

Hodnocení výrobního procesu pomocí statistických indexů

Bc. Veronika Remžová

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Veronika Remžová**

Osobní číslo: **T16150**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení výrobního procesu pomocí statistických indexů**

Zásady pro vypracování:

- 1. TEORETICKÁ ČÁST**
- 2. ÚVOD** – stručný obsah, normy, přínosy, systémy managementu jakosti
- 3. 7 NÁSTROJŮ ŘÍZENÍ JAKOSTI A JEJICH POUŽITÍ V PRAXI** – nástroje a metody (klasické, moderní)
- 4. METODY POSUZOVÁNÍ ZPŮSOBILOSTI** – hodnocení a posouzení způsobilosti procesu a výrobního zařízení, SPC, statistické indexy
- 5. PRAKTICKÁ ČÁST**
- 6. CÍL PRÁCE** – statistické srovnání způsobilosti výrobního procesu
- 7. METODIKA PRÁCE** – návrh sběru a struktury dat
- 8. PŘEDSTAVENÍ SOUČÁSTKY DELTA** – systém měření výrobního dílu
- 9. ZPŮSOBILOST VÝROBNÍHO PROCESU** – výběr vhodných statistických parametrů a postupů pro určení způsobilosti výrobního procesu
- 10. SROVNÁNÍ INDEXŮ ZPŮSOBILOSTI VÝROBNÍHO PROCESU** – výhody, nevýhody, praktická aplikace do procesu

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KUBANOVÁ, J.: Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi. 2. vyd. Bratislava: Statistika 2004. 127 s. ISBN 80-85659-37-9
2. HINDLS, R., HRONOVÁ, S., SEGER, J., FISCHER, J.: Statistika pro ekonomy. 8. vyd. Praha: Professional publishing 2007. 420 s. ISBN 978-80-86946-43-6.
3. PAVELKA, F., KLÍMEK, P.: Aplikovaná statistika. Zlín: Vysoké učení technické v Brně, 2000. 131 s. ISBN 80-214-1545-2
4. Meloun, M., Militký, J.: Statistical Data Analysis, A Practical Guide with 1250 Exercises and Answer Key on CD. Woodhead Publishing India PVT LTD, New Delhi, Cambridge, Oxford, Philadelphia 2011, 80 High Street Sawston Cambridge, CB22 3HJ UK. ISBN 13: 978-0-85709-109-3.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata
Ústav výrobního inženýrství

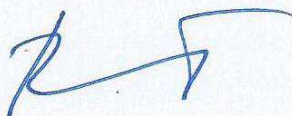
Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

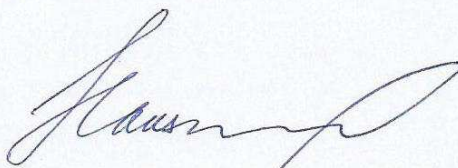
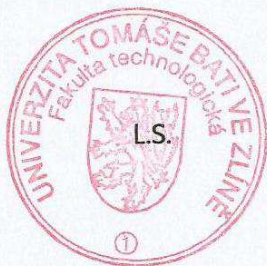
18. května 2018

Ve Zlíně dne 5. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Veronika Remžová

Obor: Řízení jakosti

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 18. 5. 2018

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá hodnocením způsobilosti výrobního procesu pomocí indexů způsobilosti. Teoretická část práce popisuje problematiku v oblasti managementu jakosti, základní nástroje používané v managementu kvality a také různé metody posuzování způsobilosti procesu. Součástí práce je praktická část, v níž je pro stanovený výrobní díl definovaný měřicí postup, pomocí kterého jsou získaná data určeny pro vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu.

Klíčová slova: řízení kvality, způsobilosti procesu, index způsobilosti C_p , C_{pk}

ABSTRACT

The master thesis deals with evaluation of production process capability by means of capability indexes. The theoretical part of thesis describe the field of quality management, its basic implements and also various method of process capability assessment. At the same the practical part define concretely given component and its measurement procedure, through which are obtained data for process capability specification and evaluation.

Keywords: quality management, process capability, capability index C_p , C_{pk}

Rada by som touto formou poďakovala vedúcemu diplomovej práce doc. Dr. Ing. Vladimírovi Patovi, za cenné rady, usmernenie a otvorený prístup pri spracovaní diplomovej práce. Moja vďaka patrí taktiež kolegom Ing. Petrovi Nemcovi a Bc. Edvinovi Červenkovvi za poskytnutie cenných informácií dôležitých pre spracovanie diplomovej práce, rodine za podporu pri písaní práce a za podporu počas celého štúdia.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČASŤ.....	11
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY KVALITY	12
1.1 MANAŽÉRSTVO KVALITY	12
1.1.1 Politika a ciele kvality	13
1.1.2 Plánovanie a riadenie kvality	14
1.1.3 Neustále zlepšovanie	14
1.2 SYSTÉMY MANAŽÉRSTVA KVALITY	14
1.3 KONCEPCIE RIADENIA KVALITY	16
1.3.1 Konceptia podnikových štandardov	16
1.3.2 Konceptia ISO	16
1.3.3 Konceptia TQM	17
2 NÁSTROJE MANAŽÉRSTVA KVALITY A ICH VYUŽITIE V PRAXI.....	18
2.1 SEDEM ZÁKLADNÝCH NÁSTROJOV MANAŽÉRSTVA KVALITY	18
2.1.1 Frekvenčná tabuľka	18
2.1.2 Histogram	19
2.1.3 Regulačný diagram	20
2.1.4 Paretova analýza	21
2.1.5 Vývojový diagram	23
2.1.6 Ishikawa diagram	23
2.1.7 Korelačný diagram	24
2.2 SEDEM MODERNÝCH NÁSTROJOV MANAŽÉRSTVA KVALITY	25
2.2.1 Diagram afinity	26
2.2.2 Relačný diagram	26
2.2.3 Maticový diagram	27
2.2.4 Analýza maticových dát	27
2.2.5 Stromový diagram	27
2.2.6 Sieťový diagram	28
2.2.7 Rozhodovací diagram	29
3 METÓDY POSUDZOVANIA SPÔSOBILOSTI.....	30
3.1 ZÁKLADNÉ POJMY V OBLASTI ŠTATISTIKY	30
3.2 TESTOVANIE HYPOTÉZ	30
3.3 METÓDY SKÚMANIA ZÁVISLOSTI.....	31
3.3.1 Regresná analýza	32
3.3.1.1 Jednoduchá regresná analýza	32
3.3.1.2 Viacnásobná lineárna regresia	34
3.3.2 Korelačná analýza	35
3.3.3 Analýza rozptylu	36
3.4 ANALÝZA SPÔSOBILOSTI	36
3.4.1 Index spôsobilosti C_p	38
3.4.2 Index spôsobilosti C_{pk}	39
II PRAKTICKÁ ČASŤ	41
4 CIELE PRÁCE.....	42

5	METODIKA PRÁCE.....	43
6	PREDSTAVENIE SÚČIASTKY – DELTA.....	44
6.1	ETAPY VÝROBY	44
6.1.1	Vstupná kontrola surového materiálu	44
6.1.2	Proces sústruženia	44
6.1.3	Proces valcovania.....	45
6.1.4	Proces indukčného kalenia a popúšťania	45
6.1.5	Proces brúsenia.....	46
6.2	MERANIE KRITICKÝCH ROZMEROV	47
6.2.1	Meranie optickým meracím systémom	47
6.2.2	Meranie priemeru po valcovaní a kalení	49
6.2.3	Meranie drsnosti.....	50
7	SPÔSOBILOSŤ VÝROBNÉHO PROCESU PRE DANÝ VÝROBNÝ DIEL	52
7.1	SÚSTRUŽENIE	52
7.1.1	Kritický rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm.....	52
7.1.2	Kritický rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm	55
7.1.3	Kritický rozmer \perp 0,03 A-B.....	57
7.1.4	Kritický rozmer L 1,43 ($\pm 0,05$) mm.....	59
7.2	VALCOVANIE.....	61
7.2.1	Kritický rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm	62
7.3	KALENIE.....	69
7.3.1	Kritický rozmer D 13,347 ($\pm 0,027$) mm	69
7.3.2	Kritický rozmer L 116,64 ($\pm 0,1$) mm.....	77
7.4	BRÚSENIE	79
7.4.1	Kritický rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm.....	80
7.4.2	Kritický rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm	82
7.4.3	Kritický rozmer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm	84
7.4.4	Kritický rozmer D 16,995 ($^{+0,005}_{-0,006}$) mm.....	86
7.4.5	Kritický rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B	89
7.4.6	Kritický rozmer \perp 0,03 A-B.....	91
7.4.7	Kritický rozmer Kruhovitosť 0,004	93
7.4.8	Kritický rozmer Ra (0,08 – 0,25)	95
8	POROVNANIE INDEXOV SPÔSOBILOSTI VÝROBNÉHO PROCESU	98
	ZÁVER	101
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	102
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	104
	ZOZNAM OBRÁZKOV	106
	ZOZNAM TABULIEK	109
	ZOZNAM PRÍLOH.....	111

ÚVOD

Preukázanie spôsobilosti dosahovať výrobný proces, ktorý je stabilný a schopný dodržiavať stanovené požiadavky zákazníka, je hlavnou prioritou všetkých výrobných organizácií. V súčasnej dobe prevláda vysoká konkurencia v rámci jednotlivých odvetví. Organizácie preto musia preukázať, že sú schopné plniť požiadavky zákazníka. V procese výroby sa môžu vyskytnúť rôzne vplyvy, ktoré spôsobia neschopnosť plniť požiadavky zákazníka. Takéto vplyvy je potrebné minimalizovať alebo z procesu úplne odstrániť. Preto je potrebné proces neustále sledovať a prípadne zaviesť nápravné opatrenia pre jeho optimalizáciu. Spôsobilosť výrobného procesu je možné preukázať rôznymi indexmi spôsobilosti. Diplomová práca sa venuje hlavne indexom spôsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pL} a C_{pU} , na základe ktorých je určená spôsobilosť procesu pre kritické rozmery sledované po operácií sústruženie, valcovanie, kalenie a brúsenie. Pred samotným hodnotením spôsobilosti je nutné stanoviť merací systém, pomocou ktorého budú dáta pre jednotlivé kritické rozmery zberané a následne vyhodnotené. Pri hodnotení spôsobilosti dosahovať stanovené kritériá kvality nie je vhodné sa zameriavať iba na hodnoty indexov spôsobilosti, ale vyčítať informácie, ktoré poskytujú použité grafické nástroje pre úvodné overenie normality nameraných dát.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY KVALITY

V priebehu vývoja kvality ako celku získavala postupne rôzne definície. Postupným vývoj a zmenou vnímania kvality dostala niekoľko definícií. Medzi najznámejších predstaviteľov kvality patrí W. E. Deming a J. M. Juran, V. A. Feingembaum, Ph. Crosby, Ischikawa, G. Taguchi. Podľa Deminga je kvalita vnímaná ako spokojnosť zákazníka, ktorý sa vracia späť, podľa Jurana je kvalita úžitok a podľa Crosbyho je to zhoda s požiadavkami zákazníka. [7]

Podrobnejšie sa problematiku kvality popisuje medzinárodná norma ČSN EN ISO 9000:2016 a ČSN EN ISO 9001:2016.

1.1 Manažérstvo kvality

Manažment kvality zahŕňa niekoľko činností a procesov, ktoré sú potrebné pre jeho správne fungovanie. Patrí sem:

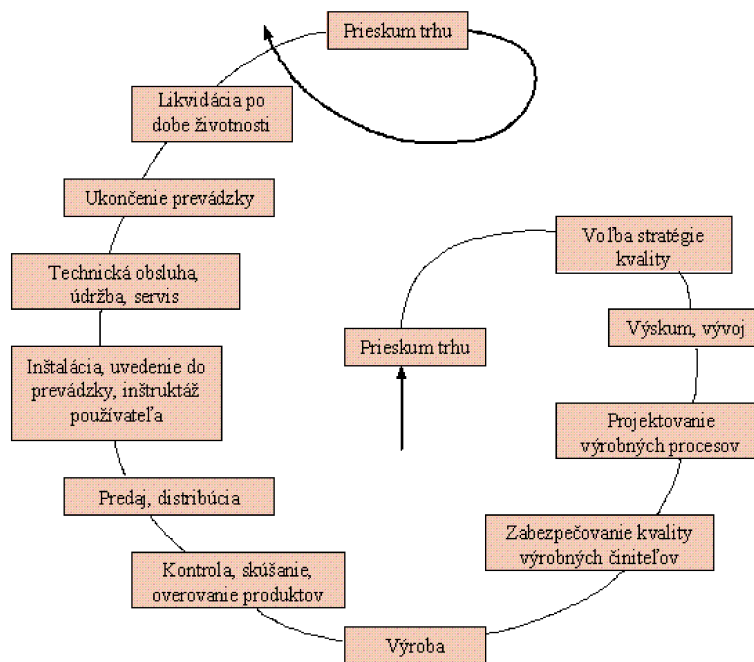
- stanovenie politiky a cieľov kvality
- plánovanie a riadenie kvality
- preukazovanie a neustále zlepšovanie kvality [1]

V rámci zabezpečenia kvality je známych niekoľko vývojových etáp, ktoré sú orientované na:

- **technickú kontrolu** – vytvárali sa odborné útvary na zabezpečenie výstupnej kontroly kvality hotových výrobkov. Priamo vo výrobe nebolo možné zabrániť nezhodným výrobkom a taktiež identifikovať pracovníka, ktorý nezhodné výrobky vyrobil.
- **riadenie procesov** – išlo o zabezpečenie zhody výrobkov podľa noriem kvality cez riadenie procesov, pričom vývoj a konštrukcia výrobkov boli zanedbávané.
- **vývoj nových výrobkov** – zabezpečuje jednotlivé kroky pre výrobu nového výrobku a to: projektovanie, konštrukcia, zabezpečenie subdodávateľov, výroba prototypu, príprava a plánovanie výroby, marketing, servis.
- **komplexné manažérstvo kvality** – predstavuje etapu rozvoja a zlepšenia systému kvality naprieč celým podnikom. [6]

Hlavným a podstatným cieľom manažerstva kvality je teda zabezpečenie takej kvality výrobku, ktorú požaduje zákazník. Od tohto cieľa sa odvíja niekoľko činností, ktoré sa

podieľajú na jeho splnení. Na tieto činnosti poukazuje Juranova špirála kvality. Špirála poukazuje na všetky činnosti v rámci organizácie a na dôležitosť ich zosúladenia a koordinácie. Juranova špirála kvality začína a končí prieskumom trhu, a teda pri prejdení touto špirálou sa očakáva postupné zlepšovanie celého procesu uspokojovania požiadaviek zákazníka a zvyšovanie tak kvality, ktorú zákazník očakáva. [1]



Obr. 1 Juranova špirála kvality [2]

1.1.1 Politika a ciele kvality

Politika kvality je dokument, ktorý predstavuje strategické ťažisko vrcholového manažmentu pre vedenie, organizovanie a zlepšovanie činnosti spoločnosti. Pri tvorbe politiky kvality je potrebné vychádzať zo stratégie a možností podniku, potrieb zákazníkov a schopnosti splňať požiadavky zákazníkov. Politika kvality musí byť prezentovaná tak, aby bola zreteľná a pochopiteľná pre všetkých pracovníkov organizácie. [8]

Je dôležité poznať ciele, ktoré stanoví vrcholový manažment a tie musia byť v súlade s politikou kvality. Je potrebné stanoviť také ciele, ktoré majú napredovať k zvyšovaniu celkovej výkonnosti organizácie. Všetci pracovníci by mali byť oboznámení s cieľmi organizácie. [8]

1.1.2 Plánovanie a riadenie kvality

Plánovanie je základná činnosť v každej organizácii. Plánovanie kvality je súčasť manažérstva kvality a je koncentrované na určenie cieľov, požiadaviek kvality, procesov a zdrojov potrebných pre ich splnenie.

Riadenie kvality sa zakladá na princípoch, ktoré vedú k splneniu požiadaviek kladených na kvalitu. Medzi takéto princípy sa radia:

1. Zameranie sa na zákazníka, prieskum trhov.
2. Plánovanie, zabezpečovanie a neustále zlepšovanie kvality.
3. Zameranie sa na procesy a ich výsledky.
4. Neustále vzdelávanie pracovníkov.
5. Podieľanie sa všetkých pracovníkov na riadení kvality.
6. Používanie rôznych vhodných metód, nástrojov a techník na riadenie kvality. [7]

Pre úspešné riadenie kvality sú podľa Jurana dôležité tri nasledujúce kroky, ktoré spolu úzko súvisia:

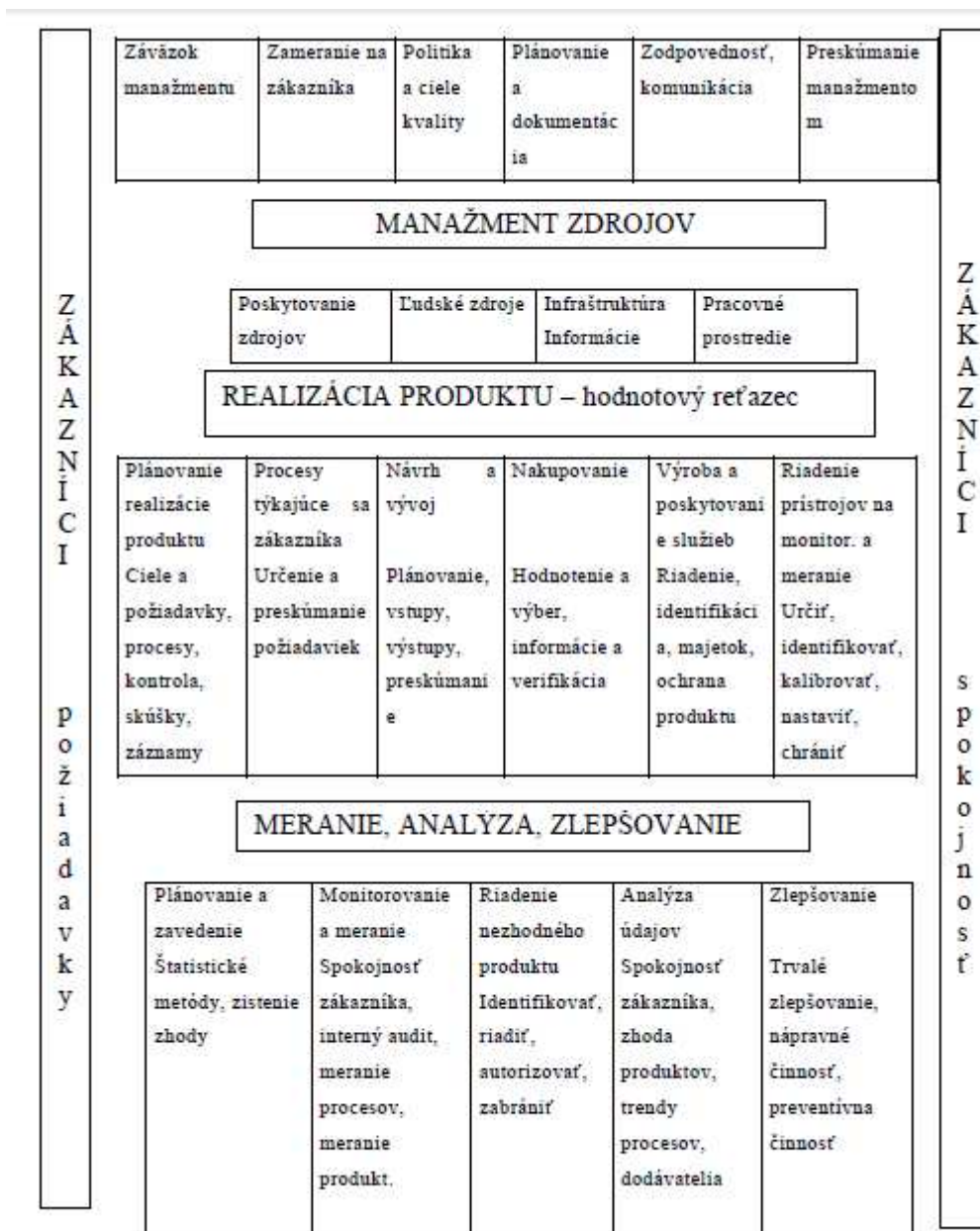
1. Analýza súčasného stavu.
2. Porovnanie súčasného stavu s požadovaným stavom.
3. Prijatie nápravných opatrení v prípade nežiaduceho stavu. [7]

1.1.3 Neustále zlepšovanie

Zlepšovanie kvality predstavuje zvyšovanie schopnosť plniť požiadavky na kvalitu. Nikdy nie je proces taký kvalitný, aby ho nebolo možné zlepšiť. Zlepšovanie je neustály, nikdy sa nekončiaci cyklus. Neustále zlepšovanie predstavuje základný princíp komplexného manažérstva kvality. Medzi základné prístupy popisujúce princíp neustáleho zlepšovania patrí napríklad Demingov cyklus PDCA alebo Metóda „Quality Journal“. [3]

1.2 Systémy manažérstva kvality

Dôležitou súčasťou pre zabezpečenie požadovanej kvality výrobku pre zákazníka je definovaný systém manažérstva kvality v rámci organizácie. Systém manažérstva kvality predstavuje množinu vzájomných väzieb medzi prvkami, ktorá je potrebná pre definovanie politiky kvality, cieľov kvality a prostriedkov pre ich dosiahnutie. Skladá sa z určitých prvkov pre dosiahnutie definovaného cieľa, ktoré sú vnímané ako presne stanovené činnosti. Na obr. 2 je znázornený všeobecný model systému manažérstva kvality. [5]



Obr. 2 Všeobecný model systému manažérstva kvality [6]

Existujú tri základné koncepcie systému manažérstva kvality, ktoré pomáhajú rozvíjať a vytvárať tieto systémy.

Rozlišujeme:

- Koncepcia podnikových (odvetných) štandardov
- Koncepcia ISO
- Koncepcia TQM

1.3 Konceptie riadenia kvality

Pomocou koncepcie systému manažerstva kvality rozlišujeme jedinečnosť každého procesu v rámci organizácie. Jedinečnosť procesov a činností si vyžaduje definovanie rôznych koncepcií, ktoré sú chápané ako základný strategický prístup pri budovaní a rozvoji systémov manažerstva kvality.

1.3.1 Koncepcia podnikových štandardov

Sú to koncepcie, ktoré sú rozsiahlejšie a špecifickejšie ako koncepcie na báze ISO noriem. Môže ísť o rôzne smernice a štandardy v rámci podniku alebo priemyselné odvetvia. Vhodné sú skôr pre väčšie organizácie a podniky, ktoré neposkytujú služby. Príkladom takýchto štandardov sú API (American Petroleum Institute) štandardy, pre automobilový priemysel je to QS 9000, obranný štandard AQAP pre NATO. Najrozšírenejším štandardom v rámci Českej republiky je norma ČSN/TS 16949, ktorá definuje požiadavky na systémy manažerstva kvality pre automobilový priemysel. [4]

Tieto smernice a štandardy sa vyznačujú niekoľkými spoločným znakmi a to:

- existuje univerzálny štandard alebo norma, z ktorej vychádzajú napr. ISO 9001
- obsahujú špecifické požiadavky pre daný druh odvetvia
- sú základom pre certifikáciu systémov manažerstva kvality [4]

1.3.2 Koncepcia ISO

Táto koncepcia vyplýva z noriem ISO radu 9000, ktoré sa zaoberajú požiadavkami na systémy manažerstva kvality. Tieto normy sú charakteristické niekoľkými základnými znakmi a to:

- sú pokladané za univerzálne, čo znamená, že je ich možné použiť v rôznych oblastiach, či už ide o výrobnú organizáciu alebo organizáciu poskytujúcu služby
- nie sú záväzné, obsahujú iba odporúčania. Pre daného producenta sa stávajú záväzným predpisom, keď sa dodávateľ zaviaže odberateľovi, že aplikuje systém kvality podľa týchto noriem.

Súbor noriem radu 9000 je v súčasnosti tvorený týmito normami:

- ČSN EN ISO 9000:2016 - Systémy manažerstva kvality - Základné princípy a slovník
- ČSN EN ISO 9001:2016 Systémy manažerstva kvality – Požiadavky

- ČSN EN ISO 9004:2010 Riadenie udržateľného úspechu organizácie - Prístup manažérstva kvality [3]

1.3.3 Konceptia TQM

Princíp Total Quality Management (TQM) je model riadenia organizácie, ktorý bol použitý najskôr v Japonsku, neskôr v USA a Európe. Je chápaný skôr ako neustále sa rozvíjajúca filozofia riadenia. Pre každú organizáciu je špecifikovaný podľa konkrétnych podmienok a zohľadňuje nielen úroveň manažérstva kvality ale aj výrobný program. [5]

Základné charakteristické aspekty filozofie TQM sú:

- **aspekt vedenia** – je najdôležitejším aspektom, ktorý si vyžaduje rôzne aktivity vedúcich pracovníkov. Napr. zabezpečenie komunikácie o kvalite a podnecovanie snahy pracovníkov na vedení, zohľadňuje požiadavky zákazníkov a iné.
- **aspekt vzťahu ku kvalite** – podstatou je zmeniť chápanie významu kvality výrobkov, ktoré treba chápať ako úlohu každého pracovníka nielen manažmentu.
- **systémový aspekt** – štruktúra dokumentujúca postupy pre vedenie a riadenie ľudí
- **aspekt rozvoja kvality** – ide o zosúladienie a zlepšovanie stanovených požiadaviek vo všetkých oblastiach podniku
- **aspekt odberateľsko-dodávateľských vzťahov** – predstavuje obchodný cyklus zameraný na premenu všetkých požiadaviek zákazníkov a ich úplné uspokojenie [5]

Táto koncepcia riadenia je uvádzaná najmä prostredníctvom modelov. Existuje množstvo prístupov a modelov pre zobrazenie tejto koncepcie. Každý model je špecifický vzhľadom na oblasť, pre ktorú je určený a vyznačuje sa rozdielnymi podmienkami a požiadavkami vzhľadom k organizácii. [5]

Najznámejším a v Európe najpoužívanejším modelom je EFQM Model Excellence, ktorý slúži ako východisko pre oceňovanie organizácií Európskou cenou za kvalitu.

2 NÁSTROJE MANAŽÉRSTVA KVALITY A ICH VYUŽITIE V PRAXI

Správna aplikácia nástrojov manažérstva kvality je dôležitým prvkom pre úspešné a fungujúce manažérstvo kvality. Týchto nástrojov a metód existuje veľké množstvo a môžu byť uplatnené v rôznych oblastiach. Základné rozdelenie metód a nástrojov manažérstva kvality je zhrnuté v troch skupinách:

1. 7 základných nástrojov
2. 7 nových nástrojov
3. metódy štatistického riadenia procesov

Pod pojmom metóda (nástroj) sa chápe prostriedok, ktorý neustálym a systematickým spôsobom prispieva k zabezpečovaniu a zlepšovaniu kvality. Využívaním nástrojov kvality organizácie zabezpečujú kvalitu pre svojho zákazníka a nepretržite hľadajú možnosti zlepšovania. [10]

2.1 Sedem základných nástrojov manažérstva kvality

Táto skupina metód je známa tiež pod názvom sedem japonských nástrojov kvality. Prvé uplatnenie týchto nástrojov pochádza z Japonska, keď v organizáciách začali riešiť problémy s kvalitou prostredníctvom krúžkov kvality. Uplatnenie nachádzajú vo výrobe, ale aj pri rôznych iných činnostiach, ktoré je možné zlepšiť. Zhromažďujú informácie potrebné pre zisťovanie príčin, pomáhajú stanoviť priority a vyhľadať možnosti pre neustále zlepšovanie.

