

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza způsobilosti výrobních procesů ve společnosti RICHMONT-CZ

Autor: **Ladislav Čížek**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav ČÍŽEK**
Osobní číslo: **S18B0004P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Název tématu: **Analýza způsobilosti výrobních procesů ve společnosti RICHMONT-CZ**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Úvod, cíle práce
2. Způsobilost procesu - teorie
3. Výpočet způsobilosti vybraných procesů
4. Analýza způsobilosti vybraných procesů, nápravná opatření
5. Shrnutí, závěr

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

Seznam odborné literatury:

- HORÁLEK, Vratislav, ed. QS-9000 SPC. Praha: Česká společnost pro jakost, [1999]. 154 s. ISBN 80-02-01293-3.
- ZÍDKOVÁ, Helena a ZVONEČEK, František. Jakost - styl života pro třetí tisíciletí. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003. 139 s. ISBN 80-7043-243-8.
- MICHÁLEK, Jiří, KŘEPELA, Josef a KRÁL, Jan. Analýza výrobního procesu: vyhodnocení způsobilosti a výkonnosti se softwarovou podporou: základy práce s MS Excel. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. 210 s. Kvalita/Quality/Qualitat. ISBN 978-80-02-02200-8.

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.

Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jozef Barko

RICHMONT - CZ

Datum zadání bakalářské práce: 16. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 24. května 2019



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 18. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

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

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Čížek	Jméno Ladislav	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zídková, Ph.D.	Jméno Helena	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Analýza způsobilosti výrobních procesů ve společnosti RICHMONT-CZ		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	45	TEXTOVÁ ČÁST	38	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje analýzu způsobilosti výrobního procesu dvou konstrukčně podobných rotačních součástí. Pro analýzu procesu bylo využito diagramu \bar{X} a R společně s ukazateli způsobilosti C_p a C_{pk} s cílem vyhodnocení samotné způsobilosti procesu. Po vyhodnocení způsobilosti jsou nalezeny nedostatky ve výrobním procesu a podniknuté kroky k jejich nápravě.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Analýza, způsobilost, proces, ukazatel způsobilosti, výroba, kvalita, regulace

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Čížek	Name Ladislav		
FIELD OF STUDY	B2301 „Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zídková, Ph.D.	Name Helena		
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Analysis of the production process capability in RICHMONT-CZ			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	45	TEXT PART	38	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis contains analysis of eligibility of production process of two structurally similar rotating parts. For process analysis, the diagram \bar{X} and R were used together with the capability indicators C_p and C_{pk} to evaluate the process capability itself. After eligibility assessment, deficiencies in the production process are found and steps taken to correct them.
KEY WORDS	Analysis, eligibility, process, capability indicator, production, quality, regulation

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Heleně Zídkové Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, odborné vedení práce a vstřícnost při konzultacích.

Dále všem, kteří se podíleli na realizaci této práce a na závěr, děkuji své rodině za podporu během mého studia na vysoké škole.

Obsah

Seznam obrázků	2
Seznam tabulek	3
Seznam příloh	3
1. Úvod	4
1.2. Cíle práce.....	4
1.3. Představení firmy RICHMONT – CZ.....	4
2. Způsobilost procesu – teorie	5
2.1 Analýza způsobilosti procesu.....	5
2.2. Znak kvality a jeho volba.....	6
2.3 Analýza systému měření.....	6
2.4 Získávání údajů potřebných pro korektní analýzy.....	9
2.5 Kontrola získaných údajů.....	9
2.6 Normalita a ověření znaku.....	10
2.7 Statisticky zvládnutý proces.....	10
2.8 Ukazatele způsobilosti.....	15
3. Výpočet způsobilosti vybraných procesů	19
3.1 Technologický popis součástí.....	19
3.2 Procesy výroby a kontroly.....	20
3.3 Diagramy \bar{X} a R, ukazatele způsobilosti.....	23
4. Analýza způsobilosti vybraných procesů, nápravná opatření	30
4.1 Analýza výsledků pro součást 1.....	30
4.2 Analýza výsledků pro součást 2.....	30
4.3 Nápravná opatření.....	31
5. Závěr	32
6. Seznam použité literatury a informačních zdrojů	33

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Stabilita systému měření [2]

Obrázek 2.2: Strannost systému měření [2]

Obrázek 2.3: Diagram s normální křivkou zobrazující opakovatelnost měření [8]

Obrázek 2.4: Reprodukovatelnost systému měření [8]

Obrázek 2.5: Příklad krabicového diagramu [5]

Obrázek 2.6: Příklad regulačního diagramu [6]

Obrázek 2.7: Rozhodovací strom pro volbu diagramu [2]

Obrázek 2.8: Příklad diagramů pro individuální hodnoty a rozpětí [7]

Obrázek 2.9: Základní vlastnosti normálního rozdělení [3]

Obrázek 2.10: Vztah směrodatné odchyly s ukazatelem způsobilosti [3]

Obrázek 2.11: Vztah směrodatné odchyly s ukazatelem způsobilosti [3]

Obrázek 2.12: Vztah směrodatné odchyly s ukazatelem způsobilosti [3]

Obrázek 2.13: Vztah směrodatné odchyly s ukazatelem způsobilosti [3]

Obrázek 2.14: Špatně centrované způsobilé procesy [3]

Obrázek 3.1: Součást 1

Obrázek 3.2: Součást 2

Obrázek 3.3: CNC soustruh TAKANG [9]

Obrázek 3.4: Souřadnicový měřicí stroj METRIS HERA [10]

Obrázek 3.5: Měřicí rameno NIKON MCAx [3]

Obrázek 3.6: Drsnoměr DIAVITE DH - 8 [12]

Obrázek 3.7: Ukázka ukládání vyrobených kusů do gitterboxu a špatně nasazené sítě

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Příklad součinitelů pro vzorce [14]

Tabulka 3.1: Výsledné hodnoty pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 součásti 1

Tabulka 3.2: Výsledné hodnoty pro zahloubení $\varnothing 110,5$ H11 součásti 1

Tabulka 3.3: Výsledné hodnoty pro délku 1087-0,5 mm součásti 1

Tabulka 3.4: Výsledné hodnoty pro $\varnothing 114,5$ H11 L součásti 2

Tabulka 3.5: Výsledné hodnoty pro $\varnothing 114,5$ H11 P součásti 2

Tabulka 3.6: Výsledné hodnoty pro délku 1090-0,5 mm součásti 2

Tabulka 4.1: Výsledná úprava hodnot s tolerancemi pro centrování procesů

Seznam příloh

Příloha 1 - Tabulka vypočtených hodnot pro \bar{X} a R podskupin měřených znaků kvality
součásti 1

Příloha 2 - Tabulka vypočtených hodnot pro \bar{X} a R podskupin měřených znaků kvality
součásti 2

1. Úvod

V moderním podniku je pokládán velký důraz na kvalitu výroby a její rychlost společně s náklady. Podnik je proto nucen zavádět různé nástroje pro řízení procesu. Jedním z těchto nástrojů je analýza způsobilosti a je součástí statistického řízení procesu. Statistické řízení procesu je výhodné zejména z pohledu nákladů na výrobu, kdy lze zavedením tohoto řízení ušetřit čas a náklady pro měření každého vyráběného kusu. Ukazatelem způsobilosti lze poté vyjádřit chování daného znaku kvality, na jehož základě pak lze sledovaný proces zlepšovat.

1.2. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je analyzovat způsobilost procesu vybraných znaků kvality dvou konstrukčně obdobných rotačních součástí. Tyto znaky kvality byly vybrány zákazníkem, jako konstrukčně zásadní prvky pro správnou funkci vyráběných součástí. Hodnoty potřebné pro analýzu poskytl manažer kvality firmy RICHMONT-CZ za účelem vyhodnocení způsobilosti procesu a nalezení nápravných opatření pro případnou nezpůsobilost daného procesu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v přílohách č.1 a č.2.

1.3. Představení firmy RICHMONT – CZ

Akciová společnost (RICHMONT – CZ) byla založena v roce 1995, sídlí ve městě Týn nad Vltavou v Jihočeském kraji a působí na evropském trhu působí v oblasti strojírenství a elektromontáže. Aktuálně má společnost okolo 250 zaměstnanců. Mezi hlavní činnosti firmy patří CNC kovoobrábění dílů pro automobilový, elektrotechnický a dřevozpracující průmysl. Další služby spočívají v laserovém dělení materiálů, CNC ohraňování a ohýbání plechů a mokré i práškové lakování. Vedle zakázkové výroby se společnost zabývá produkcí vlastní řady produktů, do níž patří závorové a vratové systémy, regálové systémy, mobilní tribuny a kontejnery. [1]

2. Způsobilost procesu – teorie

Kvalitu produktů určuje významný činitel, a tím je kvalita procesů, díky níž tyto produkty mohou vznikat. Jedním z vhodných kritérií, jak hodnotit kvalitu procesů, je jejich způsobilost. Tuto způsobilost lze charakterizovat „*jako schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria kvality*“.[2] Před kvantifikací způsobilosti procesu je nutné nejdříve proces uvést do statisticky zvládnutého stavu. [2] [4]

Další typy způsobilostí, které se mohou použít pro sledování výrobního procesu, jsou způsobilost měřidla, měřicího zařízení a strojního zařízení.

U měřidel a měřicích zařízení se jedná o postup pro ověřování vhodnosti, kdy se provádí opakované měření na etalonu s předepsaným rozměrem. Způsobilost měření je možno hodnotit dvěma neporovnatelnými způsoby, kde záleží na druhu měření a znaku kvality pro výběr vhodného druhu ověřování.

U způsobilosti strojního zařízení (občas označována jako krátkodobá způsobilost procesu) je udávána informace o jednotlivém výrobním zařízení, zda je schopno poskytnout obrobek odpovídající konstrukčním kritériím a kvalitě. Na rozdíl od způsobilosti procesu je u způsobilosti strojního zařízení požadováno sledovat pouze údaje, kterými jsou charakterizována výrobní zařízení. Výrobní zařízení se takto analyzuje při situacích jako jsou: zjišťování schopnosti dosažení daných parametrů před předáním stroje zákazníkovi výrobcem, instalace zařízení u zákazníka, kontrola stroje po předem stanovené době provozu, po opravě závažné poruchy stroje a před výrobou nového výrobku. [2] [3]

2.1 Analýza způsobilosti procesu

Pomocí analýz způsobilosti procesu lze získat informace pro přípravu a regulaci kvality produktů. Pro klasifikaci způsobilosti procesu se používají ukazatele způsobilosti. Tyto ukazatele srovnávají maximální dovolenou variabilitu hodnot kontrolovaného znaku kvality s konkrétní variabilitou dosaženou u statisticky zvládnutého procesu. Mimo důležitost způsobu shromáždění údajů má také velký význam plnění omezujících podmínek. Jedna z nich už byla uvedena dříve, a to že je potřeba nejprve proces uvést do statisticky zvládnutého stavu. Následující podmínka spočívá v normálním rozdělení sledovaných znaků kvality. [2]

Takto pojatá analýza způsobilosti procesu může sloužit jako:

1. Základ pro zlepšování procesu
2. Poplašné zařízení pro hlídání procesu
3. Podklad pro zdůvodnění nákupu nového strojního zařízení
4. Certifikace pro zákazníka
5. Podklad pro novou konstrukci či návrh výrobku
6. Nástroj pro údržbu strojního zařízení [3]

Způsobnost procesu lze rozdělit na krátkodobou a dlouhodobou. Krátkodobá způsobnost je založená na datech získaných na měření z jednoho cyklu provozu a je určena k ověření stavu, kdy může proces fungovat ve statisticky zvládnutém stavu. Dlouhodobá způsobnost využívá data získaná z delšího pracovního období, přičemž zohledňuje variabilitu procesu v čase.[2][3]

Další možné rozdělení zohledňuje fyzikální podstatu věci z hlediska dat normálně rozdělených (tento stav bude popsán v části práce 2.1.5 normalita a ověření znaku) a dat nenormálně rozdělených, jestliže se nedá sledovaný znak kvality popsat normálním rozdělením. Tento stav může nastat při vyhodnocování znaků kvality, jako jsou geometrické tolerance ovality, házivosti, kolmosti, rovinnosti, ale i síly a velikosti úhlů. Na tyto možnosti nelze normální rozdělení použít a je za potřebí použít jiné modely rozdělení, např. logaritmicko – normální, Weibullovo, překlopené normální a další. [3]

2.2 Znak kvality a jeho volba

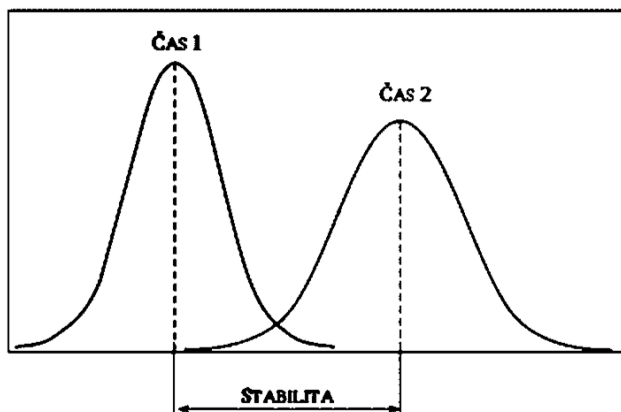
Předpokladem pro hodnocení způsobnosti procesu je, aby pro daný znak kvality byla předepsána kritéria ve výkresové dokumentaci, nejčastěji toleranční meze/pole. Tyto znaky kvality, které je zapotřebí sledovat, musí být schváleny zákazníkem společně s kontrolou správnosti údajů. Pokud je součástí definována vícero znaky kvality, způsobnost procesu je nutné vyhodnocovat ke každému znaku samostatně. Takto zvolený znak kvality vede k přímému výsledku znaku kvality. [2]

