Pokud jsou hodnoty rozdílné, aktuální poloha procesu je mimo požadavek. Čím dále je průměr výsledků měření od středu tolerančního pole, tím větší je rozdíl mezi hodnotami ukazatelů. Ukazatel C_m nemůže být nikdy větší než C_{mk} .

3 Hodnocení způsobilosti navrženého kontrolního procesu

3.1 Popis procesu výroby

Pro ověření způsobilosti stroje byl vybrán proces výroby rotační součásti, která se používá jako přípravek pro ohýbání trubek. Součást je zobrazena na obr. 3-1.



Obr. 3-1: Přípravek na ohýbání trubek

Jedná se o malosériovou výrobu. Výroba jedné součásti trvá přibližně 3:25 min. Přípravek se vyrábí z nástrojové oceli. Materiál se vyznačuje velmi vysokou pevností v tlaku a mechanické odolnosti vůči opotřebení. Není vhodný pro rázové a rázové mechanické namáhání. Používá se např. na nářadí pro tváření plechu, zejména v kvalitě nerezové oceli. Polotovarem je tyč o \varnothing 63 mm. Z jedné tyče se vyrobí přibližně 20 ks.

Celková výroba součástí probíhá na dvou strojích. Většina operací probíhá na multifunkčním soustruhu Quick Turn Nexus 250-II značky Mazak. Sražení hran pak na soustruhu SUI 32.

3.1.1 Multifunkční soustruh Quick Turn Nexus 250-II MY

Jedná se o univerzální soustružnické centrum, které dokáže přesně a bez dlouhého nastavování vyrábět složité díly. Stroj je vybaven frézovací schopností a funkčností osy Y. Pro plně automatizované operace lze stroj vybavit podavačem tyčí nebo nakladačem portálových robotů.



Obr. 3-2: Multifunkční soustruh Quick Turn Nexus 250-II MY [19]

Parametry stroje:

Velikost hlavního vřetene	10"
Maximální průměr obrábění	380 mm
Maximální rychlost otáčení	4 000 min ⁻¹
Výkon motoru	26 kW
Počet nástrojů	12
Výkon motoru frézovacího vřetene	5,5 kW
Pojezd (osa X)	230 mm
Pojezd (osa Y)	100 mm
Pojezd (osa Z)	1,595 mm
Délka/šířka	4 382/2 095 mm

Tab. 3-1: Parametry stroje Quick Turn Nexus 250-II MY [19]

Na multifunkčním soustruhu probíhá téměř celá výroba součásti. Výrobní postup je následující:

1. upnout do sklíčidla – tvrdé čelisti
2. zarovnat čelo a $\varnothing 61,5_{-0,1}$ mm + 1 mm hrubovat
3. soustružit načisto kulovou plochu $\varnothing 61,5_{-0,1}$ mm a rádius
4. vrtat díru $\varnothing 24$ mm
5. soustružit načisto vnitřní konturu
6. upíchnout na délku 28 mm
7. kontrola rozměrů

3.1.2 Hrotový soustruh SUI 32

Pro kompletní dokončení součásti je nutné udělat sražení, které se provádí na soustruhu SUI 32. Jedná se o hrotový soustruh určený pro běžné soustružnické práce včetně řezání závitů, v nástrojárnách či opravárenských dílnách. Vyhovuje požadavkům na výkonné a přesné obrábění. Má široký rozsah otáček a posuvů. Pracovní vřeteno je uložené v přesných valivých ložiskách, je dynamicky vyváženo, tudíž zaručuje klidný chod stroje i při vyšších otáčkách.



Obr. 3-3: Hrotový soustruh SUI 32 [20]

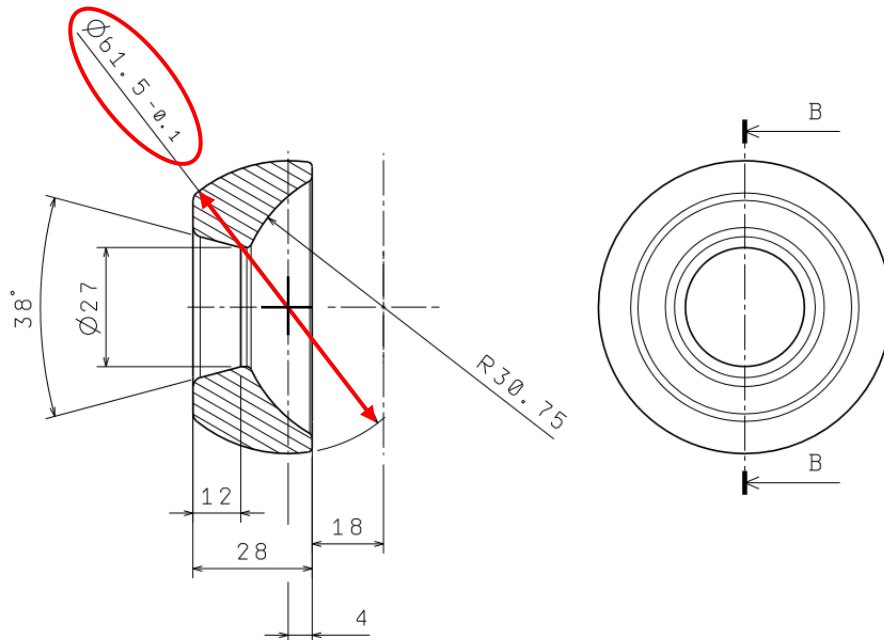
Parametry stroje:

Jmenovitý oběžný průměr	320 mm
Oběžný průměr nad suportem	180 mm
Oběžný průměr nad ložem	380 mm
Délka soustružení	750 mm
Výkon	6,5 kVA
Otáčky hlavního motoru	1 450 min ⁻¹
Hmotnost	1 384 kg
Šířka/výška	1 030/1 535 mm

Tab. 3-2: Parametry stroje SUI 32 [25]

3.2 Měření součásti

Jak již bylo zmíněno, jedná se o rotační součást, která má vnější průměr $61,5_{-0,1}$ mm a vnitřní průměr 27 mm. Vnitřní část součástky má rádius 30,75 mm. Důležitým parametrem pro zákazníka je vnější průměr $61,5_{-0,1}$ mm (viz obr. 3-4), který byl vybrán jako sledovaný znak kvality.



Obr. 3-4: Parametry přípravku

Zvolený rozměr se kontroluje na optickém komparátoru značky Keyence IM-7000, kde je ověřován vnější průměr a pak na profilo-drsnoměru Hommel Etamic T-8000, kde je měřen poloměr.

3.2.1 Optický komparátor Keyence IM-7000

Optický komparátor slouží pro kontrolu a rychlou analýzu s minimalizací lidského faktoru. Pracuje na principu digitálního ofocení dílu a následného vyhodnocení formou kót. Komparátor se skládá z hlavní jednotky, která je tvořena LCD monitorem, USB porty atd., dále kamerou s objektivem a stolečkem s nosností až 5 kg.

Výhodou komparátoru je možnost osvětlení vzorku pod různými úhly a směry. Dále je výhodou vysoká hloubka ostroty, a to v rozsahu ± 10 mm, díky níž lze získat ostrý obraz i na tvarově složitých vzorcích. Možnost měření až 80 parametrů na každé ze součástek naráz a možnost měření až 25 stejných součástek najednou. [28]



Obr. 3-5: Optický komparátor Keyence IM-7000

Celkově bylo zhotoveno 100 ks přípravků, které byly následně měřeny na optickém komparátoru postupně v pořadí, v jakém byly přípravky zhotoveny. Každý kus byl měřen ze dvou stran (střed a dno) a hodnoty byly zaznamenávány do tabulky (viz příloha 2). Jedná se o hodnoty vnějšího průměru.

Hodnoty dále budou rozděleny do podskupin a postupně zpracovány. Jak bylo výše zmíněno, pro výpočet způsobilosti procesu je nejdříve nutné ověřit normalitu a statistickou stabilitu procesu. V následujících kapitolách budou postupně tyto dvě podmínky ověřeny. Dále bude následovat výpočet způsobilosti procesu a způsobilosti stroje. V případě, že nebudou podmínky splněny, bude nutné zjistit příčinu.

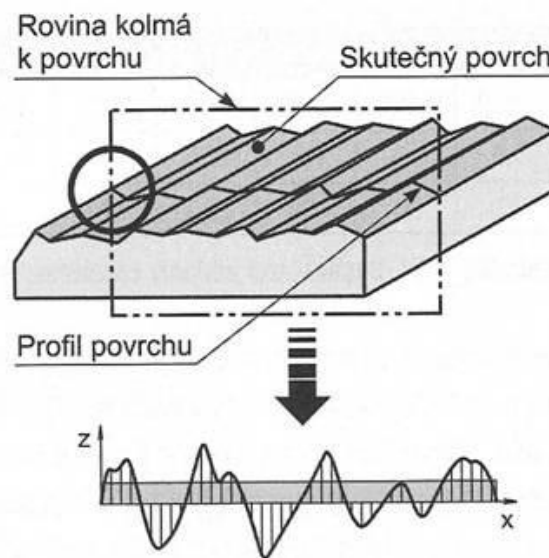
3.2.2 Profilo-drsmoměr HOMMEL ETAMIC T-8000

Profilo-drsmoměr slouží pro měření drsnosti a vlnitosti povrchu jednotlivých součástek. Je možná kombinace měření drsnosti a profilu povrchu. Systém T8000 má stavebnicový design umožňující vzájemné propojení různých posuvných jednotek, typů snímačů, sloupů a granitových desek. Obsahuje několik softwarových modelů pro měření drsnosti, vlnitosti, profilů a topografie. Jedná se o jednoduchý a intuitivní software.