2.1.1 Frekvenčná tabuľka

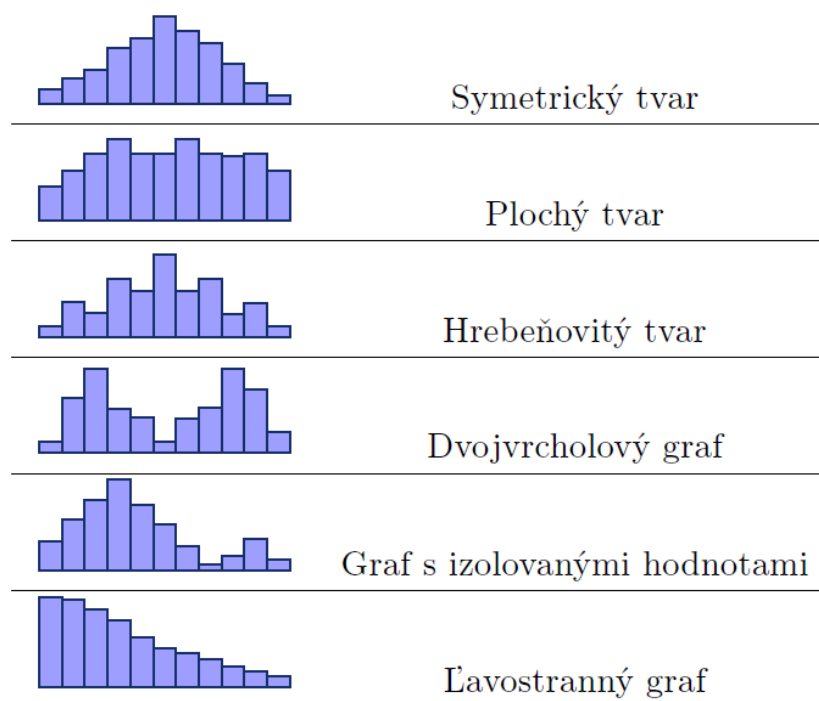
Frekvenčná tabuľka alebo tabuľka rozdelenia početnosti je nástrojom na rozdelenie sledovaného znaku kvality prostredníctvom tabuľky, kde jednotlivé stĺpce predstavujú triedy, šírku triedy, stred triedy, početnosť nameranej hodnoty a kumulatívnu početnosť. Všetky namerané hodnoty sa rozdelia do určitých tried s danou šírkou triedy a každá trieda obsahuje zistenú početnosť nameraných hodnôt. Tieto získané údaje sú ďalej štatisticky spracované, napr. histogram. [8]

Zber údajov musí byť systematický a formuláre pre zber údajov jednoduché a prehľadné. Získané údaje podliehajú stratifikácií, preto by mali formuláre pre zber tiež obsahovať

údaje ako sú dátum a čas zberu, meno pracovníka, ktorý zber vykonal, spôsob akým bolo meranie vykonané a podobne. [10]

2.1.2 Histogram

Histogram predstavuje základný krok pri skúmaní normálneho rozdelenia sledovaného znaku kvality. Ide o grafické zobrazenie rozdelenia početnosti sledovaného znaku kvality v určitých intervaloch. Môže ísť napríklad drsnosť, rozmer, zloženie a podobne.



Obr. 3 Typy histogramov [10]

- a) **Symetrický** – výrobný proces vykazuje spôsobilosť vyrábať produkty požadovanej kvality
- b) **Plochý** – výrobný proces nie je spôsobilý vyrábať výrobky požadovanej kvality
- c) **Hrebeňovitý** – výrobný proces vykazuje nespôsobilosť (vysoká variabilita procesu), je nutné prijať opatrenia pre zníženie variability procesu
- d) **Dvojvrcholový** - výrobný proces je krátkodobo stabilný, ale je potrebné analyzovať proces, znížiť variabilitu procesu a uskutočniť nápravné opatrenia pre zabezpečenie dlhodobej spôsobilosti
- e) **S izolovanými hodnotami (vrcholmi)** – medzi hodnotami sa vyskytujú hodnoty, ktoré sú odľahlé
- f) **Ľavostranný** – proces nevyhovuje požiadavkám, je potrebné ho posunúť k stredu tolerančného poľa [9]

Základný postup použitia histogramu predstavuje rozdelenie údajov súboru do tried (čiasťkové intervaly zvolenej šírky), to zahŕňa:

- 1) stanovenie šírky intervalu
- 2) stanovenie hraníc tried
- 3) rozdelenie sledovaného znaku kvality do skupín pre príslušné triedy
- 4) absolútna početnosť = početnosť údajov v triede
- 5) relatívna početnosť = pomer absolútnej početnosti k rozsahu súboru [9]

Z celkovej početnosti hodnôt v jednotlivých triedach sa uvažuje s akou pravdepodobnosťou nadobudne sledovaný znak kvality hodnotu z určitého intervalu.

Histogram slúži na získanie nasledovných informácií:

- prvotný poznatok o spôsobilosti daného procesu
- odhad tvaru, polohy a rozptýlenosti
- typ rozdelenia náhodnej veličiny

Používa sa najmä v oblasti merania, monitorovania a zlepšovania procesov, kde sú využité prvotné informácie vyplývajúce z tvaru histogramu a získaných z počiatočnej analýzy spôsobilosti procesu. [9]

2.1.3 Regulačný diagram

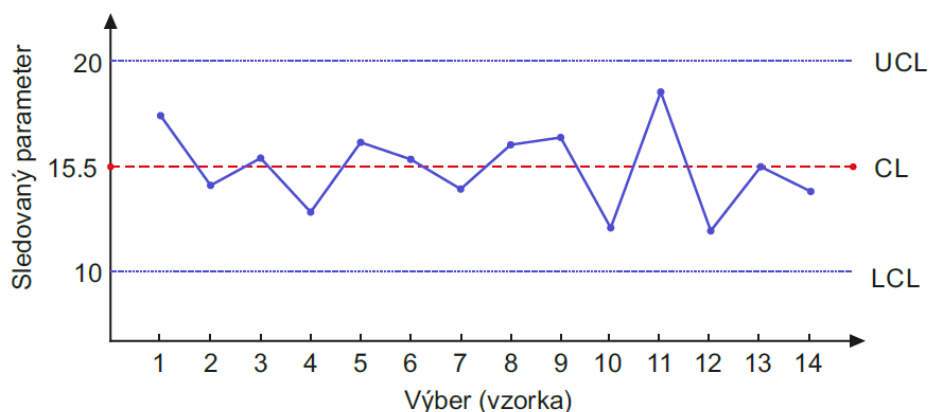
Regulačný diagram je nástrojom štatistickej regulácie, ktorý slúži na odhalenie štatisticky významných vplyvov, ktoré pôsobia v procese.

Medzi základné úlohy tohto nástroja patrí:

- regulácia procesu
- analýza stability a spôsobilosti procesu
- neustále zlepšovanie [7]

Vo všeobecnosti existuje niekoľko typov regulačných diagramov. Medzi základné typy patrí:

- a) regulačný diagram **pri kontrole meraním** – využívajú sa meracie prostriedky, ktorých výsledkom je číselná hodnota majúca formu spojitej náhodnej veličiny
- b) regulačný diagram **pri kontrole porovnávaním** – využíva sa referenčná vzorka, kaliber a podobne. Výsledkom je hodnota charakteru diskretnej náhodnej veličiny. [7]



Obr. 4 Regulačný diagram [10]

Na obr. 4 je zobrazený príklad regulačného diagramu. Os x reprezentuje jednotlivé výbery a os y hodnoty sledovanej charakteristiky. V diagrame sú zakreslené regulačné hranice, ktoré znázorňujú tolerančné hranice procesu.

- CL (centrálna priamka) – znázorňuje priemernú hodnotu sledovanej charakteristiky a naznačuje oblasť stability procesu.
- UCL (Horná regulačná hranica) a LCL (dolná regulačná hranica) sú hranice stability procesu [10]

2.1.4 Paretova analýza

Pri manažérskom rozhodovaní slúži pre stanovenie priorít pri riešení určitého problému. Je to nástroj, ktorý odlišuje vplyvy, ktoré sú podstatné od vplyvov, ktoré sú menej podstatné, určuje hlavné príčiny problému a vymedzuje oblasť, na ktorú je potrebné sa zamerať. Na proces vždy pôsobia činitele, ktoré sú podstatné a tie, ktoré sú menej podstatné. Podstatné nositele problému sa nazývajú *životne dôležité* a menej podstatné sa nazývajú *nevýznamné*.

Základný postup pri tvorbe Paretovej analýzy zahŕňa niekoľko krokov:

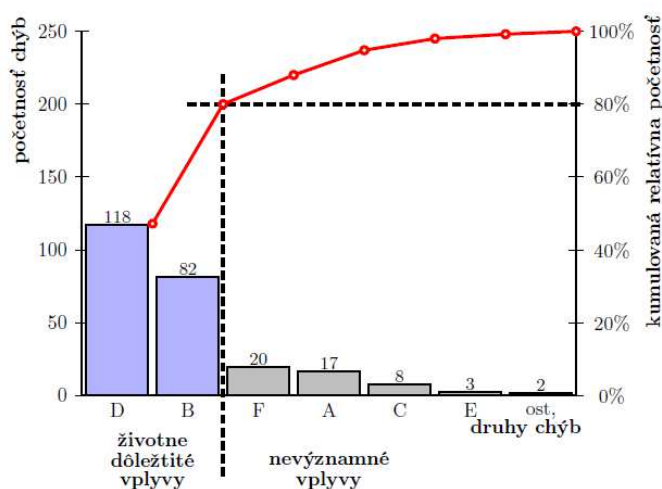
- 1) Určenie nosného problému riešeného Paretovou analýzou
- 2) Stanovenie cieľa, ktorý má byť dosiahnutý
- 3) Zber údajov a ich záznam do vstupnej tabuľky
- 4) Spracovanie údajov do tabuľky a výpočet základných ukazovateľov

Tabuľka 1 Výpočet základných ukazovateľov

Označenie chyby	Druh chyby	Počet chýb	Kumulovaný súčet chýb	Kumulovaný súčet chýb v %
D	poškodenie prepínaním	118	118	47
B	poškriabanie	82	200	80
F	malá diera	20	220	88
A	prasklina	17	237	95
C	znečistenie	8	245	98
E	trhlina	5	250	100

5) Zostrojenie Paretovho diagramu a zakreslenie Lorenzovej krivky, voľba kritéria životne dôležitých faktorov

Pri Paretovej analýze sa používa Paretov princíp 80:20, ktorý hovorí: 80 % následkov vychádza z 20 % príčin. Z Paretovho pravidla vyplýva, že efektívnejšie je sústrediť sa na tie príčiny, ktoré spôsobujú najviac dôsledkov.



Obr. 5 Pareto diagram a Lorenzova krivka [9]

6) Analýza životne dôležitých faktorov

Paretova analýza má široké uplatnenie v manažérstve kvality, najmä pri analýze:

- nezhodných výrokov
- strát výrobných, časových a finančných
- reklamácií
- pri realizácii nápravných opatrení

2.1.5 Vývojový diagram

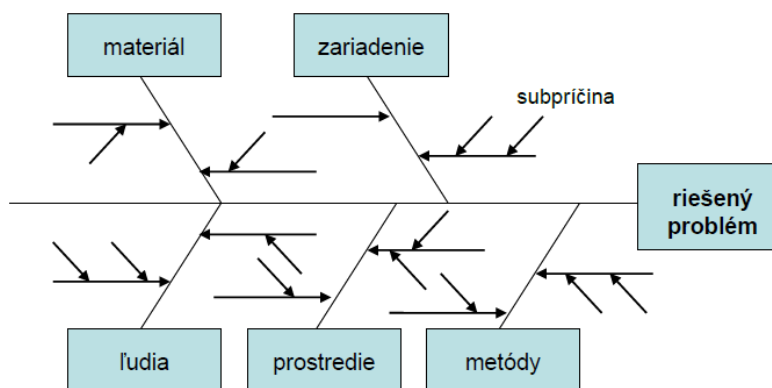
Vývojový diagram je grafický prostriedok pre zobrazenie logickej nadväznosti činností, ktoré tvoria určitý proces. Tento nástroj je možné použiť v rôznych fázach procesu, či už pri návrhu procesu alebo pri existujúcom procese. Prostredníctvom vývojového diagramu je možné analyzovať proces, jednotlivé kroky, rozhodnutia a tak identifikovať časť, v ktorej môžu vznikať problémy a predísť týmto problémom. Pri zostavení vývojového diagramu sa používajú symboly, ktoré sú znázornené na obr. 6. [10]



Obr. 6 Symboly vývojového diagramu [10]

2.1.6 Ishikawa diagram

Označovaný tiež ako Diagram príčin a následkov alebo Diagram rybej kosti. Využíva sa pri analýze všetkých možných príčin a ich následkov. Ide o grafické znázornenie a popis príčin a následkov.



Obr. 7 Ishikawa diagram [7]

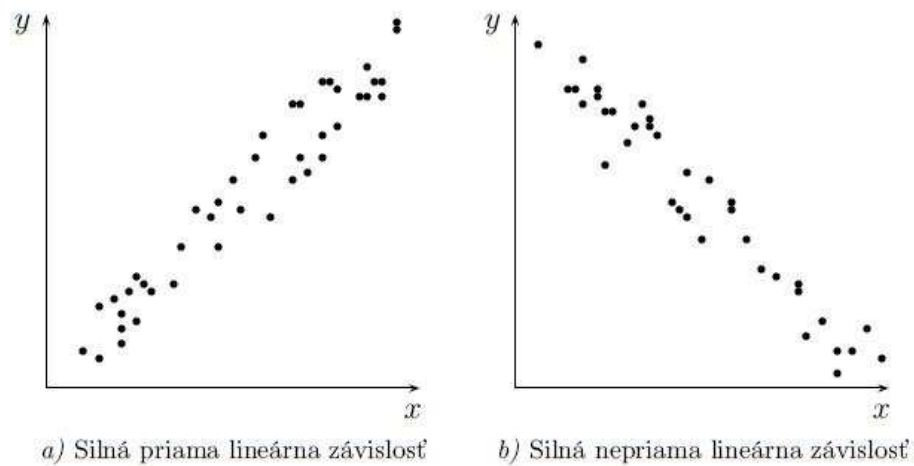
Na obr. 3 je znázornený príklad Ishikawa diagramu. Do ľavej časti diagramu sa vpisujú príčiny daného následku, ktorý je vyjadrený v pravej časti diagramu. Umožňuje zvoliť najefektívnejšie riešenie daného problému a odhaliť koreňové príčiny, ktoré spôsobujú daný problém. [7]

2.1.7 Korelačný diagram

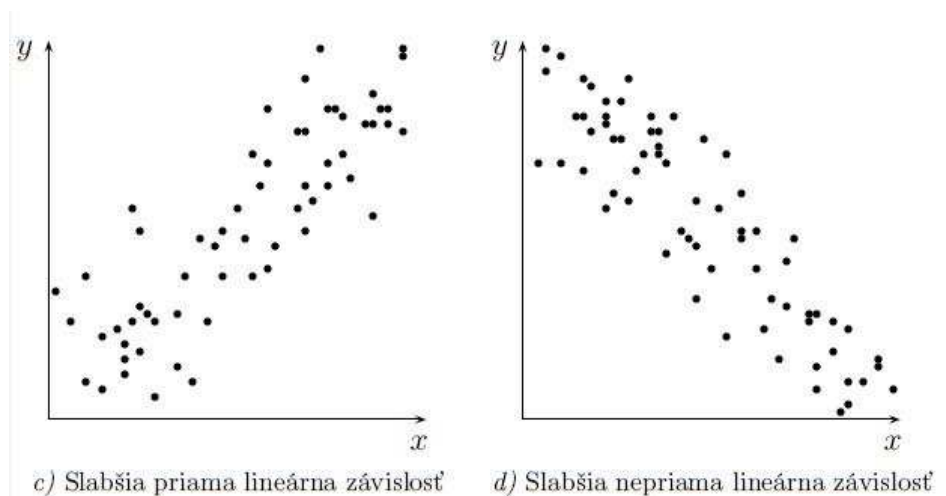
Korelačný (bodový) diagram je grafické znázornenie závislosti medzi dvomi parametrami. Podľa toho či ide o overenie závislosti medzi dvomi premennými alebo viacerými premennými sa rozlišuje:

- jednoduchú koreláciu** – ide o závislosť medzi 2 premennými, pričom jedna z nich je závislá premenná a druhá nezávislá premenná.
- mnohonásobnú koreláciu** – v prípade závislosti medzi niekoľkými premennými, pričom jedna je závisle premenná a ostatné sú nezávislé premenné. [9]

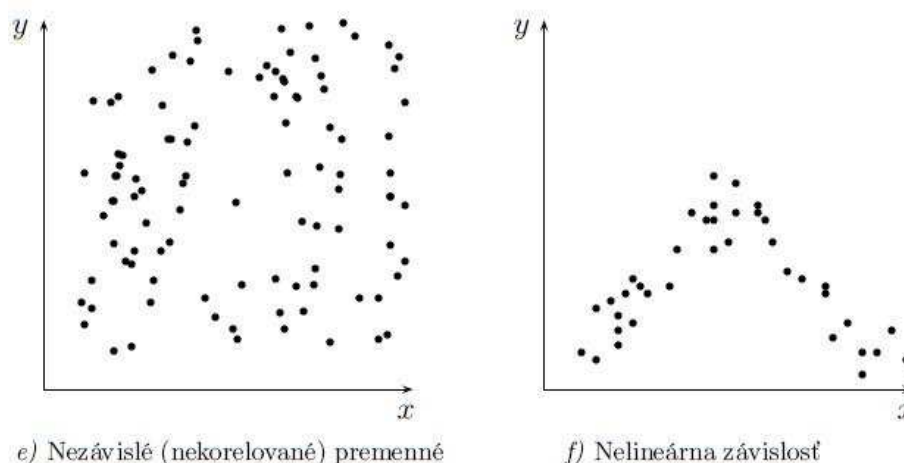
Na obr. 8, 9, 10 sú zobrazené príklady korelačných diagramov s určitou závislosťou.



Obr. 8 Korelačný diagram - silná závislosť [9]



Obr. 9 Korelačný diagram - slabá závislosť [9]



Obr. 10 Korelačný diagram - nezávislé premenná a nelineárna závislosť [9]

Využitie korelačného diagramu spočíva v získaní počiatkovej informácie, či medzi dvomi parametrami existuje závislosť. Výhodou tohto diagramu je, že ak sa preukáže závislosť medzi danými parametrami, je možné stanoviť hodnotu len jedného z nich a odhadnúť hodnotu druhého. [9]

2.2 Sedem moderných nástrojov manažérstva kvality

Poskytujú efektívne využitie pri riešení závažným problémov a zisťujú nielen ich príčiny ale odporúčajú možné riešenia. Týchto sedem nástrojov manažérstva kvality sa najčastejšie uplatňujú vo fáze vývoja a plánovania. [7]

Sedem moderných nástrojov pomáha pri implementácii kvality v manažérskych rozhodnutiach na každej úrovni riadenia. Nie je podstatné sa sústrediť len na zber dát a ich analýzu, ale predovšetkým venovať pozornosť plánovaniu kvality, cieľom kvality, postupom a metódam na ich dosiahnutie. Tieto nástroje sú jednoduché a preto sú často podceňované, sú nenáročné a je možné ich graficky zobrazit'. [10]

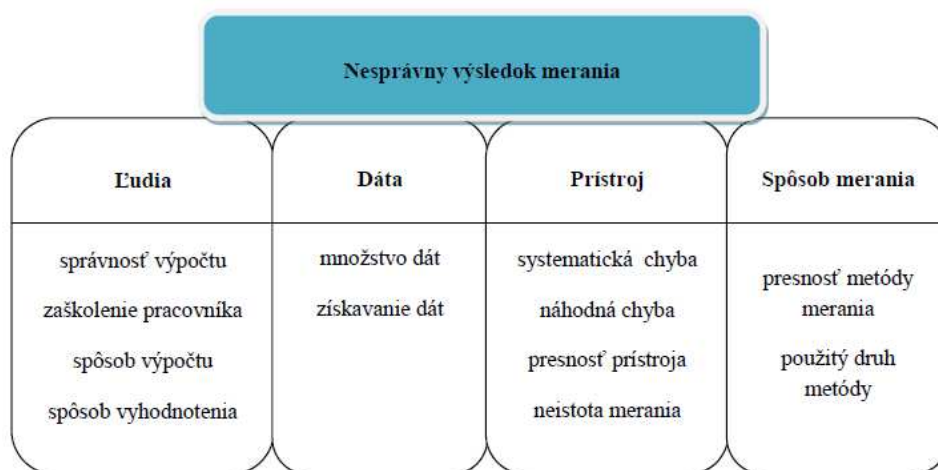
Do skupiny moderných nástrojov manažérstva kvality sa zaraďujú:

- Diagram afinity
- Relačný diagram
- Maticový diagram
- Analýza maticových dát
- Stromový diagram
- Sieťový diagram
- Rozhodovací diagram

2.2.1 Diagram afinity

Je nástrojom pre zisťovanie a identifikáciu problémov. Pri zhromažďovaní veľkého množstva informácií o danom probléme, umožňuje diagram afinity rozdelenie a usporiadanie jednotlivých informácií do logických skupín a vytvoriť tým štruktúru riešeného problému. Zostavenie afinitného diagramu podlieha tímovému spracovaniu. Ide o jednoznačné definovanie problému a zhromaždenie faktorov, ktoré vedú k jeho riešeniu. Po zhromaždení všetkých možných námetov sa tieto námety rozdelia na základe príbuznosti do skupín. [10]

Na obr. 11 je uvedený príklad jednoduchého diagramu afinity pri riešení nesprávneho výsledku merania.



Obr. 11 Diagram afinity [vlastné spracovanie]

Diagram afinity vykazuje vysokú efektívnosť pri spracovaní veľkého množstva informácií. Zloženie tímu vytvárajúci afinitný diagram je vhodné poskladať z odborníkov, ale aj z neodborníkov so všeobecnými znalosťami. [7]

2.2.2 Relačný diagram

Relačný diagram, označovaný tiež ako diagram vzájomných vzťahov, slúži k odhaleniu logických vzťahov medzi faktormi vzťahujúcich sa k danému riešenému problému. Východiskové informácie pre relačný diagram poskytuje diagram afinity. [7]

Relačný diagram nezobrazuje tesnosť medzi jednotlivými vzťahmi, ale iba ich identifikuje. Čím vyšší počet faktorov zobrazuje, tým narastá jeho náročnosť a zvyšuje sa neprehľadnosť diagramu. [11]

2.2.3 Maticový diagram

Maticový diagram slúži pri hodnotení súvislostí medzi danými okruhmi problému. Napomáha k identifikovaniu a odstráneniu tzv. „bielych miest“ v informačnej oblasti daného problému. Ide o posúdenie a prepojenie vzájomných vzťahov medzi tým čo chce zákazník a kvalitou, ktorou je definovaný určitý výrobok. Najpoužívanejším maticovým diagramom je diagram tvaru „L“. Kombináciou niekoľkých diagramov tvaru „L“ dostávame diagramy „Y“, „T“ a diagram tvaru „X“.

Najčastejšie využitie diagramu tvaru „L“ je v metóde QFD, ktorá využíva analýzu vzájomných vzťahov. Pri spojení dvoch diagramov tvaru „L“ vznikne diagram tvaru „T“ a spojením troch diagramov tvaru „L“ vznikne diagram „Y“. Diagram tvaru „X“ je najmenej používaným a vzniká spojením štyroch maticových diagramov tvaru „L“. [7]

2.2.4 Analýza maticových dát

Pre dôkladnejšie analyzovanie vzťahov, či už medzi dvomi oblasťami alebo viacerými oblasťami, sa využíva analýza maticových dát.

Pre posudzovanie údajov v matici sa používa niekoľko metód:

- **Analyzovanie hlavných komponentov** – využíva sa pri redukcii počtu prvkov viacrozmerných premenných. Pomocou lineárnych kombinácií pôvodných prvkov sa vytvoria nové prvky, ktoré pokrývajú variabilitu pôvodných prvkov.
- **Definovanie vzdialenosti pri viacrozmerných premenných** – za základe primerane zvolenej vzdialenosti, ide o posúdenie vzdialenosti medzi premennými a tzv. ideálnou mierou.
- **Mapa** – grafické znázornenie zobrazujúce polohu premenných vychádzajúce z hodnôt dvoch prvkov v rovine na základe súradníc. Vyberajú sa rozhodujúce prvky analýzy.
- **Plošný graf** – porovnáva viacrozmerné premenné obsahujúce niekoľko prvkov (tri a viac). Využíva sa napríklad pri výbere najvhodnejšieho dodávateľa. [7]

2.2.5 Stromový diagram

Umožňuje rozloženie celku na časti a tým spoznať a riešiť jednotlivé aspekty a slabé miesta celku. Jeho hlavnými výhodami sú jednoduchosť, prehľadnosť a aplikovateľnosť v rôznych oblastiach. Skladba stromového diagramu pozostáva z riešeného problému

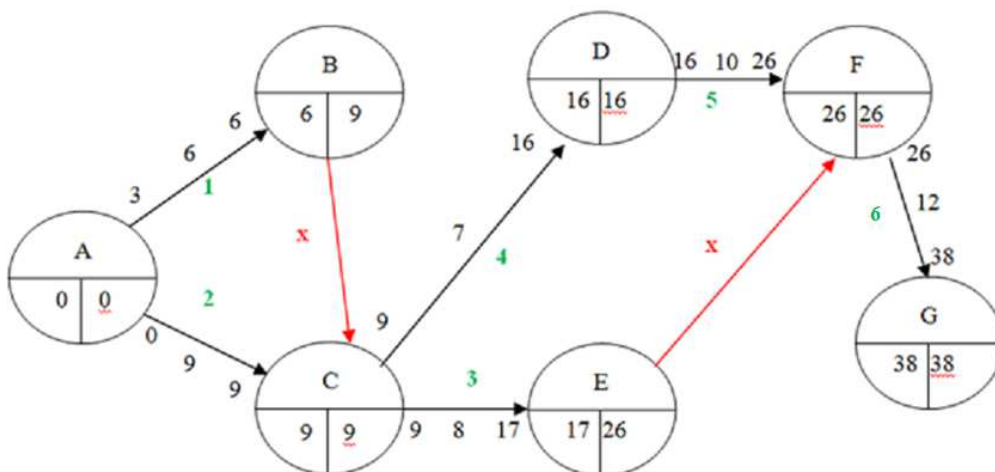
a ďalších úrovní, ktorý riešený problém popisujú. Popisuje detailné rozloženie všeobecne definovaného problému na konkrétne prvky v niekoľkých úrovniach. Prvky na nižších úrovniach sú lepšie pochopiteľné a analyzované. Všetky aspekty sa spoločne posudzujú vo vzájomných väzbách a úrovniach. Výsledkom je návrh konkrétnych opatrení.

Základné kroky tvorby stromového diagramu sú:

- 1) stanovenie témy riešenia
- 2) zhromažďovanie námetov a ich vizualizácia
- 3) rozčlenenie do úrovní:
 - a. riešená téma
 - b. hlavné kategórie
 - c. čiastkové prvky [12]

2.2.6 Sieťový diagram

Sieťový diagram umožňuje usporiadať jednotlivé činnosti procesu podľa logickej a časovej postupnosti. Pre každý krok, vetvu a aj celý proces určuje dobu trvania a tak identifikovať tzv. „kritickú cestu“ a poukázať na možné časové rezervy. Kritická cesta predstavuje najdlhšie trvajúcu cestu.



Obr. 12 Sieťový diagram [vlastné spracovanie]

Je tvorený dvomi základnými prvkami: **šípky** predstavujúce činnosti a **uzly** ako spojnice medzi činnosťami.

Sú členené do dvoch základných skupín:

- a) **siete postupných uzlov** – usporiadanie činností pomocou uzlov
- b) **siete postupných šípok** – usporiadanie činností podľa šípok [12]

2.2.7 Rozhodovací diagram

Je nástrojom, ktorý pomáha usmerniť rozhodovanie o možných opatreniach do budúcnosti s ohľadom na možné riziká pri aplikácií a umožňuje stanoviť opatrenia pre ich zamedzenie. Využíva sa stromový diagram na zobrazenie jednotlivých okamžikov rozhodovania a identifikáciu možných problémov, ktoré by mohli nastať.

Metodika tvorby rozhodovacieho diagramu zahŕňa:

- stanovenie aktivity
- identifikáciu možných problémov
- odhad výskytu rizík
- vyhodnotenie miery rizika
- stanovenie nápravných opatrení

Vo svojej podstate tvorí základ metódy FTA (analýza stromu chýb) a metódy FMEA (analýza druhov a dôsledkov chýb). [12]

3 METÓDY POSUDZOVANIA SPÔSOBILOSTI

Štatistické metódy sú chápané ako prostriedok pre dosiahnutie a zabezpečenie požadovanej spôsobilosti a stability výrobného procesu, a teda aj kvality. V tejto časti sú stručne popísané niektoré z daných metód, ktoré je možné využiť pri hodnotení spôsobilosti procesu.

3.1 Základné pojmy v oblasti štatistiky

Štatistický súbor je množina prvkov určená pre skúmanie hromadného javu. Tento súbor je tvorený štatistickými jednotkami. **Základný súbor** je súbor s veľkým rozsahom, ktorý je predmetom skúmania. Z dôvodu veľkosti rozsahu základného súboru sa v praxi často používa **výberový súbor**, ktorý obsahuje vzorku premenných zo základného súboru.

Štatistické jednotky predstavujú elementárne jednotky pozorovania. Ide napríklad o osoby, organizácie, zvieratá, veci, udalosti a podobne. Početnosť jednotiek je rozsahom štatistického súboru. [13]

Štatistické znaky sú vyjadrením štatistických jednotiek. Napríklad zamestnanec bude považovaný za štatistickú jednotku a za štatistické znaky mzda, funkcia, vzdelanie, vek. Rozdeľujú sa na kvantitatívne znaky (napr. počet zamestnancov, spotreba energie) a kvalitatívne znaky (napr. pohlavie, národnosť). Pri kvalitatívnych znakoch ide o diskrétny a spojitý znaky. **Diskrétna premenná** nadobúda len určité číselné hodnoty z oboru reálnych čísel a naopak **spojitá premenná** nadobúda ľubovoľné reálne hodnoty v určitom intervale. Kvalitatívne znaky sa ďalej rozdeľujú na nominálne a ordinálne znaky. **Nominálna premenná** vyjadruje len zaradenie do skupín, kde určovanie poradia nemá význam. Pri **ordinálnej premennej** je možné stanoviť poradie jednotlivých jednotiek. [14]

3.2 Testovanie hypotéz

Štatistická hypotéza predstavuje tvrdenie o určitých vlastnostiach súboru, o ktorých je potrebné sa presvedčiť.