2.3 Analýza systému měření

Jak bylo popsáno výše (v části práce 2. Způsobnost procesu – teorie), způsobnost měřidla a měřicího zařízení je nutné analyzovat, protože se stává jedním ze zdrojů variability, která může analýzu způsobnosti procesu výrazně zkreslit a znemožnit tak rozpoznání stavu procesu. Měřidlo lze považovat za vhodné, pokud splňuje soubor vlastností potřebných pro měření konkrétního znaku kvality. Tyto vlastnosti jsou: stabilita, strannost, shodnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost a linearita. [2]

Stabilita

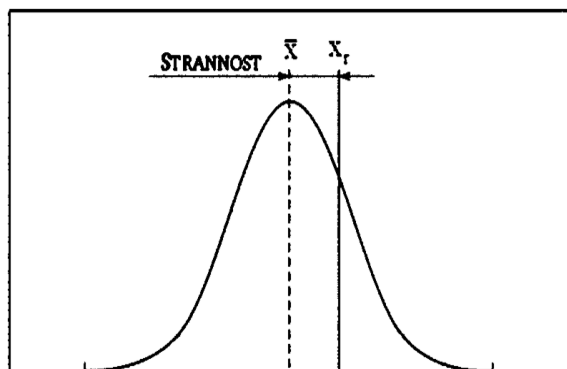
Stabilita představuje celkovou variabilitu měření stejného znaku kvality za delší časové období. Jako vlastnost systému je nutná pro vyhodnocení ostatních vlastností systému měření. Vyhodnocuje se podle změny strannosti v čase, tudíž ideálně stabilizovaný proces nevykazuje změnu strannosti v čase, jak je znázorněno na obrázku 2.1. [2]



Obrázek 2.1: Stabilita systému měření [2]

Strannost

Strannost lze vyjádřit jako rozdíl mezi aritmetickým průměrem výsledku opakovaného měření (\bar{X}) a přijatou referenční hodnotou vzorku (X_r). Na obrázku 2.2 je tento vztah znázorněn. [2]



Obrázek 2.2: Strannost systému měření [2]

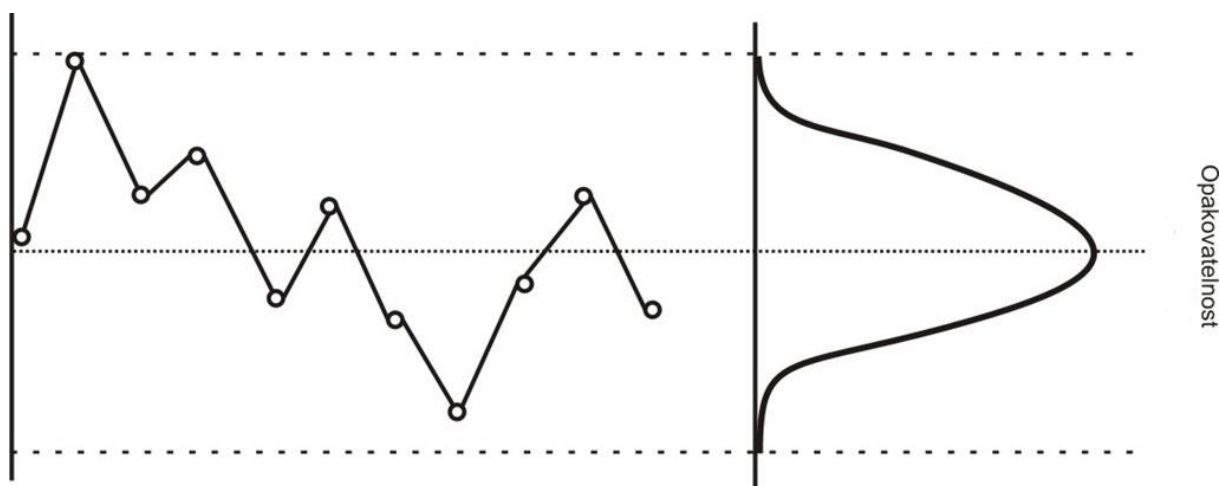
Linearita a uniformita

Linearitu lze vyjádřit rozdílem hodnot strannosti v pracovním rozsahu systému měření. Jelikož součástí linearity je vyhodnocení strannosti měření pro každý vzorek, je potřeba vyhodnotit přijatelnost systému měření z hlediska opakovatelnosti. Uniformita, jako další důležitá vlastnost systému měření, představuje změnu opakovatelnosti v normálním provozním rozsahu.

Vyhodnocuje se souběžně s linearitou nebo analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. [2]

Opakovatelnost

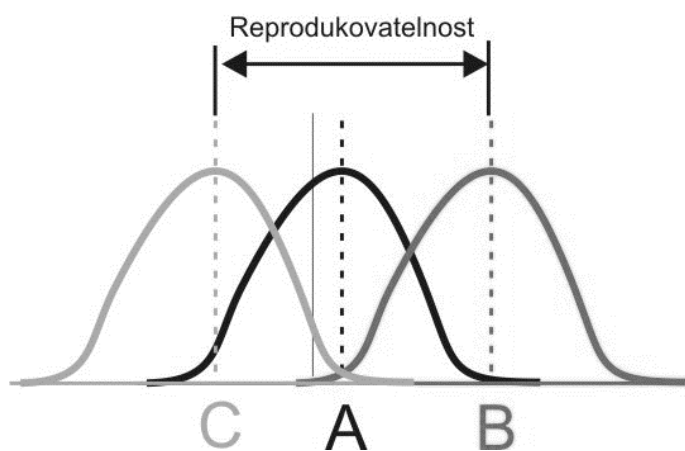
Charakteristika tkví ve variabilitě měření jednoho výrobku v podmínkách, kdy měří jeden operátor, jednou metodou, jedním měřicím prostředkem a na stejném místě měření za co nejkratší čas. Obrázek 2.3 znázorňuje sestrojený diagram a normální křivku, ze které je patrná opakovatelnost měření. [2]



Obrázek 2.3: Diagram s normální křivkou zobrazující opakovatelnost měření [8]

Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost lze popsat jako variabilitu středních hodnot měření stálého znaku, kdy měří různí operátoři nebo jeden operátor měří více měřidly, popř. na různých stanovištích. Na obrázku 2.4 je znázorněna reprodukovatelnost v závislosti na třech různých měřeních. [2]



Obrázek 2.4: Reprodukovatelnost systému měření [8]

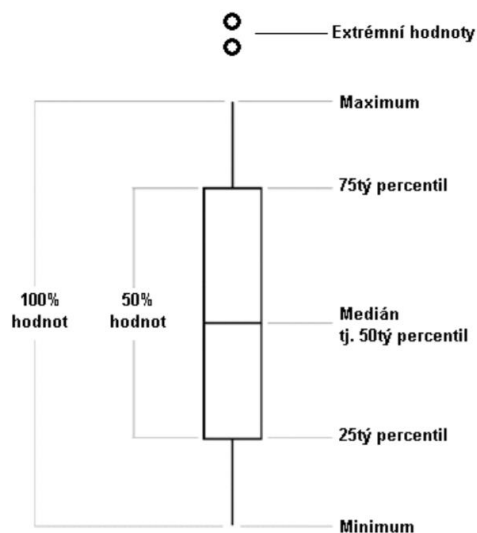
2.4 Získávání údajů potřebných pro korektní analýzy

Údaje by měly být získávány z tak dlouhého časového období, aby na proces zapůsobily všechny zdroje variability. Při shromažďování údajů musí docházet ke standardním změnám obsluhy, vlastnostem materiálu a prostředí, údržbám, seřizování atd. Pro obdržení hodnot se nejprve určí pravidelný interval pro odebrání reprezentativních vzorků z výrobní dávky a následně se provede měření vybraných znaků kvality. Tento počet vzorků se označuje jako podskupina, přičemž doporučený rozsah odebraných vzorků v podskupině je 4 až 5 součástí z dávky a je za potřeby získat minimálně 25 těchto podskupin. [2] [4]

2.5 Kontrola získaných údajů

Obdržené údaje je potřeba analyzovat vůči odlehlým hodnotám, normálnosti rozdělení a nezávislosti hodnot.

Pro výskyt hodnot odlehlých od naměřené většiny a zjištění symetrie rozdělení lze použít krabicový diagram. Tento diagram slouží k vizualizaci zkoumaných dat. Popsané schéma krabicového diagramu je zobrazeno na obrázku 2.5. [2] [5]



Obrázek 2.5: Příklad krabicového diagramu [5]

Pro analýzu normálnosti rozdělení je možno použít histogram (sloupcový diagram), který dovoluje pozorovat tvar série datových hodnot. Navíc zobrazí polohu sledovaného znaku vůči tolerancím a dosažené variabilitě.

Poslední z popisovaných kontrol je analýza nezávislosti získaných hodnot. K tomuto účelu slouží nástroje jako znaménkový test nebo ověření podle autokorelačních koeficientů. [2] [4]

2.6 Normalita a ověření znaku

Ukazatele způsobilosti jsou postaveny na předpokladu normálního rozdělení, a proto je nutné, před aplikací vzorců na výpočet ukazatelů způsobilosti, použití nástrojů na ověření normality. Samotné normální rozdělení má svoje opodstatnění: „pokud sledovaný znak kvality je ovlivňován řadou neodstranitelných náhodných vlivů, z nichž každý působí jen malou intenzitou, potom rozdělení hodnot znaku kvality je symetrické, popsateľné normálním rozdělením se střední hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ .“ [3]

Dalším důvodem ověřování normality je i to, že některé typy regulačních diagramů, sloužící pro posouzení statistické zvládnutosti, nemohou fungovat při nenormálním rozdělení. Těmito jsou například regulační diagramy pro individuální hodnoty a regulační diagramy pro medián. Pro regulační diagramy výběrových průměrů a variačních rozpětí nebo diagramy výběrových průměrů a směrodatných odchylek není nutné mít požadavek na normalitu ověřený, lze rovnou posuzovat statistickou zvládnutost procesu a předpokládat, že nesplnění normality náleží právě statisticky nezvládnutému procesu. [2] [3]

2.7 Statisticky zvládnutý proces

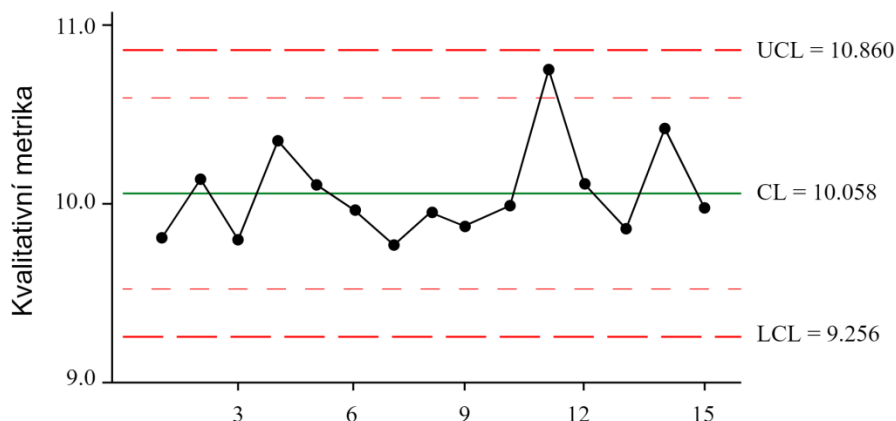
Regulační diagramy

Statisticky zvládnutý proces lze popsat tím, že variabilitu kontrolovaných hodnot vyvolávají pouze náhodné příčiny. Poté lze tento proces podrobit analýze způsobilosti procesu. Vymezitelné příčiny změn znaku kvality lze od náhodných příčin diferencovat pomocí regulačních diagramů (některé typy už byly zmíněny v předešlé části). [2]

Regulační diagram navrhl v roce 1924 Dr. Walter Shewhart a slouží k zaznamenávání dat z procesu s ohledem na časovou posloupnost. V diagramu jsou znaky kvality znázorněny tak, aby bylo možno proces regulovat.

Graf je složen z vodorovné osy, která znázorňuje čas a ze svislé osy, do které se zaznamenávají vybrané hodnoty výběrové charakteristiky.