Obr. 3-6: Profilo-drsměr HOMMEL ETAMIC T-8000

Na tomto měřicím zařízení byl vyhodnocován poloměr součásti tak, že dotyk profilo-drsměru přejížděl kolmo přes kulovou plochu přípravku na vybraném místě (viz ilustrační obr. 3-7), obdobně jako měření drsnosti povrchu. Naměřená data jsou zanesena v tabulce (viz příloha 4). [26]



Obr. 3-7: Ilustrační obrázek pro měření drsnosti povrchu [27]

3.3 Statistická analýza dat z Keyence IM-7000

Pro ověření normality a statisticky zvládnutelného procesu budou použity základní nástroje řízení kvality, a to konkrétně histogram pro ověření normality a následně regulační diagram pro ověření statisticky zvládnutelného procesu.

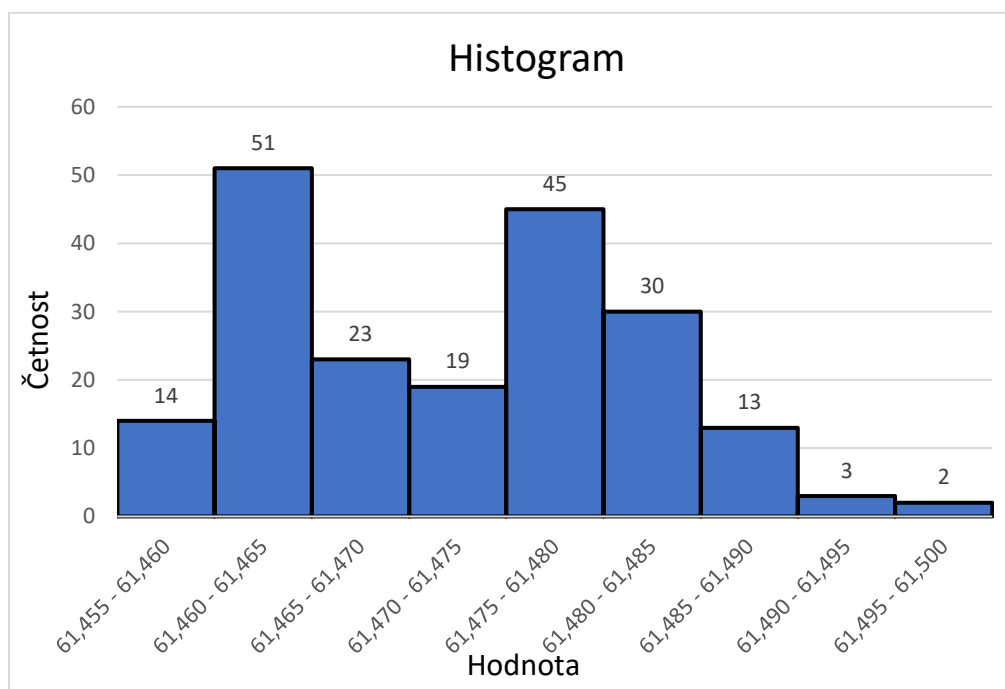
3.3.1 Ověření normality

Pro sestavení histogramu byly naměřené hodnoty rozděleny do podskupin. Hodnota intervalu byla zvolena $h=0,005$. První interval začíná hodnotou 61,455. Celkově vyšlo 9 podskupin. Rozdělení do podskupin je uvedeno v tab. 3-3.

Číslo podskupiny	Hodnota	Četnost
1	61,455 – 61,460	14
2	61,460 – 61,465	51
3	61,465 – 61,470	23
4	61,470 – 61,475	19
5	61,475 – 61,480	45
6	61,480 – 61,485	30
7	61,485 – 61,490	13
8	61,490 – 61,495	3
9	61,495 – 61,500	2

Tab. 3-3: Rozdělení intervalů z optického komparátoru pro sestavení histogramu

Z hodnot a četností se sestojí histogram, který podle tvaru ukáže, zda se jedná o normální rozdělení. Sestrojený histogram by měl být symetrický, zvonovitého tvaru a všechny hodnoty sledovaného znaku kvality leží uvnitř tolerančních mezí. Histogram z hodnot uvedených v tab. 3-3 je sestaven na grafu 1.



Graf 1: Histogram sestrojený z hodnot naměřených na optickém komparátoru

Z grafu je patrné, že se jedná o dvouvrcholový histogram. Působí zde vymezené příčiny. Hlavní příčinou byla korekce nástroje z důvodu opotřebení břitů. Na základě znalosti příčiny jsou data i přesto považována jako data s normálním rozdělením a může být pokračováno dál s regulačními diagramy.

3.3.2 Ověření statistické stability procesu

Ověření statistické stability procesu proběhlo pomocí regulačních diagramů měření. Z hodnot bylo vytvořeno 25 podskupin po 8 měření v každé podskupině. Hodnoty do podskupin byly rozděleny postupně v pořadí, ve kterém byly zhotoveny. Pro každou podskupinu byl vypočítán průměr a rozpětí. Všechny hodnoty jsou uvedeny v tab. 3-4.

Číslo podskupiny	Průměr podskupiny	Rozpětí podskupiny
1	61,475	0,024
2	61,477	0,03
3	61,475	0,02
4	61,474	0,021
5	61,472	0,025
6	61,469	0,02
7	61,470	0,024
8	61,468	0,022
9	61,472	0,023
10	61,475	0,025
11	61,473	0,017
12	61,471	0,02
13	61,471	0,018
14	61,473	0,021
15	61,468	0,022
16	61,469	0,021
17	61,480	0,034
18	61,483	0,024
19	61,481	0,018
20	61,477	0,017
21	61,476	0,021
22	61,470	0,021
23	61,471	0,019
24	61,470	0,019
25	61,469	0,014

Tab. 3-4: Rozdělení intervalů pro regulační diagram

Pro sestavení regulačního diagramu je dále nutné zjistit horní (UCL) a dolní (LCL) regulační přímkou a centrální (CL) regulační přímkou. Naměřené hodnoty by měly ležet mezi horní a dolní regulační mezí. V případě, že se hodnoty budou nacházet mimo meze nebo bude docházet ke stoupajícím či klesajícím trendům apod., je nutné zjistit z jakého důvodu k těmto výkyvům v diagramech dochází.

Pro výpočet centrální přímkou a regulačních mezí jsou dány vzorce:

Regulační diagram	Centrální přímkou	Horní regulační mez	Dolní regulační mez
(\bar{x}, R)	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$
	\bar{R}	$D_4 \bar{R}$	$D_3 \bar{R}$
(\bar{x}, s)	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s}$	$\bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s}$
	\bar{s}	$B_4 \bar{s}$	$B_3 \bar{s}$

Tab. 3-5: Vzorce pro regulační meze [14]

Součinitele A, B, D jsou stanoveny z tabulky (viz příloha 3) pro výpočet přímkových regulačních diagramů.

Regulační diagram pro průměr:

Pro dosazení do vzorce pro UCL a LCL je nutné zjistit celkový průměr \bar{x} z průměrů podskupin a zároveň je zjištěna hodnota centrální přímkové CL.

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

$$\bar{x} = \frac{1536,825}{25}$$

$$\bar{x} = \mathbf{61,473} = CL$$

Další důležitou veličinou je výpočet celkového rozpětí všech podskupin:

$$R = \frac{0,54}{25}$$

$$R = \mathbf{0,0216}$$

Po zjištění těchto hodnot lze dosadit do vzorce pro horní a dolní regulační mez. Hodnota součinitele A_2 se určí z tabulky podle hodnoty n , která udává počet hodnot v podskupině. V tomto případě se jedná o hodnotu $n = 8$, tudíž hodnota $A_2 = 0,373$.

Horní regulační mez:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$UCL = 61,473 + 0,373 \cdot 0,0216$$

$$UCL = \mathbf{61,481}$$

Dolní regulační mez:

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$LCL = 61,473 - 0,373 \cdot 0,0216$$

$$LCL = \mathbf{61,465}$$

Regulační diagram pro rozpětí:

Hodnota centrální přímkové je rovna hodnotě pro rozpětí.

$$R = \frac{0,54}{25} = \mathbf{0,0216} = CL$$

Součinitel D_4 se zjistí stejným způsobem jako součinitel A_2 pomocí tabulky (viz příloha 2). Hodnota součinitele $D_4 = 1,864$.

Horní regulační mez:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$UCL = 1,864 \cdot 0,0216$$

$$UCL = 0,0402$$

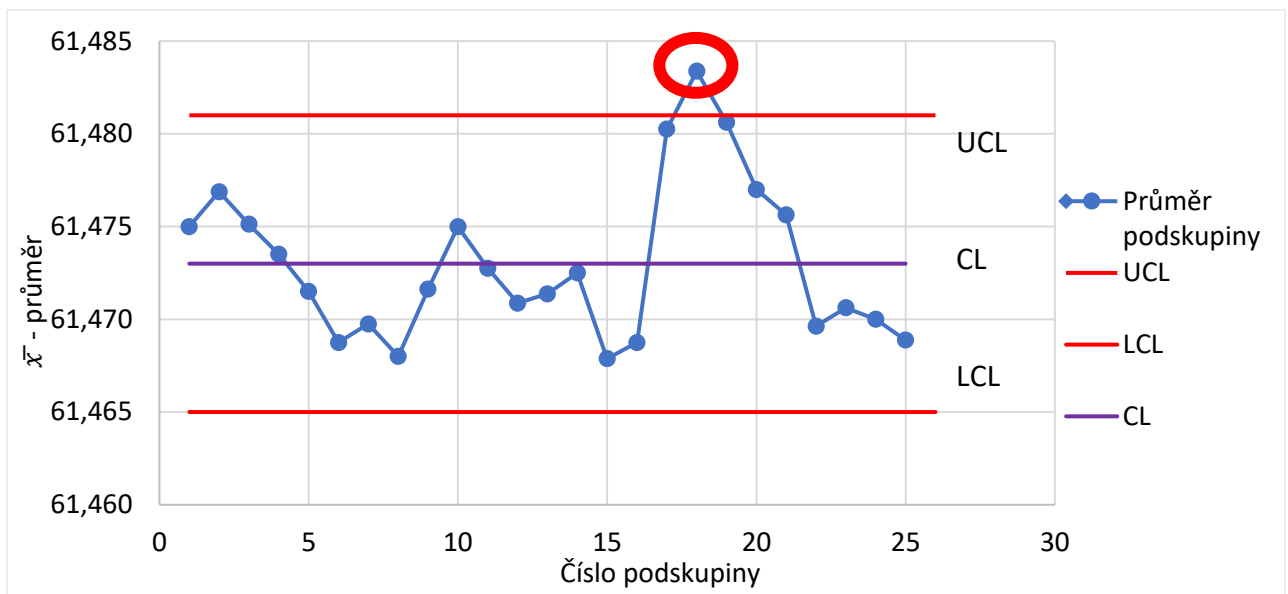
Hodnota součinitele $D_3 = 0,136$.