Testy hypotéz rozdeľujeme na:

- *parametrické testy* – pre testovanie parametrov s normálnym rozdelením pravdepodobnosti
- *neparametrické testy* – rozdelenie pravdepodobnosti nie je známe

Hypotézu, ktorej platnosť je overovaná sa nazýva **nulová hypotéza H_0** . Oproti nulovej hypotéze stojí **alternatívna hypotéza H_1** . Testovanie hypotéz je rozhodovací proces, v ktorom proti sebe stoja tie dve hypotézy. Nulová hypotéza predstavuje určitý rovnovážny stav, zatiaľ čo hypotéza alternatívna nerovnovážny stav. Nulová hypotéza je jednoznačná (napr. $\mu = 200$), zatiaľ čo alternatívna vyjadruje niekoľko možností (napr. $\mu \neq 200$; $\mu < 200$; $\mu > 200$).

Pri rozhodovaní o nulovej hypotéze sa vychádza z výberového súboru, ktorého vlastnosti nemusia zodpovedať vlastnostiam základného súboru, preto je možné sa dopustiť chyby. Tabuľka 2 zobrazuje možné situácie testovania hypotéz a chyby I. a II. druhu, ktoré pri testovaní môžu vzniknúť. [15]

Tabuľka 2 Chyby I. a II. druhu [15]

rozhodnutie	skutočná situácia	
	H_0 platí	H_1 platí
H_0 nezamietame	správne rozhodnutie pravdepodobnosť $1 - \alpha$	Chyba II. druhu pravdepodobnosť β
H_1 nezamietame	Chyba I. druhu pravdepodobnosť α (hladina významnosti)	správne rozhodnutie pravdepodobnosť $1 - \beta$ (sila testu)

Testovanie štatistických hypotéz poskytuje možnosť odpovedať na otázky rôznych oblastí:

- Dosiahol nový technologický postup výroby zlepšenie hodnôt kvalitatívnych ukazovateľov?
- Zhoduje sa výrobný proces z požadovaným štandardom?
- Aké je rozdelenie pravdepodobnosti porúch v telefónnych sieťach?
- Spôsobuje daná látka ochorenie organizmu? [15]

3.3 Metódy skúmania závislosti

Medzi najvýznamnejšiu formu vzájomných vzťahov medzi dvomi číselnými znakmi patrí priama (kauzálna) závislosť. Pri priamej závislosti ide o situáciu kedy jeden jav označujeme ako príčinu (nezávisle premenná), ktorá má za následok (závisle premenná) vyskytnutie javu iného.

Pri tomto type závislosti môžu nastať tieto prípady:

- a) **pevná (funkčná) závislosť** – jednej hodnote nezávisle premennej pripadá jedna hodnota závisle premennej
- b) **voľná (štatistická, korelačná) závislosť** – jednej hodnote nezávislej premennej pripadajú rôzne hodnoty závislej premennej

Pri skúmaní závislosti medzi premennými sa používajú rôzne metódy. Medzi najpoužívanéjšie metódy patrí regresná analýza, korelačná analýza a analýza rozptylu. [16]

3.3.1 Regresná analýza

Regresná analýza patrí medzi základné štatistické metódy pre skúmanie závislosti medzi číselnými znakmi. Pri skúmaní závislosti medzi dvomi znakmi ide o jednoduchú regresnú analýzu a pri závislosti medzi viacerými znakmi ide o viacnásobnú regresnú analýzu. [16]

Medzi základné úlohy regresnej analýzy patrí:

- a) popis priebehu štatistickej závislosti
- b) odhad hodnôt závislej premennej (y) zodpovedajúcej danej hodnote jednej alebo viacej nezávisle premenných (x_i) [16]

3.3.1.1 Jednoduchá regresná analýza

Základné kroky regresnej analýzy zahŕňajú:

- 1) **voľba regresnej funkcie (typ regresného modelu)** - Voľba vhodnej funkcie je závislá na rozbere skúmaných závislostí, grafickom znázornení a rôznych matematicko-štatistických kritérií.

Pokiaľ popisuje model regresnej funkcie závislosť medzi závislou a nezávislou premennou, v základnom súbore ide o **teoretickú (hypotetickú) regresnú funkciu** v tvare:

$$Y = (x, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) + \varepsilon_i \quad (1)$$

pričom:

β_i – parametre regresnej funkcie (regresné parametre)

ε_i – náhodná zložka

Keďže väčšinou základné súbory sú tvorené veľkým počtom dát, teoretická regresná funkcia je odhadovaná výpočtom z výberového súboru. Takýmto odhadom je **výberová (empirická) regresná funkcia** v tvare:

$$\hat{y} = f(x, b_0, b_1, b_2, \dots, b_k) + e_i \quad (2)$$

pričom

b_i – odhady regresných parametrov β_i

e_i – odhad náhodnej zložky (reziduum) $e_i = y_i - \hat{y}_i$ [16]

2) odhad parametrov

Použitie metódy pre odhad parametrov regresnej funkcie závisí od zaradenia do skupiny kam regresná funkcia spadá. Existujú dve základné skupiny:

- a) regresné funkcie lineárne v parametroch (priamka, parabola, hyperbola, logaritmická funkcia, exponenciálna funkcia, mocninová funkcia, polynomičná funkcia)
- b) regresné funkcie nelineárne v parametroch (parabola)

Pri regresnej funkcii lineárnej v parametroch je základnou metódou pre odhad parametrov **metóda najmenších štvorcov**. Pre odhad parametrov regresnej funkcie nelineárnej v parametroch sa používa taktiež metóda najmenších štvorcov v prípade, že sú prevedené na lineárne modely pomocou vhodnej transformácie. Ďalší spôsob odhadu parametrov zahŕňa počiatočný odhad a jeho následné zlepšovanie až do doby dosiahnutia odhadu s požadovanou presnosťou. [16]

3) testovanie hypotéz o parametroch regresného modelu

Pri testovaní stoja proti sebe dve hypotézy a to nulová hypotéza, ktorá má tvar

$$H_0: \beta_j = 0 \quad (3)$$

a hypotéza alternatívna v tvare:

$$H_a: \beta_j \neq 0 \quad (4)$$

Pri spracovaní hypotéz počítačovým programom je dôležitý test významnosti tzv. p - value. Pokiaľ je $p - \text{value} < \alpha$, zamieta sa testovaná hypotéza o nulovej hodnote parametra. [16]

4) posúdenie vhodnosti (kvality) regresného modelu

Pri hodnotení miery vhodnosti regresného modelu sa využívajú rôzne kritériá:

- reziduálny rozptyl
- index determinácie
- významnosť regresných koeficientov
- celkový F – test [16]

3.3.1.2 Viacnásobná lineárna regresia

Pri viacnásobnej regresnej analýze je daná jedna závisle premenná (y) a niekoľko nezávisle premenných (x_i). V tomto prípade bude mať regresná funkcia tvar:

$$y = f(x_1; x_2; \dots x_k) \quad (5)$$

Teoretická regresná funkcia bude v tvare:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (6)$$

pričom:

β_0 je absolútny člen rovnice

$\beta_1, \beta_2, \beta_k$ sú teoretické regresné koeficienty

ε_i – náhodná zložka.

Výberová regresná funkcia bude v tvare:

$$\hat{y}_i = b_{y.x_1 x_2 \dots x_k} + b_{y x_1 . x_2 x_3 \dots x_k} x_{1i} + b_{y x_2 . x_1 x_3 \dots x_k} x_{2i} + \dots + b_{y x_k . x_1 x_2 \dots x_{k-1}} x_{ki} + e_i \quad (7)$$

pričom:

$b_{y.x_1 x_2 \dots x_k}$ je absolútny člen rovnice

$b_{y.x_1 x_2 x_3 \dots x_k}, b_{y.x_2 x_1 x_3 \dots x_k}, b_{y.x_k x_1 x_2 \dots x_{k-1}}$ sú výberové regresné koeficienty

e_i je reziduum.

Pomocou metódy najmenších štvorcov sú potom odvodené parametre regresnej rovnice. Výpočtom testovacieho kritéria a pomocou T - testu sa zistí významnosť regresných koeficientov. V prípade zistenia, že daný regresný koeficient nie je štatisticky významný, je možné s týmto koeficientom ďalej neuvažovať a teda ho z modelu vypustiť. [16]

3.3.2 Korelačná analýza

Korelačná analýza umožňuje meranie tesnosti väzby medzi premennými na základe korelačných charakteristík s týmito vlastnosťami:

- ich hodnoty ležia v intervale $\langle 0;1 \rangle$ alebo $\langle -1;1 \rangle$
- ich zvyšujúca sa absolútna hodnota naznačuje zvýšenie závislosti
- nie sú závislé na jednotkách, v ktorých sú merané

Vo všeobecnosti existuje niekoľko typov korelačnej závislosti. Pri korelačnej analýze ide o skúmanie tesnosti závislosti medzi dvomi premennými (jednoduchá korelácia) alebo medzi viacerými premennými (mnohonásobná korelácia). V prípade ak ide o závislosť medzi znakmi, ktorej grafom je priamka, ide o *lineárnu koreláciu*. Pokiaľ grafom závislosti premenných je krivka, ide o *nelineárnu koreláciu*. *Priama korelácia* sa vyznačuje tým, že pri raste jedného znaku, rastie aj znak druhý. Naopak *nepriama korelácia* je daná rastom jedného znaku a zároveň klesaním znaku druhého. [17]

Najdôležitejšou charakteristikou korelačnej analýzy je **korelačný koeficient**. Existuje niekoľko typov takýchto koeficientov. Mieru tesnosti lineárnej (stochastickej) väzby medzi dvomi náhodnými veličinami vyjadruje **Pearsonov párový korelačný koeficient (ρ)**. Jeho odhadom je **výberový párový korelačný koeficient (r)** v tvare:

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}} \quad (8)$$

Hodnota koeficientu korelácie nadobúda hodnoty z intervalu $\langle -1;1 \rangle$. Vo všeobecnosti môže nastať niekoľko prípadov:

- a) koeficient je rovný nule ($r = 0$) – nelineárna závislosť
- b) koeficient je rovný jednej ($r = 1$) – úplná korelácia, funkčná závislosť
- c) koeficient je väčší ako nula ($r > 0$) – priama lineárna závislosť
- d) koeficient je menší ako nula ($r < 0$) – nepriama lineárna závislosť [17]

Čím je hodnota koeficientu korelácia bližšie k 1, tým je tesnosť závislosti väčšia. Ale ani v prípade vysokej hodnoty výberového korelačného koeficientu nemusí naznačovať silnú

závislosť v základnom súbore. Významnosť korelačného koeficientu je možné overiť pomocou testov hypotéz o korelačných koeficientoch. [13]

3.3.3 Analýza rozptylu

Analýza rozptylu (ANOVA – Analysis of Variance) umožňuje analyzovať zdroje variability pri lineárnych štatistických modeloch. Úlohou je zistiť, či niektoré z kvalitatívnych alebo kvantitatívnych faktorov významne ovplyvňujú sledované veličiny. Pri analýze rozptylu ide o rozdelenie celkového rozptylu na časti, ktoré sú objasnené a teda zdroje variability sú známe a časť, ktorá je neobjasnená a predpokladá sa, že ide o náhodu. V ďalšom kroku ide o testovanie významnosti zdrojov variability pomocou testov hypotéz. [18]

Základné kroky postupu analýzy rozptylu sú:

- 1) Odhad parametrov základného modelu ANOVA
- 2) Testovanie významnosti modelu, konštrukcia rôznych modelov
- 3) Určenie zložiek rozptylu a testovanie významnosti jednotlivých zložiek
- 4) Overenie predpokladu normality a identifikácia silne vychýlených hodnôt
- 5) Interpretácia výsledkov [18]

3.4 Analýza spôsobilosti

Pre dosiahnutie vysokej kvality produktov je potrebné sledovať kvalitu výrobných procesoch daných produktov. Kvalita procesov je sledovaná a hodnotená pomocou ich spôsobilosti a teda schopnosti dosahovať stanovené požiadavky na produkt trvalo. Spôsobilosť procesu predstavuje schopnosť daného procesu splniť technické alebo rôzne iné požiadavkám. [19]

Spôsobilosť môže byť špecifikovaná ako:

- spôsobilosť výrobného procesu
- spôsobilosť výrobného zariadenia
- spôsobilosť meracieho zariadenia [19]

Analýza spôsobilosti si vyžaduje dodržiavanie metodického postup, ktorý zahŕňa tieto kroky:

1. Voľba zhodného znaku kvality

Spôsobilosť procesu je viazaná k určitému znaku kvality ako bezprostredný výsledok procesu. Zvolený znak kvality zobrazuje priebeh sledovaného procesu vzhľadom na tolerančné medze.

2. Analýza systému merania pre zvolený znak kvality

Ide o overenie vhodnosti použitého systému merania zvoleného znaku kvality.

3. Zhromažďovanie údajov o prebiehajúcom procese

V prebiehajúcom procese sú získavané údaje o zvolenom znaku kvality v určitom časovom období dostatočne dlhom, tak aby sa prejavili všetky zdroje variability, ktoré ovplyvňujú daný proces. V danom období sú odoberané produkty z výrobného procesu v určitých intervaloch a na týchto vyrobených produktoch sú merané hodnoty stanoveného znaku kvality.

4. Grafické znázornenie sledovaného znaku kvality – histogram

Zhromaždené údaje sú znázornené na základe početnosti pomocou histogramu, ktorý je doplnený o tolerančné medze.

5. Posúdenie štatistickej zvládnutosti procesu

Podmienkou pre hodnotenie spôsobilosti procesu je štatisticky zvládnutý proces, a teda na proces pôsobia len náhodné vplyvy. Štatistická zvládnutosť procesu znázorňujú regulačné diagramy.

6. Overenie normality sledovaného znaku kvality

Za predpokladu normálneho rozdelenia znaku kvality sa pre hodnotenie spôsobilosti procesu využívajú indexy spôsobilosti. Normalitu je možné overiť pomocou rôznych testov, prípadne transformovať hodnoty tak, aby zodpovedali normálnemu rozdeleniu.

7. Výpočet indexov a porovnanie s požadovanými hodnotami

Ide o posúdenie potenciálnej a skutočnej schopnosti procesu poskytovať produkty vyhovujúce požiadavkám.

8. Návrh a realizácia opatrení pre zlepšenie procesu

Pri nespôsobilosti procesu je vhodné realizovať opatrenia, pre ktoré bude proces vedený k jeho spôsobilosti. [3]

Štatistické indexy sa uplatňujú pri hodnotení štatistickej spôsobilosti. Špecifické požiadavky hodnotené pri štatistickej spôsobilosti sú dané určitou hodnotou a tolerančnými hranicami k tejto hodnote. V prípade, že hodnota ukazovateľa kvality je rovná požadovanej hodnote ukazovateľa, na základe spôsobilosti procesu ide o bezchybný stav. Pre veľké množstvo hodnotených jednotiek ukazovateľa je tento stav nereálny, preto sú sledovanému ukazovateľu priradené tolerančné hranice a pokiaľ sa ukazovateľ kvality nachádza v týchto tolerančných hraniciach, ide o zhodu s požiadavkami. [3]

Hlavnou funkciou indexov spôsobilosti je vyjadrenie vzťahu požadovanej hodnoty T , tolerančných hraníc LSL a USL , a reálnym procesom, ktorý je vyjadrený pomocou strednej hodnoty μ a odchýlkou σ . **Požadovaná hodnota T** (Target Value) predstavuje hodnotu, ktorá má byť dosahovaná. **Dolná tolerančná hranica LSL** (Lower Specification Limit) a **horná tolerančná hranica USL** (Upper Specification Limit) definujú hranice stanoveného znaku kvality, v ktorých sa môže pohybovať. [19]

Indexy spôsobilosti je možné rozdeliť do troch skupín:

- **Indexy prvej generácie** (C_p , C_{pk} , C_{pL} , C_{pU}) – využívajú potenciálnu spôsobilosť a skutočnú spôsobilosť procesu trvalo dosahovať zhodu s požiadavkami.
- **Indexy druhej generácie** (C_{pm} , C_{pm}^*) – zobrazujú spôsobilosť procesu na základe variability sledovaného znaku kvality
- **Indexy tretej generácie** (C_{pmk} , C_{jpk}) – citlivejšie reagujú na náhodné príčiny variability. [19]

3.4.1 Index spôsobilosti C_p

Index spôsobilosti C_p je definovaný ako miera potenciálnej schopnosti procesu dosahovať, aby daný sledovaný znak kvality bol vo vnútri svojich tolerančných hraníc. Definuje možnosti dané na základe variability procesu, ale neukazuje ich skutočné využitie. Pri indexe spôsobilosti C_p musia byť zadané tolerančné hranice, v ktorých sa má sledovaný znak kvality nachádzať. Tento index je daný vzťahom:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (9)$$

pričom:

USL je dolná tolerančná hranica

LSL je horná tolerančná hranica

σ je smerodajná odchýlka

Hodnota 6σ vyjadruje skutočnú variabilitu sledovaného znaku kvality, ktorá na základe predpokladu normálneho rozdelenia pravdepodobnosti sledovaného znaku kvality určuje oblasť, v ktorej každá hodnota bude ležať s pravdepodobnosťou 99,73 %. Hlavnou nevýhodou tohto indexu je, že nezobrazuje ako je daný proces centrováný. [19]

Pri použití indexu spôsobilosti C_p môže nastať niekoľko situácií:

- $C_p < 0,33$ – hodnota indexu naznačuje, že spôsobilosť sa veľmi nedodržiava
- $C_p < 1$ – hodnota indexu naznačuje, že spôsobilosť procesu nie je dodržaná
- $C_p \geq 1,33$ – pri takejto hodnote indexu ide o dobré dodržiavanie spôsobilosti procesu, dosiahnutá stredná hodnota v vzdialenosti 4σ od tolerančných hraníc
- $C_p > 1,66$ – hodnota indexu naznačuje veľmi dobré dodržiavanie spôsobilosti
- $C_p > 2$ – vyššia hodnota indexu spôsobilosti naznačuje prehnane dobré dodržiavanie procesu, čo signalizuje príliš zhovievavé požiadavky zákazníka alebo nevhodne určené tolerančných hraníc. [19]

3.4.2 Index spôsobilosti C_{pk}

Na rozdiel od indexu spôsobilosti C_p , index spôsobilosti C_{pk} zohľadňuje nie len variabilitu sledovaného znaku kvality, ale aj polohu tohto znaku voči tolerančným hraniciam. Ide o zobrazenie skutočnej spôsobilosti procesu dodržiavať predpísané tolerančné medze. Tento index je daný vzťahom:

$$C_p = \min\{C_{pL}; C_{pU}\} = \min\left\{\frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right\} \quad (10)$$

pričom:

μ je stredná hodnota sledovaného znaku kvality

Nevýhodou tohto indexu je, že v prípade keď sa stredná hodnota μ vzdďľuje od hodnoty T a nedochádza k zmene σ , index spôsobilosti C_{pk} sa zhoršuje. Ďalšia nevýhoda indexu C_{pk} spočíva v tom, že pokiaľ požadovaná cieľová hodnota T neleží v strede tolerančného pásma, nezachytí sa jej odchýlka od skutočnej strednej hodnoty procesu. [19]

Pri použití indexu spôsobilosti C_{pk} môže nastať tieto situácie:

- $C_{pk} < 0$ – proces sa nachádza mimo svojich tolerančných hraníc
- $C_{pk} = 0$ – proces je centrováný na tolerančnej hranici

- $C_{pk} < 1$ – výrobný proces nie je spôsobilý
- $C_{pk} \leq 1,25$ – proces je spôsobilý pre bežné výrobky
- $C_{pk} \leq 1,45$ – ide o novozavádzaný výrobný proces alebo výrobný proces, ktorý je zabehnutý pre výrobky súvisiace s bezpečnosťou, ktorý je dobre spôsobilý
- $C_{pk} \leq 1,60$ – ide o novozavádzaný výrobný proces pre výrobky súvisiace s bezpečnosťou, ktorý je dobre spôsobilý [19]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

4 CIELE PRÁCE

Hlavným cieľom diplomovej práce je posúdenie spôsobilosti procesu pre súčiastku Shaft Delta a porovnanie výsledných indexov spôsobilosti. Pre správne meranie je potrebné definovať systém merania, čo predstavuje vedľajší cieľ diplomovej práce. Meranie a vyhodnotenie bude prebiehať na štyroch technologických operáciách: sústruženie, valcovanie, kalenie a brúsenie. Spolu bude zmeraných a vyhodnotených 25 kritických rozmerov.

5 METODIKA PRÁCE

Praktická část diplomové práce bude spracovaná na základe stanovených cieľov a bude sa deliť na nasledujúce kroky:

- predstavenie procesu výroby súčiastky Shaft Delta od vstupného materiálu až po finálne pranie
- definovanie meracieho systému pre meranie jednotlivých kritických rozmerov pre proces sústruženie, valcovanie, kalenia a brúsenia
- overenie normality nameraných dát pre jednotlivé kritické rozmery
- vyhodnotenie indexov spôsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pL} a C_{pU} pre jednotlivé kritické rozmery
- porovnanie indexov spôsobilosti a zhodnotenie výsledkov

6 PREDSTAVENIE SÚČIASTKY – DELTA

Shaft Delta predstavuje hriadeľ používaný v klimatizačných systémoch.

6.1 Etapy výroby

Výroba súčiastky Shaft Delta prebieha v niekoľkých logicky nasledujúcich etapách. Pre predstavu o výrobe tejto súčiastky sú stručne opísané všetky etapy výroby.

6.1.1 Vstupná kontrola surového materiálu

V prípade, že spoločnosť nevyrába priamo surový materiál pre svoju výrobu, je takýto materiál objednaný od externého dodávateľa. Pred zahájením samotnej výroby je potrebné uskutočniť kontrolu vstupného materiálu (obr. 13). Ide o vykonanie mechanických skúšok ako sú skúšky tvrdosti a skúšky pevnosti v ťahu.

Súčasť každej dodávky surového materiálu by mal byť certifikát o zložení a vlastnostiach materiálu. Zhodu zloženia materiálu s certifikátom je preukázaná príslušnými skúškami. V prípade akéhokoľvek zistenia nezhody je potrebné materiál vyradiť z procesu výroby a odoslať na reklamáciu dodávateľovi.



Obr. 13 Vstupný materiál

6.1.2 Proces sústruženia

Vstupný materiál prechádza procesom sústruženia a ide o prvú operáciu, ktorou materiál prechádza. Na obr. 14 je znázornená podoba súčiastky po operácii sústruženie.



Obr. 14 Súčiastka po procese sústruženia

Kritické rozmery pre hodnotenie spôsobilosti procesu sú:

- **Priemer 11,86 ($\pm 0,01$)** – v tejto časti bude vytvorené ozubenie pri ďalšej operácii (valcovanie).
- **Dĺžka 116,68 ($\pm 0,05$)** – ide o finálny rozmer, na ktorý nemá vplyv žiadna nasledujúca operácia, ktorá pre tento rozmer ešte nastane. Zmena tohto rozmeru môže nastať iba vplyvom tepelného spracovania – kalenia.
- **Dĺžka 1,43 ($\pm 0,05$)** – dôležitý rozmer z hľadiska finálneho použitia definovaný odberateľom.
- **Kolmost' 0,03 A-B** – ide o kolmost' čela súčiastky voči referencii A a B, ak je tento kritický rozmer zlý v ďalších etapách výroby, daný rozmer nie je možné opraviť, preto sa sleduje už pri prvej operácii.

6.1.3 Proces valcovania

Pri operácii valcovanie ide o vytvorenie ozubení na koncových častiach súčiastky (obr. 15).



Obr. 15 Súčiastka po procese valcovania

Po tejto operácii sú merané a vyhodnocované tieto kritické rozmery:

- **Priemer 13,332 ($\pm 0,027$) mm** – tento priemer sa meria aj po operácii kalenia

6.1.4 Proces indukčného kalenia a popúšťania

Súčiastka prechádza procesom kalenia, po ktorom nasleduje popúšťanie. Pri indukčnom kalení je súčiastka kalená v rôznych miestach do rôznej hĺbky podľa požiadaviek zákazníka. Obr. 16 zobrazuje súčiastku po procese kalenia a popúšťania.



Obr. 16 Súčiastka po procese kalenia

Po procese kalenia a následného popúšťania sú na danej súčiastke sledované tieto kritické rozmery:

- **Dĺžka 116,64 ($\pm 0,1$) mm** - proces kalenia môže ovplyvniť finálnu veľkosť tohto rozmeru, preto je potrebné sledovať tento rozmer aj po procese kalenia
- **Priemer 13,347 ($\pm 0,027$) mm**

Po kalení nasleduje niekoľko operácií, na ktorých nie sú definované žiadne kritické rozmery a to:

- ✓ **Pranie kusov** – slúži na odstránenie častíc, ktoré vznikli po kalení. Vyrobené kusy, ktoré nie sú hneď expedované, sú olejované, aby pri ich uskladnení nedochádzalo k ich hrdzaveniu.
- ✓ **Odihličkovanie** – po prvej operácii sa vo vzniknutých otvoroch nachádzajú ostriny, ktoré sú odstraňované ručne vrtákom.
- ✓ **Závitovanie** – ide o vytvorenie závitov v diere po prvej operácii. Kontrola závitov sa vykonáva pomocou závitového kalibra.

6.1.5 Proces brúsenia

Najdôležitejšou a zároveň poslednou technologickou operáciou je brúsenie. Po operácii brúsenia je sledovaných osem kritických rozmerov pre posúdenie spôsobilosti procesu.

Obr. 17 zobrazuje súčiastku po procese brúsenia.



Obr. 17 Súčiastka po procese brúsenia

Medzi tieto kritické rozmery patria:

- **Priemer 16,012 ($\pm 0,005$) mm**
- **Priemer 16,995 ($^{+0,005}_{-0,006}$) mm**
- **Priemer 15,009 ($\pm 0,005$) mm**
- **Dĺžka 65,85 ($\pm 0,1$) mm**
- **Kruhové hádzanie 0,02 A-B**
- **Kolmost' 0,03 A-B** – proces brúsenia mierne ovplyvní kolmost', preto je potrebné tento rozmer sledovať aj po operácii brúsenie

- **Kruhovitosť 0,004** – sleduje sa na priemere D14,27
- **Drsnosť Ra ($^{0,08}_{0,025}$)** – tento rozmer je potrebné merať na priemere D14,27

Po tejto operácii nasleduje finálne pranie a vizuálna kontrola. Pri vizuálnej kontrole prebieha stopercentná kontrola ozubení, kontrola závitov pomocou závitového kalibra a kontrola možných defektov ako sú škrabance alebo hrdza. Po skontrolovaní všetkých vyrobených kusov sú pripravené na odoslanie zákazníkovi.

6.2 Meranie kritických rozmerov

Pred samotným vyhodnotením nameraných dát, je potrebné tieto dáta najskôr získať. Existuje mnoho postupov a metód, ktorými je možné získať dáta, ktoré budú neskôr vyhodnocované.

Pri súčiastke Shaft Delta je meranie rozmerov zamerané na niektoré kritické rozmery, ktoré sú dôležitým ukazovateľmi výrobného procesu pre konkrétnu operáciu. Pri tejto súčiastke ide o meranie rozmerov ako sú dĺžky, priemery, niektoré geometrické tolerancie a drsnosť. Pre každú operáciu je potrebné merať niekoľko kritických rozmerov pre účely vyhodnocovania spôsobilosti procesu. Frekvencia zberu a merania dát bude každé štyri hodiny na troch kusoch.

6.2.1 Meranie optickým meracím systémom

Pre väčšinu kritických rozmerov bude využívaný optický merací systém Opticline C305, ktorý je zobrazený na obr. 18.