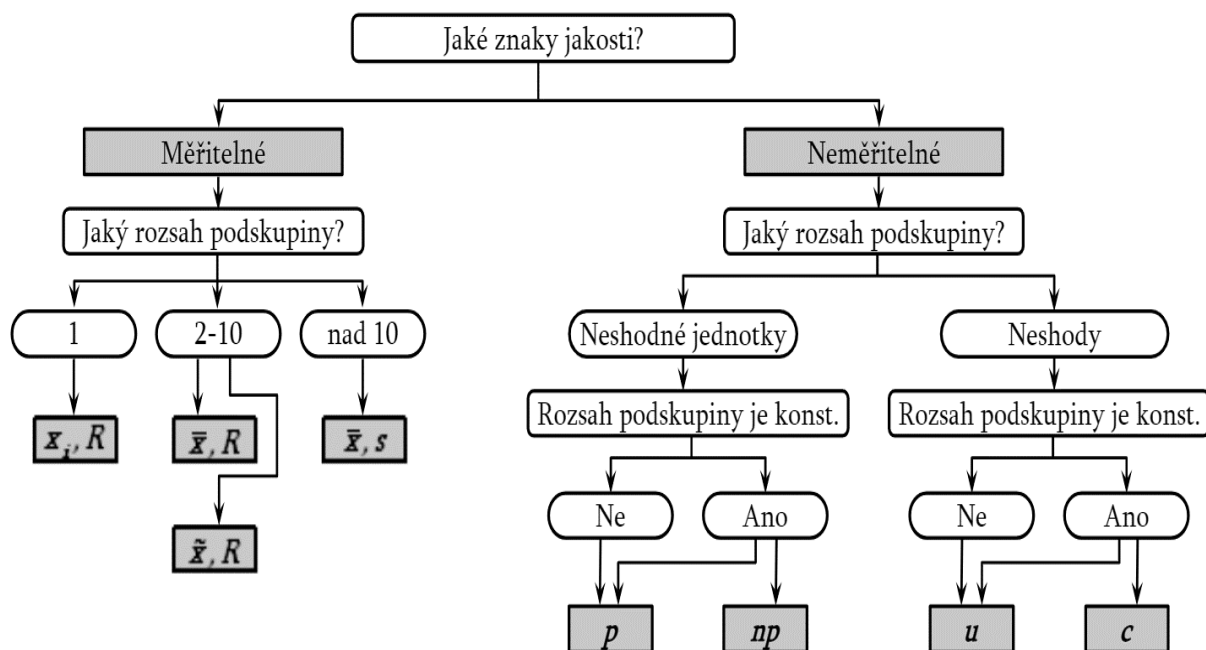
Dále se v grafu nachází centrální přímka (CL – central line), regulační mez UCL (upper control limit - horní regulační mez) a LCL (lower control limit - dolní regulační mez). Příklad diagramu je uveden na obrázku 2.6. [4]



Obrázek 2.6: Příklad regulačního diagramu [6]

Typy regulačních diagramů

Pokud jsou splněny podmínky pro použití klasických Shewhartových regulačních diagramů (okamžité rozdělení pozorovaných dat), lze pro výběr správného regulačního diagramu použít následující rozhodovací strom na obrázku 2.7. [2]



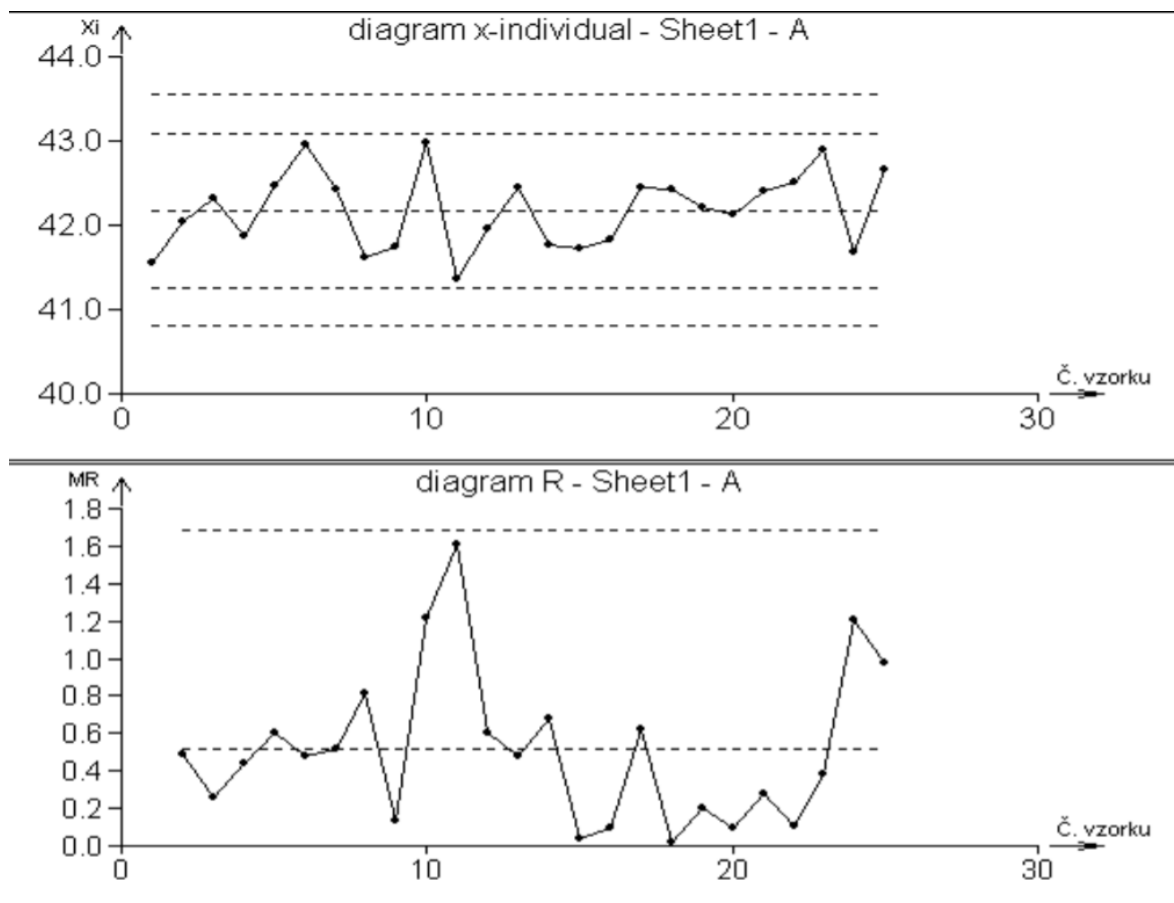
Obrázek 2.7: Rozhodovací strom pro volbu diagramu [2]

Regulační diagramy pro měřitelné znaky kvality

Těmito diagramy lze popisovat výrobní proces a jeho chování vzhledem k variabilitě kusů společně s jeho polohou (průměrem). Z tohoto důvodu „jsou regulační diagramy měřením většinou vždy připravovány a analyzovány ve dvojicích – jeden diagram pro polohu a druhý pro rozmezí výrobního procesu.“ [2]

Diagramy měřením se rozlišují na:

- diagram pro průměr (\bar{X}) a pro rozpětí (R) nebo směrodatnou odchylku (s)
- diagram pro individuální hodnoty (X) a diagram pro klouzavé rozpětí (R). [2]



Obrázek 2.8: Příklad diagramů pro individuální hodnoty a rozpětí [7]

Vzorce pro výpočet součinitelů a regulačních mezí

Výběrový průměr podskupiny

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Výběrový průměr podskupin

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{x}_i \quad (2)$$

Výběrové rozpětí podskupiny

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (3)$$

Výběrová směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Regulační diagramy lze rozdělit také podle způsobu výpočtu regulačních mezí, kdy mohou nastat dvě situace.

Základní hodnoty nejsou stanoveny

Za této situace náleží hodnota centrální přímký, u diagramu pro průměr, výsledku výběrového průměru podskupin. Pro výpočet horní a dolní regulační meze je nutné poté použít následující vztahy.

$$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad (5)$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (6)$$

nebo

$$UCL = \bar{X} + A_3 \bar{s} \quad (7)$$

$$LCL = \bar{X} - A_3 \bar{s} \quad (8)$$

U diagramů pro rozpětí se centrální přímka stanoví vypočtením průměru rozpětí podskupin \bar{R} . Pro regulační meze dále platí níže napsané vztahy.

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (9)$$

$$LCL = D_3\bar{R} \quad (10)$$

Nakonec ro diagram směrodatné odchylky s se, jako u předchozích, centrální přímka náleží průměru směrodatných odchylek sledovaných podskupin s následujícím vztahem pro regulační meze.

$$UCL = B_4\bar{s} \quad (11)$$

$$LCL = B_3\bar{s} \quad (12)$$

Použité součinitele A_2 , A_3 , D_4 , D_3 , B_4 a B_3 je nutné vyhledat v příslušné tabulce normy Shewhartových regulačních diagramů ČSN ISO 8258 a jsou ovlivňovány počtem prvků n v logické podskupině. [4]

Základní hodnoty jsou stanoveny

Základními hodnotami se míní požadavky uvedené ve specifikaci nebo hodnoty uvedené v technickém zadání zákazníka (např. požadavek na střední hodnotu μ_0 objemového podílu určité složky, na směrodatnou odchylku σ_0 charakterizující přesnost určité analytické metody). [4]

Vzorce pro výpočet mezí budou následovné.

Pro výběrový průměr \bar{X} (kdy uvažujeme $CL = \mu_0$):

$$UCL = \mu_0 + A\sigma_0 \quad (13)$$

$$LCL = \mu_0 - A\sigma_0 \quad (14)$$

Pro výběrové rozpětí R :

$$CL = d_2\sigma_0 \quad (15)$$

$$UCL = D_1\sigma_0 \quad (16)$$

$$LCL = D_2\sigma_0 \quad (17)$$

Pro směrodatnou odchylku s :

$$CL = c_4\sigma_0 \quad (18)$$

$$UCL = B_5\sigma_0 \quad (19)$$

$$LCL = B_6\sigma_0 \quad (20)$$

Použité součinitele A, A₂, A₃, D₄, D₃, D₁, D₂, d₂, c₄, B₃, B₄ a B₅, B₆ je nutné vyhledat v příslušné tabulce normy Shewhartových regulačních diagramů ČSN ISO 8258 a jsou ovlivňovány počtem prvků *n* v logické podskupině. [3] [4]

n	A	A2	A3	A4	E2	B3	B5	D1	D3	B4	B6	D2	D4	C4	d2
2	2.121	1.880	2.659	1.880	2.660	0	0	0	0	3.267	2.606	3.686	3.267	0.798	1.128
3	1.732	1.023	1.954	1.190	1.772	0	0	0	0	2.568	2.276	4.358	2.574	0.886	1.693
4	1.500	0.729	1.628	0.800	1.457	0	0	0	0	2.266	2.088	4.698	2.282	0.921	2.059
5	1.342	0.577	1.427	0.690	1.290	0	0	0	0	2.089	1.964	4.918	2.114	0.940	2.326
6	1.225	0.483	1.287	0.550	1.184	0.030	0.029	0	0	1.970	1.874	5.078	2.004	0.952	2.534
7	1.134	0.419	1.182	0.510	1.109	0.118	0.113	0.204	0.076	1.882	1.806	5.204	1.924	0.959	2.704
8	1.061	0.373	1.099	0.430	1.054	0.185	0.179	0.388	0.136	1.815	1.751	5.306	1.864	0.965	2.847
9	1.000	0.337	1.032	0.410	1.010	0.239	0.232	0.547	0.184	1.761	1.707	5.393	1.816	0.969	2.970
10	0.949	0.308	0.975	0.360	0.975	0.284	0.276	0.687	0.223	1.716	1.669	5.469	1.777	0.973	3.078

Tabulka 2.1: Příklad součinitelů pro vzorce [14]

Regulační diagram pro atributy

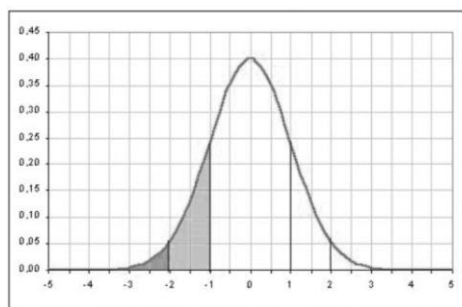
Pro vytváření diagramů atributů se zaznamenává přítomnost či nepřítomnost vlastnosti nebo znaku na kusu z podskupiny a dalšího nárůstu kusů s tímto znakem.

Rozdělení regulačních diagramů pro atributy:

- diagram pro podíl neshodných jednotek v podskupině
- diagram pro počet neshodných jednotek stejného rozsahu
- diagram pro počet neshod v podskupině
- diagram pro počet neshod na jednotku v podskupině. [4]

2.8 Ukazatele způsobilosti

Posledním krokem při analýze způsobilosti procesu je samotný výpočet ukazatelů způsobilosti. Podstata těchto výpočtů je v poměru tolerančního rozmezí s referenčním intervalem. Tento interval pokrývá 99,73 % (pokud zákazník nestanoví jinak) určitého znaku kvality, který poukazuje na přirozenou variabilitu kvalitativního znaku ve výrobním procesu a odpovídá šestinásobku směrodatné odchylky σ znaku kvality. Následující obrázek 2.9 popisuje základní vlastnosti normálního rozdělení. [3]



V intervalu $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$
leží **68,26 %** všech pozorování,
mimo tento interval leží
 $2 \bullet 15,87 \%$, t.j. **31,74 %**.

V intervalu $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$
leží **95,44 %** všech pozorování,
mimo tento interval leží
 $2 \bullet 2,28 \%$, t.j. **4,56 %**.