Dolní regulační mez:

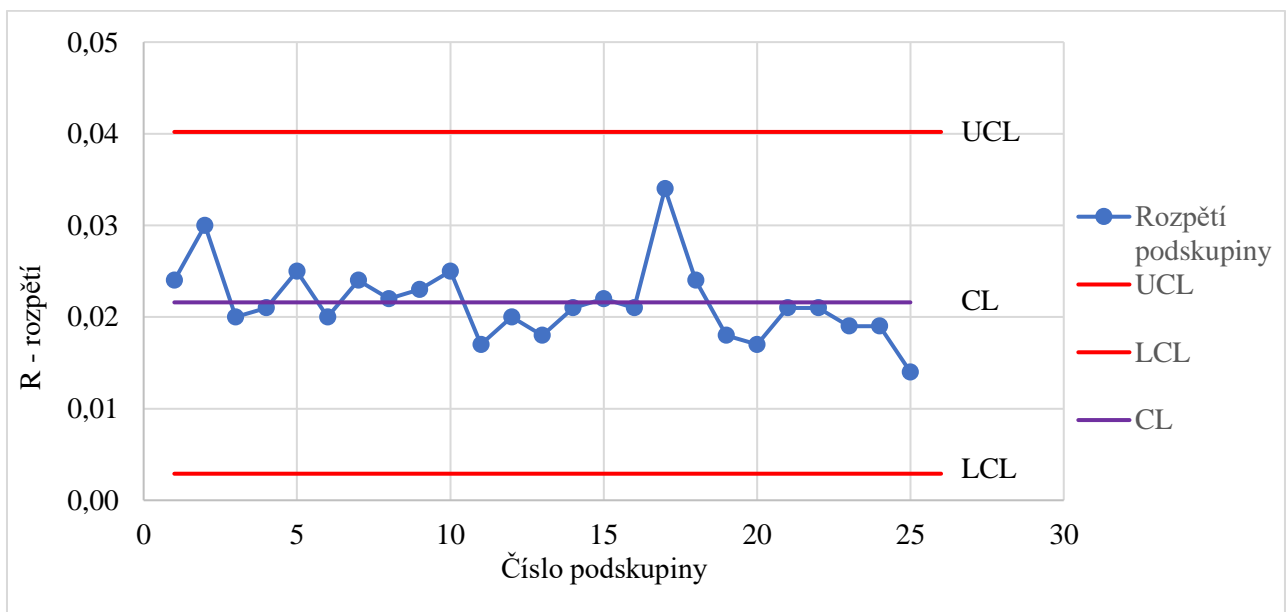
$$LCL = D_3\bar{R}$$

$$LCL = 0,136 \cdot 0,0216$$

$$LCL = 0,0029$$



Graf 2: Regulační diagram pro průměr



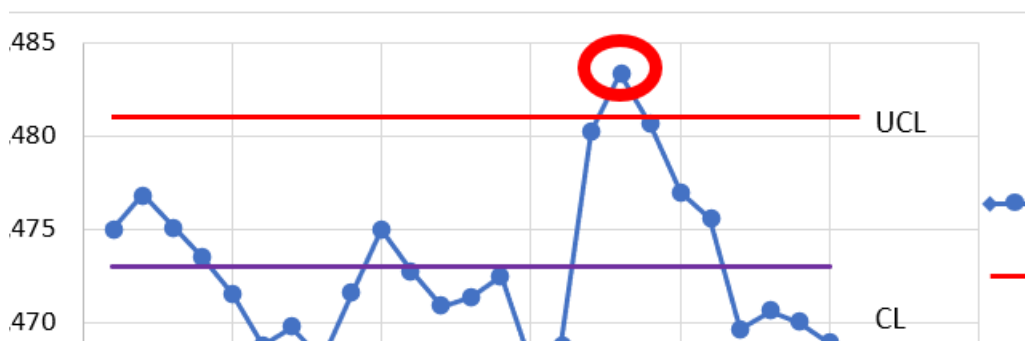
Graf 3: Regulační diagram pro rozpětí

Hodnoty centrální přímkou a regulačních mezí byly zaneseny do grafu společně s jednotlivými podskupinami. Z diagramu je patrné, že 1 bod leží mimo regulační meze. Dále je patrné, že další dva body leží těsně pod horní regulační přímkou. Z tohoto důvodu je nutné provést analýzu procesu, vyhledat a odstranit vymežitelné příčiny, které signalizují nestabilitu procesu.

V diagramu pro rozpětí leží všechny body v tolerančních mezích. Neleží zde 9 bodů za sebou nad CL nebo pod CL. Nevyskytují se zde žádné trendy (6 bodů za sebou stoupá nebo klesá). Rozložení bodů se jeví jako náhodné.

Zhodnocení výsledků diagramů

V regulačním diagramu pro průměr – graf 2, bylo zjištěno, že 1 bod leží mimo toleranční meze a zároveň 2 body leží těsně pod UCL.



Obr. 3-8: Ukázka bodu ležícího mimo toleranční mez v diagramu pro průměr

Po analýze procesu bylo odhaleno, že tento výkyv je spojen s otupením nástroje, jelikož je na diagramu znatelné, že po jeho výměně je zbytek bodů opět v požadované toleranci okolo centrální přímkou. Protože byla odhalena příčina, lze vypustit podskupiny, které se nachází mimo toleranční mezí a znovu se přepočítají toleranční meze jak pro diagram průměru (\bar{x}) tak i pro diagram rozpětí (R). Cílem není vyloučit nevhodné hodnoty, ale stanovit meze, aby co nejlépe vymezovaly pásmo působení pouze náhodných vlivů.

Norma uvádí, že pokud vyjde pouze jeden bod mimo toleranční meze a je známa příčina, která to způsobila, lze proces prohlásit za stabilní. I přesto bylo provedeno přepočtení bez hodnot, které se pohybují mimo mez.

Regulační diagram pro průměr:

Podskupina, která se nachází mimo toleranční mez je podskupina č. 18. Hodnota CL vyšla stejná jako v předchozím případě.

$$\bar{x} = \frac{1475,342}{24}$$
$$\bar{x} = \mathbf{61,473} = CL$$

Celkové rozpětí všech podskupin:

$$R = \frac{0,516}{24}$$

$$R = \mathbf{0,0215}$$

Hodnoty součinitelů se určí stejně jako v předchozích výpočtech, tudíž hodnota součinitele $A_2 = 0,373$.

Horní regulační mez:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

$$UCL = 61,473 + 0,373 \cdot 0,0215$$

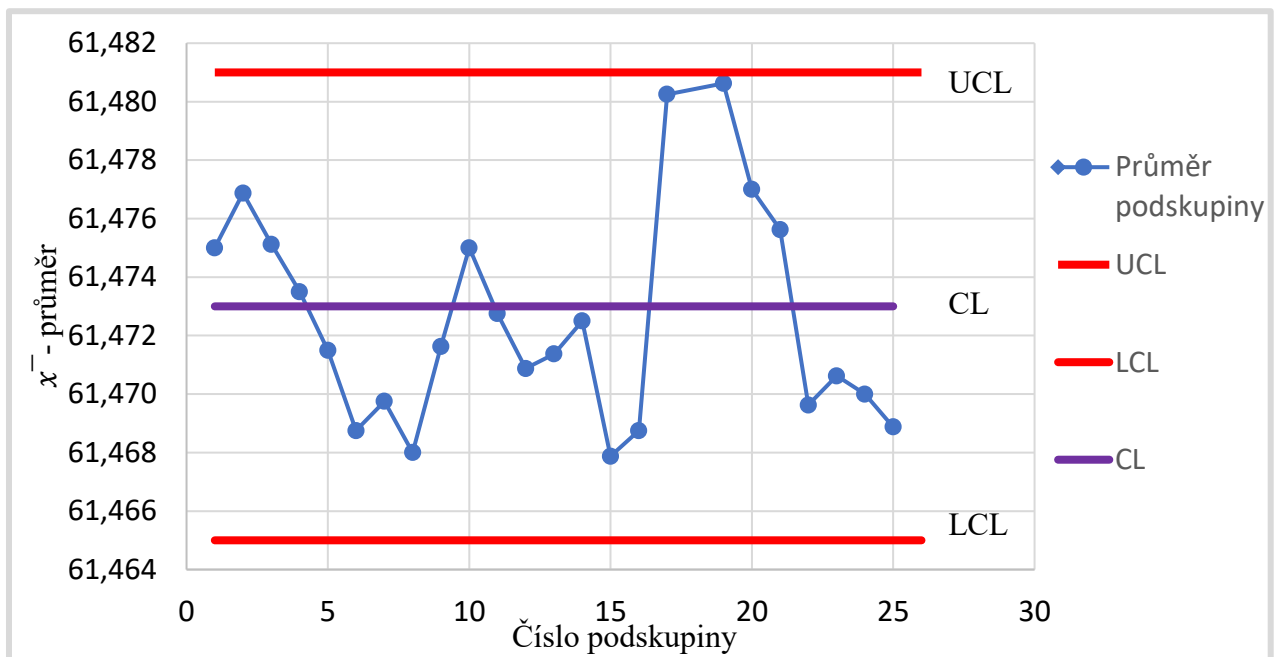
$$UCL = \mathbf{61,481}$$

Dolní regulační mez:

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

$$LCL = 61,473 - 0,373 \cdot 0,0215$$

$$LCL = \mathbf{61,465}$$



Graf 4: Regulační diagram pro průměr za působení pouze náhodných vlivů

Z důvodu, že byla vyloučena pouze jedna podskupina, hodnota CL a hodnoty mezí UCL a LCL vyšly stejně jako v předchozím výpočtu, pouze rozpětí se liší o jednu setinu, což je při výpočtů mezí neznatelné. Lze konstatovat, že se jedná o meze, kde působí pouze náhodné vlivy. Rozložení bodů se jeví jako náhodné.