Obr. 18 Optické meracie zariadenie

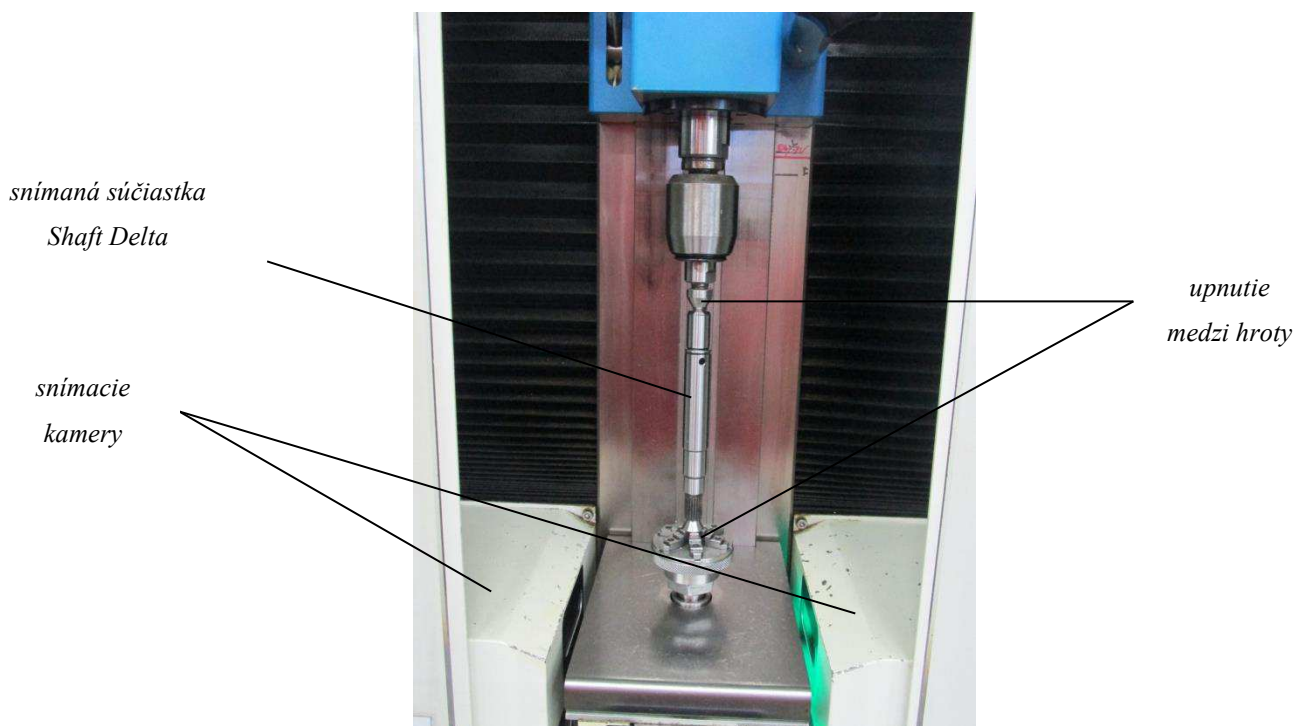
Základné údaje a parametre optického meracieho zariadenia pre meranie daných kritických rozmerov sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Základné informácie o použítom optickom meracom zariadení

Výrobca	Hommel Etamic
Typ zariadenia	Opticline C305
Rozlíšiteľnosť	0,1 μm
Rozsah merania	maximálna dĺžka 300 mm
	maximálny priemer 50 mm
Výrobcom prípustná chyba MPE	pre dĺžku: $(2,6 \mu\text{m} + L [\text{mm}] / 200) \mu\text{m}$
	pre priemer: $(1 \mu\text{m} + D [\text{mm}] / 200) \mu\text{m}$
Dátum poslednej kalibrácie	11. 1. 2018
Dátum nasledujúcej kalibrácie	10. 1. 2019

Princíp merania:

- ✓ ide o bezkontaktné meranie na základe dvoch kamier, ktoré sa pohybujú pomocou skrutkovice v smere zdola nahor a snímajú vonkajšie rozmery súčiastky
- ✓ snímaná súčiastka je upnutá v strede zariadenia medzi hrotmi a môže sa otáčať okolo svojej osi



Obr. 19 Základné časti Opticline C305

Spôsob merania a upnutia súčiastky Shaft Delta je zobrazený na obr. 19. Tento typ optického meracieho zariadenia je určený na meranie dĺžok, priemerov, uhlov, rádiusov a rôznych geometrických tolerancií (napr. kruhovitosť, obvodové hádzanie). Na základe poslednej vykonanej kalibrácie je zariadenie schopné merať s presnosťou 0,0004 mm.

Pri jednotlivých výrobných etapách pôjde o tieto konkrétne rozmery, ktoré budú merané optickým meracím systémom:

➤ **sústruženie**

- priemer 11,86 ($\pm 0,01$) mm
- dĺžka 116,68 ($\pm 0,05$) mm
- dĺžka 1,43 ($\pm 0,05$) mm
- kolmost' 0,03 A-B

➤ **kalenie**

- dĺžka 116,64 ($\pm 0,1$) mm

➤ **brúsenie**

- priemer 16,012 ($\pm 0,005$) mm
- priemer 16,995 ($^{+0,005}_{-0,006}$) mm
- priemer 15,009 ($\pm 0,005$) mm
- dĺžka 65,85 ($\pm 0,1$) mm
- obvodové hádzanie 0,02 A-B
- kolmost' 0,03 A-B
- kruhovitost' 0,004

6.2.2 Meranie priemeru po valcovaní a kalení

Pri procese valcovania dochádza k vzniku ozubení na priemere v koncovej časti súčiastky. Veľkosť daného priemeru by mala dosahovať hodnotu D 13,332 ($\pm 0,027$) mm. Po operácií kalenia a následného popúšťania dochádza vplyvom tepelného spracovania k miernemu zväčšeniu tohto priemeru. Hodnota priemeru definovaná výkresom po operácií kalenia dosahuje D 13,347 ($\pm 0,027$) mm. Tento priemer je potrebné sledovať po oboch operáciách.

Daný priemer je nutné merať v šiestich pozíciách, ktoré sú definované výkresom. Na obr. 20 je zachytený spôsob upnutia súčiastky pri meraní.



Obr. 20 Uchutenie súčiastky pri meraní daného priemeru po valcovaní a kalení

Výkres definuje tri vzdialenosti, v ktorých má byť priemer meraný a to vo vzdialenosti 3,5 mm, 8 mm a 12,5 mm od konca čela súčiastky. Následne je súčiastka otočená o 90° a daný priemer je meraný znovu v rovnakých dĺžkach.

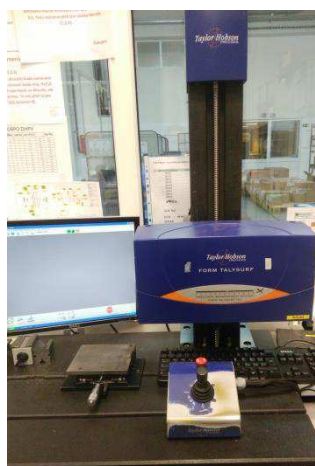
Presnú vzdialenosť od konca čela súčiastky zabezpečuje schodík, na ktorom je súčiastka pri meraní umiestnená. Priemer je meraný pomocou mikrometra s kolíkmi (obr. 21).



Obr. 21 Spôsob merania daného priemeru po valcovaní a kalení

6.2.3 Meranie drsnosti

Po procese brúsenia je sledovaná drsnosť na priemere D 14,27 mm. Drsnosť bude meraná pomocou drsnomeru zobrazeného na obr. 22.



Obr. 22 Drsnomer

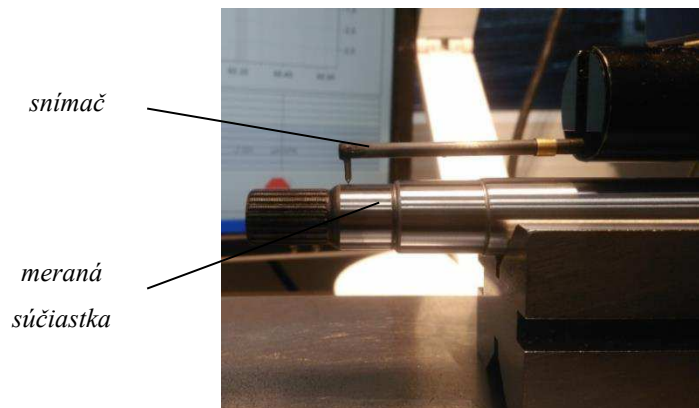
Špecifikácie použitého drsnomeru sú uvedené v tabuľke 4. Na základe poslednej vykonanej kalibrácie tohto drsnomeru bola chyba merania $0,03 \mu\text{m}$, chyba priamosti $0,1 \mu\text{m}$.

Tabuľka 4 Základné informácie o použitom drsnomeri

Výrobca	Taylor Hobson
Typ zariadenia	Form Talysurf i120
Rozlíšiteľnosť	$0,01 \mu\text{m}$
Rozsah merania	maximálna dĺžka 120 mm
Výrobcom prípustná chyba MPE	chyba tvaru na kalibračnej guli R12 maximálne $0,25 \mu\text{m}$
	chyba priamosti $0,5 \mu\text{m}$
Dátum poslednej kalibrácie	28. 2. 2018
Dátum nasledujúcej kalibrácie	27. 2. 2019

Princíp merania:

- ✓ pomocou indukčného snímača s diamantovým hrotom s rádiusom $2 \mu\text{m}$, ktorý prechádza povrchom, je snímaná štruktúra povrchu (obr. 23)



Obr. 23 Meranie drsnosti

7 SPÔSOBILOSŤ VÝROBNÉHO PROCESU PRE DANÝ VÝROBNÝ DIEL

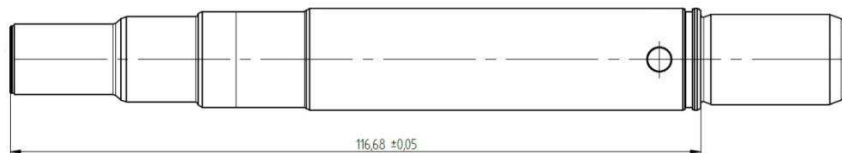
Aby bolo možné jednotlivé kritické rozmery posúdiť z hľadiska ich spôsobilosti dosahovať požadované parametre, je v úvode ich vyhodnocovania potrebné vykonať prieskumovú analýzu dát, viac známu pod skratkou EDA (exploratory data analysis). Po overení normality nameraných dát pre jednotlivé kritické rozmery nasleduje hodnotenie spôsobilosti procesu pomocou indexov spôsobilosti C_p a C_{pk} .

7.1 Sústruženie

Pri operácií sústruženia sú vyhodnocované štyri kritické rozmery. Tieto kritické rozmery sú špecifické rozmery, ktoré nie je možné ovplyvniť ďalšími operáciami. Pri operácií sústruženie sú sledované dĺžky, geometrická tolerancia kolmost' a priemer. Pre každý rozmer po operácií sústruženia je overená normalita nameraných dát a vyhodnotená spôsobilosť na základe indexov spôsobilosti C_p a C_{pk} .

7.1.1 Kritický rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm

Na obr. 24 je rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm definovaný na súčiastke. Po technologickej operácií sústruženie je čiastočne ovplyvnený tento rozmer operáciou kalenia, preto sa vyhodnocuje aj po operácií kalenie.



Obr. 24 Kritický rozmer L 116,68($\pm 0,05$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

Úvodné informácie o nameraných dátach boli získané na základe metodiky EDA. Tabuľka 4 predstavuje súhrn základných nástrojov použitých pri metodike EDA.

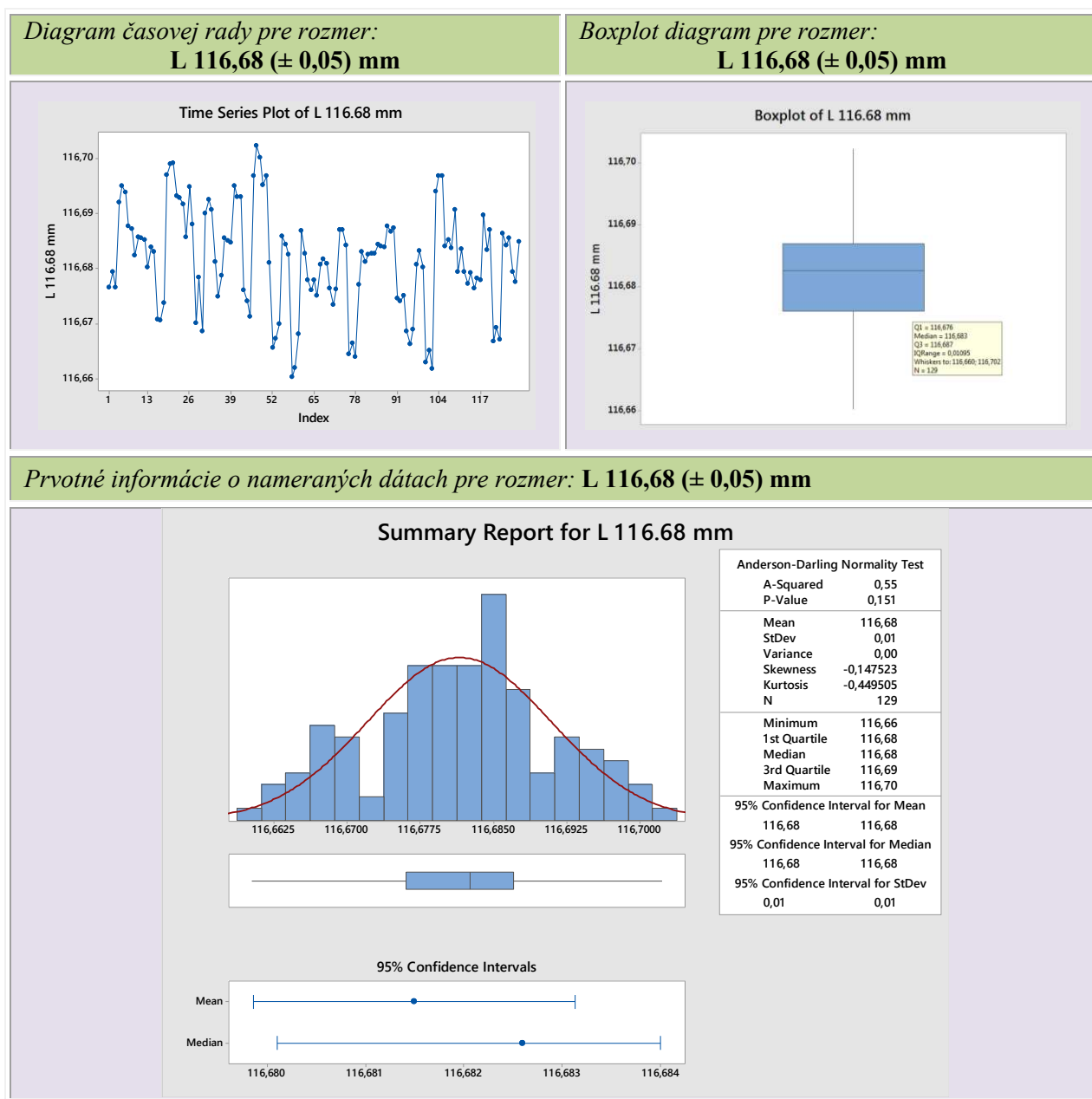
Diagram časovej rady pre rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm zobrazuje priebeh merania. Nie sú tu pozorované žiadne trendy a v meraniach možno vidieť variabilitu. Na proces pôsobia len náhodné vplyvy, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta.

Druhým použitým grafickým nástrojom je **boxplot diagram**, ktorý na základe tvaru nesignalizuje asymetriu dát. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti $\gamma_3 = -0,147$. V dátach nie sú vychýlené hodnoty, čo predpokladá normalitu dát. Z tabuľky 4 pre

boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 116,676$ mm a pre horný kvartil platí $Q_3 = 116,687$ mm.

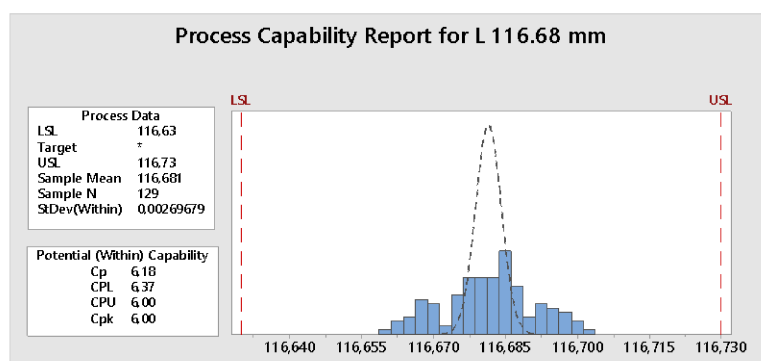
Počiatočnú informáciu o normalite dát zobrazuje taktiež *histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval* uvedený v tabuľke 5. Anderson-Darlingov test overuje normalitu dát. P-hodnota, ktorá je 0,151, naznačuje, že pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$ má sledovaný znak kvality normálne rozdelenie.

Tabuľka 5 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 116,68 (\pm 0,05)$ mm pomocou metodiky EDA



Výsledná hodnota pre *smerodajnú odchýlku* je 0,0027, *aritmetický priemer* je 116,681 mm a pre *medián* je 116,683 mm. Rozdiel medzi hodnotou priemeru a hodnotou mediánu je nízky a teda uvedené hodnoty sa od seba líšia v malej miere, preto sa normalita nameraných dát pre rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm nezamieta.

Ďalší krok predstavuje výpočet odhadov indexov spôsobilosti výrobného procesu. Na obr. 25 je zobrazený histogram s preloženou krivkou hustoty normálneho rozdelenia ohraničený tolerančnými hranicami.



Obr. 25 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 6,18$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 6,00$

Vyššia hodnota indexu spôsobilosti môže byť spôsobená niekoľkými faktormi a to:

- zle určenými tolerančnými hranicami
- vysoko presnou výrobou
- nízkym rozptylom a vysokou toleranciou

Tolerančné hranice sú definované výkresom a optické meracie zariadenie pre meranie tohto rozmeru je schopné vysoko presného merania. Takže vysoká hodnota indexu C_p je daná nízkym rozptylom pri vysokej tolerancii. Aj napriek vysokému indexu spôsobilosti $C_p = 6,18$ ide o proces, ktorý je stabilný. Na základe hodnoty $C_{pk} = 6,00$ je histogram centrovaneho približne v strede tolerančných hraníc. Umiestnenie histogramu vo väčšej vzdialenosti od dolnej a hornej tolerančnej hranice môže byť spôsobené vysokou presnosťou optického meracieho zariadenia pomocou, ktorého je tento rozmer meraný. Histogram je viacvrcholový, čo môže byť príčinou napr. výmeny nástroja v priebehu zberu dát.

7.1.2 Kritický rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm

Ďalším rozmerom sledovaným pri procese sústruženia je priemer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm, ktorý je znázornený na súčiastke na obr. 26. Tento rozmer je dôležitým z hľadiska ďalšej operácie a to valcovania, pri ktorej sa v tejto oblasti vytvára ozubenie.



Obr. 26 Kritický rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

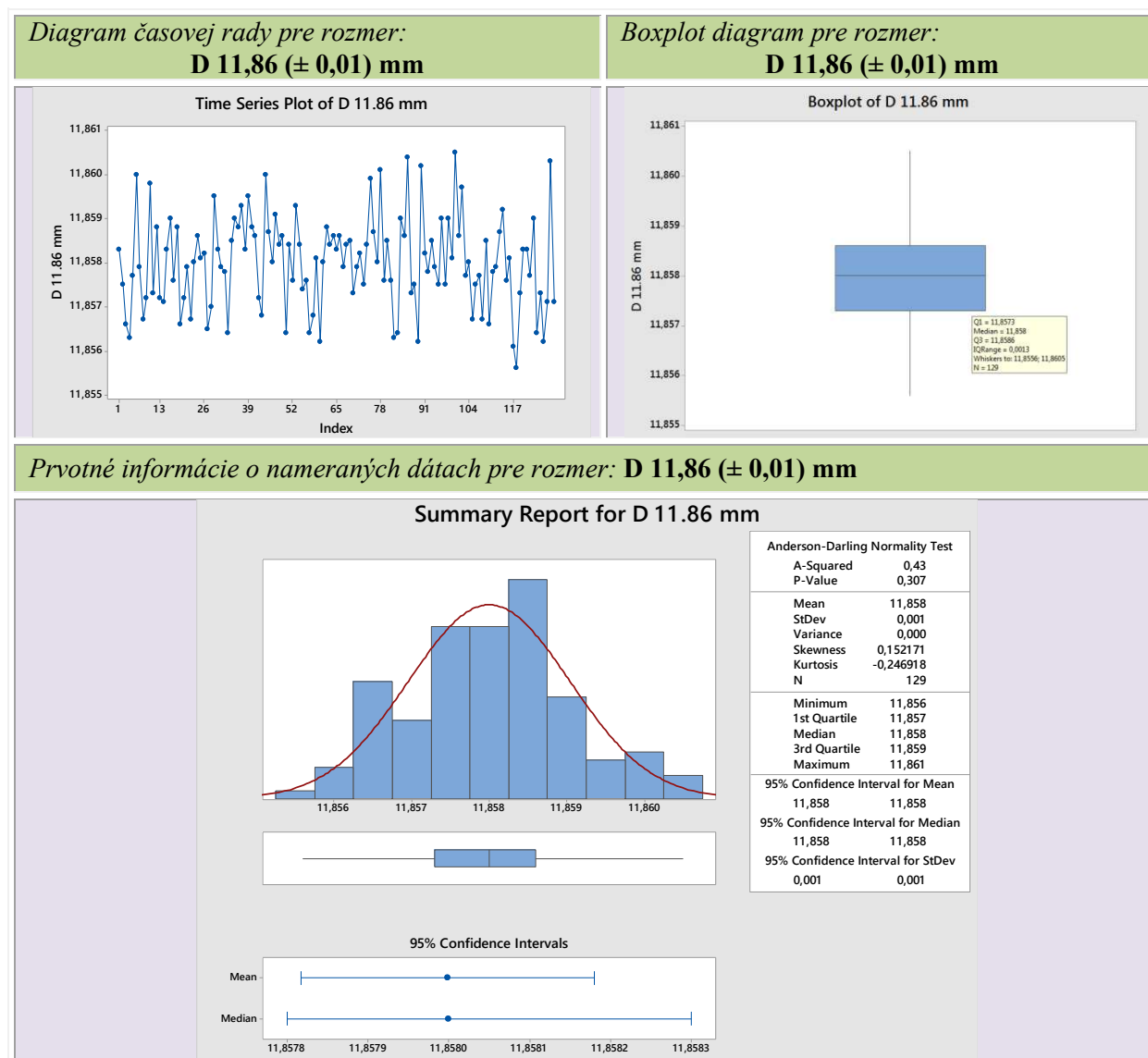
Metodika EDA poskytuje prvotné informácie uvedené v tabuľke 3. Aj pre rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm je overená normalita dát.

Priebeh merania je graficky znázornený pomocou **diagramu časovej rady** v tabuľke 3, kde nie je pozorovaný trend. Na proces pôsobia len náhodné vplyvy, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta.

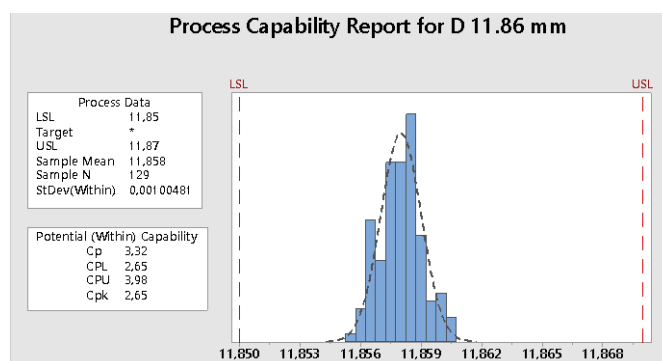
Boxplot diagram nevykazuje žiadne vychýlené hodnoty a symetrické rozdelenie, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti $\gamma_3 = 0,152$. Z tabuľky 5 pre boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 11,8573$ mm a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 11,8586$ mm.

Histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval uvedený v tabuľke 5 znázorňuje normalitu nameraných dát, o čom informuje aj Anderson-Darlingov test pre overenie normality dát, kde p - hodnota je 0,307 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, čo vykazuje normálne rozdelenie nameraných dát.

Výsledná hodnota pre **smerodajnú odchýlku** je 0,001, **aritmetický priemer** je 11,858 mm a pre **medián** je 11,858 mm. Hodnota aritmetického priemeru a hodnota mediánu sú rovnaké, čo naznačuje symetriu dát. Normalita nameraných dát pre rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm sa nezamieta.

Tabuľka 6 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 11,86 (\pm 0,01)$ mm pomocou metodiky EDA

Na základe normality dát je vypočítaný index spôsobilosti pre priemer $D\ 11,86 (\pm 0,01)$ mm pomocou softvéru Minitab (obr. 27).

Obr. 27 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 11,86 (\pm 0,01)$ mm

Histogram zobrazený na obr. 27 naznačuje spôsobilosť procesu. Vyššia hodnota indexu $C_p = 3,32$ udáva, že rozptyl je nízky pri danej vysokej tolerancii.

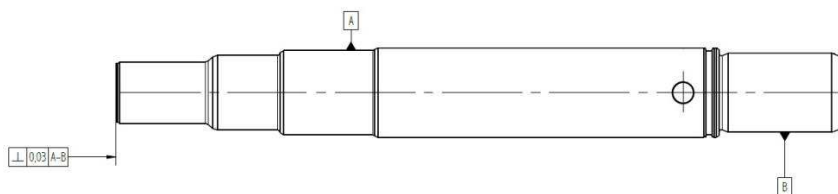
Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 3,32$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 2,65$

Proces je od stredu tolerančného poľa mierne centrovaný k dolnej tolerančnej hranici čo, naznačuje aj nižší index C_{pk} oproti indexu C_p . Histogram vykazuje normálne rozdelenie nameraných dát, ktorý nepresahuje svoje tolerančné hranice. Aj v tomto prípade ide o štatisticky zvládnutý proces.

7.1.3 Kritický rozmer $\perp 0,03$ A-B

Na obr. 28 je znázornený kritický rozmer $\perp 0,03$ A-B. Ide o kolmosť čela súčiastky voči referencii A a referencii B. Tento rozmer sa sleduje už pri prvej operácii z toho dôvodu, že v neskorších operáciách ho nie je možné ovplyvniť.

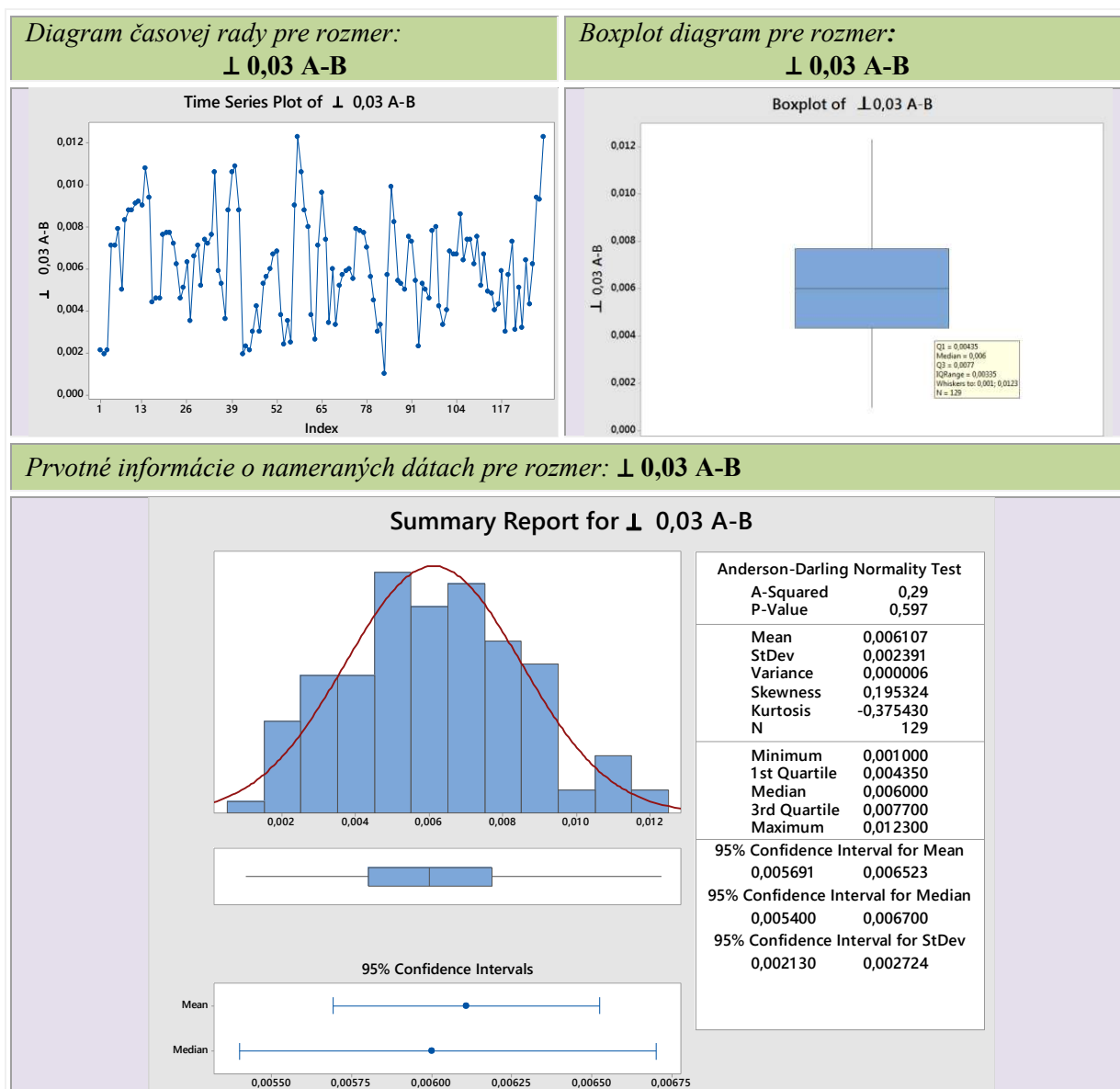


Obr. 28 Kritický rozmer $\perp 0,03$ A-B definovaný na súčiastke Shaft Delta

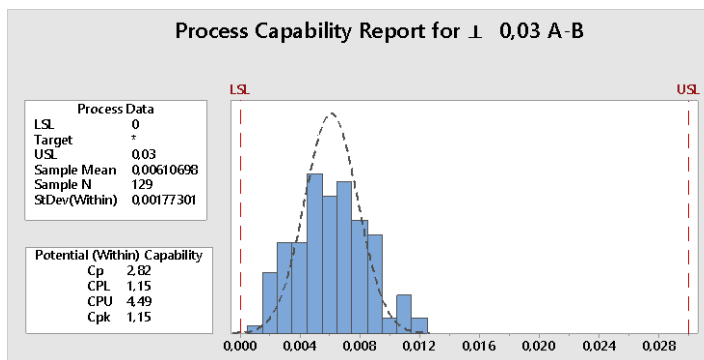
Diagram časovej rady pre rozmer $\perp 0,03$ A-B, ktorý zobrazuje priebeh meraní, nenaznačuje trend v nameraných dátach, a teda na proces pôsobia len náhodné vplyvy, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta.