V intervalu $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$ leží **99,73 %** všech pozorování,
mimo tento interval leží $2 \bullet 0,135 \%$, t.j. **0,27 %** (2 700 ppm).

V intervalu $\langle \mu - 4\sigma, \mu + 4\sigma \rangle$ leží **99,994 %** všech pozorování,
mimo tento interval leží $2 \bullet 0,003 \%$, t.j. **0,006 %** (60 ppm).

V intervalu $\langle \mu - 5\sigma, \mu + 5\sigma \rangle$ leží **99,99994 %** všech pozorování,
mimo tento interval leží $2 \bullet 0,00003 \%$, t.j. **0,00006 %** (0,6 ppm).

V intervalu $\langle \mu - 6\sigma, \mu + 6\sigma \rangle$ leží **99,99999999 %** všech pozorování,
mimo tento interval leží $2 \bullet 0,00000001 \%$, t.j. **0,00000002 %** (0,002 ppm).

Obrázek 2.9: Základní vlastnosti normálního rozdělení [3]

Ukazatel způsobilosti C_p

Pokud lze popsat sledovaný znak procesu normálním rozdělením, tak platí, že způsobilost procesu lze definovat na základě inherentní variability procesu dané směrodatnou odchylkou σ . Samotnou míru způsobilosti procesu lze vyjádřit základním ukazatelem způsobilosti.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (21)$$

USL – horní mezní hodnota

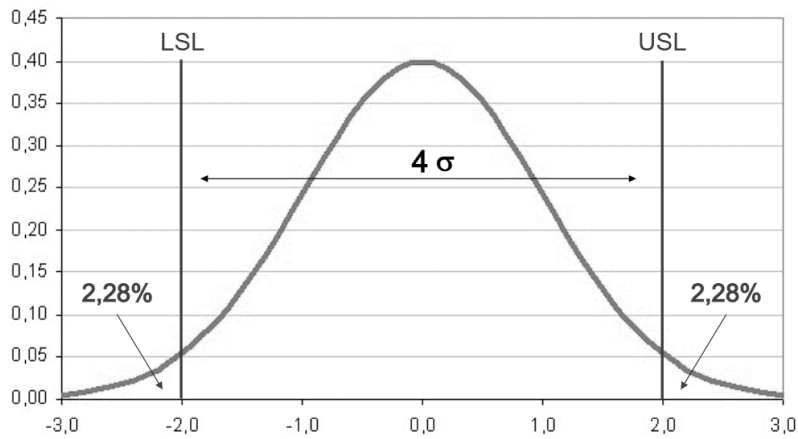
LSL – dolní mezní hodnota

V závislosti na referenčním intervalu 6σ se mění hodnota ukazatele C_p , čím je σ menší, tím větší je hodnota ukazatele C_p a méně jednotek se může vyskytovat vně tolerančního rozmezí, ale pouze za předpokladu, že je proces nastaven na střed tolerančního pole $(USL-LSL)/2$.

Proces se považuje za způsobilý, jestliže ukazatel $C_p \geq 1,33$. Když je $C_p < 1,0$, proces lze považovat za nezpůsobilý a v situaci $C_p = 1$ se uvažuje o procesu blízkém způsobilosti. Bohužel ukazatel způsobilosti C_p nezohledňuje nastavení centrování procesu (parametr polohy μ), a proto se v této závislosti nebude měnit. Tento problém řeší ukazatel C_{pk} .

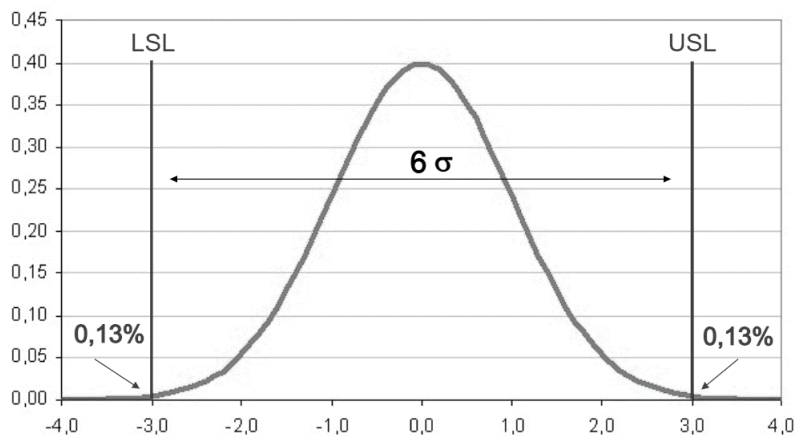
Následující obrázky znázorňují vztah mezi směrodatnou odchylkou, centrovaným procesem, tolerančním polem a ukazatelem způsobilosti. [3]

$C_p < 1,0$ - proces není způsobilý ($USL - LSL = 4\sigma$, $C_p = 0,67$)



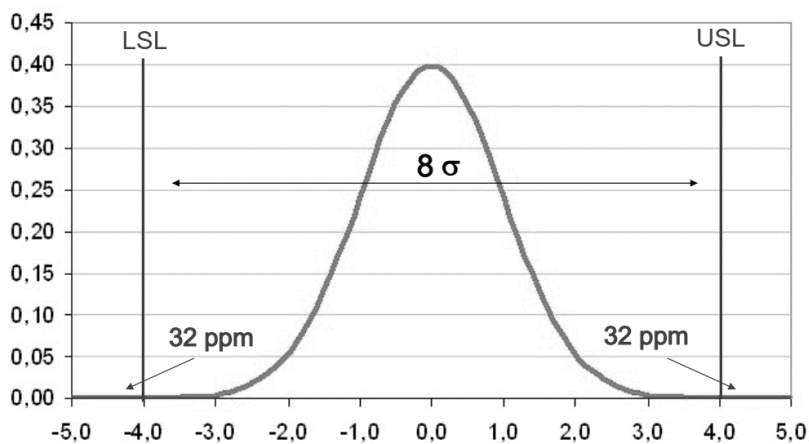
Obrázek 2.10: Závislost směrodatné odchylky na ukazateli způsobilosti [3]

$C_p = 1,0$ - proces je blízky způsobilosti ($USL - LSL = 6\sigma$, $C_p = 1$)



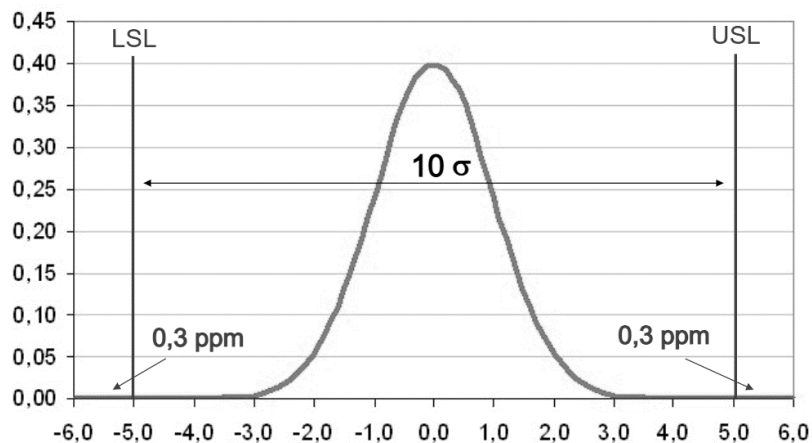
Obrázek 2.11: Závislost směrodatné odchylky na ukazateli způsobilosti [3]

$C_p \geq 1,33$ - proces je způsobilý ($USL - LSL = 8\sigma$, $C_p = 1,33$)



Obrázek 2.12: Závislost směrodatné odchylky na ukazateli způsobilosti [3]

$C_p \geq 1,67$ - proces je způsobilý ($USL - LSL = 10\sigma$, $C_p = 1,67$)



Obrázek 2.13: Závislost směrodatné odchylky na ukazateli způsobilosti [3]

Ukazatel způsobilosti C_{pk}

Jelikož C_p nezohledňuje centrování procesu, proces s vysokou hodnotou C_p může nabývat vysokých hodnot, ale přitom může proces produkovat vysoké procento neshodných kusů. Čím méně je proces centrován, tím více je větší podíl neshodných jednotek.

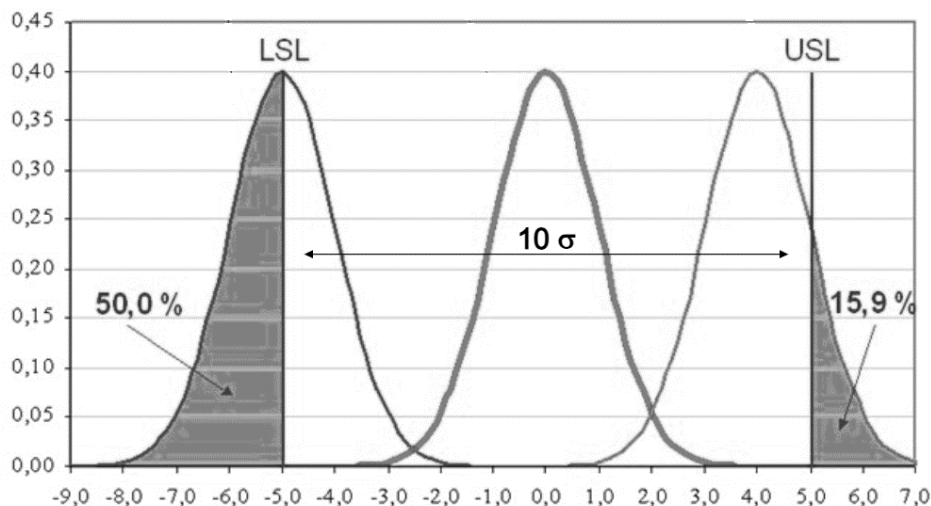
Samotný výpočet se skládá ze dvou rovnic, kdy se menší výsledná hodnota bere jako pravý ukazatel C_{pk} (hledá se největší odchylka od středu tolerančního pole).

$$C_{pkU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (22)$$

$$C_{pkL} = \frac{LSL - \mu}{3\sigma} \quad (23)$$

$$C_{pk} = \min\{C_{pkU}; C_{pkL}\} \quad (24)$$

Přičemž je vždy dáno $C_p \geq C_{pk}$ a rovnost mezi ukazateli nastane jen tehdy, pokud je proces ideálně centrován na střed tolerančního pole. Na následujícím obrázku 2.14 je znázorněn vztah mezi ukazateli, kdy $C_p = 1,67$, normální křivka vlevo nabývá hodnoty $C_{pk} = 0$, poloha křivky uprostřed odpovídá $C_{pk} = C_p = 1,67$ a křivka vpravo nabývá hodnoty $C_{pk} = 0,33$. [3]



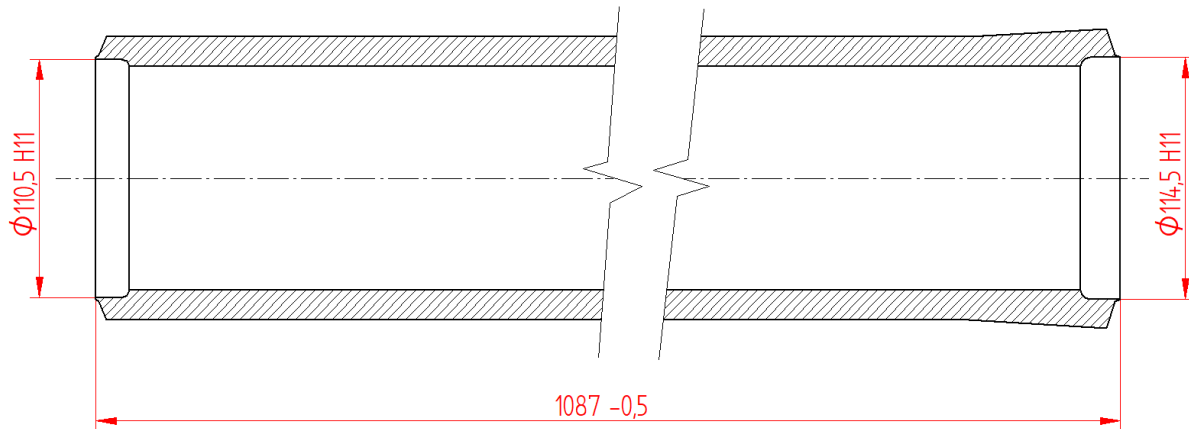
Obrázek 2.14: Špatně centrované způsobilé procesy [3]

3. Výpočet způsobilosti vybraných procesů

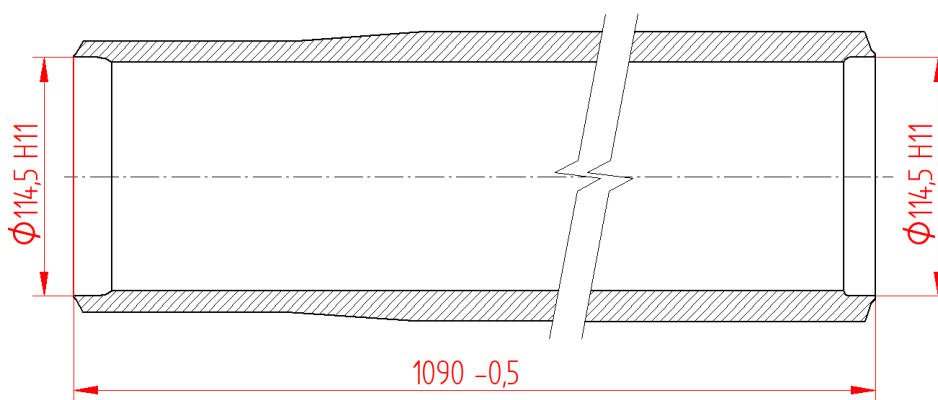
Samotný požadavek na výpočet způsobilosti procesů vznikl z dohody vedení firmy se zákazníkem, kdy zákazník zvýšil poptávku na větší množství kusů a z důvodu omezené kapacity kontrolní laboratoře nebylo možné dodržet stoprocentní kontrolu vyrobených dílů. Proto bylo stanoveno, že se zvolí první a poslední kus z každé výrobní dávky po 24 kusech pro statistickou přejímku. Na těchto kusech budou poté měřeny znaky kvality. Pro zamezení nepřesností při výpočtu ukazatelů způsobilosti, byly kusy vyrobené při seřizování výrobního zařízení a kusy vyrobené jako první na začátku směny, vyloučeny ze statistické přejímky pro zamezení ovlivnění výpočtů periodickými příčinami.