Regulační diagram pro rozpětí:

Hodnota centrální přímky je rovna hodnotě pro rozpětí.

$$R = \frac{0,516}{24}$$

$$R = 0,0215 = CL$$

I v tomto případě je hodnota součinitele stejná $D_4 = 1,864$.

Horní regulační mez:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$UCL = 1,864 \cdot 0,0215$$

$$UCL = 0,0400$$

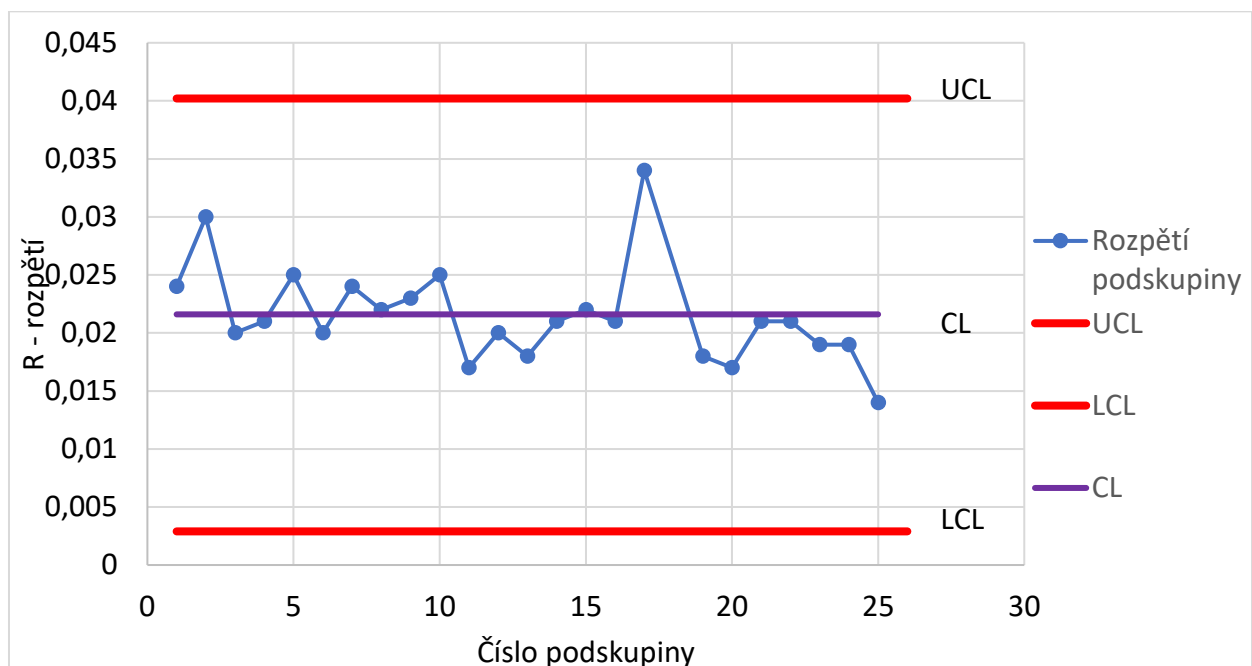
Hodnota součinitele $D_3 = 0,136$.

Dolní regulační mez:

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

$$LCL = 0,136 \cdot 0,0215$$

$$LCL = 0,0029$$



Graf 5: Regulační diagram pro rozpětí za působení pouze náhodných vlivů

I v tomto případě jsou nepatrné rozdíly ve výpočtech, kde rozpětí, tudíž hodnota centrální přímky, se liší pouze o setinu. Stejně tak i hodnota UCL. Obě změny se ve výpočtech ani v grafech ztelně neprojeví, ale budou dále použity pro výpočet způsobilosti procesu.

Po odstranění vymezitelné příčiny je patrné, že v obou grafech se naměřené hodnoty pohybují v tolerančních mezích. Nejsou zde žádné trendy a rozložení bodů v obou grafech se jeví jako náhodné, a proto lze konstatovat, že se jedná o statisticky zvládnutelný proces.

3.3.3 Způsobilost procesu

Jak bylo výše zmíněno, jedná se o schopnost procesu dlouhodobě vyrábět výrobky v požadované kvalitě. Pro to, aby mohla být zjištěna způsobilost procesu, musely být splněny podmínky ověření normality a statisticky zvládnutelného procesu, které byly splněny. Pro výpočet způsobilosti procesu budou ověřovány indexy způsobilosti procesu.

Index způsobilosti C_p udává krajní možnosti. Z důvodu, že jsou známy obě toleranční meze, lze ho stanovit. Toleranční meze USL a LSL jsou zjištěny z výkresu, kde $USL = 61,5$ a $LSL = 61,4$.

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

$$C_p = \frac{61,5 - 61,4}{6 \cdot 0,00755}$$

$$C_p = 2,2075$$

Pro dosažení všech hodnot do vzorce pro C_p musela být zjištěna hodnota σ . Tato hodnota byla zjištěna dosazením do vzorce pro směrodatnou odchylku:

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

$$\sigma = \frac{0,0216}{2,847}$$

$$\sigma = 0,00755$$

Index způsobilosti C_{pk} bere ohled na vycentrování vůči stanoveným mezím. Pro jeho výpočet je použit vzorec:

$$C_{pk} = \min\{C_{pkU}; C_{pkL}\}$$

$$\bar{x} = \mu = \frac{1475,342}{24}$$

$$\bar{x} = 61,473$$

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

$$C_{pU} = \frac{61,5 - 61,473}{3 \cdot 0,00755}$$

$$C_{pU} = 1,192$$

$$C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$
$$C_{pL} = \frac{61,473 - 61,4}{3 \cdot 0,00755}$$
$$C_{pL} = 3,223$$

Pro automobilový průmysl je požadovaná hodnota 1,33 a vyšší. Dle výpočtů uvedených výše lze říct, že tato podmínka není splněna.

Podmínka:

$$C_{pU} \geq 1,33$$

Výsledek výpočtu způsobilosti:

$$C_{pU} \not\geq 1,33$$

$$1,192 \leq 1,33$$

Proces nesplňuje podmínky pro přesnou výrobu. V současné době je spolehlivost procesu $C_{pU} \geq 1$, což odpovídá délce intervalu $\pm 3s$.

Jelikož vyšel index způsobilosti nižší, než je požadovaný, bylo provedeno další měření všech přípravků.

3.4 Statistická analýza dat z HOMMEL ETAMIC T-8000

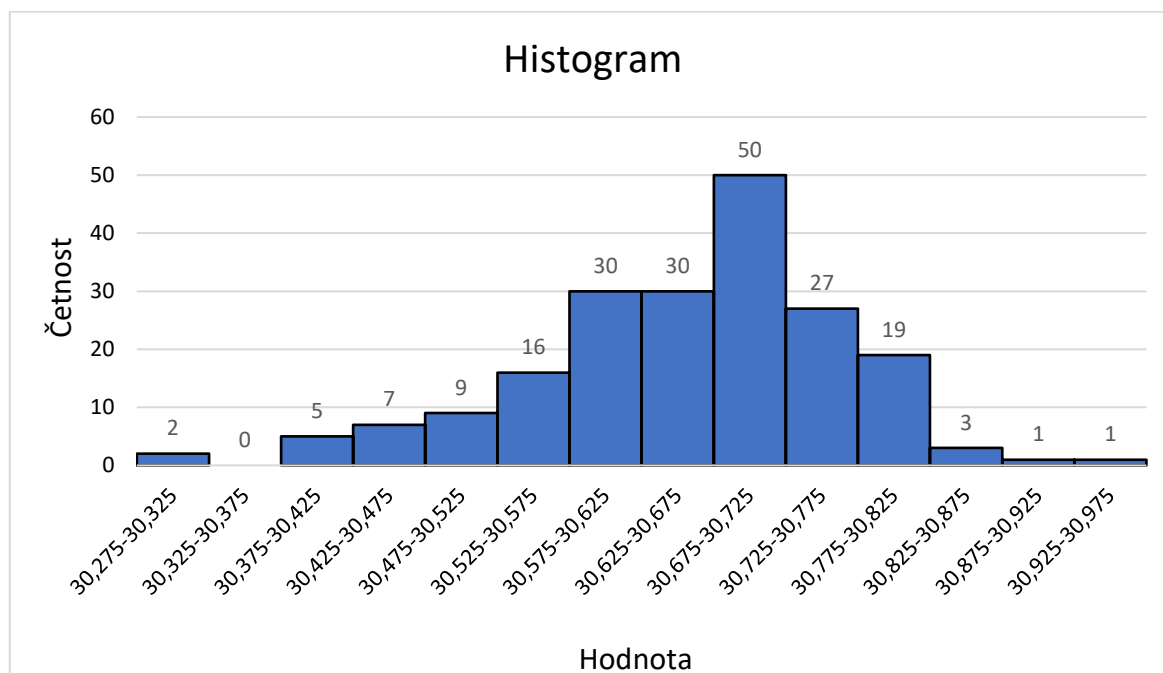
Jak již bylo zmíněno, z důvodu výsledného indexu způsobilosti procesu $C_{pU} \geq 1,33$, bylo zvoleno další měření všech přípravků. Jedná se o přesnější měřidlo, jelikož v případě optického komparátoru se jednalo o měření průměru, ale v případě drsnoměru byl měřen rádius na povrchu přípravku.