Boxplot diagram nevykazuje žiadne vychýlené hodnoty, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta, ale na základe tvaru box plot diagramu možno pozorovať v nameraných dátach mierne kladné zošikmenie. Keďže hodnota koeficientu šikmosti $\gamma_3 = 0,195$ nie je vysoká, ide o symetrické rozdelenie. Z tabuľky 7 pre boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 0,00435$ a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 0,0077$.

Normalita nameraných dát pre rozmer $\perp 0,03$ A-B je overená zostrojením **histogramu s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti, 95 %-ný konfidenčný intervalom**, a tiež použitím Anderson-Darlingovho testu, pričom p - hodnota sa rovná 0,597 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, čo vykazuje normálne rozdelenie nameraných dát (tabuľka 7).

Tabuľka 7 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $\perp 0,03$ A-B pomocou metodiky EDA

Výsledná hodnota pre *smerodajnú odchýlku* je 0,00177, *aritmetický priemer* je 0,00617 a pre *medián* je 0,006. Rozdiel medzi danými hodnotami je 0,00017 a preto normalita dát nie je zamietnutá. Obr. 29 zobrazuje výsledné vyhodnotenie spôsobilosti pre rozmer $\perp 0,03$ A-B.



Obr. 29 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer \perp 0,03 A-B

Hodnota indexu C_{pk} je nízka, čo je možné vidieť aj na histograme, ktorý je posunutý k dolnej tolerančnej hranici vzhľadom na stred tolerancie.

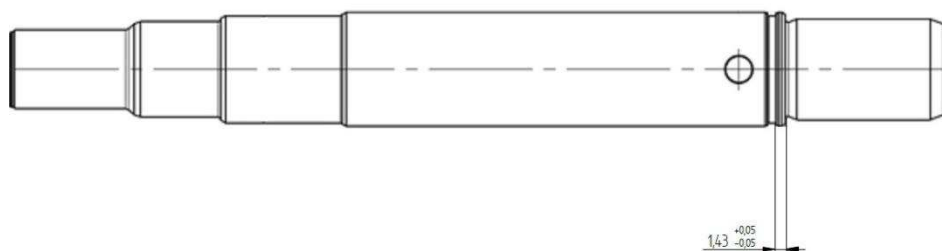
Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 2,82$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,15$

Výrobný proces sa nachádza v užších tolerančných hraniciach ako sú predpísané, ale proces nie je centrován na stred tolerancie. V tomto prípade to nie je chyba, pretože ide o geometrickú toleranciu kolmost' a v procese výroby je potrebné dosahovať čo najmenšie odchýlky od kolmosti. Keďže sa proces nachádza vo vnútri tolerančných hraníc, ide o stabilný proces.

7.1.4 Kritický rozmer L 1,43 ($\pm 0,05$) mm

Medzi kritické rozmery pre proces sústruženia patrí aj dĺžka L 1,43 ($\pm 0,05$) mm. Tento rozmer je definovaný na obr. 30.



Obr. 30 Kritický rozmer L 1,43 ($\pm 0,05$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

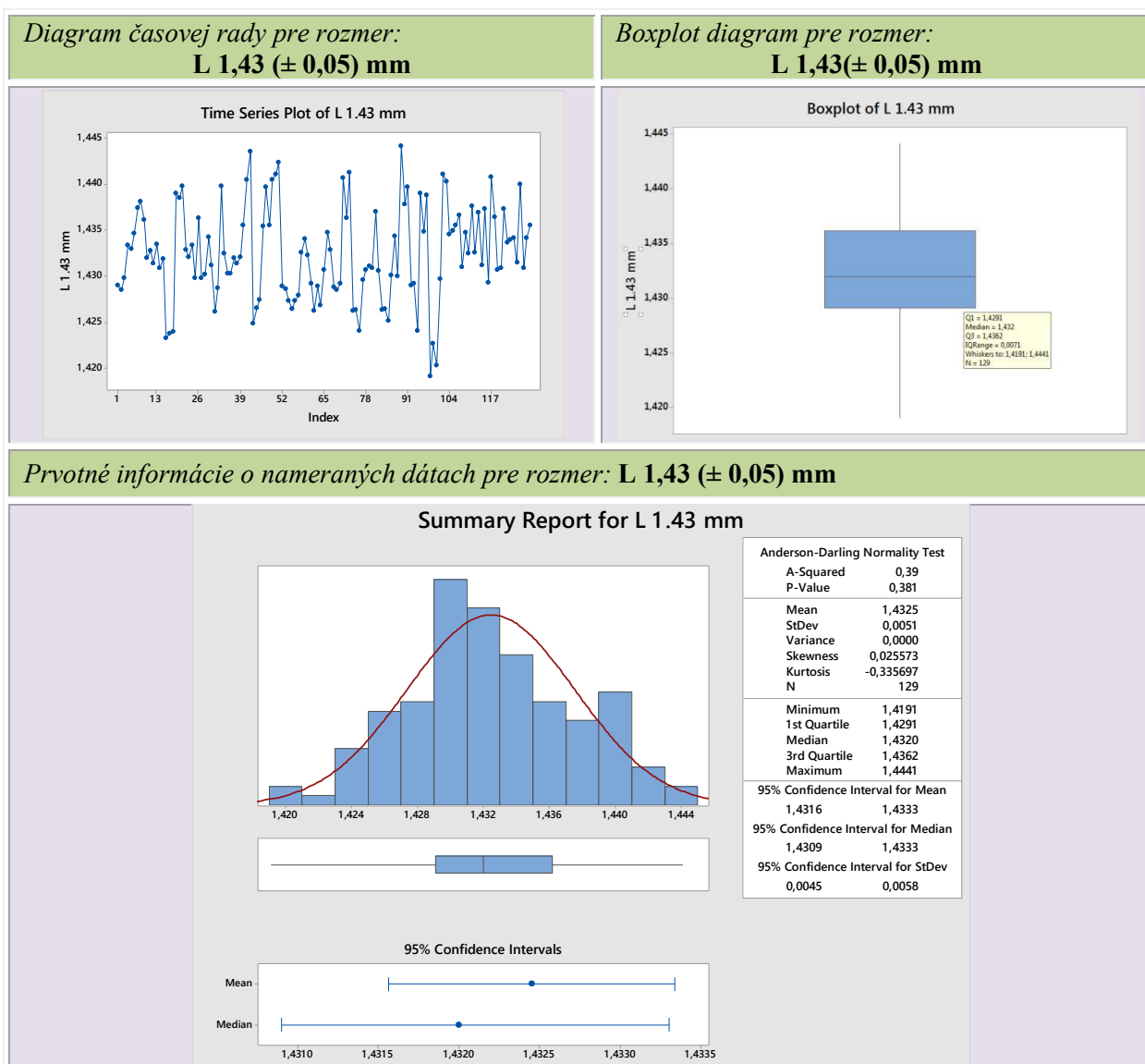
Diagram časovej rady, ktorý zobrazuje priebeh merania (tabuľka 8) pre rozmer L 1,43 ($\pm 0,05$) mm nezobrazuje trend v meraniach. Na proces pôsobia len náhodné vplyvy, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta.

Boxplot diagram nezobrazuje v nameraných dátach vychýlené hodnoty. Tvar diagramu predpokladá symetrické rozdelenie. Symetrické rozdelenie je overené pomocou

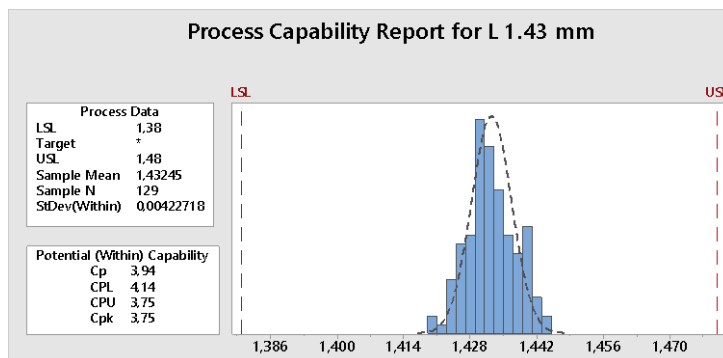
koeficientu šikmosti γ_3 . Tento koeficient bol vypočítaný pomocou softvéru Minitab a jeho hodnota je 0,025, čo naznačuje nepatrnú kladnú šikmosť, a teda dáta možno považovať za normálne rozdelené. Z tabuľky 8 pre Boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 1,4291$ mm a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 1,4362$ mm.

Histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval (tabuľka 8) poskytuje prvotnú informáciu o nameraných dátach pre daný rozmer. Tvar histogramu predstavuje normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát. Anderson-Darlingov test overuje normalitu dát. P-hodnota, ktorá je 0,381, naznačuje, že pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$ má sledovaný znak kvality normálne rozdelenie.

Tabuľka 8 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L 1,43 (\pm 0,05)$ mm pomocou metodiky EDA



Výsledná hodnota *smerodajnej odchýlky* je 0,0042. Pre výsledný *aritmetický priemer* platí hodnota 1,4325 mm a pre *medián* 1,432 mm. Keďže medzi týmito dvomi hodnotami je rozdiel iba 0,0005, a teda normalita nameraných dát sa nezamieta.



Obr. 31 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $L\ 1,43 (\pm 0,05)$ mm

Podľa histogram na obr. 31 ide o spôsobilý proces. Tvar histogramu nenaznačuje dáta s iným rozdelením ako je normálne.

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 3,94$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 3,75$

Vyššia hodnota indexu spôsobilosti môže byť spôsobená niekoľkými faktormi a to:

- zle určenými tolerančnými hranicami
- vysoko presnou výrobou
- nízkym rozptylom a vysokou toleranciou

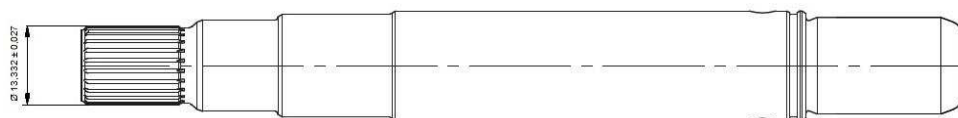
Tolerančné hranice sú určené výkresovou dokumentáciou, optické meracie zariadenie pre meranie daného rozmeru je schopné vysoko presného merania. Vyššia hodnota indexu $C_p = 3,94$ je preto daná nízkym rozptylom pri danej vysokej tolerancii. Proces je od stredu tolerančného poľa mierne centrovaný k hornej tolerančnej hranici.

7.2 Valcovanie

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcich častiach, pri procese valcovania je vytvorené ozubenie v koncovej časti súčiastky. Pri tejto operácii sa sleduje len jeden kritická rozmer, a to priemer na vytvorenom ozubení. dáta budú vyhodnocované pre polohu merania v 0° a pre polohu merania v 90° .

7.2.1 Kritický rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm

Na obr. 32 je definované umiestnenie sledovaného kritického rozmeru D 13,332 ($\pm 0,027$) mm. Ide o meranie daného priemeru v troch rôznych vzdialenostiach od konca čela súčiastky a následné pootočené kusu o 90° a meranie v tých istých vzdialenostiach ako bolo uvedené v časti 6.2.2.



Obr. 32 Kritický rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

a) vyhodnotenie dát meraných v polohe 0°

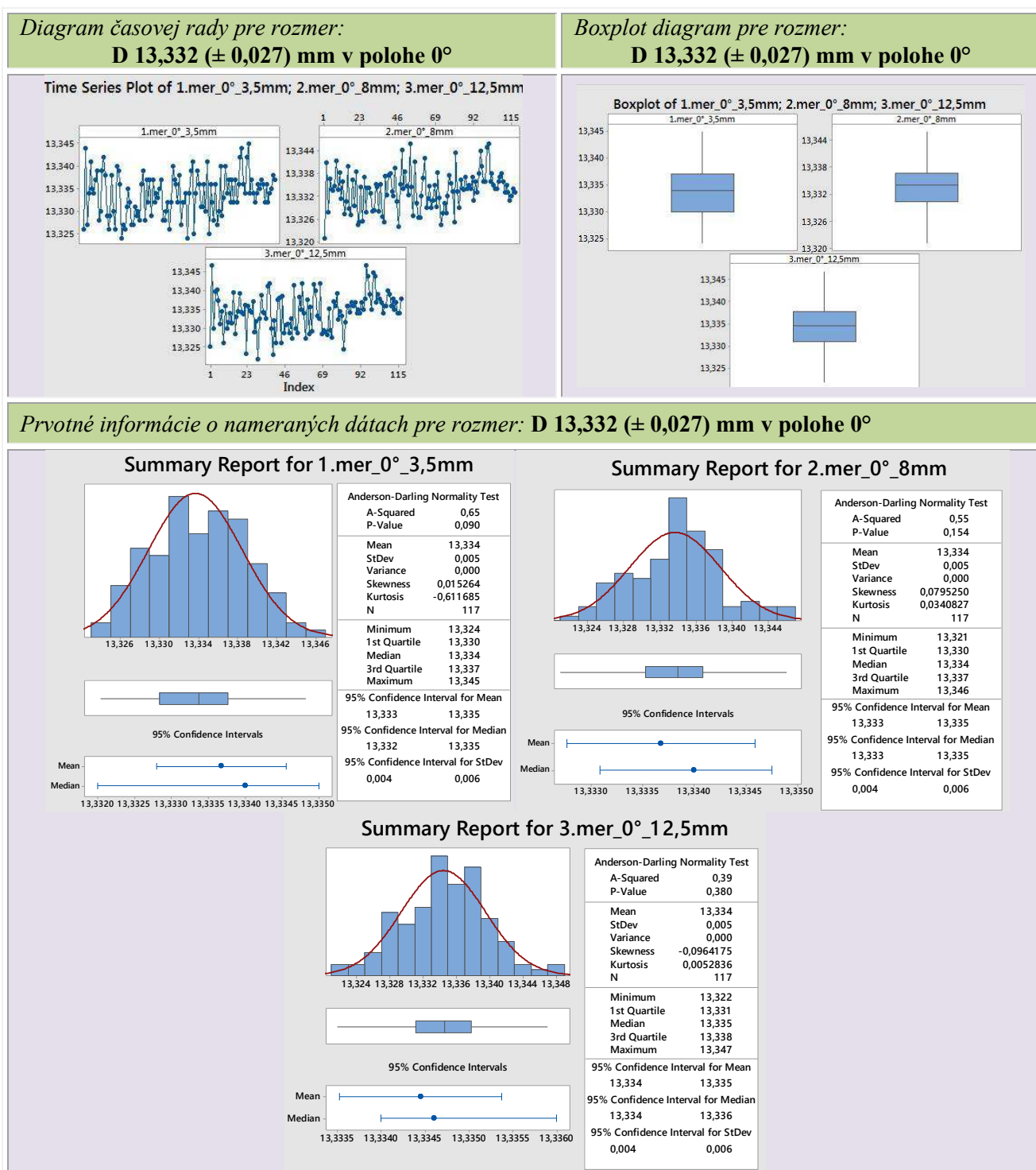
V tabuľke 9 sú vyhodnotené namerané dáta prostredníctvom softvéru Minitab pri meraní priemeru D 13,332 ($\pm 0,027$) mm v polohe 0° .

Z tabuľky 9 vyplýva, že namerané dáta pre polohu 0° vo vzdialenosti 3,5 mm, 8 mm a 12,5 mm majú normálne rozdelenie pravdepodobnosti.

Diagramy časovej rady pre kritický rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm meraný v jednotlivých vzdialenostiach nezobrazujú v meraných dátach trend, a teda možno predpokladať, že ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát.

Boxplot diagram na základe tvaru pre jednotlivé merania nesignalizuje asymetriu dát. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti. Pre meranie vo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky je koeficient šikmosti $\gamma_3 = 0,015$, pre vzdialenosť 8 mm $\gamma_3 = 0,079$ a pre vzdialenosť 12,5 mm $\gamma_3 = -0,096$. Hodnoty koeficientov šikmosti sú nízke, preto možno predpokladať normálne rozdelenie nameraných dát. V dátach nie sú vychýlené hodnoty, čo taktiež predpokladá normalitu dát.

Tabuľka 9 zobrazuje **histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval** pre jednotlivé merania. Anderson-Darlingov test overuje normalitu dát. Všetky výsledné p – hodnoty sú väčšie ako 0,005 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, čo predpokladá normálne rozdelenie pravdepodobnosti sledovaného znaku kvality.

Tabuľka 9 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm pomocou metodiky EDA

Výsledné hodnoty *kvartilov*, *p* – *hodnoty*, *smerodajnej odchýlky*, *mediánu* a *aritmetického priemeru* pre jednotlivé merania vyplývajúce z tabuľky 9 sú:

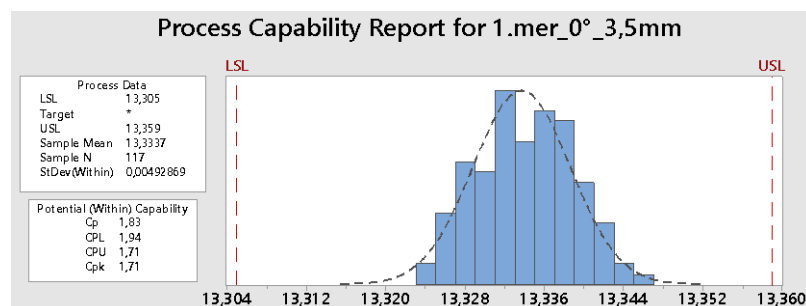
✓ 1. meranie zo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky:

- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$

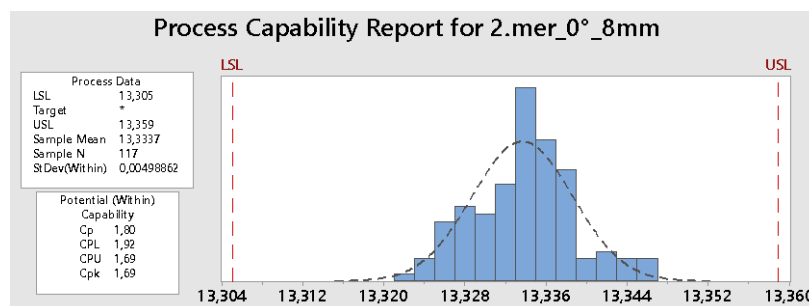
- medián $\tilde{x} = 13,334$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,334$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,330$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,337$ mm
 - p – hodnota = 0,090
- ✓ 2. meranie vo vzdialenosti 8 mm od konca čela súčiastky:
- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
 - medián $\tilde{x} = 13,334$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,334$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,330$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,337$ mm
 - p – hodnota = 0,154
- ✓ 3. meranie vo vzdialenosti 12,5 mm od konca čela súčiastky:
- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
 - medián $\tilde{x} = 13,335$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,334$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,331$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,338$ mm
 - p – hodnota = 0,380

Rozdiel medzi hodnotou priemeru a hodnotou mediánu pre jednotlivé merania je nízky, uvedené hodnoty sa od seba líšia v malej miere, preto sa normalita nameraných dát pre rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm v jednotlivých vzdialenostiach od konca čela súčiastky nezamieta.

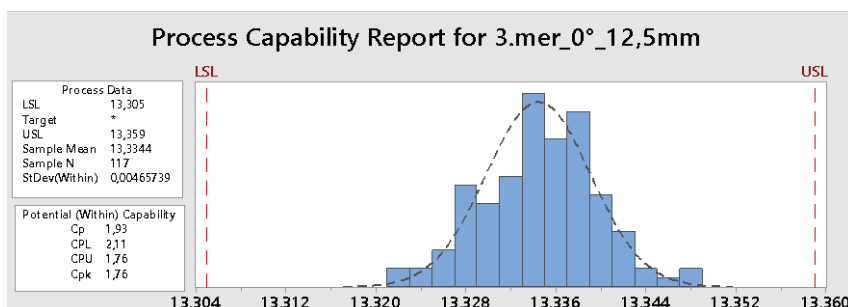
Rovnako aj obr. 33, 34 a 35 poukazujú na spôsobilosť procesu, ktorý je umiestnený vo svojich tolerančných hraniciach. Hodnoty indexov vo všetkých prípadoch naznačujú, že proces je centrovaný k hornej tolerančnej hranici. Vo všetkých prípadoch ide o štatisticky spôsobilý proces.



Obr. 33 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm
v polohe $0^\circ - 3,5$ mm



Obr. 34 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm
v polohe $0^\circ - 8$ mm



Obr. 35 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm
v polohe $0^\circ - 12,5$ mm

b) vyhodnotenie dát meraných v polohe 90°

V tabuľke 10 sú vyhodnotené namerané dáta prostredníctvom softvéru Minitab pri meraní priemeru $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm v polohe 90° .

Tabuľka 10 zobrazuje jednotlivé nástroje pre overenie normality nameraných dát v polohe 90° vo vzdialenosti 3,5 mm, 8 mm a 12,5 mm.

Diagramy časovej rady pre kritický rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm meraný v jednotlivých vzdialenostiach nezobrazujú v meraných dátach trend, a teda možno predpokladať, že ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát.

Boxplot diagram na základe tvaru pre jednotlivé merania nezobrazuje asymetriu dát. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti. Pre meranie vo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky je koeficient šikmosti $\gamma_3 = -0,025$, pre vzdialenosť 8 mm $\gamma_3 = -0,334$ a pre vzdialenosť 12,5 mm $\gamma_3 = 0,163$. Hodnoty koeficientov šikmosti sú nízke, preto možno predpokladať normálne rozdelenie nameraných dát. V dátach nie sú vychýlené hodnoty, čo predpokladá normalitu dát.

V tabuľke 10 zobrazuje **histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval** pre jednotlivé merania. Pomocou Anderson-Darlingovho testu je overená normality nameraných dát. Keďže všetky výsledné p – hodnoty sú väčšie ako 0,005 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti sledovaného znaku kvality.

Výsledné hodnoty **kvartilov**, **p – hodnoty**, **smerodajnej odchýlky**, **mediánu** a **aritmetického priemeru** pre jednotlivé merania vyplývajúce z tabuľky 10 sú:

✓ 1. meranie zo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky:

- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
- medián $\tilde{x} = 13,335$ mm
- aritmetický priemer $\bar{x} = 13,334$ mm
- dolný kvartil $Q_1 = 13,330$ mm
- horný kvartil $Q_3 = 13,337$
- p – hodnota = 0,149

✓ 2. meranie vo vzdialenosti 8 mm od konca čela súčiastky:

- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
- medián $\tilde{x} = 13,334$ mm
- aritmetický priemer $\bar{x} = 13,334$ mm
- dolný kvartil $Q_1 = 13,331$ mm
- horný kvartil $Q_3 = 13,337$ mm
- p – hodnota = 0,041

✓ 3. meranie vo vzdialenosti 12,5 mm od konca čela súčiastky:

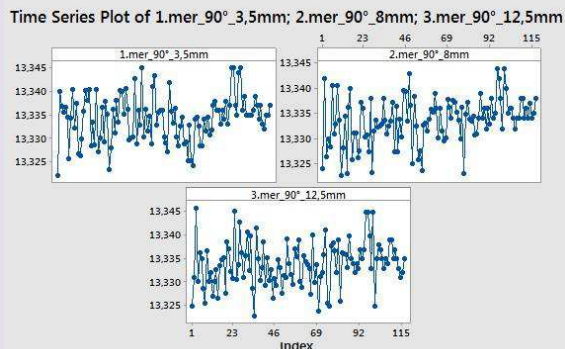
- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
- medián $\tilde{x} = 13,334$ mm
- aritmetický priemer $\bar{x} = 13,334$ mm
- dolný kvartil $Q_1 = 13,331$ mm

- horný kvartil $Q_3 = 13,337$ mm
- p – hodnota = 0,502

Tabuľka 10 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm pomocou metodiky EDA

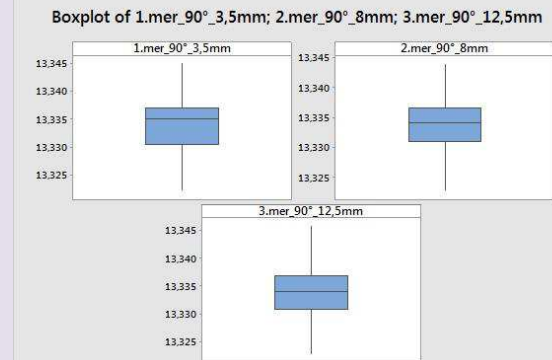
Diagram časovej rady pre rozmer:

D 13,332 ($\pm 0,027$) mm v polohe 90°



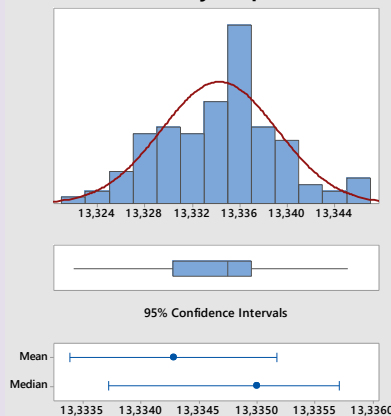
Boxplot diagram pre rozmer:

D 13,332 ($\pm 0,027$) mm v polohe 90°



Prvotné informácie o nameraných dátach pre rozmer: **D 13,332 ($\pm 0,027$) mm v polohe 90°**

Summary Report for 1.mer_90°_3,5mm



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0,55
P-Value	0,149
Mean	13,334
StDev	0,005
Variance	0,000
Skewness	-0,0259158
Kurtosis	-0,0904178
N	117

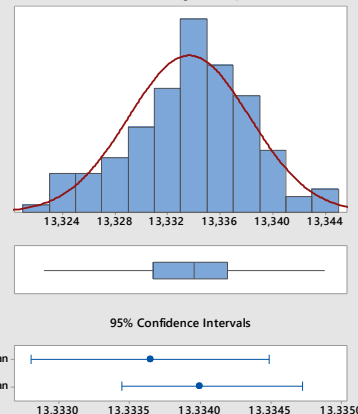
Minimum	13,322
1st Quartile	13,330
Median	13,335
3rd Quartile	13,337
Maximum	13,345

95% Confidence Interval for Mean
13,333 13,335

95% Confidence Interval for Median
13,334 13,336

95% Confidence Interval for StDev
0,004 0,006

Summary Report for 2.mer_90°_8mm



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0,78
P-Value	0,041
Mean	13,334
StDev	0,005
Variance	0,000
Skewness	-0,334799
Kurtosis	0,066500
N	117

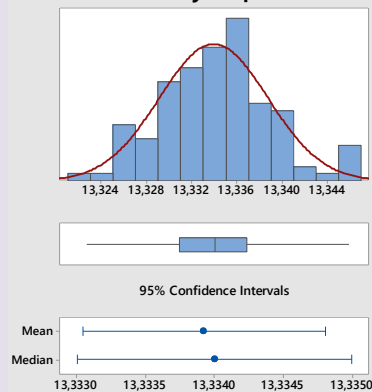
Minimum	13,323
1st Quartile	13,331
Median	13,334
3rd Quartile	13,337
Maximum	13,344

95% Confidence Interval for Mean
13,333 13,334

95% Confidence Interval for Median
13,333 13,335

95% Confidence Interval for StDev
0,004 0,005

Summary Report for 3.mer_90°_12,5mm



Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0,34
P-Value	0,502
Mean	13,334
StDev	0,005
Variance	0,000
Skewness	0,163088
Kurtosis	0,081519
N	117

Minimum	13,323
1st Quartile	13,331
Median	13,334
3rd Quartile	13,337
Maximum	13,346

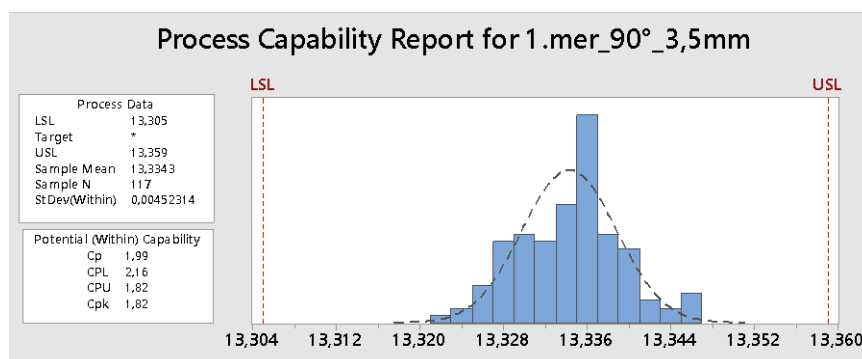
95% Confidence Interval for Mean
13,333 13,335

95% Confidence Interval for Median
13,333 13,335

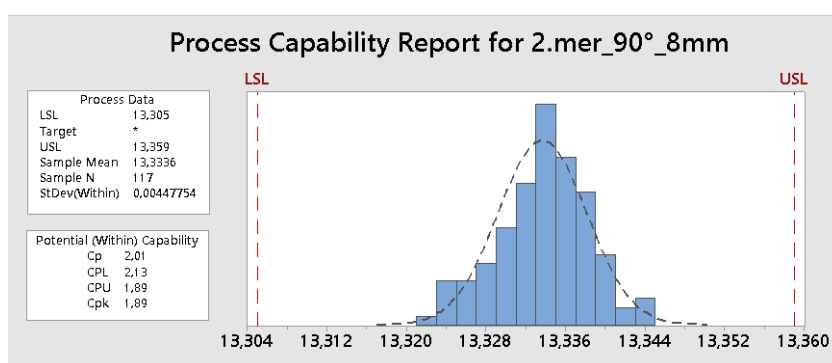
95% Confidence Interval for StDev
0,004 0,006

Hodnoty priemerov a hodnoty mediánov sú rovnaké až na jedno meranie, kde sa tieto hodnoty od seba líšia len v malej miere, preto sa normalita nameraných dát pre rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm v jednotlivých vzdialenostiach od konca čela súčiastky nezamieta.