3.1 Technologický popis součástí

Analýza způsobilosti v této práci, se týká dvou výrobních sérií zadaných jedním zákazníkem. Aby byla zachována anonymita zákazníka a vyráběných kusů, výrobní řady jsou označeny jako součást 1 a součást 2. Samotné znaky kvality, požadované zákazníkem k vyhodnocování, se nacházejí na dvou konstrukčně podobných rotačních součástech. Nenormalizované trubkové silnostěnné polotovary pro výrobu dodává zákazník. Na hranách vnějších průměrů s čely, která jsou na obou stranách součástí, se nachází tvarové sražení. Drsnost na těchto sraženích je předepsaná na Rz 100. Dále je na součástech konstrukčně předepsané zahloubení. Na součásti 1 je předepsáno zahloubení o $\varnothing 110,5$ H11 a $\varnothing 114,5$ H11. Na součásti 2 jsou oba průměry o velikosti $\varnothing 114,5$ H11 a drsností zahloubení Rz 25. Kromě těchto zahloubení jsou vnitřní průměry obou součástí ponechány neobrobené.



Obrázek 3.1: Součást 1



Obrázek 3.2: Součást 2

3.2 Procesy výroby a kontroly

Jelikož jsou obě součásti rotační, je samozřejmé, že po procesu dělení polotovárů na pilách následuje soustružení na CNC soustruhu TAKANG, LC40x3200. Na následujícím obrázku je CNC výrobní zařízení vyobrazeno.



Obrázek 3.3: CNC soustruh TAKANG [9]

Dalším krokem je měření obrobků v kontrolní laboratoři. Zde se obrobek, očištěný od residuí po emulzi a samotném dělení materiálu, přenesse na granitovou desku souřadnicového měřicího stroje METRIS HERA 1077 (znázorněn na obrázku 3) se softwarem Tango!3D. Jelikož je pracovní rozsah stroje menší, než celková délka součástí a nebylo by možné součásti proměřit najednou, změří se požadovaný díl, podepřený prizmatickými kontrolními podložkami, nejprve z jedné strany a poté z druhé strany. Při tomto měření se zkontrolují (nezávisle na sobě) průměry zahloubení, rozměry sražení a geometrie vnějších průměrů, kdy se rozměry porovnávají s CAD modelem poskytnutým zákazníkem.



Obrázek 3.4: Souřadnicový měřicí stroj METRIS HERA [10]

Poté se součásti s kontrolními podložkami přesunou na oddělenou granitovou měřicí desku a zbylé rozměry (jako jsou celková délka a sousost obou zahloubení), které nebylo možné změřit na souřadnicovém měřicím stroji, se ověří měřicím ramenem NIKON MCAx, vybaveným dotykovou sondou a taktéž softwarem Tango!3D. Příklad měřicího ramena NIKON MCAx s dotykovou sondou a scannerem se nachází na obrázku 3.



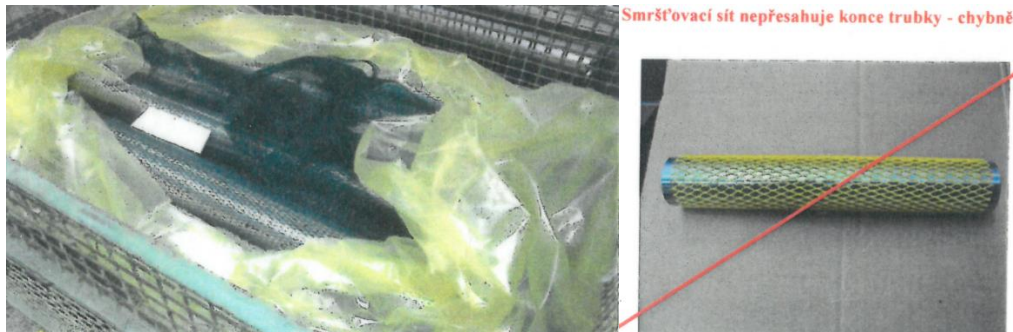
Obrázek 3.5: Měřicí rameno NIKON MCAx [3]

Po dokončení měření ramenem je v poslední řadě kontrol rozměrů měření drsností. Toto je provedeno pomocí drsnoměru DIAVITE DH - 8 připojeného k počítači, kde naměřená data vyhodnotí software DiaSoft a vytvoří protokol o měření, který se odešle zákazníkovi. Tento postup byl zaveden, protože zákazník požadoval protokol z měření drsnosti (společně s protokolem z měření souřadnicovým měřicím strojem a měřicím ramenem), obsahující výpočet nosných veličin. Zejména se jedná o R_{pk} (redukovanou výšku špiček) a R_{vk} (redukovanou výšku rýh). Příklad drsnoměru DIAVITE DH - 8 je znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3.6: Drsnoměr DIAVITE DH - 8 [12]

Vyrobené kusy se poté přepraví do výstupního skladu, kde se zabalí do smršťovací sítě a naskládají do gitterboxu, který je opatřen kartonovým prokladem na dně a antikorozi fólíí. Na obrázku 3.7 je ukázka uložení kusů a chybně nasazené smršťovací sítě.



Obrázek 3.7: Ukázka ukládání vyrobených kusů do gitterboxu a špatně nasazené sítě

3.3 Diagramy výběrových průměrů \bar{X} a rozpětí R , ukazatele způsobilosti

Výpočet regulačních mezí

Naměřené hodnoty, použité v této práci, byly získány bez možnosti jejich ovlivnění. Proto byl použit výpočet přirozených regulačních mezí (vztahy 5, 6, 9 a 10) ke konstrukci regulačních diagramů \bar{X} a R .

Výpočet ukazatelů způsobilosti

Po vypočtení přirozených regulačních mezí a konstrukci regulačních diagramů bylo zapotřebí stanovit odhad směrodatné odchylky σ .

Pro dosažení výsledku lze použít více možností výpočtu:

- výpočet odmocniny z průměru rozptylů

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 25$$

- výpočet průměru směrodatných odchylek podskupin vydělený součinitelem c_4 (viz. Tabulka 2.1 Příklad součinitelů pro vzorce)

$$\sigma = \bar{s} / c_4 \quad 26$$

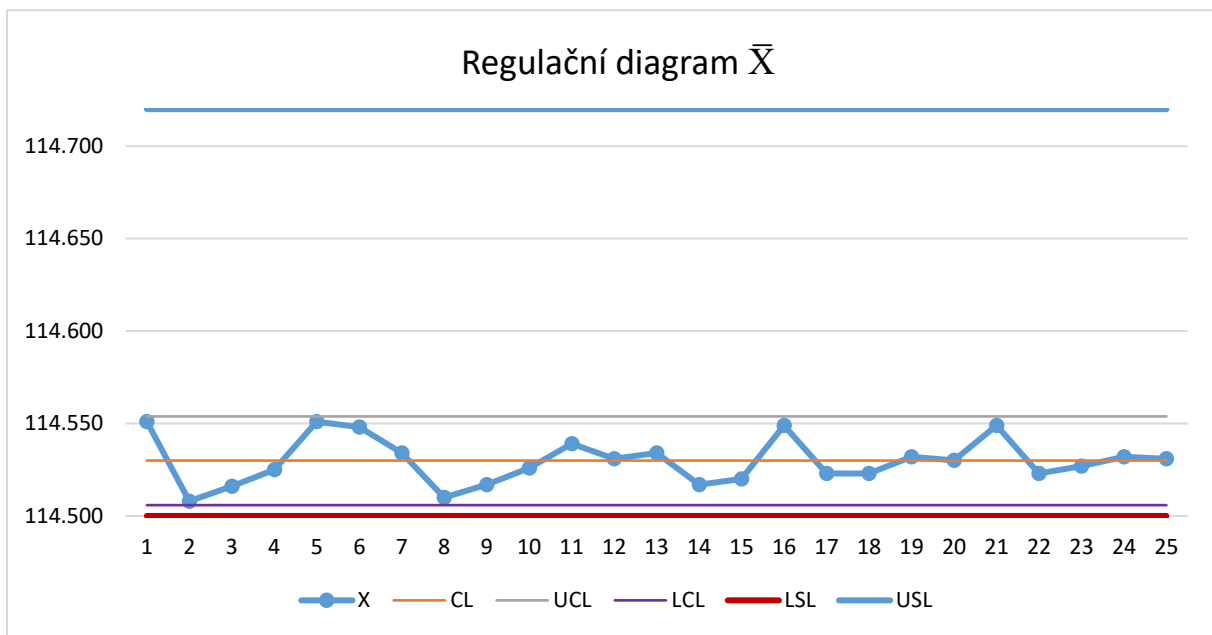
- výpočet průměru rozpětí vydělený konstantou d_2 (opět obsaženo v tabulce 2.1 Příklad součinitelů pro vzorce)

$$\sigma = \bar{R} / d_2 \quad 27$$

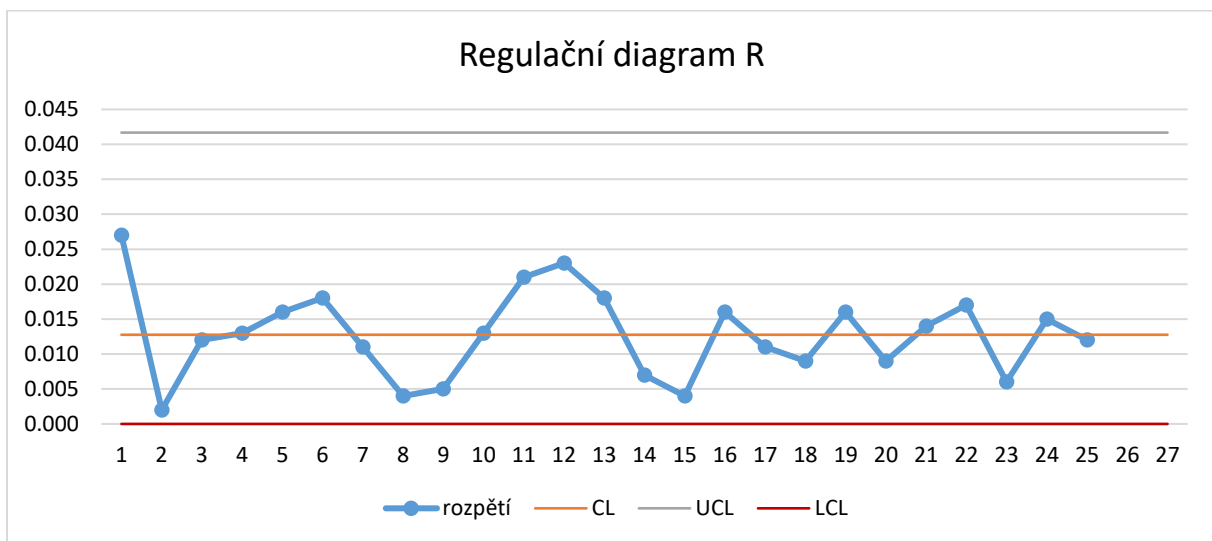
[13]

Při výpočtech byl v této práci použit poslední ze vztahů $\sigma = \bar{R} / d_2$.