3.4.1 Ověření normality

Stejně jako v předchozím případě byly naměřené hodnoty rozděleny do podskupin. Hodnota intervalu byla zvolena $h=0,05$. První interval začíná hodnotou 30,275. Celkově vyšlo 14 podskupin. Rozdělení do podskupin je uvedeno v tab. 3-6.

Číslo podskupiny	Hodnota	Četnost
1	30,275 - 30,325	2
2	30,325 - 30,375	0
3	30,375 - 30,425	5
4	30,425 - 30,475	7
5	30,475 - 30,525	9
6	30,525 - 30,575	16
7	30,575 - 30,625	30
8	30,625 - 30,675	30
9	30,675 - 30,725	50
10	30,725 - 30,775	27
11	30,775 - 30,825	19
12	30,825 - 30,875	3
13	30,875 - 30,925	1
14	30,925 - 30,975	1

Tab. 3-6: Rozdělení intervalů z drsnoměru pro sestavení histogram



Graf 6: Histogram sestavený z hodnot naměřených pomocí drsnoměru

Na základě sestavení histogramu lze tvrdit, že naměřená data splňují normální rozdělení. Histogram má jeden vrchol a zvonovitý tvar. Na proces působí pouze náhodné vlivy.

3.4.2 Ověření statistické stability procesu

Stejně jako v předchozím ověření statistické stability procesu bylo vytvořeno 25 podskupin po 8 měření v každé podskupině. Hodnoty do podskupin byly rozděleny postupně v pořadí, ve kterém byly zhotoveny. Pro každou podskupinu byl vypočítán průměr a rozpětí. Všechny hodnoty jsou uvedeny v tab. 3-7.

Číslo podskupiny	Průměr podskupiny	Rozpětí podskupiny
1	30,728	0,407
2	30,641	0,383
3	30,684	0,272
4	30,672	0,41
5	30,684	0,272
6	30,644	0,543
7	30,749	0,166
8	30,728	0,046
9	30,692	0,288
10	30,567	0,439
11	30,633	0,333
12	30,684	0,272
13	30,617	0,479
14	30,684	0,272
15	30,659	0,27
16	30,697	0,31
17	30,583	0,089
18	30,565	0,035
19	30,602	0,162
20	30,636	0,368
21	30,704	0,297
22	30,635	0,154
23	30,598	0,207
24	30,707	0,222
25	30,687	0,219

Tab. 3-7: Rozdělení intervalů pro regulační diagram

Pro výpočet CL, UCL a LCL budou použity, jako v předešlém výpočtu, vzorce z tab. 3-5. Jelikož i v tomto případě je počet prvků v podskupině $n = 8$, hodnoty součinitelů A, B, D budou stejné jako v předchozích výpočtech při použití dat z optického komparátoru.

Regulační diagram pro průměr:

Celkový průměr \bar{x} z průměrů podskupin a zároveň hodnota centrální přímkky CL.

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

$$\bar{x} = \frac{766,48}{25}$$

$$\bar{x} = \mathbf{30,659} = CL$$

Celkové rozpětí všech podskupin:

$$R = \frac{6,915}{25}$$

$$R = \mathbf{0,276}$$

Následuje dosazení do vzorce pro horní a dolní regulační mez. Hodnotu součinitele $A_2 = 0,373$.

Horní regulační mez:

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$UCL = 30,659 + 0,373 \cdot 0,276$$

$$UCL = \mathbf{30,762}$$

Dolní regulační mez:

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$LCL = 30,659 - 0,373 \cdot 0,276$$

$$LCL = \mathbf{30,556}$$

Regulační diagram pro rozpětí:

Hodnota centrální přímkky je rovna hodnotě pro rozpětí.

$$R = \frac{6,915}{25} = \mathbf{0,276} = CL$$

Hodnota součinitele $D_4 = 1,864$.

Horní regulační mez:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$UCL = 1,864 \cdot 0,276$$

$$UCL = \mathbf{0,514}$$

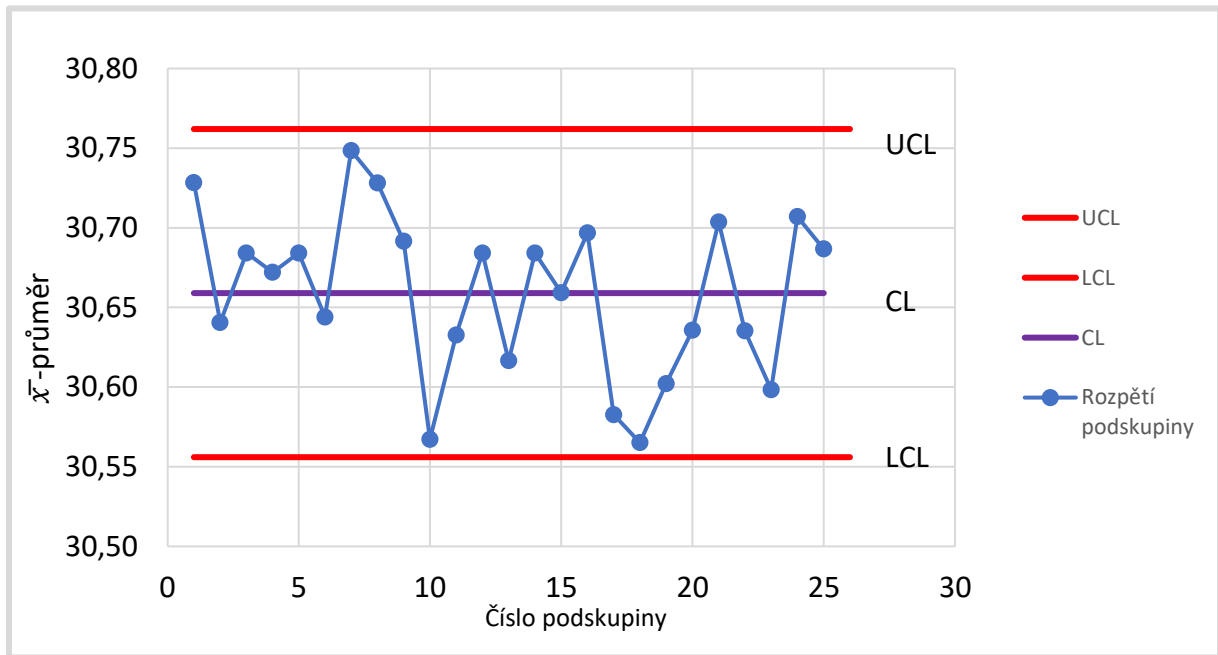
Hodnota součinitele $D_3 = 0,136$.

Dolní regulační mez:

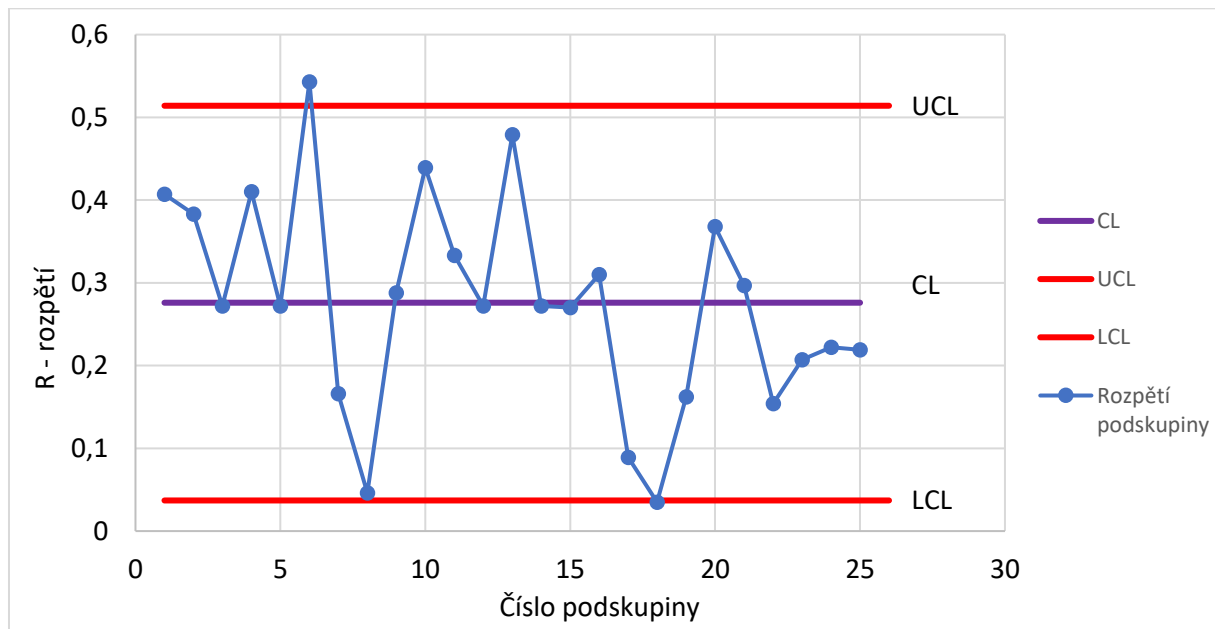
$$LCL = D_3\bar{R}$$

$$LCL = 0,136 \cdot 0,276$$

$$LCL = 0,037$$



Graf 7: Regulační diagram pro průměr



Graf 8: Regulační diagram pro rozpětí

Zhodnocení výsledků diagramů

V regulačním diagramu pro průměr, znázorňuje graf 7 se žádný bod nenachází mimo regulační meze. Neleží 9 bodů za sebou pod nebo nad CL. 6 bodů za sebou nestoupá nebo neklesá. Rozložení grafu se jeví jako náhodné.

V regulačním diagramu pro rozpětí – graf 8, bylo zjištěno, že 1 bod leží mimo toleranční meze, zároveň 1 bod leží na toleranční mezi a 1 bod těsně pod toleranční mezí. Jelikož se hodnoty v podskupině od sebe významně liší, dochází k velkému rozpětí v podskupině. Z tohoto důvodu jsou v diagramu patrné velké rozdíly mezi jednotlivými podskupinami.