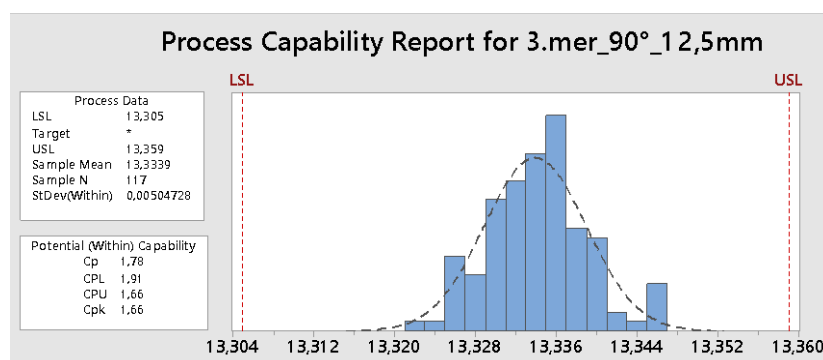
Hodnoty indexov vo všetkých prípadoch naznačujú že proces je centrovaný viac k hornej tolerančnej hranici. Namerané dáta pre pozíciu 90° sa nachádzajú vo svojich tolerančných hraniciach, a teda ide o spôsobilý proces, o čom svedčia aj obr. 37, 38 a 39.



Obr. 36 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm
v polohe 90° - 3,5 mm

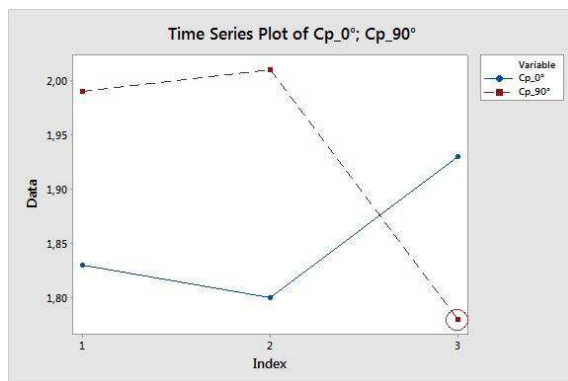


Obr. 37 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm
v polohe 90° - 8 mm



Obr. 38 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm
v polohe 90° - 12,5 mm

Na obr. 39 je vyznačená minimálna kritická hodnota indexu C_p , pričom modrá čiara predstavuje výsledné indexy spôsobilosti pre polohu 0° a hnedá čiara znázorňuje výsledné indexy spôsobilosti pre polohu 90° v jednotlivých vzdialenostiach.



Obr. 39 Diagram časovej rady pre indexy spôsobilosti C_p

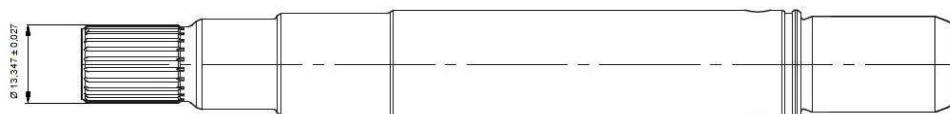
Aj napriek meraniu a vyhodnoteniu rozmeru $D\ 13,322 (\pm 0,027)$ mm v šiestich bodoch, kritická hodnota predstavuje najnižšiu hodnotu spomedzi indexov. V tomto prípade ide o namerané dáta pre pozíciu 90° vo vzdialenosti 12,5 mm od konca čela súčiastky a to $C_p = 1,78$. Minimálna hodnota spomedzi indexov C_p je dôležitá pri prevzatí celej výrobnéj dávky pre tento rozmer, a preto pôjde o kritickú hodnotu.

7.3 Kalenie

Rovnako ako pri procese valcovania, tak aj pri procese kalenia je na danej súčiastke sledovaný priemer v koncovej časti súčiastky. Keďže pri procese kalenia dochádza vplyvom tepelného spracovania k malému zväčšeniu, je tento priemer definovaný výkresom ako $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm. Pri procese kalenie je ďalej sledovaná dĺžka $L\ 116,64 (\pm 0,1)$ mm.

7.3.1 Kritický rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm

Na obr. 40 je zobrazený kritický rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm. Podobne ako pri valcovaní sa tento priemer meria v troch rôznych dĺžkach od konca čela súčiastky v polohe 0° a pootočenom kuse o 90° .



Obr. 40 Kritický rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

a) vyhodnotenie dát meraných v polohe 0°

V tabuľke 11 sú vyhodnotené namerané dáta prostredníctvom softvéru Minitab pri meraní priemeru $D = 13,347 (\pm 0,027)$ mm v polohe 0° s použitím základných nástrojov pre overenie normality nameraných dát.

Diagramy časovej rady pre kritický rozmer $D = 13,347 (\pm 0,027)$ mm meraný v jednotlivých vzdialenostiach nezobrazujú v meraných dátach trend, a teda možno predpokladať, že ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát. Tvar

Boxplot diagramu pre jednotlivé merania nezobrazuje asymetriu dát. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti. Pre meranie vo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky je koeficient šikmosti $\gamma_3 = 0,035$, pre vzdialenosť 8 mm $\gamma_3 = -0,240$ a pre vzdialenosť 12,5 mm $\gamma_3 = -0,127$. Hodnoty koeficientov šikmosti sú nízke, preto možno predpokladať normálne rozdelenie nameraných dát. V dátach nie sú vychýlené hodnoty a dáta naznačujú normálne rozdelenie pravdepodobnosti sledovaného znaku kvality.

Tabuľka 11 zobrazuje **histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval** pre jednotlivé merania. Anderson-Darlingov test overuje normalitu dát. Všetky výsledné p – hodnoty dosahujú hodnotu väčšiu ako 0,005 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, čo je predpokladom pre normálne rozdelenie pravdepodobnosti.

Výsledné hodnoty **kvartilov, p – hodnoty, smerodajnej odchýlky, mediánu a aritmetického priemeru** pre jednotlivé merania vyplývajúce z tabuľky 11 sú:

✓ 1. meranie zo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky:

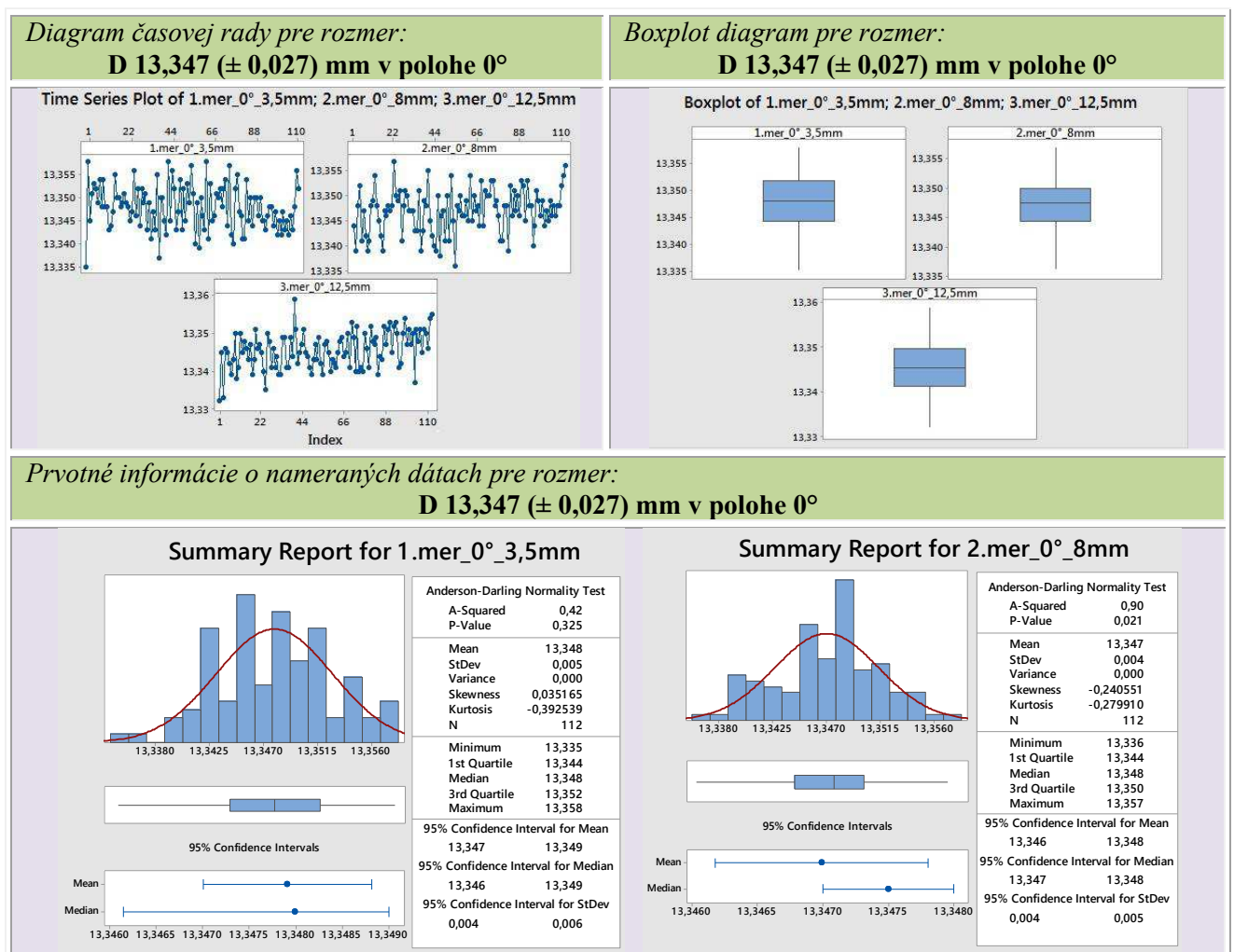
- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
- medián $\tilde{x} = 13,348$ mm
- aritmetický priemer $\bar{x} = 13,348$ mm
- dolný kvartil $Q_1 = 13,344$ mm
- horný kvartil $Q_3 = 13,352$ mm
- p – hodnota = 0,325

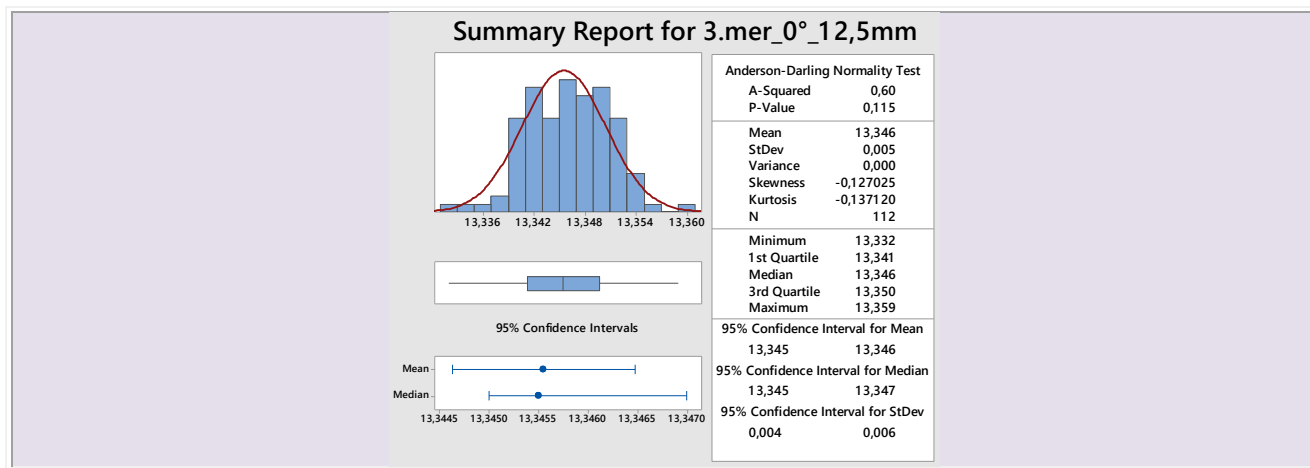
✓ 2. meranie vo vzdialenosti 8 mm od konca čela súčiastky:

- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,004$
- medián $\tilde{x} = 13,348$ mm

- aritmetický priemer $\bar{x} = 13,347$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,344$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,350$ mm
 - p – hodnota = 0,021
- ✓ 3. meranie vo vzdialenosti 12,5 mm od konca čela súčiastky:
- smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
 - medián $\tilde{x} = 13,346$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,346$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,341$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,350$ mm
 - p – hodnota = 0,115

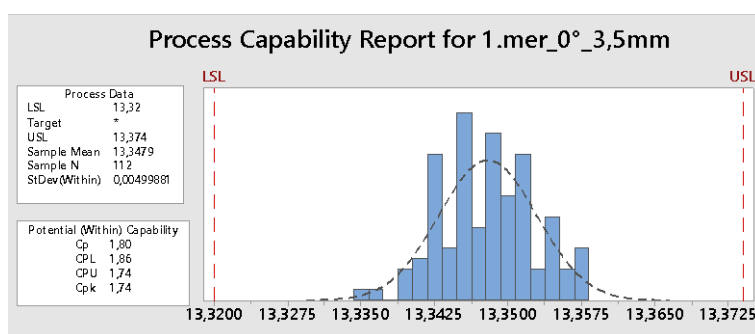
Tabuľka 11 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm pomocou metodiky EDA



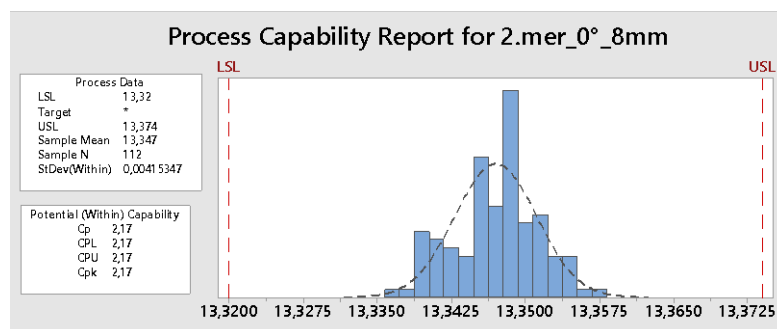


Výsledné hodnoty jednotlivých meraní pre aritmetický priemer a medián sa od seba navzájom nelíšia alebo sa líšia len v malej miere, na základe čoho normalita nameraných dát pre kritický rozmer D 13,347 ($\pm 0,027$) mm nie je zamietnutá.

Spôsobilosť procesu zobrazujú aj obr. 41, 42, 43, kde všetky histogramy pre každú vzdialenosť sa nachádzajú vo svojich tolerančných hraniciach. Pri dátach vo vzdialenosti 3,5 mm a 12,5 mm možno vidieť intervaly s nulovou početnosťou dát. Príčinu týchto nedostatkov je nutné zistiť. Pri zisťovaní príčiny sa prišlo nato, že zodpovedný pracovník, za zápis daného rozmeru, zabudol zmerať v stanovenom čase dané chýbajúce hodnoty. Takýmto chybám je nutné sa v budúcnosti vyvarovať.

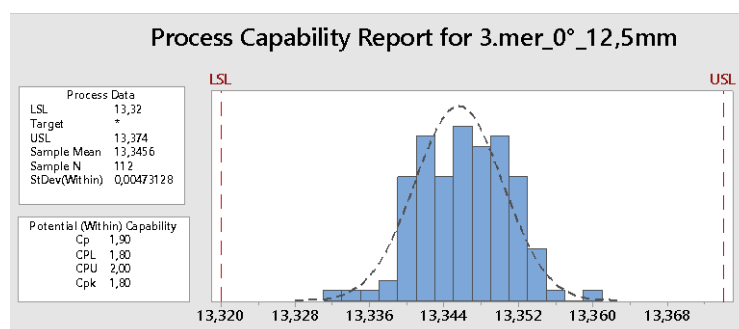


Obr. 41 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 13,347 ($\pm 0,027$) mm po kalení v polohe 0° - 3,5 mm



Obr. 42 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm)

po kalení v polohe $0^\circ - 8$ mm



Obr. 43 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm

po kalení v polohe $0^\circ - 12,5$ mm

b) vyhodnotenie dát meraných v polohe 90°

V tabuľke 12 sú vyhodnotené namerané dáta prostredníctvom softvéru Minitab pri meraní priemeru $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm v polohe 0° . Pri tomto meraní boli použité opäť základné nástroje pre overenie normality dát.

Z **diagramy časovej rady** pre kritický rozmer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm je zrejmé, že na proces pôsobia iba náhodné vplyvy vďaka čomu sa v dátach nenachádza trend, a teda možno predpokladať, že ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát.

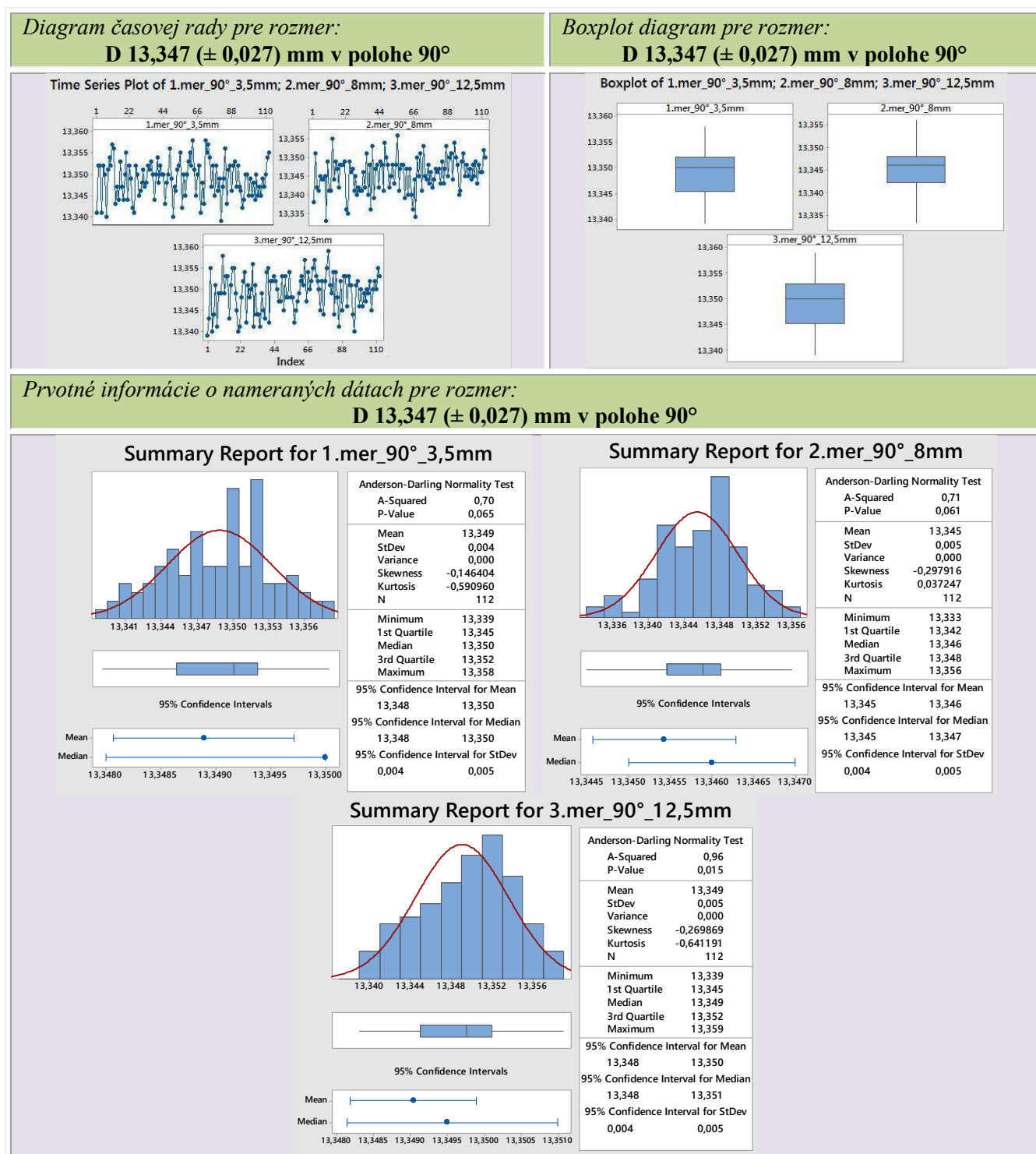
Boxplot diagram na základe tvaru pre jednotlivé merania má symetrické rozdelenie. V dátach nie sú vychýlené hodnoty, čo taktiež predpokladá normalitu dát. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti. Pre meranie vo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky je koeficient šikmosti $\gamma_3 = -0,146$, pre vzdialenosť 8 mm $\gamma_3 = -0,297$ a pre vzdialenosť 12,5 mm $\gamma_3 = -0,269$. Záporné hodnoty koeficientov znamenajú záporné zošikmenie. Hodnoty koeficientov šikmosti sú nízke, preto možno predpokladať normálne rozdelenie nameraných dát.

Histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálního rozdělení pravděpodobnosti a 95 %-ný konfidenční interval pre jednotlivé merania sú uvedené v tabuľke 12. Normalita nameraných dát je overená pomocou Anderson-Darlingovho testu. Pre všetky výsledné p – hodnoty platí, že sú väčšie ako 0,005 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, čo znamená normálne rozdelenie pravdepodobnosti sledovaného znaku kvality.

Výsledné hodnoty *kvartilov*, p – *hodnoty*, *smerodajnej odchýlky*, *mediánu* a *aritmetického priemeru* pre jednotlivé merania vyplývajúce z tabuľky 12 sú:

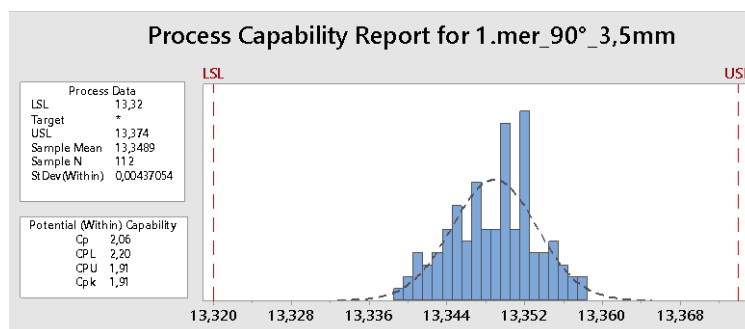
- ✓ 1. meranie zo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky:
 - smerodajná odchýlka $\sigma = 0,004$
 - medián $\tilde{x} = 13,350$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,349$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,345$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,352$ mm
 - p – hodnota = 0,065
- ✓ 2. meranie vo vzdialenosti 8 mm od konca čela súčiastky:
 - smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
 - medián $\tilde{x} = 13,346$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,345$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,342$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,348$ mm
 - p – hodnota = 0,061
- ✓ 3. meranie vo vzdialenosti 12,5 mm od konca čela súčiastky:
 - smerodajná odchýlka $\sigma = 0,005$
 - medián $\tilde{x} = 13,349$ mm
 - aritmetický priemer $\bar{x} = 13,349$ mm
 - dolný kvartil $Q_1 = 13,345$ mm
 - horný kvartil $Q_3 = 13,352$ mm
 - p – hodnota = 0,015

Rozdiel medzi výslednými hodnotami pre aritmetický priemer a medián pre jednotlivé merania je nízky, preto sa normalita nameraných dát pre rozmer D 13,347 ($\pm 0,027$) mm v jednotlivých vzdialenostiach od konca čela súčiastky nezamieta.

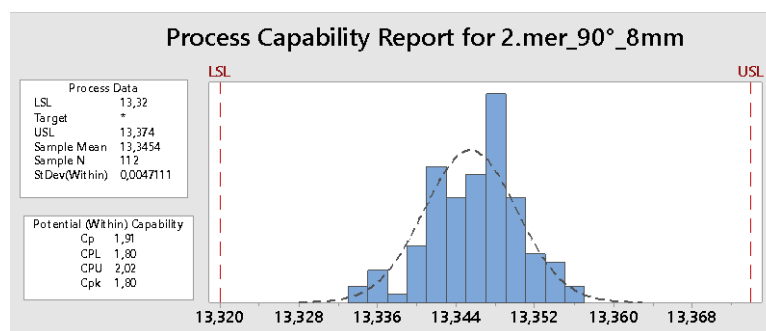
Tabuľka 12 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm pomocou metódy EDA

Obr. 44, 45 a 46 zobrazuje vyhodnotenie spôsobilosti pre jednotlivé vzdialenosti od konca čela súčiastky. Vďaka indexu C_{pk} je možné konštatovať, že proces je v prípade vzdialenosti 3,5 mm a 12,5 mm mierne centrovaný k hornej tolerančnej hranici a pre vzdialenosť 8 mm ide o proces mierne centrovaný k dolnej tolerančnej hranici. Všetky procesy sú však vo

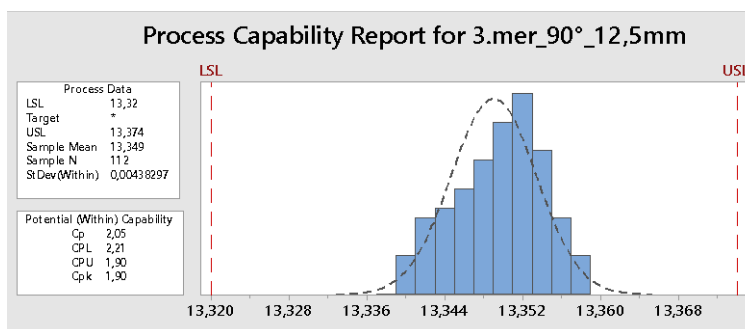
svojich tolerančných hraniciach a hodnoty indexu spôsobilosti C_p potvrdzuje, že ide o proces, ktorý je spôsobilý.



Obr. 44 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm
po kalení v polohe 90° - 3,5 mm

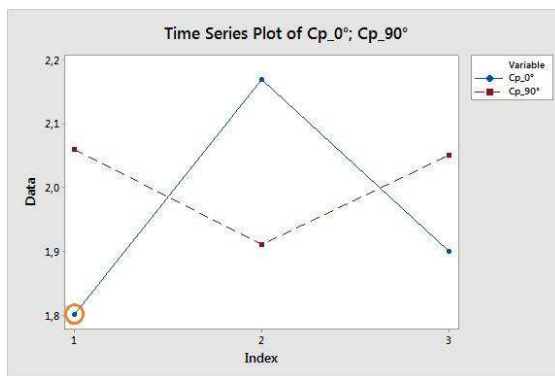


Obr. 45 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm
po kalení v polohe 90° - 8 mm



Obr. 46 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm
po kalení v polohe 90° - 12,5 mm

Obr. 47 zobrazuje všetky indexy z jednotlivých meraní pri polohe 0° a pri polohe 90° . Modrá čiara sú výsledné hodnoty indexov C_p pre polohu 0° a hnedá čiara výsledné hodnoty indexov C_p pre polohu 90° .