Výsledky pro zahloubení $\phi 114,5$ H11 u součásti 1



Graf 3.1: Regulační diagram \bar{X} pro $\phi 114,5$ H11 součásti 1

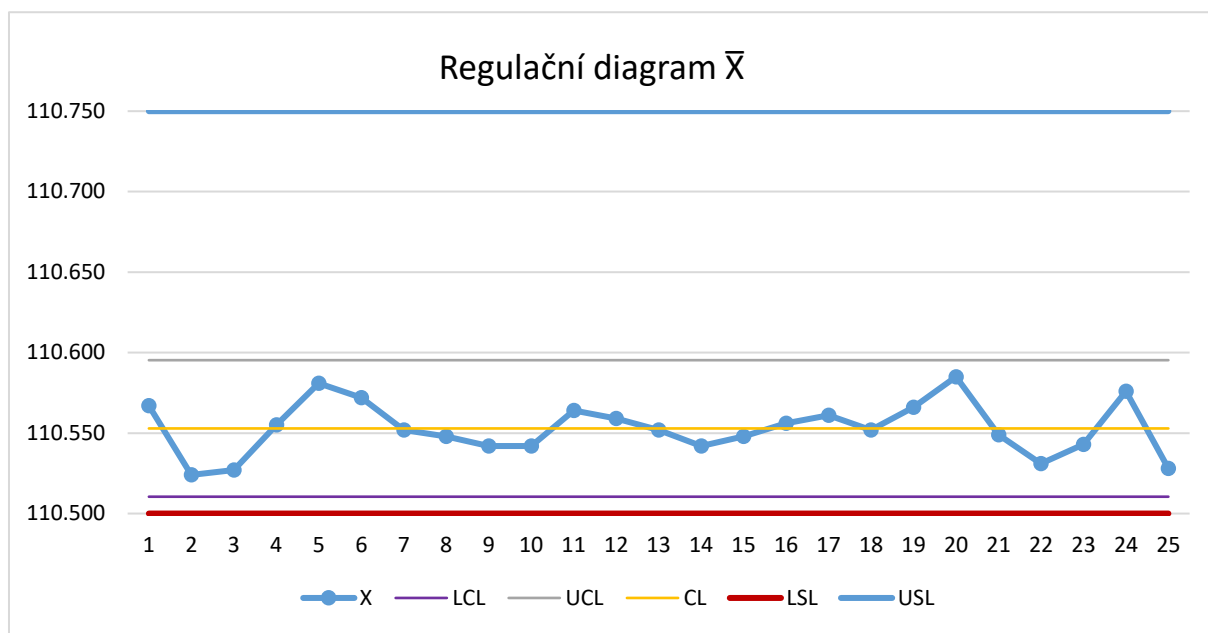


Graf 3.2: Regulační diagram R pro $\phi 114,5$ H11 součásti 1

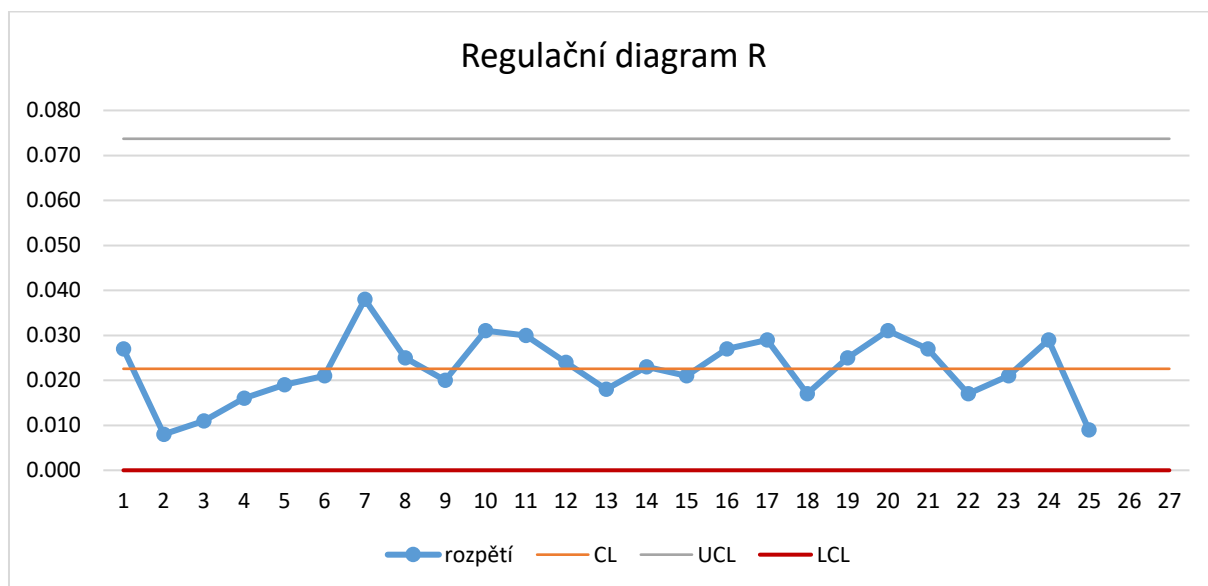
\bar{X}			R			Způsobilost				
CL	UCL	LCL	CL	UCL	LCL	USL	LSL	σ	C_p	C_{pk}
114,53	114,554	114,506	0,013	0,0417	0	114.72	114.5	0,0113	3,24	0,88

Tabulka 3.1: Výsledné hodnoty pro zahloubení $\phi 114,5$ H11 součásti 1

Výsledky pro zahloubení $\phi 110,5$ H11 u součásti 1



Graf 1.3: Regulační diagram \bar{X} pro $\phi 110,5$ H11 součásti 1

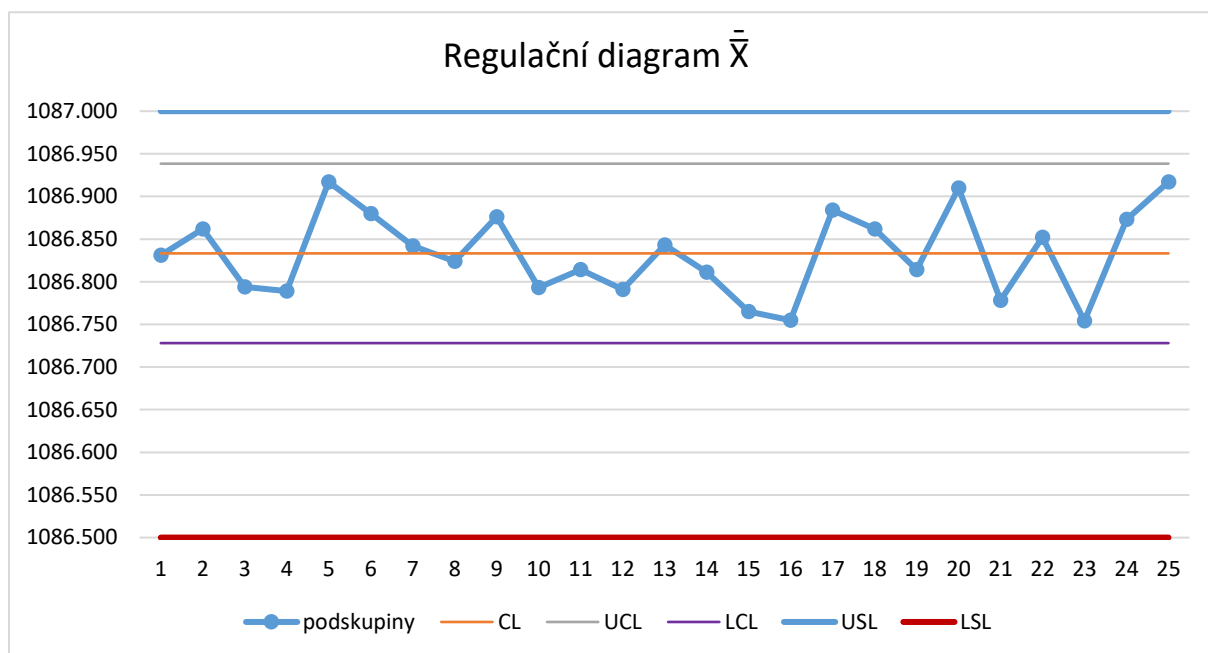


Graf 3.4: Regulační diagram R pro $\phi 110,5$ H11 součásti 1

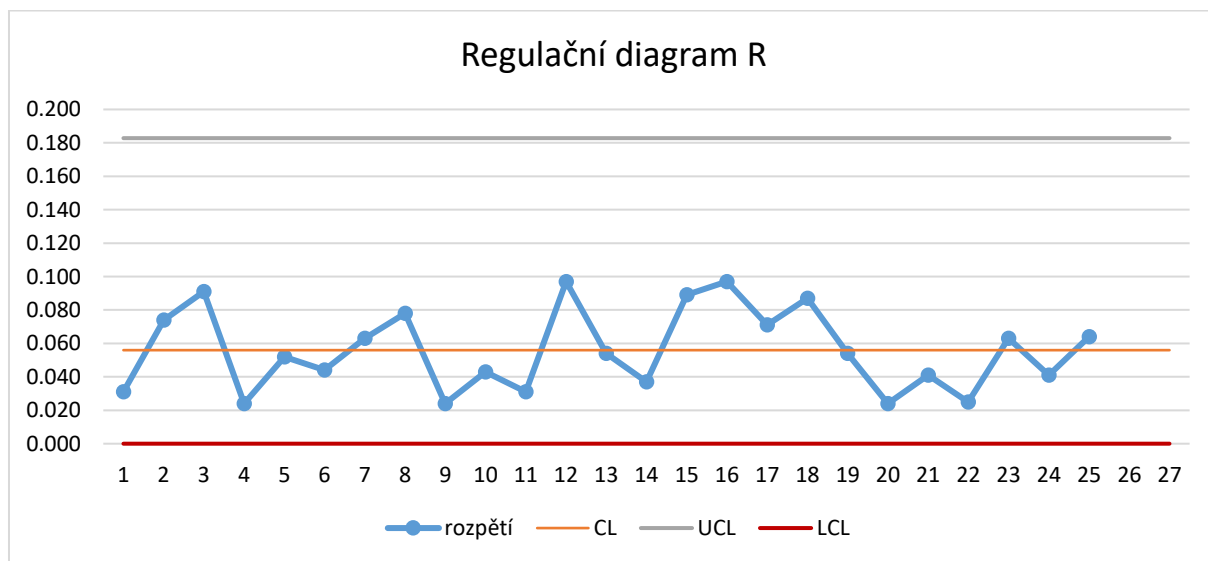
\bar{X}			R			Způsobilost				
CL	UCL	LCL	CL	UCL	LCL	USL	LSL	σ	C_p	C_{pk}
110,553	110,595	110,511	0,023	0,0737	0	110,72	110,5	0,0201	1,83	0,89