Na základě tohoto rozboru lze říct, že se jedná o stabilní proces.

3.4.3 Způsobilost procesu

Toleranční meze USL a LSL nelze stanovit z výkresu, jelikož se nejedná o průměr, a proto je nutné hodnoty vypočítat. Pro výpočet bylo využito následujících vzorců:

$$\mu + 3\sigma = USL$$

$$\mu - 3\sigma = LSL$$

Tyto vzorce vychází z indexu C_{pk} . Byly použity z důvodu, že hodnoty průměru μ a odchyly σ lze snadno dopočítat dle předchozích vzorců, tudíž jsou zjištěny všechny potřebné hodnoty, které jsou nutné pro dosazení do vzorců pro průměr a odchytku. [24]

Výpočet průměr μ :

$$\bar{x} = \mu = \frac{766,48}{25}$$

$$\bar{x} = \mathbf{30,659}$$

Výpočet odchyly σ :

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

$$\sigma = \frac{0,2766}{2,847}$$

$$\sigma = \mathbf{0,09715}$$

Po zjištění hodnoty průměru μ a odchyly σ lze dosadit do vzorců pro výpočet USL a LSL, kde:

$$30,659 + 3 \cdot 0,09715 = 30,95$$

$$USL = \mathbf{30,95}$$

$$30,659 - 3 \cdot 0,09715 = 30,37$$

$$LSL = \mathbf{30,37}$$

Vzhledem k tomu, že byly zjištěny hodnoty mezí, lze dosadit do vzorce pro výpočet indexu způsobilosti C_p :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma}$$
$$C_p = \frac{30,95 - 30,37}{6 \cdot 0,09715}$$
$$\mathbf{C_p = 0,995}$$

Index způsobilosti C_{pk} bere ohled na vycentrování vůči stanoveným mezím. Pro jeho výpočet je použit vzorec:

$$C_{pk} = \min\{C_{pkU}; C_{pkL}\}$$

$$\bar{x} = \mu = \frac{766,48}{25}$$

$$\bar{x} = 30,659$$

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

$$C_{pU} = \frac{30,95 - 30,659}{3 \cdot 0,09715}$$

$$\mathbf{C_{pU} = 0,998}$$

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

$$C_{pL} = \frac{30,659 - 30,37}{3 \cdot 0,09715}$$

$$\mathbf{C_{pL} = 0,991}$$

Jak již bylo zmíněno, pro automobilový průmysl je požadovaná hodnota 1,33 a vyšší. Dle výpočtů uvedených výše, lze říct, že tato podmínka není splněna.

Podmínka:

$$C_p \geq 1,33$$

Výsledek výpočtu způsobilosti:

$$\mathbf{C_p = 0,995}$$

$$\mathbf{C_{pU} = 0,998}$$

$$\mathbf{C_{pL} = 0,991}$$

Za těchto podmínek proces vychází ve všech indexech jako nezpůsobilý. Výsledky odpovídají cca hodnotě 1, což je pro oblast automobilového průmyslu nedostačující. Proto bude potřeba se zaměřit na jeho úpravu, optimalizaci apod.

Jelikož způsobilost stroje má významný vliv na způsobilost celého procesu, zaměřuje se dále tato práce právě na ni. Dále budou navržena opatření, díky kterým se minimalizují vlivy.

4 Ověření způsobilosti výrobního zařízení

Způsobilý proces může probíhat výhradně na způsobilém zařízení, a proto je nutnost ověřit způsobilost stroje. Jak již bylo zmíněno, indexy pro výpočet způsobilosti výrobního zařízení nejsou přesně definovány normou ISO. V tomto případě budou použity obdobné vzorce jako v případě výpočtu způsobilosti procesu.

4.1 Ověření způsobilosti výrobního zařízení pomocí dat z Keyence IM-7000

Pro dosažení do vzorce je nutné zjistit výběrovou směrodatnou odchylku s .

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$
$$s = 0,003638562$$

Index C_m při výpočtu bere v úvahu pouze odchylku a tolerance. Hodnoty horní a dolní tolerance jsou uvedeny na výkrese, kde $HMR = 61,5$ a $DMR = 61,4$.

$$C_m = \frac{T}{6s} = \frac{HMR - DMR}{6s}$$
$$C_m = \frac{61,5 - 61,4}{6 \cdot 0,003638562}$$
$$C_m = 4,58$$

Index C_{mk} určuje polohu průměrné hodnoty měřené veličiny vůči středu tolerančního pole. Při výpočtu indexu C_{mk} jsou polohy průměrné hodnoty se středem tolerančního pole rozděleny na dvě části. Nižší hodnota udává index C_{mk} .

$$C_{mk} = \frac{\min[HMR - \bar{x}; \bar{x} - DMR]}{3s}$$
$$s = 0,003638562$$
$$\bar{x} = \frac{1475,34}{24} = 61,473$$

$$C_{mkU} = \frac{HMR - \bar{x}}{3s}$$
$$C_{mkU} = \frac{61,5 - 61,473}{3 \cdot 0,003638562}$$
$$C_{mkU} = 2,47$$

$$C_{mkL} = \frac{\bar{x} - DMR}{3s}$$

$$C_{mkL} = \frac{61,473 - 61,4}{3 \cdot 0,003638562}$$
$$C_{mkL} = 6,69$$

Stejně jako u způsobilosti procesu se za způsobilý stroj považuje stroj, který splňuje podmínku:

$$C_m \geq 1,33$$

Výsledek výpočtu způsobilosti:

$$C_{mkU} \geq 1,33$$

$$2,47 \geq 1,33$$

V tomto případě je podmínka splněna, tudíž lze konstatovat, že se jedná o způsobilé výrobní zařízení.

4.2 Ověření způsobilosti výrobního zařízení pomocí dat z HOMMEL ETAMIC T-8000

Pro dosažení do vzorce je nutné zjistit výběrovou směrodatnou odchylku s .

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$
$$s = 0,050857644$$

Index C_m při výpočtu bere v úvahu pouze odchylku a tolerance. Hodnoty horní a dolní tolerance byly získány při výpočtu způsobilosti procesu, kde $HMR = 30,95$ a $DMR = 30,37$.

$$C_m = \frac{T}{6s} = \frac{HMR - DMR}{6s}$$
$$C_m = \frac{30,95 - 30,37}{6 \cdot 0,050857644}$$
$$C_m = 1,9$$

Index C_{mk} určuje polohu průměrné hodnoty měřené veličiny vůči středu tolerančního pole. Při výpočtu indexu C_{mk} jsou polohy průměrné hodnoty se středem tolerančního pole rozděleny na dvě části. Nižší hodnota udává index C_{mk} .

$$C_{mk} = \frac{\min[HMR - \bar{x}; \bar{x} - DMR]}{3s}$$
$$s = 0,050857644$$
$$\bar{x} = \frac{766,48}{25} = 30,659$$

$$C_{mkU} = \frac{HMR - \bar{x}}{3s}$$
$$C_{mkU} = \frac{30,95 - 30,659}{3 \cdot 0,050857644}$$
$$C_{mkU} = \mathbf{1,907}$$

$$C_{mkL} = \frac{\bar{x} - DMR}{3s}$$
$$C_{mkL} = \frac{30,659 - 30,37}{3 \cdot 0,050857644}$$
$$C_{mkL} = \mathbf{1,894}$$

Stejně jako u způsobilosti procesu se za způsobilý stroj považuje stroj, který splňuje podmínku:

$$C_m \geq 1,33$$

Výsledek výpočtu způsobilosti:

$$C_{mkL} \geq 1,33$$

$$\mathbf{1,894 \geq 1,33}$$

I v tomto případě je podmínka splněna, tudíž lze konstatovat, že se jedná o způsobilé výrobní zařízení.

5 Zhodnocení výsledků

Pro výpočet způsobilosti procesu, a především výrobního zařízení, byly součástky měřeny na dvou měřicích zařízeních. Jednalo se o optický komparátor Keyence IM-7000 a drsnoměr Hommel Etamic T-8000.

5.1 Zhodnocení výsledků způsobilosti procesu

5.1.1 Výsledky z optického komparátoru Keyence IM-7000

Při výpočtu způsobilosti výrobního procesu vyšel histogram dvouvrcholový, což naznačovalo, že na proces působí vymezené příčiny. Příčina byla způsobena otupením břitu nástroje, který byl následně vyměněn, a tím byla příčina odstraněna. To naznačuje i regulační diagram pro průměr (graf 4), kde byla vypuštěna podskupina, která se nacházela mimo mez z důvodu vymezení pásma, kde působí pouze náhodné vlivy. Po vypuštění podskupiny se všechny hodnoty pohybovaly ve vypočtených mezích.

Hodnoty indexů způsobilosti procesu jsou uvedeny v následující tabulce:

C_p	2,2075
C_{pU}	1,192
C_{pL}	3,223

Tab. 5-1: Hodnoty indexů způsobilosti procesu z komparátoru

Červeně zvýrazněný index C_{pU} udává, že není splněna podmínka, kterou vyžaduje automobilový průmysl $C_p \geq 1,33$. Nelze říct, že se jedná o nezpůsobilý proces, ale v současné době spolehlivost procesu odpovídá indexu $C_p \geq 1$, což je pro automobilový průmysl nedostačující.

5.1.2 Výsledky z drsnoměru Hommel Etamic T-8000

V tomto případě měl histogram normální rozdělení, působily zde pouze náhodné vlivy. V případě regulačních diagramů vyšel jeden bod mimo toleranční meze v diagramu pro rozpětí (graf 8). To bylo zapříčiněno tím, že v podskupině jsou hodnoty rozdílné, proto je způsobeno velké rozpětí v jednotlivých podskupinách.

Hodnoty indexů způsobilosti procesu jsou uvedeny v následující tabulce:

C_p	0,995
C_{pU}	0,998
C_{pL}	0,991

Tab. 5-2: Hodnoty indexů způsobilosti procesu z profilo-drsnoměru

Při zhodnocení způsobilosti procesu vyšly všechny hodnoty menší než 1, což je pro automobilový průmysl nedostačující. Bude nutné se zaměřit na úpravu procesu.