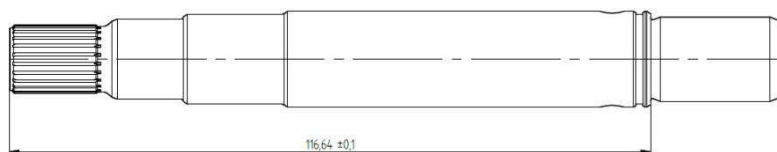


Obr. 47 Diagram časovej rady pre indexy spôsobilosti C_p

Najmenšou a zároveň kritickou hodnotou pre prevzatie celej výrobnéj dávky sú namerané dáta pre polohu 0° vo vzdialenosti 3,5 mm od konca čela súčiastky a to $C_p = 1,80$. Táto hodnota je vyznačená na obr. 47.

7.3.2 Kritický rozmer L 116,64 ($\pm 0,1$) mm

Po procese kalenia je sledovaná okrem priemeru aj kritická dĺžka L 116,64 ($\pm 0,1$) mm. Rozdiel medzi dĺžkou, ktorá sa meria po procese valcovania a touto dĺžkou je v podstate vo veľkosti tolerancie. Na obr. 48 je definovaný rozmer L 116,64 ($\pm 0,1$) mm po procese kalenia.



Obr. 48 Kritický rozmer L 116,64 ($\pm 0,1$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

Použitý nástroj metodiky EDA pre tento rozmer sú uvedené v tabuľke 13.

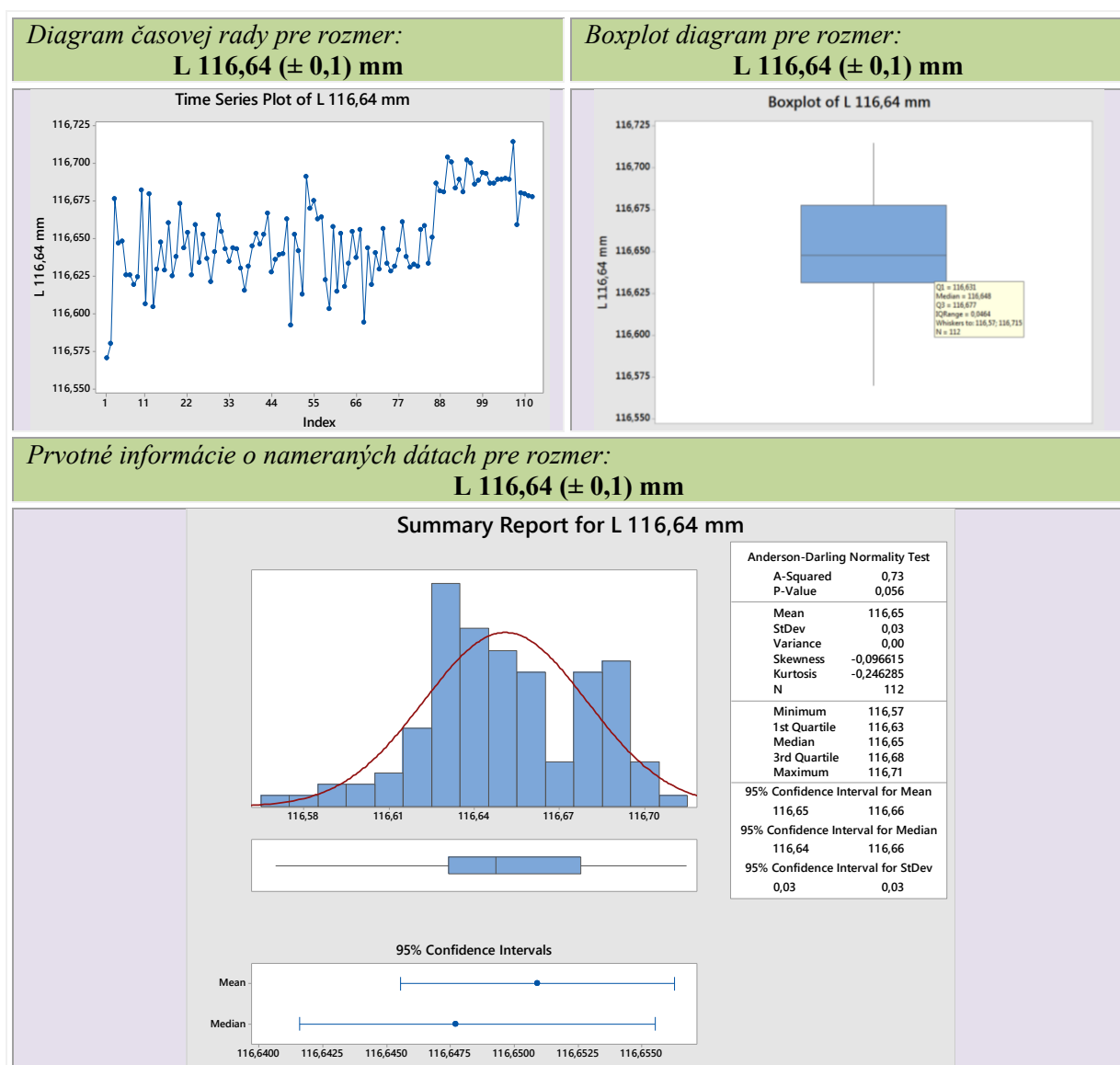
Pre grafické znázornenie priebehu merania rozmeru L 116,68 ($\pm 0,05$) mm je použitý **diagram časovej rady**. Diagram naznačuje zmiešanie dvoch súborov dát, čo možno vidieť v ľavej časti diagramu. Na túto skutočnosť je potrebné sa orientovať aj pri ďalších použití grafických nástrojoch.

Boxplot diagram informuje o symetrii rozdelenia dát. Keďže stredná čiara v diagrame predstavuje hodnotu mediánu, ktorá je zo stredu diagramu posunutá, ide o mierne asymetrické rozdelenie. Symetria je overená pomocou koeficientu šikmosti, ktorý nadobúda hodnotu $\gamma_3 = -0,096$. V tomto prípade možno konštatovať, že hodnota koeficientu šikmosti je takmer nulová a rozdelenie možno považovať na symetrické. Z

tabuľky 13 pre Boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 116,631$ mm a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 116,677$ mm.

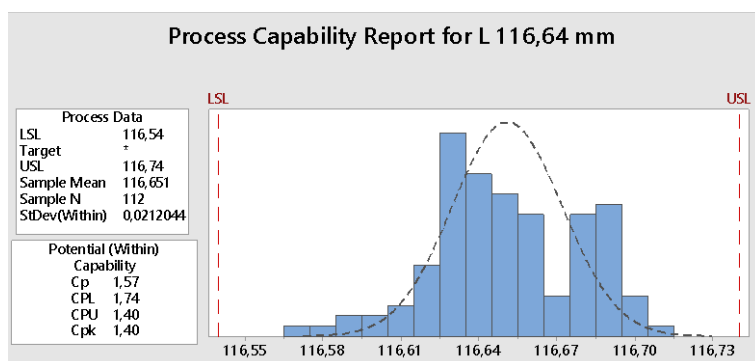
Ďalšie informácie o nameraných dátach poskytuje *histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti* a *95 %-ný konfidenčný interval*. O pravdepodobnom zmiešaní dvoch súborov dát informuje histogram, v ktorom možno vidieť akoby dva samostatné histogramy. Aj napriek tomuto zisteniu, podľa Anderson-Darlingovho testu ide o dáta s normálnym rozdelením pravdepodobnosti, pričom p – hodnota nadobúda hodnotu 0,066 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$.

Tabuľka 13 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 116,64 (\pm 0,1)$ mm pomocou metodiky EDA



Výsledná hodnota pre *smerodajnú odchýlku* je 0,03, *aritmetický priemer* je 116,651 mm a pre *medián* je 116,648 mm. Rozdiel medzi hodnotou priemeru a hodnotou mediánu je nízky a teda uvedené hodnoty sa od seba líšia v malej miere, preto sa normalita nameraných dát pre rozmer L 116,64 ($\pm 0,1$) mm nezamieta.

Na obr. 49 je znázornený histogram s preloženou krivkou hustoty normálneho rozdelenia ohraničený tolerančnými hranicami.



Obr. 49 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 13,347 ($\pm 0,027$) mm

Podľa obr. 49 je ide o proces, ktorý je spôsobilý a nachádza sa vo svojich tolerančných hraniciach.

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,57$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,40$

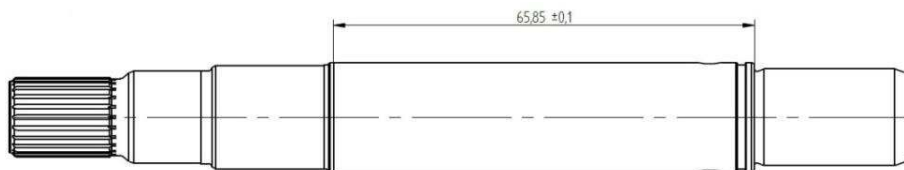
Aj napriek možnému zmiešaniu dvoch súborov dát, index spôsobilosti C_p informuje o spôsobilosti procesu. Index Spôsobilosti C_{pk} naznačuje, že proces je mierne centrován k hornej tolerančnej hranici. Na tento nedostatok spojený so zmiešaním dvoch súborov dát je potrebné upozorniť a v budúcnosti sa mu vyvarovať, pretože môže viesť k skresleniu výsledných dát o procese.

7.4 Brúsenie

Najdôležitejší proces prebiehajúci na súčiastke je brúsenie. Po tejto operácii dostáva súčiastka finálnu podobu, preto je tu hodnotených najviac kritických rozmerov. Sú tu sledované všetky kritické priemery, dĺžka, drsnosť, geometrické tolerancie ako sú kruhové hádzanie, kolmosť a kruhovitosť. Aj pri procese sústruženia je najskôr overená normalita nameraných dát pre jednotlivé rozmery a následne vyhodnotená ich spôsobilosť.

7.4.1 Kritický rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm

Obr. 50 naznačuje umiestnenie dĺžky L 65,85 ($\pm 0,1$) mm na súčiastke.



Obr. 50 Kritický rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

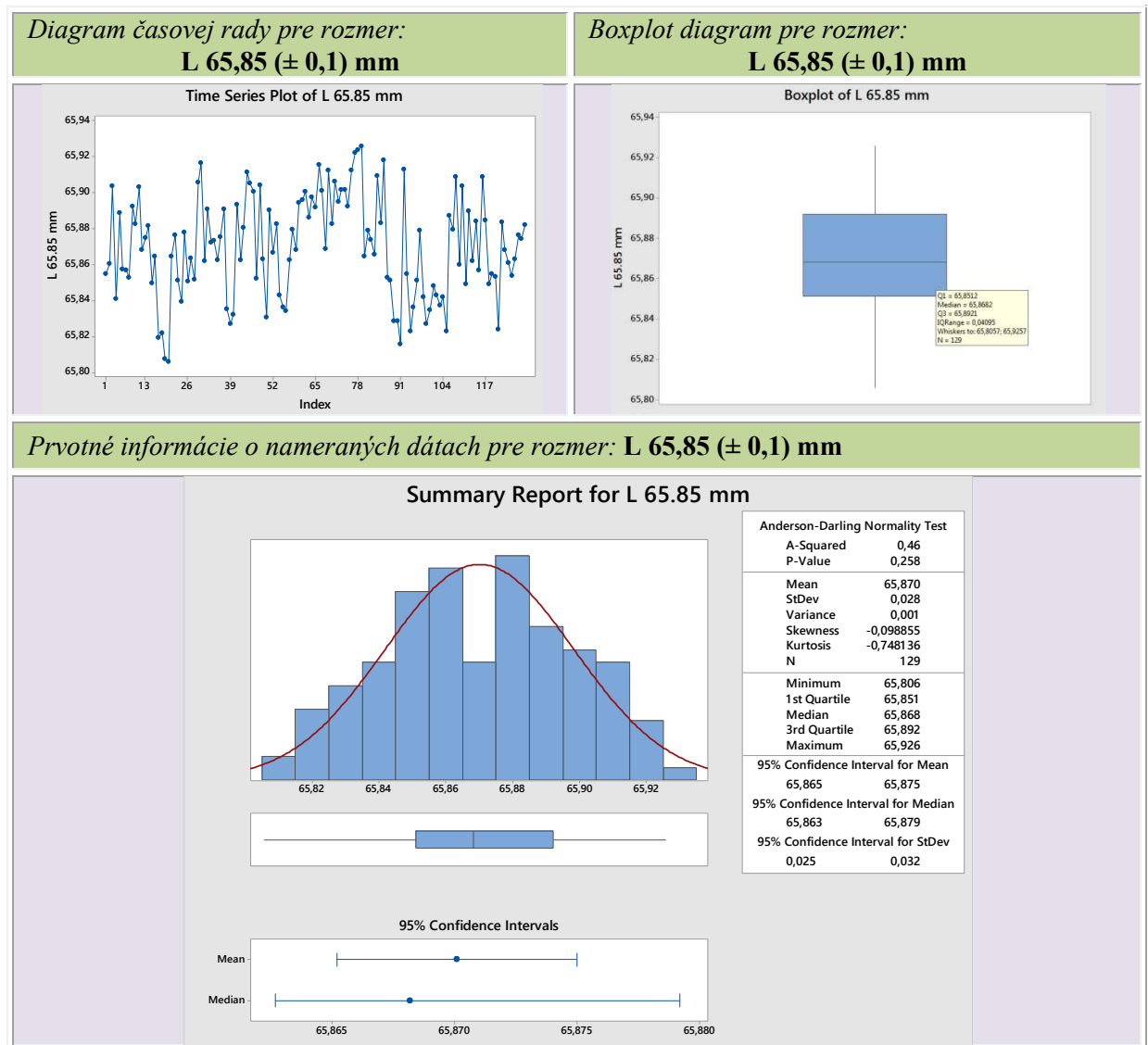
V tabuľke 14 je znázornené grafické vyhodnotenie s použitím rôznych nástrojov pomocou metodiky EDA pre kritický rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm pre operáciu brúsenie.

V ľavej časti tabuľky je **diagram časovej rady** pre rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm, ktoré predstavuje priebeh merania. V tomto diagrame nie sú pozorované žiadne trendy a meraniach možno vidieť variabilitu. Na proces pôsobia len náhodné vplyvy, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta.

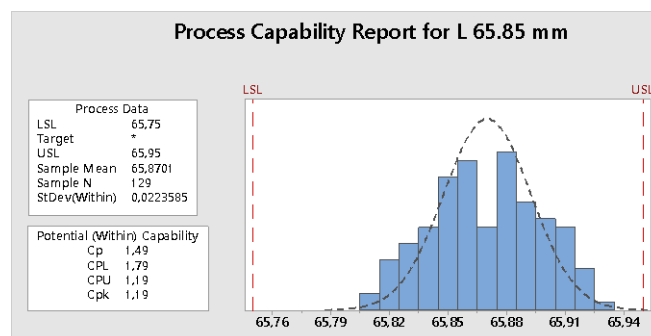
V pravej časti tabuľky 14 je zobrazený **boxplot diagram** pre rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm, ktorý nenaznačuje asymetriu dát, a teda v dátach nie sú vychýlené hodnoty, čo signalizuje znovu normalitu dát. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti, ktorého hodnota je $\gamma_3 = -0,098$. Keďže je hodnota koeficientu je takmer nulová, ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát. Z tabuľky 14 pre Boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 65,8512$ mm a pre horný kvartil platí $Q_3 = 65,8921$ mm.

Najzákladnejšiu informáciu o normalite dát zachycuje **histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval**. Histogram je uvedený v spodnej časti tabuľky 14. Pomocou Anderson-Darlingovho testu je overená normalita dát. V tomto prípade naznačuje p - hodnota, ktorá je 0,258, že pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$ má sledovaný znak kvality normálne rozdelenie.

Výsledná hodnota pre **smerodajnú odchýlku** je 0,028, pre **aritmetický priemer** 65,8701 mm a pre **medián** 65,8682 mm. Hodnota priemeru a mediánu sa príliš od seba nelíšia, a preto normalita nameraných dát pre rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm nie je zamietnutá.

Tabuľka 14 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 65,85 (\pm 0,1)$ mm pomocou metodiky EDA

Na obr. 51 je naznačený histogram s preloženou krivkou hustoty normálneho rozdelenia ohraničený tolerančnými hranicami.

Obr. 51 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $L\ 65,85 (\pm 0,1)$ mm

Na základe tvaru histogramu ide o normálne rozdelenie. Proces je od stredu tolerančného poľa mierne centrovaný k hornej tolerančnej hranici, čo naznačuje aj index spôsobilosti C_{pk} .

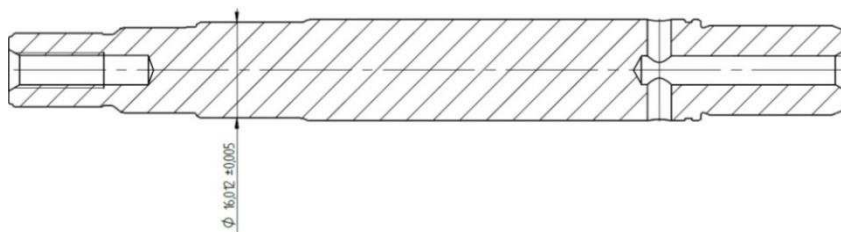
Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,49$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,19$

Na základe vyhodnotenia spôsobilosti procesu prostredníctvom softvéru Minitab pre rozmer L 65,85 ($\pm 0,1$) mm je možné konštatovať, že v tomto prípade ide o stabilný proces, ktorý sa nachádza vo vnútri svojich tolerančných hraníc.

7.4.2 Kritický rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm

Priemer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm je znázornený na obr. 52.



Obr. 52 Kritický rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

Úvodné informácie o nameraných dátach boli získané na základe metodiky EDA. Tabuľka 15 predstavuje súhrn základných nástrojov použitých pri metodike EDA pre rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm.

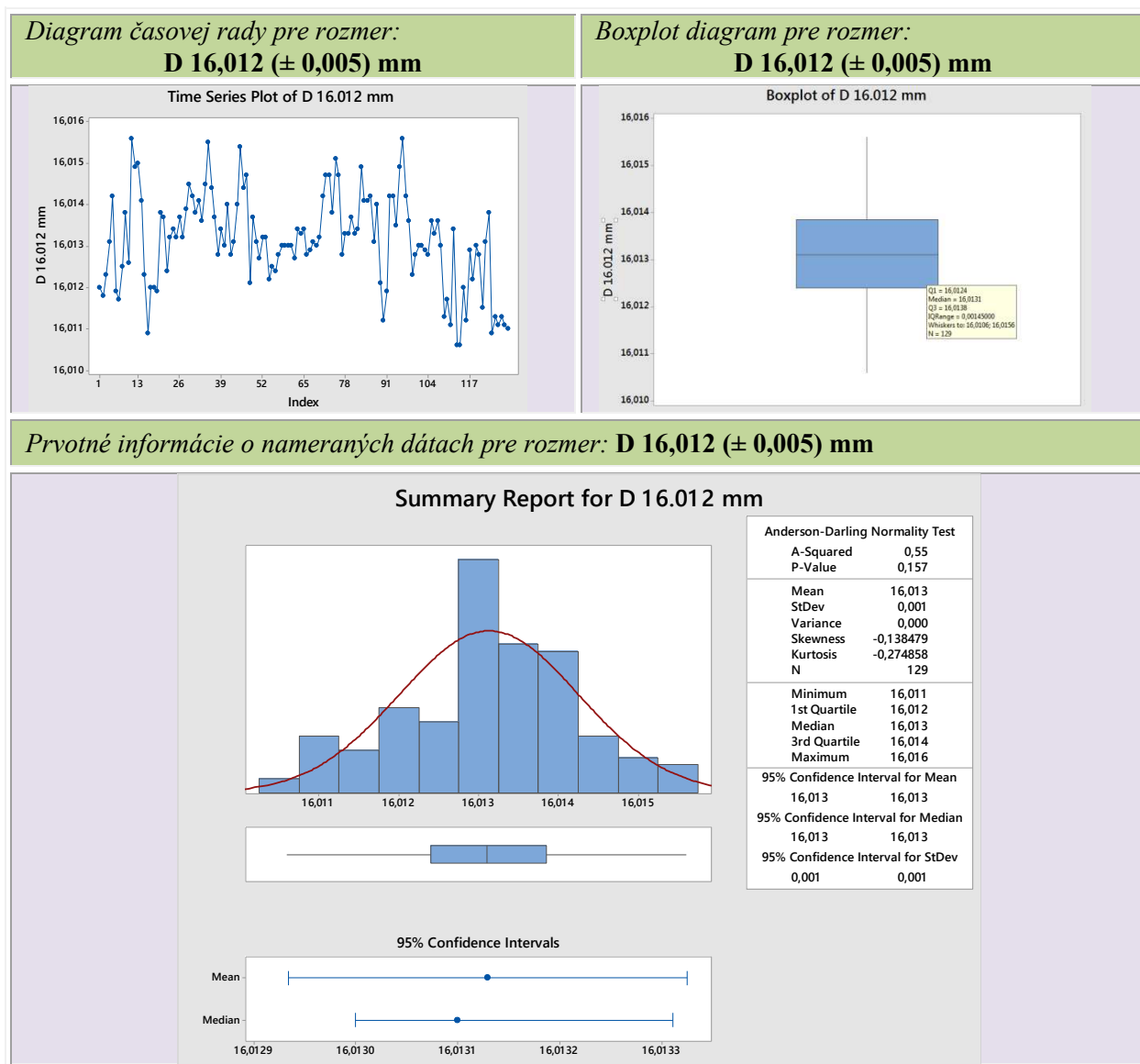
Na základe zostrojeného **diagramu časovej rady** a možno tvrdiť, že v nameraných dátach pre rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm sa nenachádza trend, v meraniach možno vidieť variabilitu, na základe čoho možno predpokladať normálne rozdelenie pravdepodobnosti.

Tvar **boxplot diagramu** má symetrické rozdelenie bez vychýlených hodnôt. Symetria je overená prostredníctvom koeficientu šikmosti, ktorý dosahuje hodnotu $\gamma_3 = -0,138$. Koeficient šikmosti naznačuje mierne záporné zošikmenie, ale hodnota asymetrie nie je vysoká, a preto možno dáta považovať s normálnym rozdelením. Podľa tabuľky 15 pre boxplot diagram je hodnota dolného kvartilu $Q_1 = 16,0124$ mm a dolný kvartil je $Q_3 = 16,0138$ mm.

Histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval je graficky zobrazený v tabuľke 15. Pomocou Anderson-Darlingovho testu je overená normalita nameraných dát. Keďže p –

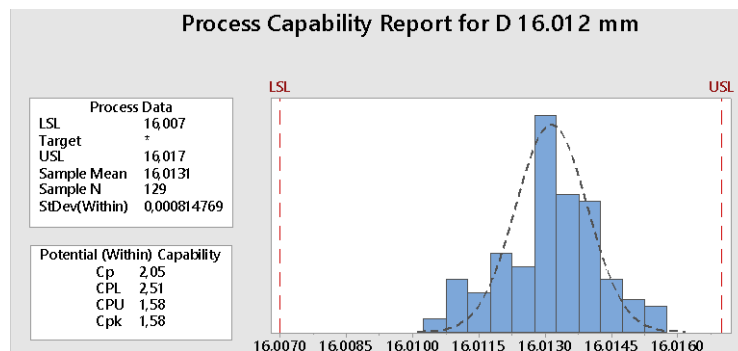
hodnota je väčšia ako 0,005 pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, a to 0,157, má tento kritický rozmer normálne rozdelenie.

Tabuľka 15 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm pomocou metodiky EDA



Hodnota *smerodajnej odchýlky* pre daný rozmer je 0,001. Keďže medzi hodnotou *aritmetického priemeru* 16,0131 mm a hodnotou *mediánu* 16,0131 mm nie je rozdiel, normalita dát sa nezamieta.

Z obr. 53 je zrejmé, že rozmer sa nachádza vo vnútri svojich tolerančných hraníc, a teda je možné konštatovať, že ide o stabilný proces.



Obr. 53 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 16,012 ($\pm 0,005$) mm

Histogram na obr. 53 je zvonového tvaru, čo naznačuje normálne rozdelenie sledovaného znak kvality. Histogram sa tiež nachádza v stanovených tolerančných medziach a teda ide o spôsobilý proces.

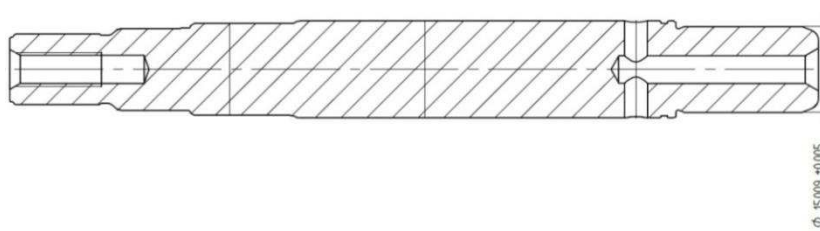
Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 2,05$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,58$

Výsledná hodnota indexu C_{pk} poukazuje na centrovanie procesu k hornej tolerančnej hranici vzhľadom na stred tolerančného poľa. Hodnota indexu spôsobilosti C_p vyjadruje spôsobilosť procesu.

7.4.3 Kritický rozmer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm

Na obr. 54 je definovaný ďalší priemer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm na súčiastke. Normalita nameraných dát bol overená pomocou nástrojov metodiky EDA uvedených v tabuľke 16.



Obr. 54 Kritický rozmer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

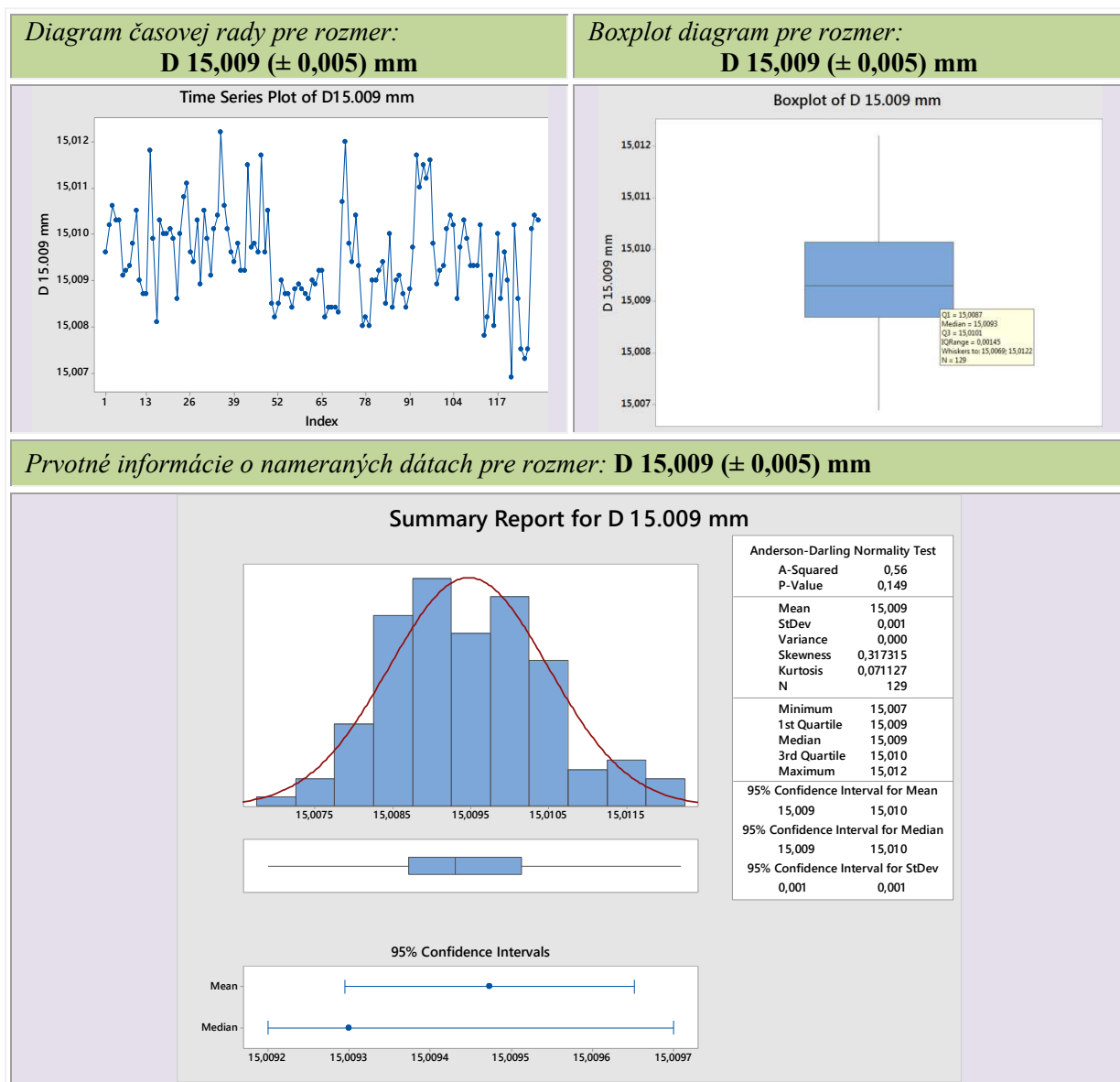
Diagram časovej rady z tabuľky 16 zobrazujúci priebeh merania a nenaznačuje trend v nameraných dátach. Na proces nevplyva systematická chyba a je ovplyvnený len náhodnými vplyvmi. Na základe pôsobenie iba náhodných vplyvov na proces, je možné predpokladať, že ide o normálne rozdelenie nameraných dát.