Tabulka 3.2: Výsledné hodnoty pro zahloubení $\phi 110,5$ H11 součásti 1

Výsledky pro celkovou délku 1087-0,5 mm u součásti 1



Graf 3.5: Regulační diagram \bar{X} pro délku 1087-0,5 mm součásti 1

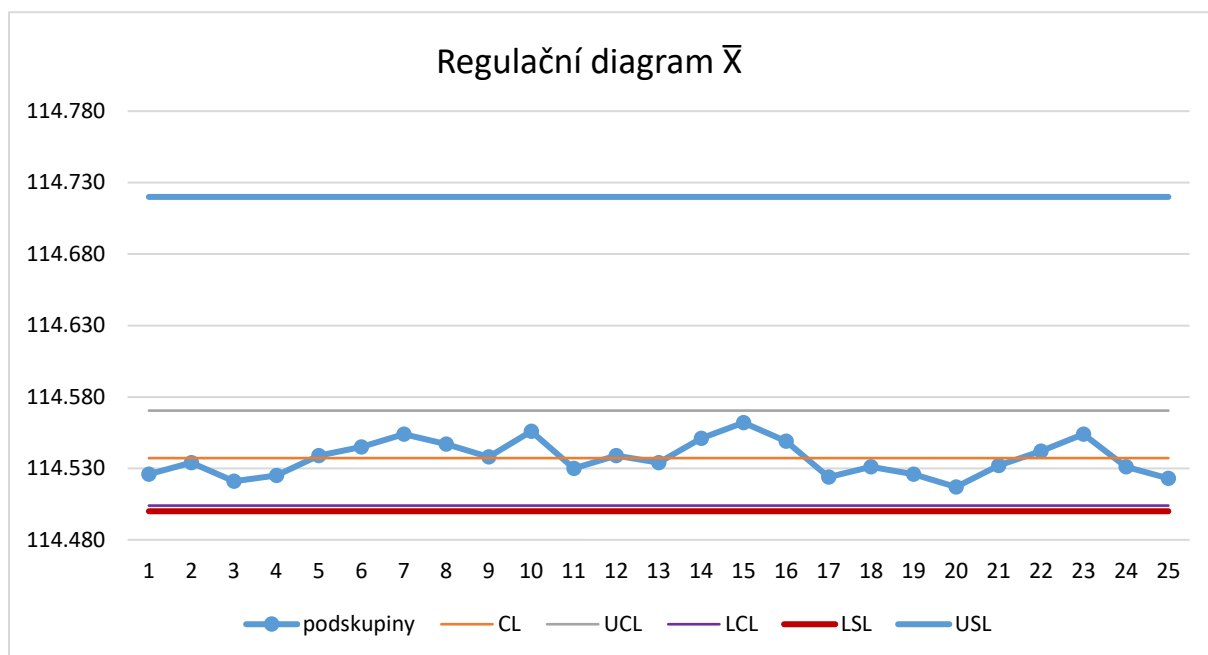


Graf 3.6: Regulační diagram R pro délku 1087-0,5 mm součásti 1

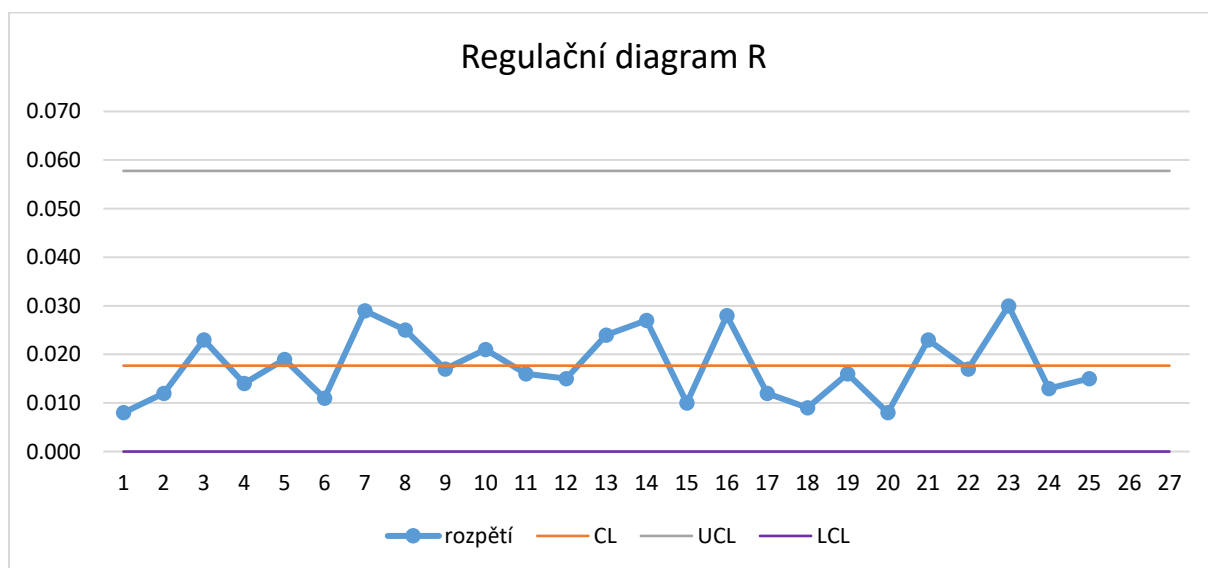
\bar{X}			R			Způsobilost				
CL	UCL	LCL	CL	UCL	LCL	USL	LSL	σ	C_p	C_{pk}
1086,83	1086,94	1086,73	0,056	0,183	0	1087	1086,5	0,0496	1,68	1,12

Tabulka 3.3: Výsledné hodnoty pro délku 1087-0,5 mm součásti 1

Výsledky pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 z levé strany u součásti 2



Graf 3.7: Regulační diagram \bar{X} pro $\varnothing 114,5$ H11 L součásti 2

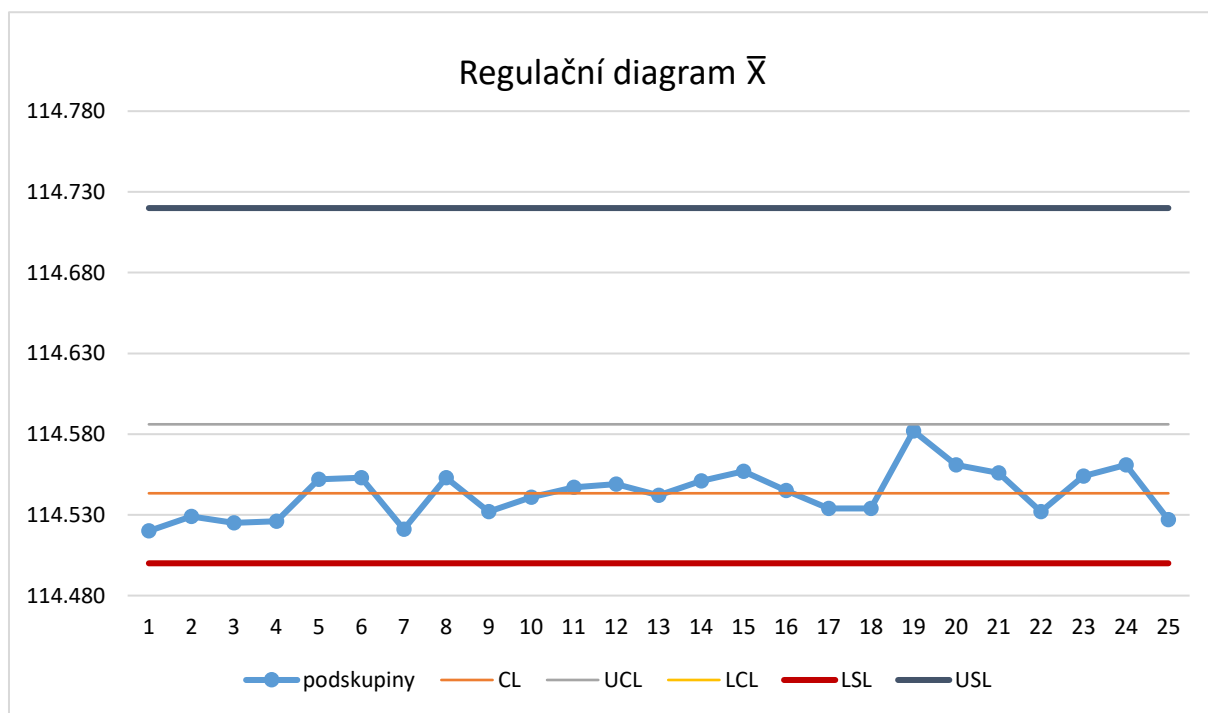


Graf 3.8: Regulační diagram R pro $\varnothing 114,5$ H11 L součásti 2

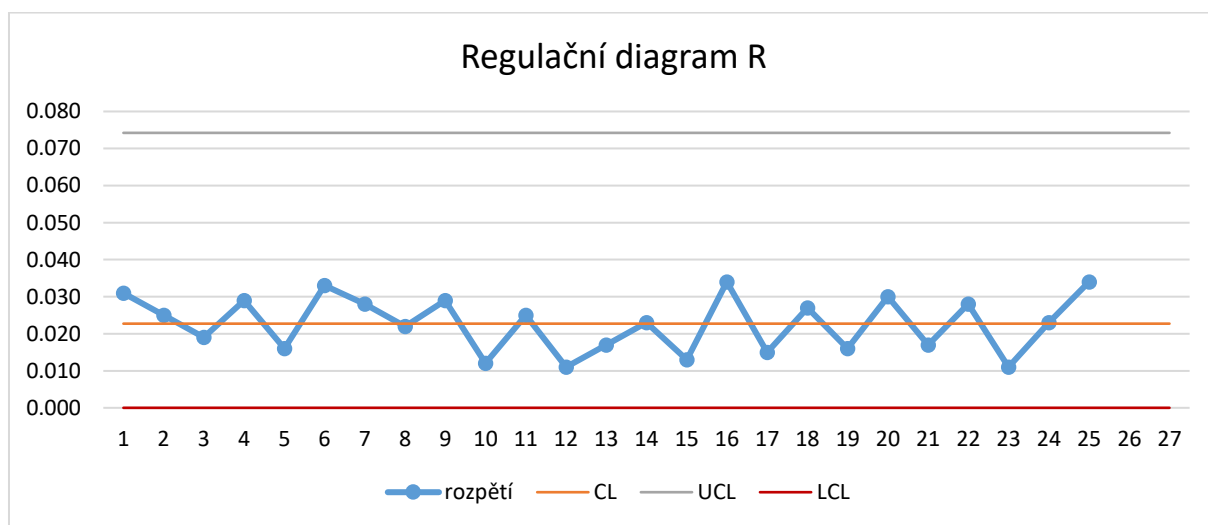
\bar{X}			R			Způsobilost				
CL	UCL	LCL	CL	UCL	LCL	USL	LSL	σ	C_p	C_{pk}
114,537	114,570	114,504	0,018	0,0577	0	114,72	114,5	0,0157	2,34	0,79

Tabulka 3.4: Výsledné hodnoty pro $\varnothing 114,5$ H11 L součásti 2

Výsledky pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 z pravé strany u součásti 2



Graf 3.9: Regulační diagram \bar{X} pro $\varnothing 114,5$ H11 P součásti 2

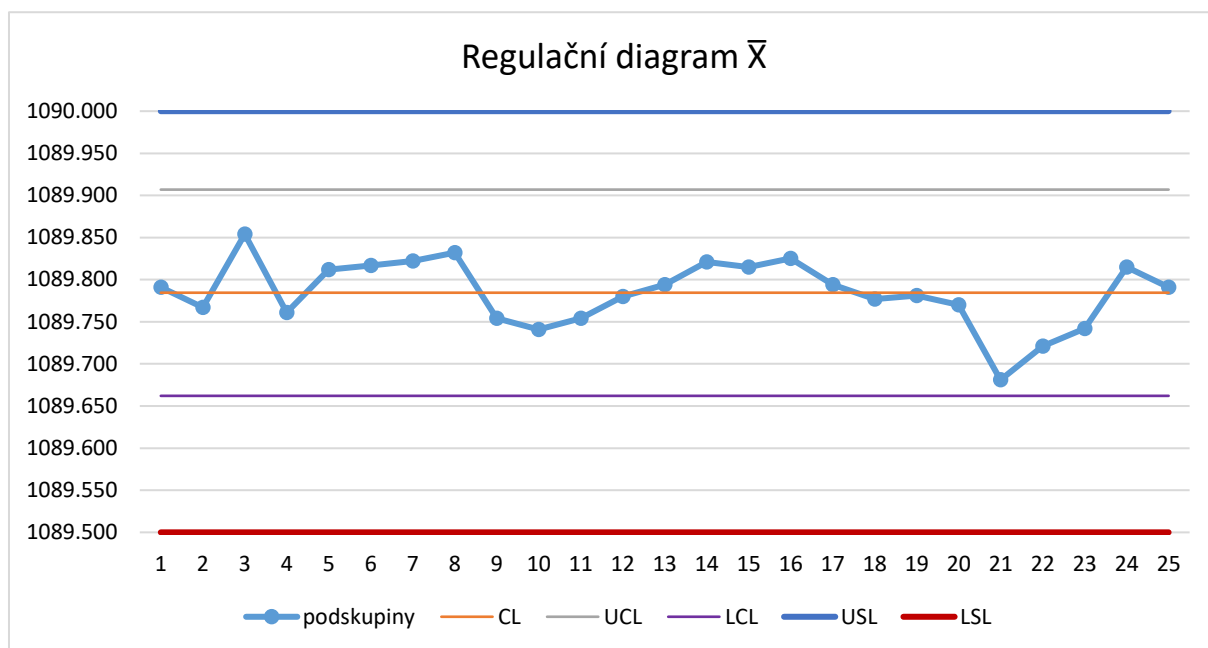


Graf 3.10: Regulační diagram R pro $\varnothing 114,5$ H11 P součásti 2

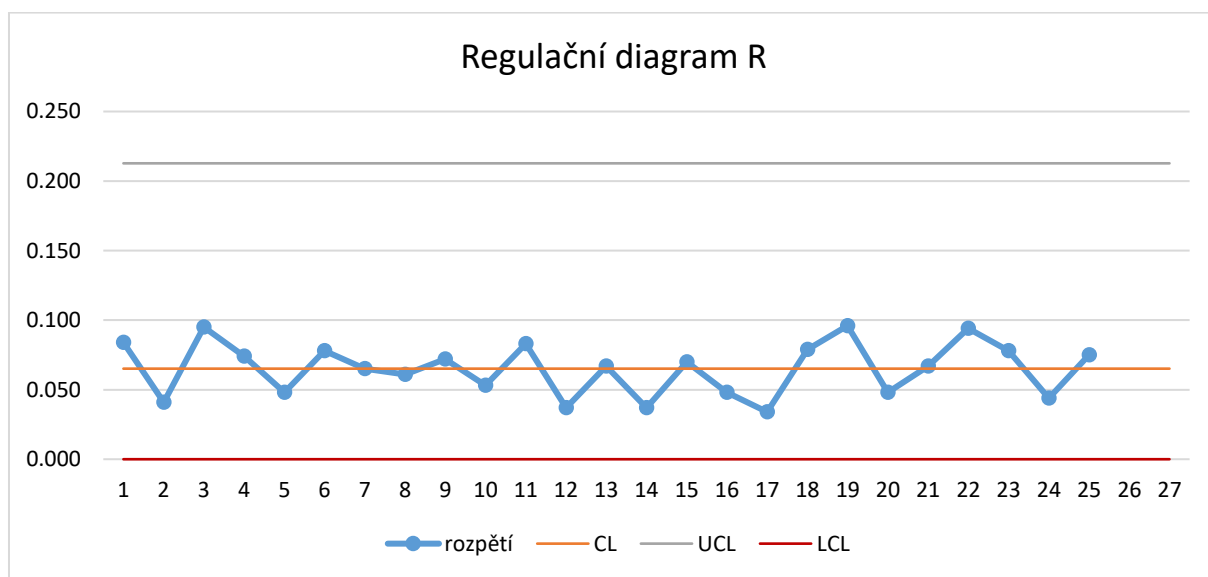
\bar{X}			R			Způsobilost				
CL	UCL	LCL	CL	UCL	LCL	USL	LSL	σ	C_p	C_{pk}
114,543	114,586	114,501	0,023	0,0742	0	114,72	114,5	0,0201	1,83	0,72

Tabulka 3.5: Výsledné hodnoty pro $\varnothing 114,5$ H11 P součásti 2

Výsledky pro celkovou délku 1090-0,5 mm u součásti 1



Graf 3.11: Regulační diagram \bar{X} pro délku 1090-0,5 mm součásti 2



Graf 3.12: Regulační diagram R pro délku 1090-0,5 mm součásti 2

\bar{X}			R			Způsobilost				
CL	UCL	LCL	CL	UCL	LCL	USL	LSL	σ	C_p	C_{pk}
1089,78	1089,91	1089,66	0,065	0,213	0	1090	1089,5	0,0577	1,44	1,24

Tabulka 3.6: Výsledné hodnoty pro délku 1090-0,5 mm součásti 2

4. Analýza způsobilosti vybraných procesů, nápravná opatření

4.1 Analýza výsledků pro součást 1

Jak už bylo z diagramů pro \bar{X} patrné a co ukazatele způsobilosti potvrdily, u zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 a $\varnothing 110,5$ H11 dochází k obrábění průměrů na spodní hranici tolerančního pole, kdy se centrování průměrů podskupin nachází vychýlené od ideálního středu tolerance o **0,080 mm** pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 a o **0,057 mm** pro zahloubení $\varnothing 110,5$ H11.