5.2 Zhodnocení výsledků způsobilosti výrobního zařízení

Celkově lze konstatovat, jak ukazují následující shrnutí, že výrobní proces probíhá na způsobilém výrobním zařízení.

Při zjištění odpovídající způsobilosti je dokonce možné šířit tolerančních mezí ještě snížit.

5.2.1 Výsledky z optického komparátoru Keyence IM-7000

Hodnoty indexů způsobilosti výrobního zařízení jsou uvedeny v následující tabulce:

C_m	4,58
C_{mkU}	2,47
C_{mkL}	6,69

Tab. 5-3: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z komparátoru

Z hodnot v tab. 5-3 je patrné, že všechny indexy splňují požadavek, kdy $C_m \geq 1,33$, lze konstatovat, že se jedná o způsobilé výrobní zařízení, a je tedy vhodné pro výrobu přesných komponent.

Z výsledků je patrné, že toto zařízení by bylo způsobilé i při požadavku na hodnotu způsobilosti 1,67, nebo dokonce hodnotě 2, která je vyžadována velmi přesnou výrobou, jako např. letectví apod.

Protože indexy způsobilosti výrobního zařízení vyšly celkem vysoké, přichází také v úvahu snížit zadané tolerance. Tím bude ověřeno, do jaké hodnoty tolerance bude zařízení v tomto případě ještě způsobilé.

Hodnoty horní a dolní tolerance jsou uvedeny na výkrese, kde $HMR = 61,5$ a $DMR = 61,4$. Z následujících výpočtů vyplývá, že i pokud se horní tolerance sníží na $HMR = 61,49$, stále vychází jako způsobilé v porovnání s hodnotou 1,33.

C_m	4,12
C_{mkU}	1,56
C_{mkL}	6,69

Tab. 5-4: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z komparátoru při snížení HMR

5.2.2 Výsledky z drsnoměru Hommel Etamic T-8000

Hodnoty indexů způsobilosti výrobního zařízení jsou uvedeny v následující tabulce:

C_m	1,9
C_{mkU}	1,907
C_{mkL}	1,894

Tab. 5-5: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z profilo-drsnoměru

Dle hodnot v tab. 5-5 vychází výrobní zařízení jako způsobilé, jelikož všechny indexy vyšly vyšší než 1,33, což automobilový průmysl vyžaduje.

I v tomto případě lze konstatovat, že výrobní zařízení by bylo způsobilé i při požadavku na hodnotu způsobilosti 1,67. Je tedy také možnost snížit vypočtené toleranční meze pro dosažení přesnější výroby. Stejně jako v případě optického komparátoru bude ověřeno, do jaké hodnoty tolerance bude zařízení v tomto případě ještě způsobilé.

Hodnoty horní a dolní tolerance musely být doloženy z důvodu, že se jednalo o měření poloměru, který na výkrese nebyl uveden. Po vypočtení vyšly hodnoty $HMR = 30,95$ a $DMR = 30,37$. Z výpočtů vyplývá, že pokud se horní tolerance sníží na $HMR = 30,9$, zařízení bude stále způsobilé v porovnání s hodnotou 1,33.

C_m	1,74
C_{mku}	1,58
C_{mkl}	1,89

Tab. 5-6: Hodnoty indexů způsobilosti stroje z profilo-drsnoměru při snížení HMR

6 Závěr

Cílem této práce bylo ověření způsobilosti výrobního zařízení. Jednalo se o multifunkční soustruh Quick Turn Nexus 250-II MY, na kterém probíhala převážná část výroby přípravků pro ohýbání trubek.

Teoretická část práce vycházela ze studia dostupné literatury a norem, které se vztahují k dané problematice. Byl zde popsán současný přístup k hodnocení způsobilosti a proces neustálého zlepšování pomocí metody PDCA. Dále bylo popsáno sedm základních nástrojů managementu kvality a závěrem samotná způsobilost výrobního procesu a způsobilost výrobního zařízení.

V kapitole 3 byl popsán přípravek, který byl vyráběn. Také zde byla popsána i jednotlivá výrobní zařízení, na kterých proběhla výroba přípravků. Dále popsány měřicí zařízení, kde proběhlo měření a zároveň kontrola přípravků. Dále následovala praktická část, kde bylo provedeno ověření normality, statistické stability procesu a závěrem této kapitoly bylo ověření samotné způsobilosti procesu.

V kapitole 4 bylo provedeno ověření samotné způsobilosti výrobního zařízení. V případě měření přípravků na optickém komparátoru vyšly všechny indexy vyšší než 1,33, což vyžaduje automobilový průmysl, tudíž lze říct, že se jedná o způsobilé výrobní zařízení. Na základě vyšší hodnoty vypočteného ukazatele C_m lze navrhnout dokonce snížení tolerance a stále ukazatel C_m bude splňovat podmínku $C_m \geq 1,33$.

Při měření přípravku pomocí profilo-drsnoměru vyšly, stejně jako v případě optického komparátoru, všechny indexy vyšší než 1,33. I na základě tohoto měření lze říct, že se jedná o způsobilé zařízení. Stejně jako u komparátoru přichází v úvahu možnost snížení HMR pro zvýšení přesnosti výroby.

Ověření způsobilosti stroje proběhlo pomocí dvou měřících zařízení, a po zhodnocení výsledků a výpočtů indexů způsobilosti stroje lze konstatovat, že se jedná o způsobilé výrobní zařízení.

Zhodnocením všech dosažených výsledků lze říct, že způsobilost výrobního zařízení nezaručuje, že proces výroby vyjde taktéž způsobilý. Způsobilost procesu vyžaduje přísnější vstupní parametry, které zajistí požadovanou přesnost a splní úzké pásmo regulačních mezí procesu.

Literatura

- [1] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN isbn80-7043-363-9.
- [2] Culka, P. a kolektiv (2016). *Management jakosti v automobilovém průmyslu: Zabezpečování jakosti před sériovou výrobou*. 2. přeprac. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 1996. 136 s. ISBN 80-02-01187-2.
- [3] PDCA cyklus. vlastnicesta[online]. [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/metody/pdca-cyklus-1/>
- [4] Informace a bezpečnost. vlastnicesta[online]. [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/clanky/informace-a-bezpecnost/>
- [5] Žabenský, K. *Metody neustálého zlepšování a jejich praktické využití v automobilovém průmyslu*. [Online] [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109215/ZAB0032_FMMI_B3922_3902R041_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] Regulační diagram. SlidePlayer[online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2504994/>
- [7] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [8] Normální rozdělení. wikipedia[online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD_rozd%C4%9Blen%C3%AD
- [9] Habich, J. *Analýza nestálosti rozměrů broušeného dílce*. [online] [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/4257/1/Analýza%20nestalosti%20rozmeru%20brouseneho%20dilce.pdf>
- [10] Logaritmickeo-normální rozdělení. portal.matematickabiologie[online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--nahodna-velicina-rozdeleni-pravdepodobnosti-a-realna-data--dalsi-rozdeleni-pravdepodobnosti--logaritmickeo-normalni-rozdeleni>
- [11] Diagram příčin a následků. wikipedia[online]. [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Diagram_p%C5%99%C3%AD%C4%8Din_a_n%C3%A1sledk%C5%AF
- [12] Histogram. SlidePlayer[online]. [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1899225/>

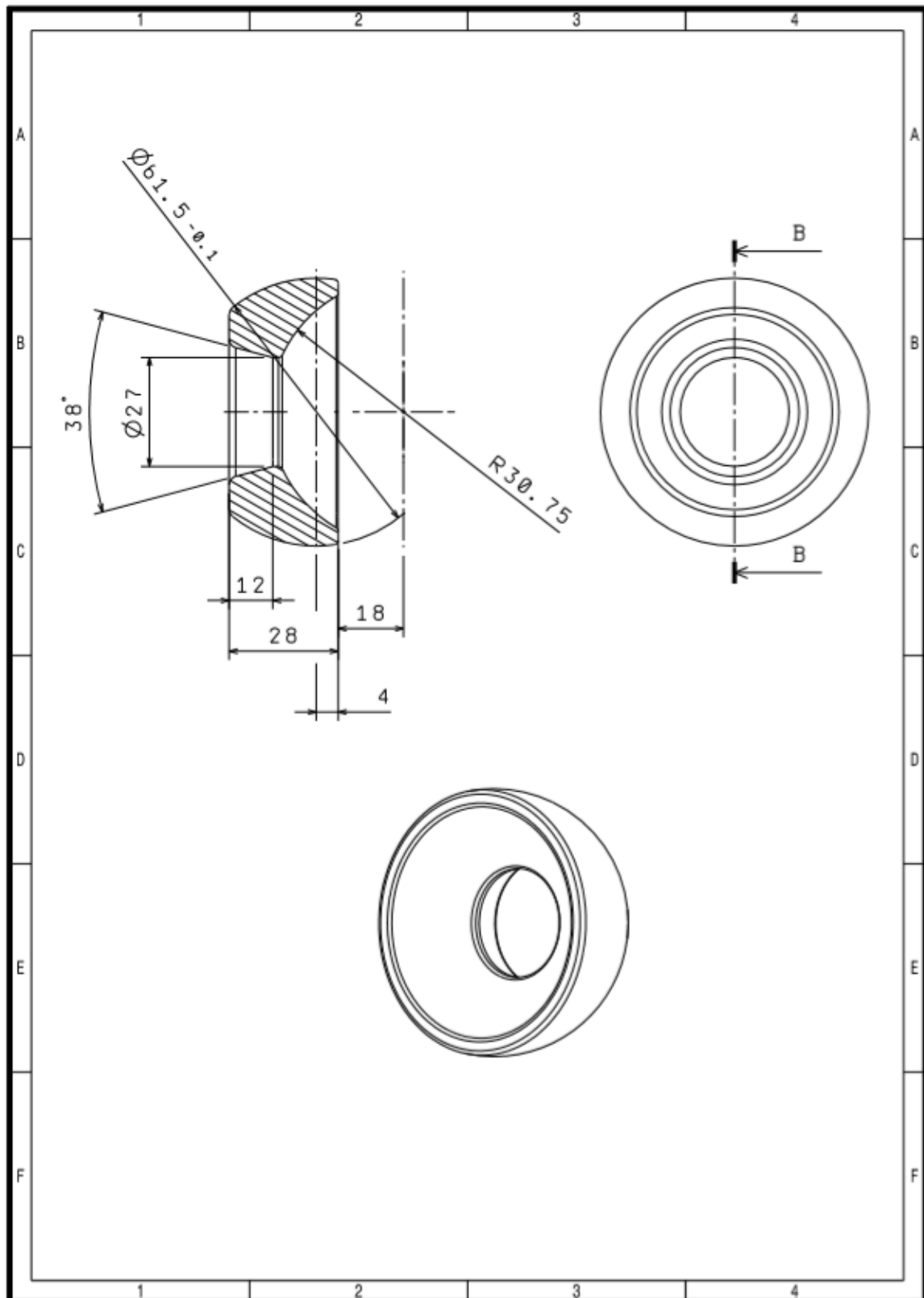
- [13] Paretova analýza. vlastnicesta[online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.vlastnicesta.cz/metody/pareto-analyza/>
- [14] ČSN ISO 8258. Shewhartovy regulační diagramy. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [15] Dudáčková, S., Bícová, K. *Verification of Process and Machine Capability for Precision Automotive Production*. [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2019/133.pdf
- [16] Lupiensi, J.A. SlidePlayer[online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/4971324/>
- [17] Parts per milion. wikipedia[online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Parts_per_million
- [18] Gregor, J. *Analýza způsobilosti výrobního stroje při výrobě autobusů*. [online] [cit.2019-12-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6240
- [19] Quick Turn Nexus 250-II MY. mazakeu[online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/quick-turn-nexus-250-ii-my/>
- [20] Hrotový soustruh SUI 32. regastroje[online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.regastroje.com/reference.php>
- [21] Popisná statistika. math.feld.cvut[online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://math.feld.cvut.cz/prucha/mstp/7pu.pdf>
- [22] Sedm základních nástrojů zlepšování kvality. wikipedia[online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sedm_z%C3%A1kladn%C3%ADch_n%C3%A1stroj%C5%AF_zlep%C5%A1ov%C3%A1n%C3%AD_kvality
- [23] Sběr výrobních dat v automobilovém průmyslu. systemonline[online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/sber-vyrobnich-dat-v-automobilovem-prumyslu.htm>
- [24] Výpočet PPM a způsobilost procesu. bazant.wordpress[online]. [cit.2020-02-26]. Dostupné z: <https://bazant.wordpress.com/2018/12/02/vypocet-ppm-a-zpusobilost-procesu/>
- [25] Ke stažení. Tumlikovo[online]. [cit.2020-02-21]. Dostupné z: <https://bazant.wordpress.com/2018/12/02/vypocet-ppm-a-zpusobilost-procesu/>
- [26] Hommel-etamic T8000 drsnoměr. jenoptik[online]. [cit.2020-02-21]. Dostupné z: https://www.jenoptik.cz/files/products/mereni-drsnosti-a-profilu-povrchu/produkt_hommel-etamic-t8000-drsnomer.pdf

[27] Jordán, D. *Modernizace měření drsnosti povrchu*. [online] [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/117400/JOR0021_FS_B2341_2303R002_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=n

[28] Optický komparátor nové generace. keyence[online]. [cit.2020-05-28]. Dostupné z: https://www.keyence.eu/landing/measure-sys/pr_im-7000_2_cz.jsp?aw=gagooglekbczczbrandimim008&gclid=Cj0KCQjwo6D4BRDgARIsAA6uN18VK9AKkfXuCutMXAC_GZvVe5PSbQCPT0ciHxakaCBsqG7s4nKPQT0aAoaPEALw_wcB

Přílohy

Příloha 1: Výkres součásti



Příloha 2: Naměřené hodnoty na Keyence IM-7000

1	61,477	61,467	61,488	61,470	61,465	61,474	61,489	61,470
2	61,493	61,469	61,488	61,467	61,483	61,463	61,484	61,468
3	61,481	61,465	61,485	61,468	61,485	61,467	61,483	61,467
4	61,485	61,466	61,485	61,464	61,480	61,465	61,479	61,464
5	61,483	61,466	61,482	61,464	61,479	61,461	61,479	61,458
6	61,475	61,459	61,476	61,462	61,479	61,463	61,475	61,461
7	61,481	61,463	61,478	61,458	61,477	61,458	61,482	61,461
8	61,476	61,460	61,478	61,461	61,479	61,457	61,475	61,458
9	61,482	61,460	61,476	61,461	61,483	61,464	61,482	61,465
10	61,483	61,462	61,487	61,467	61,482	61,464	61,487	61,468
11	61,481	61,468	61,480	61,466	61,480	61,464	61,478	61,465
12	61,478	61,461	61,479	61,463	61,478	61,464	61,481	61,463
13	61,479	61,463	61,479	61,465	61,478	61,463	61,481	61,463
14	61,482	61,464	61,481	61,464	61,478	61,464	61,484	61,463
15	61,476	61,465	61,478	61,466	61,472	61,457	61,473	61,456
16	61,474	61,458	61,478	61,460	61,478	61,462	61,479	61,461
17	61,480	61,462	61,489	61,473	61,489	61,475	61,496	61,478
18	61,491	61,476	61,488	61,477	61,497	61,473	61,490	61,475
19	61,491	61,473	61,488	61,474	61,480	61,475	61,489	61,475
20	61,486	61,473	61,484	61,469	61,483	61,469	61,483	61,469
21	61,483	61,465	61,484	61,468	61,486	61,469	61,483	61,467
22	61,481	61,460	61,480	61,462	61,474	61,460	61,478	61,462
23	61,477	61,462	61,480	61,464	61,479	61,466	61,476	61,461
24	61,480	61,462	61,477	61,463	61,477	61,461	61,477	61,463
25	61,476	61,463	61,471	61,462	61,475	61,464	61,476	61,464

Příloha 3: Součinitele pro výpočet průmek regulačních diagramů

Tabulka 2 – Součinitele pro výpočet průmek regulačních diagramů

Rozsah podskupiny (n)	Součinitele pro regulační meze											Součinitele pro centrální průmku			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₁	1/d ₁
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,797 9	1,253 3	1,128	0,886 5
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,886 2	1,128 4	1,693	0,590 7
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,921 3	1,085 4	2,059	0,485 7
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,940 0	1,063 8	2,326	0,429 9
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,020	5,078	0,000	2,004	0,951 5	1,051 0	2,534	0,394 6
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959 4	1,042 3	2,704	0,369 8
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965 0	1,036 3	2,847	0,351 2
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969 3	1,031 7	2,970	0,336 7
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,972 7	1,028 1	3,078	0,324 9
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975 4	1,025 2	3,173	0,315 2
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,977 6	1,022 9	3,258	0,306 9
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979 4	1,021 0	3,336	0,299 8
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981 0	1,019 4	3,407	0,293 5
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982 3	1,018 0	3,472	0,288 0
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,983 5	1,016 8	3,532	0,283 1
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,984 5	1,015 7	3,588	0,278 7
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,985 4	1,014 8	3,640	0,274 7
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,986 2	1,014 0	3,689	0,271 1
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,986 9	1,013 3	3,735	0,267 7
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,987 6	1,012 6	3,778	0,264 7
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,988 2	1,011 9	3,819	0,261 8
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,988 7	1,011 4	3,858	0,259 2
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,989 2	1,010 9	3,895	0,256 7
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,989 6	1,010 5	3,931	0,254 4

Příloha 4: Naměřené hodnoty na Hommel Etamic T-8000

1	30,736	30,833	30,792	30,426	30,721	30,701	30,798	30,820
2	30,827	30,795	30,444	30,468	30,579	30,553	30,685	30,774
3	30,756	30,694	30,703	30,484	30,664	30,712	30,707	30,754
4	30,813	30,415	30,789	30,496	30,825	30,674	30,643	30,721
5	30,756	30,694	30,703	30,484	30,664	30,712	30,707	30,754
6	30,452	30,279	30,805	30,763	30,815	30,822	30,810	30,406
7	30,819	30,818	30,803	30,802	30,653	30,673	30,707	30,713
8	30,758	30,719	30,739	30,727	30,733	30,712	30,716	30,722
9	30,448	30,720	30,726	30,723	30,716	30,732	30,731	30,736
10	30,728	30,723	30,592	30,609	30,598	30,575	30,424	30,289
11	30,811	30,617	30,720	30,683	30,611	30,605	30,537	30,478
12	30,756	30,694	30,703	30,484	30,664	30,712	30,707	30,754
13	30,672	30,565	30,503	30,398	30,743	30,750	30,877	30,425
14	30,756	30,694	30,703	30,484	30,664	30,712	30,707	30,754
15	30,656	30,694	30,603	30,484	30,664	30,712	30,707	30,754
16	30,756	30,794	30,703	30,484	30,664	30,712	30,707	30,754
17	30,591	30,596	30,596	30,550	30,609	30,632	30,545	30,543
18	30,562	30,556	30,564	30,579	30,554	30,553	30,565	30,588
19	30,559	30,589	30,582	30,582	30,595	30,586	30,721	30,604
20	30,633	30,587	30,623	30,643	30,450	30,659	30,818	30,672
21	30,671	30,687	30,660	30,674	30,651	30,647	30,944	30,696
22	30,664	30,681	30,683	30,630	30,679	30,624	30,529	30,592
23	30,613	30,642	30,596	30,641	30,435	30,619	30,627	30,614
24	30,611	30,621	30,737	30,719	30,695	30,722	30,718	30,833
25	30,724	30,736	30,564	30,697	30,664	30,664	30,783	30,662