Ukazatel způsobilosti C_p daných zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 - $C_p = 3,24$ a pro $\varnothing 110,5$ H11 - $C_p = 1,83$ prokázal dostatečnou přesnost výroby bez ohledu na polohu vůči tolerančním mezím. Při vyhodnocení způsobilosti ukazatelem C_{pk} vychází pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 - $C_{pk} = 0,88$ a pro $\varnothing 110,5$ H11 - $C_{pk} = 0,89$, tudíž ani jeden proces není způsobilý.

Pro celkovou délku je výchylka od ideálního centrování u regulačního diagramu \bar{X} **0,08mm**, což je shodou okolností stejné jako u zahloubení $\varnothing 114,5$ H11. Zde je ale velikost tolerančního pole **0,5 mm** na rozdíl od tolerančního pole **H11** o velikosti **0,22 mm**, tudíž je ve výsledku menší a ukazatel způsobilosti bude blíže způsobilosti. Toto stanovisko potvrzuje ukazatel $C_{pk} = 1,12$ blíží se způsobilosti. Ukazatel $C_p = 1,68$ opět stanovuje proces jako způsobilý.

4.2 Analýza výsledků pro součást 2

Výsledné hodnoty centrování procesu pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 z levé strany s výchylkou **0,073 mm** a pro $\varnothing 114,5$ H11 z pravé strany o výchylce **0,067 mm**. Opět nastává obrábění průměrů na spodní hranici tolerančního pole podobně jako u součásti 1. Ukazatele způsobilosti $C_{pk} = 0,79$ pro zahloubení z levé strany a $C_{pk} = 0,72$ z pravé strany poukazují na nezpůsobilost procesu výroby. Při pohledu na proces výroby zahloubení součásti 1 a proces výroby zahloubení součásti 2 lze sledovat analogii ve velikosti hodnot ukazatelů způsobilosti pro oba typy součástí.

Proces výroby délky 1090-0,5mm se jeví jako nejlépe centrováný ze všech zkoumaných procesů. Má jako jediný nejbliže ke způsobilosti s hodnotou $C_{pk} = 1,24$.

4.3 Nápravná opatření

Při hledání příčiny špatného centrování všech zahloubení byla nalezena chyba ve výrobním postupu. Zde byla uvedena tolerance pro zahloubení **H9** (+0/+0,087). Při původní stoprocentní kontrole tyto průměry pochopitelně vycházely stále uvnitř tolerančního pole **H11** (+0/+0,22) a nebylo nutné tuto skutečnost řešit. Poté, co byla zavedena statistická kontrola výroby a byla nalezena chyba v centrování celého procesu společně se špatným zadáním ve výrobním postupu, nastavila se hodnota pro všechna zahloubení na střed tolerance **H11**, kdy se v postupu ponechala tolerance **H9** jako regulační mez. Ve výsledku bylo předepsáno namísto průměrů pro zahloubení $\varnothing 114,5$ H11 hodnota $\varnothing 114,61$ **H9** a pro $\varnothing 110,5$ H11 hodnota $\varnothing 110,61$ **H9**. (pro hodnoty jmenovitých rozměrů 110,5 a 114,5 je dle normy ponechána stejná velikost tolerančního pole H11 a to +0/+0,22 mm).

U celkových délek součástí 1 a 2 byla zavedena ve výrobním postupu rovněž nová tolerance pro výrobu. Rozměr 1087-0,5 mm součásti 1 byl nahrazen hodnotou s tolerancí 1086,75±0,15 mm a délka 1090-0,5mm u součásti 2 byla nastavena na **1089,75±0,15 mm**. Tabulka 4.1 shrnuje upravené rozměry popsané v této části.

<i>Předepsané rozměry</i>	<i>$\varnothing 114,5$ H11</i>	<i>$\varnothing 110,5$ H11</i>	<i>1087-0,5</i>	<i>1090-0,5</i>
<i>Nastavené rozměry</i>	114,61 H9	$\varnothing 110,61$ H9	1086,75±0,15	1089,75±0,15

Tabulka 4.1: Výsledná úprava hodnot s tolerancemi pro centrování procesů

5. Závěr

V teoretické části byly shrnuty základní pojmy pro způsobilost procesu a nutné kroky přípravy potřebné ke korektnímu výpočtu ukazatelů způsobilosti. Poslední část teorie je poté věnována samotnému výpočtu a vysvětlení ukazatelů způsobilosti. Praktická část nejprve objasňuje proces výroby zadaných součástí, získávání znaků kvality požadovaných zákazníkem k analýze, technologický popis a schémata, na kterých jsou znázorněny kontrolované znaky kvality. V další části byly zpracovány diagramy pro aritmetický průměr \bar{X} a rozpětí R. Hodnoty přiřazených regulačních mezí a ukazatelů způsobilosti C_p a C_{pk} byly zobrazeny v příslušných tabulkách. Podle těchto dat byla uskutečněna analýza způsobilosti a na jejím základě nalezen zdroj možných nezpůsobilostí společně se zavedením nápravných opatření pro zlepšení centrování procesů.

6. Seznam použité literatury a informačních zdrojů.

- [1] RICHMONT-CZ 2019 [online] Avexa. [cit. 1.3.2019]. Dostupné z:
<https://www.richmont-cz.com>
- [2] NENADÁL, Jaroslav a kol. *Management kvality pro 21. století*. V nakladatelství Management Press vydání 1. Praha: Management Press, 2018. 366 stran. ISBN 978-80-7261-561-2.
- [3] MICHÁLEK, Jiří, KŘEPELA, Josef a KRÁL, Jan. *Analýza výrobního procesu: vyhodnocení způsobilosti a výkonnosti se softwarovou podporou: základy práce s MS Excel*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. 210 s. Kvalita/Quality/Qualitat. ISBN 978-80-02-02200-8.
- [4] ZÍDKOVÁ, Helena a ZVONEČEK, František. *Jakost – styl života pro třetí tisíciletí*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003. 139 s. ISBN 80-7043-243-8.
- [5] *Excel Asistent Magazín 01/2008*. DataSpectrum [online]. 2008, 5, 2-5 [cit. 2019-03-12]. ISSN 1801-2361. Dostupné z:
<http://www.dataspectrum.cz/excelmag/download/eam0108.pdf>
- [6] Regulační diagram – Wikipedie. [online]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Regulační_diagram
- [7] Metody a vzorové úlohy. [online]. Copyright © Milan Meloun 2019 [cit. 01.05.2019]. Dostupné z:
<https://meloun.upce.cz/docs/research/chemometrics/methodology/10vzory.pdf>
- [8] Analýza měřicího systému (MSA) | Bazant's Blog. Bazant's Blog [online]. Dostupné z: <https://bazant.wordpress.com/2015/07/04/analza-mericho-systmu-msa/>
- [9] CNC-TAKANG CO., LTD. - Heavy Duty Lathe Manufacturer in Taiwan [online]. Dostupné z: <https://www.cnctakang.com/en/product-1-3-4>
- [10] Used CNC Machines, Metal Cutting Equipment - Superior Machinery [online]. Dostupné z:
https://www.superiormachinery.com/display_images.php?ref=5163&close=yes
- [11] MCAx & H120, MMDx | Topmes. *Úvod | Topmes* [online]. Copyright © 2018 TOPMES s.r.o., [cit. 14.05.2019]. Dostupné z:
<http://www.topmes.cz/technologie/ramena/merici-ramena-nikon/32-mcax-h120-mmdx>

- [12] DIAVITE AG [online]. Copyright © [cit. 15.05.2019]. Dostupné z:
<https://www.diavite.com/files/diavite/inhalt/downloads-pdf/Prospekt%20DIAVITE%20EN%20-%20neue%20Adresse.pdf>
- [13] StatSoft: Analýza způsobilosti procesu [online]. , 2 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z:
http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/13_08_07_StatSoft_Analyza_zpusobilosti_procesu.pdf
- [14] ČSN ISO 8258. Shewhartovy regulační diagramy. Český normalizační institut, 1994.

Příloha č.1

**Tabulka vypočtených hodnot pro \bar{X} a R podskupin měřených
znaků kvality součásti 1**

Podskupiny <i>n</i>	Součást 1					
	ø114,5H11 (0/+0.22)		ø110,5H11 (0/+0.22)		Délka 1087-0.5	
	\bar{X}	R	\bar{X}	R	\bar{X}	R
1	114.551	0.027	110.567	0.027	1086.831	0.031
2	114.508	0.002	110.524	0.008	1086.862	0.074
3	114.516	0.012	110.527	0.011	1086.794	0.091
4	114.525	0.013	110.555	0.016	1086.789	0.024
5	114.551	0.016	110.581	0.019	1086.917	0.052
6	114.548	0.018	110.572	0.021	1086.880	0.044
7	114.534	0.011	110.552	0.038	1086.842	0.063
8	114.510	0.004	110.548	0.025	1086.824	0.078
9	114.517	0.005	110.542	0.020	1086.876	0.024
10	114.526	0.013	110.542	0.031	1086.793	0.043
11	114.539	0.021	110.564	0.030	1086.814	0.031
12	114.531	0.023	110.559	0.024	1086.791	0.097
13	114.534	0.018	110.552	0.018	1086.843	0.054
14	114.517	0.007	110.542	0.023	1086.811	0.037
15	114.520	0.004	110.548	0.021	1086.765	0.089
16	114.549	0.016	110.556	0.027	1086.755	0.097
17	114.523	0.011	110.561	0.029	1086.884	0.071
18	114.523	0.009	110.552	0.017	1086.862	0.087
19	114.532	0.016	110.566	0.025	1086.814	0.054
20	114.530	0.009	110.585	0.031	1086.910	0.024
21	114.549	0.014	110.549	0.027	1086.778	0.041
22	114.523	0.017	110.531	0.017	1086.852	0.025
23	114.527	0.006	110.543	0.021	1086.754	0.063
24	114.532	0.015	110.576	0.029	1086.873	0.041
25	114.531	0.012	110.528	0.009	1086.917	0.064

Hodnoty jsou v

Příloha č.2

**Tabulka vypočtených hodnot pro \bar{X} a R podskupin měřených
znaků kvality součásti 2**

Podskupiny <i>n</i>	Součást 2					
	ø114,5H11 (0/+0.22) L		ø114,5H11 (0/+0.22) P		Délka 1090-0.5	
	\bar{X}	R	\bar{X}	R	\bar{X}	R
1	114.526	0.008	114.520	0.031	1089.791	0.084
2	114.534	0.012	114.529	0.025	1089.767	0.041
3	114.521	0.023	114.525	0.019	1089.854	0.095
4	114.525	0.014	114.526	0.029	1089.761	0.074
5	114.539	0.019	114.552	0.016	1089.812	0.048
6	114.545	0.011	114.553	0.033	1089.817	0.078
7	114.554	0.029	114.521	0.028	1089.822	0.065
8	114.547	0.025	114.553	0.022	1089.832	0.061
9	114.538	0.017	114.532	0.029	1089.754	0.072
10	114.556	0.021	114.541	0.012	1089.741	0.053
11	114.530	0.016	114.547	0.025	1089.754	0.083
12	114.539	0.015	114.549	0.011	1089.780	0.037
13	114.534	0.024	114.542	0.017	1089.794	0.067
14	114.551	0.027	114.551	0.023	1089.821	0.037
15	114.562	0.010	114.557	0.013	1089.815	0.070
16	114.549	0.028	114.545	0.034	1089.825	0.048
17	114.524	0.012	114.534	0.015	1089.794	0.034
18	114.531	0.009	114.534	0.027	1089.777	0.079
19	114.526	0.016	114.582	0.016	1089.781	0.096
20	114.517	0.008	114.561	0.030	1089.770	0.048
21	114.532	0.023	114.556	0.017	1089.681	0.067
22	114.542	0.017	114.532	0.028	1089.721	0.094
23	114.554	0.030	114.554	0.011	1089.742	0.078
24	114.531	0.013	114.561	0.023	1089.815	0.044
25	114.523	0.015	114.527	0.034	1089.791	0.075

Hodnoty jsou v mm.