Tvar **boxplot diagramu** zobrazuje symetrické rozdelenie, ktorého symetria je overená pomocou koeficientu šikmosti, ktorý dosahuje hodnotu $\gamma_3 = 0,317$. Táto hodnota je

blízka nule, na základe čoho ide o normálne rozdelenie dát. Boxplot diagram nezobrazuje žiadne vychýlené hodnoty, čo je znovu predpokladom pre normálne rozdelenie pravdepodobnosti. Podľa tabuľky 16 hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 15,0087$ mm a pre horný kvartil platí $Q_3 = 15,0101$ mm.

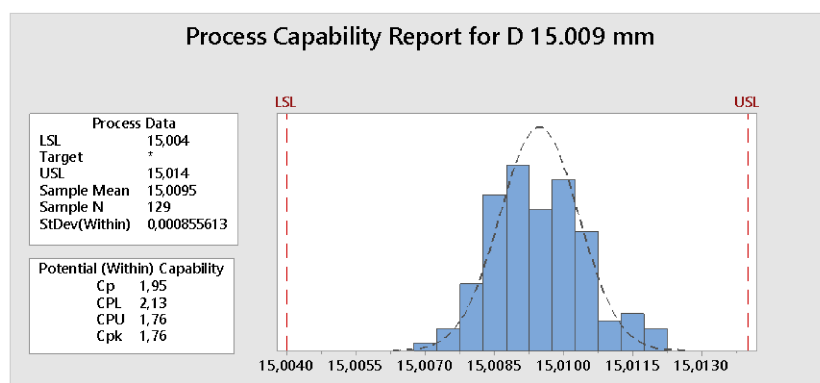
Na základe tvaru *histogramu s preloženou krivkou normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95%-ného konfidenčného intervalu* (tabuľka 16) možno tvrdiť, že ide o normálne rozdelenie. Pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$ je p - hodnota Anderson-Darlingovho testu rovná 0,149, a teda daný sledovaný znak kvality predpokladá normálne rozdelenie.

Tabuľka 16 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 15,009 (\pm 0,005)$ mm pomocou metodiky EDA



Smerodajná odchýlka dosahuje hodnotu 0,001. Hodnota *aritmetického priemeru* je 15,0095 mm a hodnota *mediánu* je 15,0093 mm. Medzi týmito dvomi hodnotami je malý rozdiel a preto sa normalita dát opäť nie je zamietnutá.

Výsledné hodnoty indexov spôsobilosti pre kritický rozmer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm definuje obr. 55.



Obr. 55 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm

Histogram centrovaný vo vnútri tolerančných hraníc pre daný rozmer zobrazuje normálne rozdelenie nameraných dát na základe zvonového tvaru..

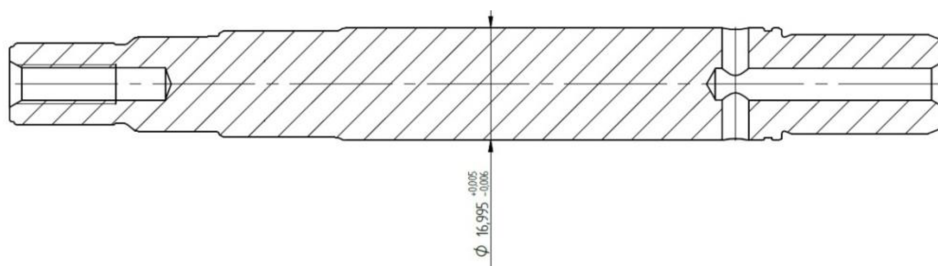
Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,95$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,76$

Hodnota indexu C_p potvrdzuje spôsobilosť procesu a hodnota indexu C_{pk} poukazuje na mierne centrovanie dát od stredu tolerancie k hornej tolerančnej hranici. Pre kritický rozmer D 15,009 ($\pm 0,005$) mm ide o štatisticky spôsobilý proces.

7.4.4 Kritický rozmer D 16,995 ($+0,005$ -0,006) mm

Kritický rozmer D 16,995 ($+0,005$ -0,006) mm je definovaný na obr. 56. Ide o najväčší priemer súčiastky. Základné nástroje metodiky EDA overujú normalitu nameraných dát v tabuľke 17.



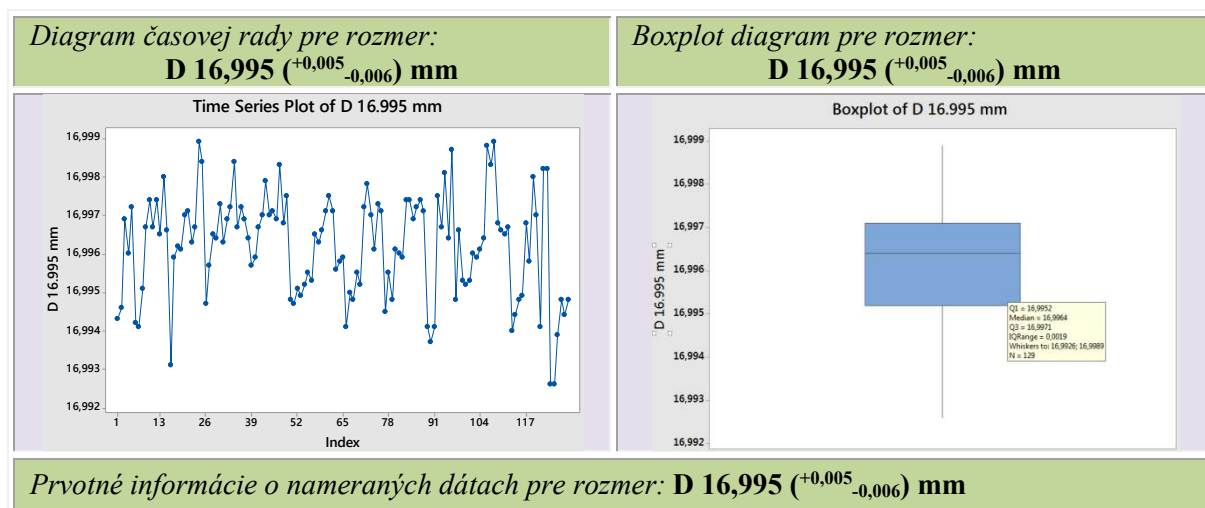
Obr. 56 Kritický rozmer D 16,995 ($+0,005$ -0,006) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta

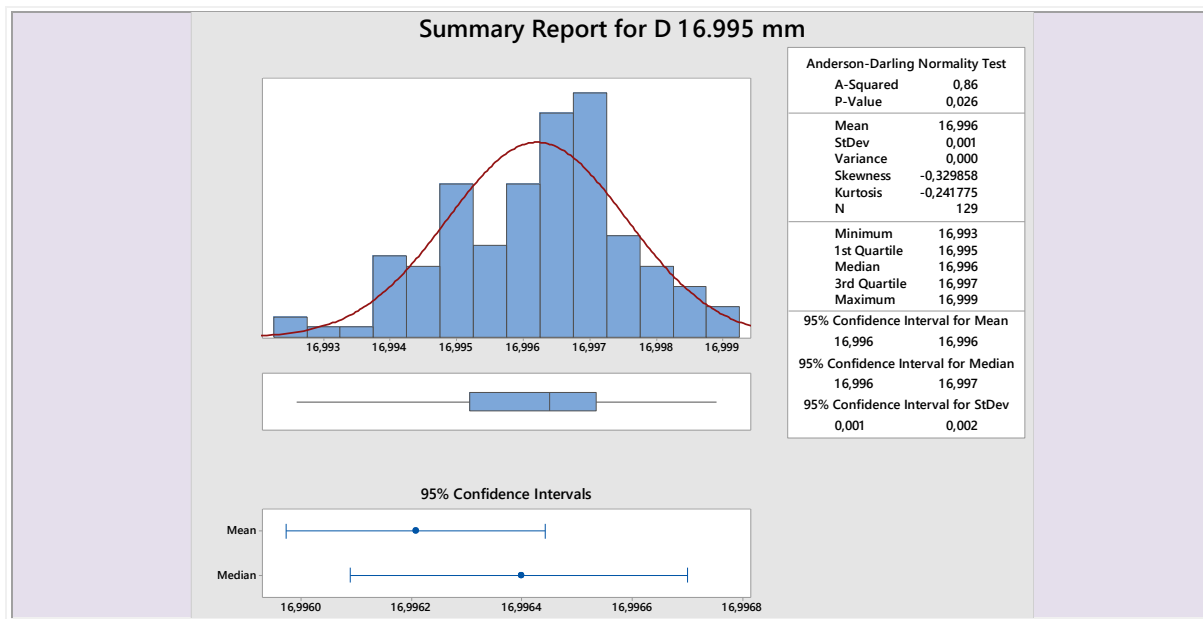
Diagram časovej rady pre rozmer $D\ 16,995\ (^{+0,005}_{-0,006})\ \text{mm}$, ktorý predstavuje priebeh merania. V tomto diagrame nie sú pozorované žiadne trendy a v meraniach možno vidieť variabilitu. Na proces pôsobia len náhodné vplyvy, preto je možné predpokladať normálne rozdelenie nameraných dát.

Boxplot diagram pre rozmer $D\ 16,995\ (^{+0,005}_{-0,006})\ \text{mm}$ nepredstavuje asymetrické rozdelenie dáta nezobrazuje vychýlené hodnoty. Symetria dát je overená pomocou koeficientu šikmosti, ktorého hodnota je $\gamma_3 = -0,329$. Keďže je hodnota koeficientu je pomerne nízka, ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti nameraných dát. Hodnota dolného kvartilu Q_1 vyplývajúca z tabuľky 17 je $16,9952\ \text{mm}$ a hodnota horného kvartilu $Q_3 = 16,9971\ \text{mm}$.

Histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval sú ďalšími použitými nástrojmi pre overenie normality dát. P - hodnota Anderson-Darlingovho testu, ktorá dosahuje hodnotu $0,258$ pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$, čo je viac ako $0,005$ a ide o normálne rozdelenie nameraných dát.

Tabuľka 17 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 16,995\ (^{+0,005}_{-0,006})\ \text{mm}$ pomocou metodiky EDA



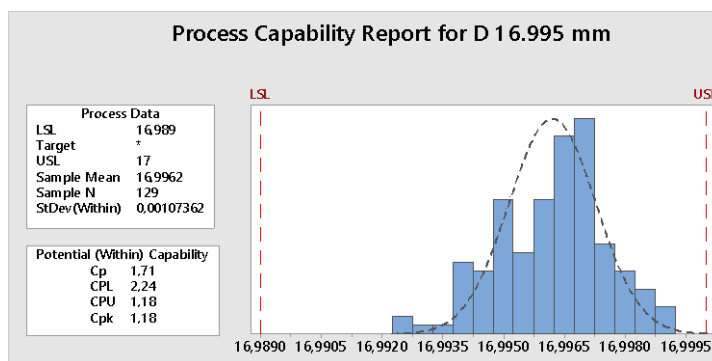


Smerodajná ochýlka dosahuje hodnotu 0,001. Hodnota **aritmetického priemeru** je 16,9962 mm a hodnota **mediánu** je 16,9964 mm. Medzi danými hodnotami je rozdiel 0,0002, to znamená, že normalitu dát nie je možné zamietnuť ani pre tento rozmer.

Proces sa nachádza vo vnútri svojich tolerančných hraníc o čom nasvedčuje aj obr. 57, kde je zobrazený histogram ohraničený tolerančnými hranicami pre daný rozmer.

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,71$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,18$

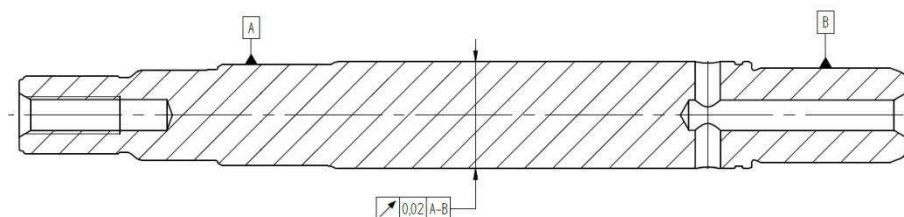


Obr. 57 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 16,995 ($^{+0,005}_{-0,006}$) mm

Ide o rozmer, ktorý nie je centrován v stred tolerančného poľa, ale je vychýlený k svojej hornej tolerančnej hranici, načo poukazuje aj hodnota indexu spôsobilosti C_{pk} . Index spôsobilosti C_p definuje proces ako spôsobilý.

7.4.5 Kritický rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B

Geometrická tolerancia obvodové hádzania voči referencii A a B je definovaná na obr. 58.



Obr. 58 Kritický rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B definovaný na súčiastke Shaft Delta

Pri tomto kritickom rozmere je znovu prostredníctvom metodiky EDA overená normalita nameraných dát, z ktorej vyplýva, že podľa tabuľky 18:

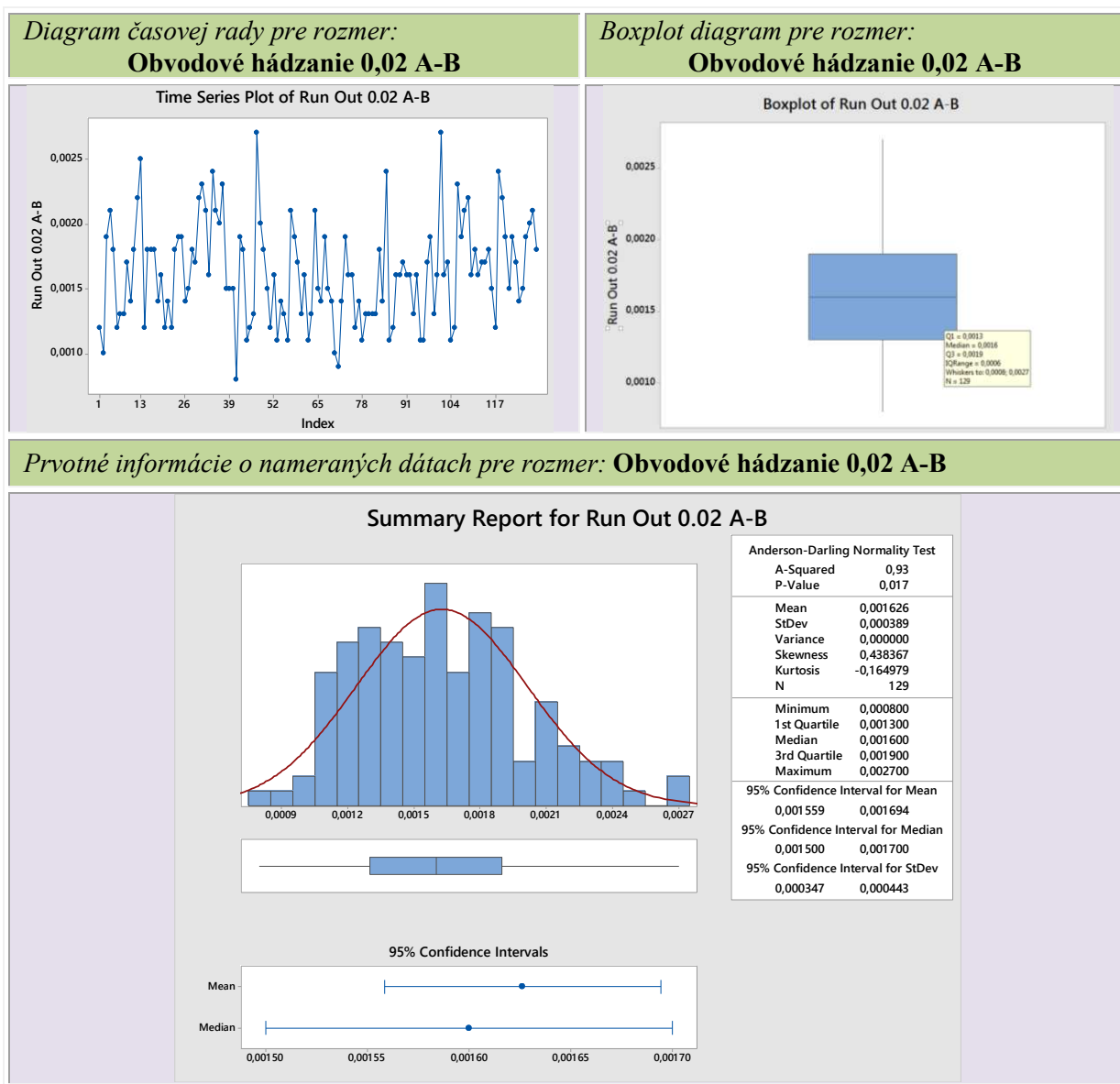
Diagram časovej rady pre geometrickú toleranciu obvodového hádzania voči referencii A a referencii B nevykazuje v nameraných dátach trend a dáta sú variabilné. V nameraných dátach pôsobia len náhodné vplyvy, a preto ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti.

Boxplot diagram pre geometrickú toleranciu obvodového hádzania voči referencii A a referencii B nedefinuje odľahlé hodnoty. Spôsob rozdelenia je overený na základe koeficientu šikmosti $\gamma_3 = 0,438$. Koeficientu naznačuje mierne kladné zošikmenie, pričom ide o nízku hodnotu a preto je možné ju zanedbať. Hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 0,0013$ a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 0,0019$.

Histogram s preloženou krivkou normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval v tabuľke 18 overujú normálne rozdelenie. Histogram je zvonového tvaru (normálneho rozdelenia). P - hodnota Anderson-Darlingovho testu je rovná 0,017, čo je viac ako použitá hladina významnosti $\alpha = 0,05$ ($p > 0,005$). Na základe tohto tvrdenia je možné konštatovať, že ide o dáta, ktoré vykazujú normálne rozdelenia a teda normalita dát nie je zamietnutá.

Výsledná hodnota pre **smerodajnú odchýlku** je 0,0004, **aritmetický priemer** je 0,001626 a pre **medián** je 0,0016. Hodnota priemeru a mediánu sa od seba navzájom líšia v malej miere, preto sa normalita nameraných dát pre kritický rozmer obvodového hádzania 0,02 A-B nezamieta.

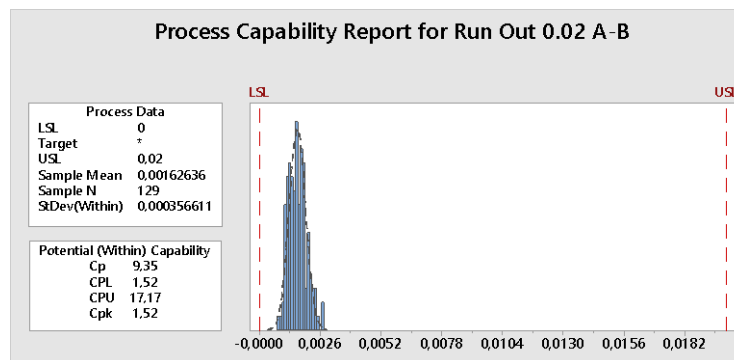
Tabuľka 18 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B pomocou metódy EDA



Podľa obr. 59 sa proces síce nachádza vo vnútri svojich tolerančných hraníc, ale dáta sú vzhľadom na svoje tolerančné hranice silne vychýlene doľava, a preto hodnoty odhadov indexov spôsobilosti výrobného procesu sú nasledovné:

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 9,35$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,52$

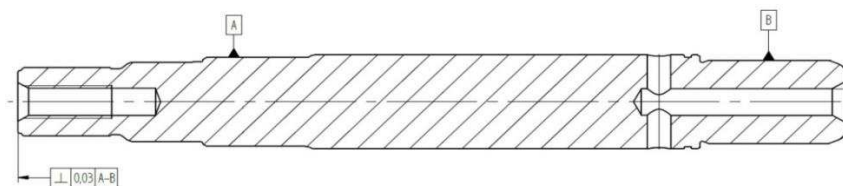


Obr. 59 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B

Index spôsobilosti C_p dosahuje vyššiu hodnotu čo je spôsobené nízkym rozptylom pri vysokej tolerancii. Keďže ide o geometrickú toleranciu obvodového hádzania, v procese výroby je nutné sa vyvarovať príliš vysokým odchýlkam od obvodového hádzania, a preto je histogram pre tento rozmer centrováný k dolnej tolerančnej hranici, čo naznačuje index spôsobilosti C_{pk} . Takýto proces je považovaný za spôsobilý proces.

7.4.6 Kritický rozmer $\perp 0,03$ A-B

Ďalšou geometrickou toleranciou hodnotenou na súčiastke Shaft Delta je kolmosť. Ide o kolmosť čela voči referencii A a referencii B (obr. 60). Tento rozmer bol hodnotený už pri prvej operácii sústruženie. Iné operácie na tento rozmer nevyplývajú, ale brúsenie môže kolmosť do malej miery ovplyvniť, preto je nutné sledovať kolmosť aj po procese brúsenia.



Obr. 60 Kritický rozmer $\perp 0,03$ A-B definovaný na súčiastke Shaft Delta

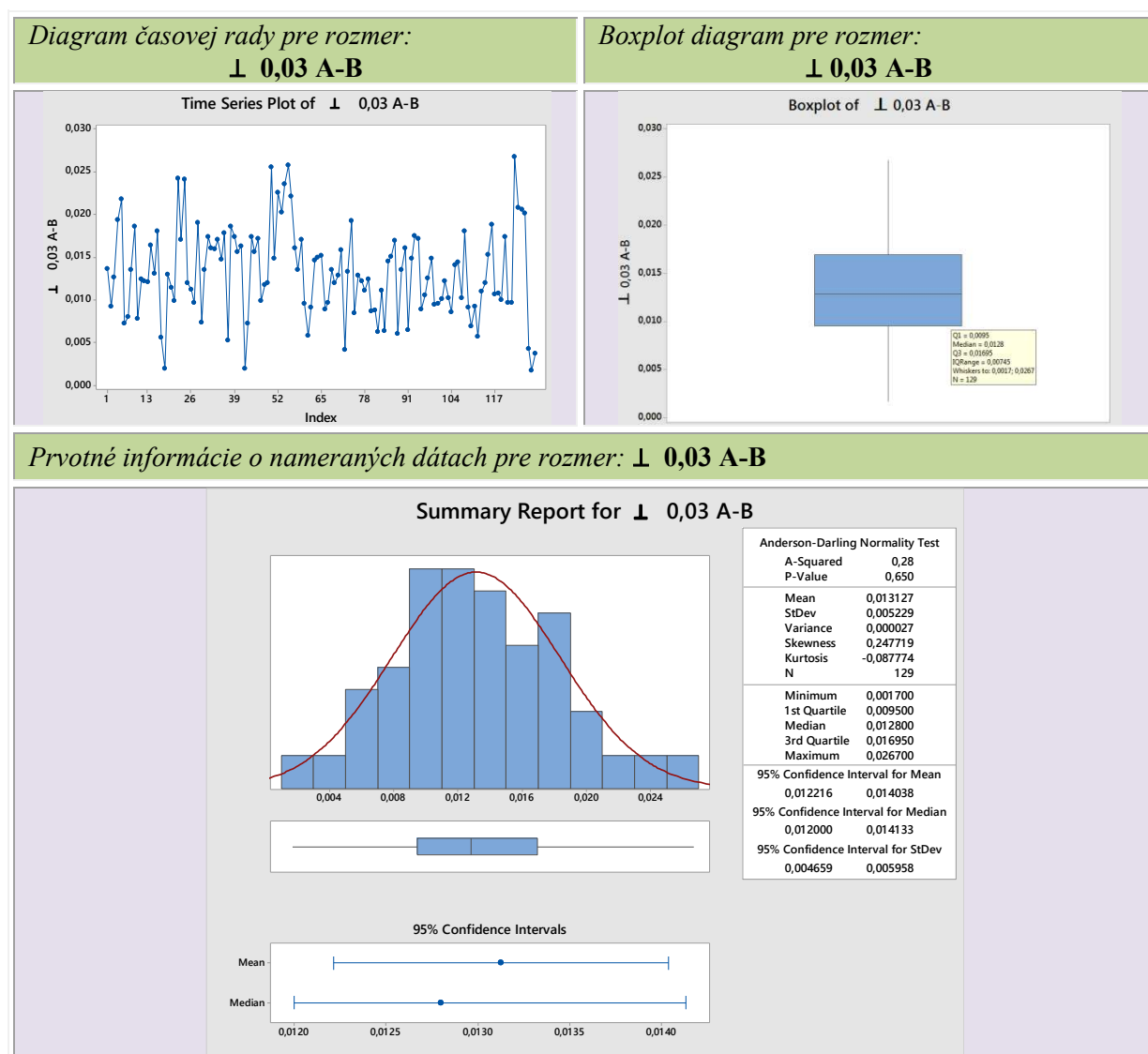
Pri tomto kritickom rozmere je znovu prostredníctvom metodiky EDA overená normalita nameraných dát, z ktorej vyplýva, že podľa tabuľky 19:

Diagram časovej rady pre geometrickú toleranciu kolmosť voči referencii A a referencii B nevykazuje v nameraných dátach trend a dáta sú variabilné. V dátach sa nenachádzajú systematické vplyvy, ktoré by zamietali ich normalitu, ale iba náhodné vplyvy.

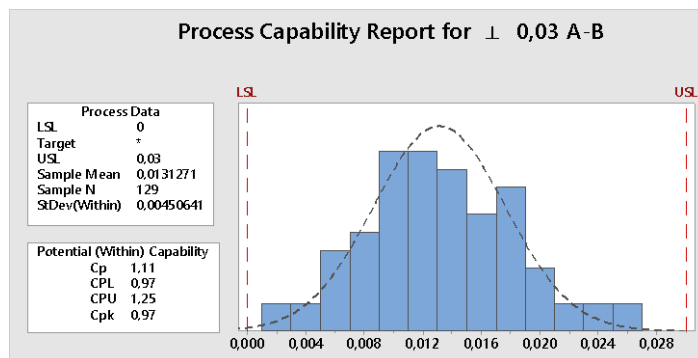
Boxplot diagram pre geometrickú toleranciu kolmost' voči referencii A a referencii B nedefinuje odľahlé hodnoty. Koeficient šikmosti $\gamma_3 = 0,247$ nedefinuje asymetriu a ide o symetrické rozdelenie. Hodnota koeficientu naznačuje mierne kladné zošikmenie, pričom jeho hodnota je nízka, a preto je možné ju zanedbať. Hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 0,0095$ a pre horný kvartil platí $Q_3 = 0,01695$.

Histogramu s preloženou krivkou normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval sú graficky zobrazené v tabuľke 19. Tvar histogramu nameraných dát je normálneho rozdelenia. P - hodnota Anderson-Darlingovho testu je rovná 0,650, čo je vysoko nad používanou hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ ($p > 0,005$). Na základe tohto tvrdenia je možné konštatovať, že ide o dáta, ktoré vykazujú normálne rozdelenia, a teda normalita dát nie je zamietnutá.

Tabuľka 19 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $\perp 0,03$ A-B pomocou metodiky EDA



Podľa histogramu s preloženou krivkou normálneho rozdelenia pravdepodobnosti na obr. 61 ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti a proces sa nachádza vo vnútri svojich tolerančných hraníc.



Obr. 61 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer \perp 0,03 A-B

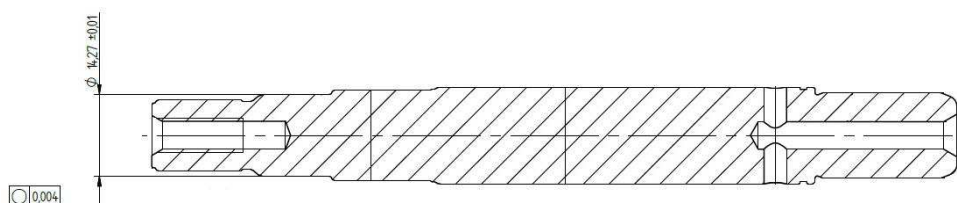
Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,11$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 0,97$

Aj napriek tomu, že proces sa nachádza v tolerančných hraniciach, keďže index spôsobilosti C_p dosahuje hodnotu 1,11, ide o proces, ktorý nie je spôsobilý, ale proces sa nachádza blízko spôsobilosti. Daný kritický rozmer je nutné v procese výroby korigovať, sledovať a opätovne vyhodnotiť jeho spôsobilosť.

7.4.7 Kritický rozmer Kruhovitosť 0,004

Poslednou geometrickou toleranciou hodnotenou na súčiastke Shaft Delta je kruhovitosť. Ide o kruhovitosť hodnotenú vzhľadom na priemer 14,27 ($\pm 0,01$) mm (obr. 62).



Obr. 62 Kritický rozmer Kruhovitosť 0,004 definovaný na súčiastke Shaft Delta

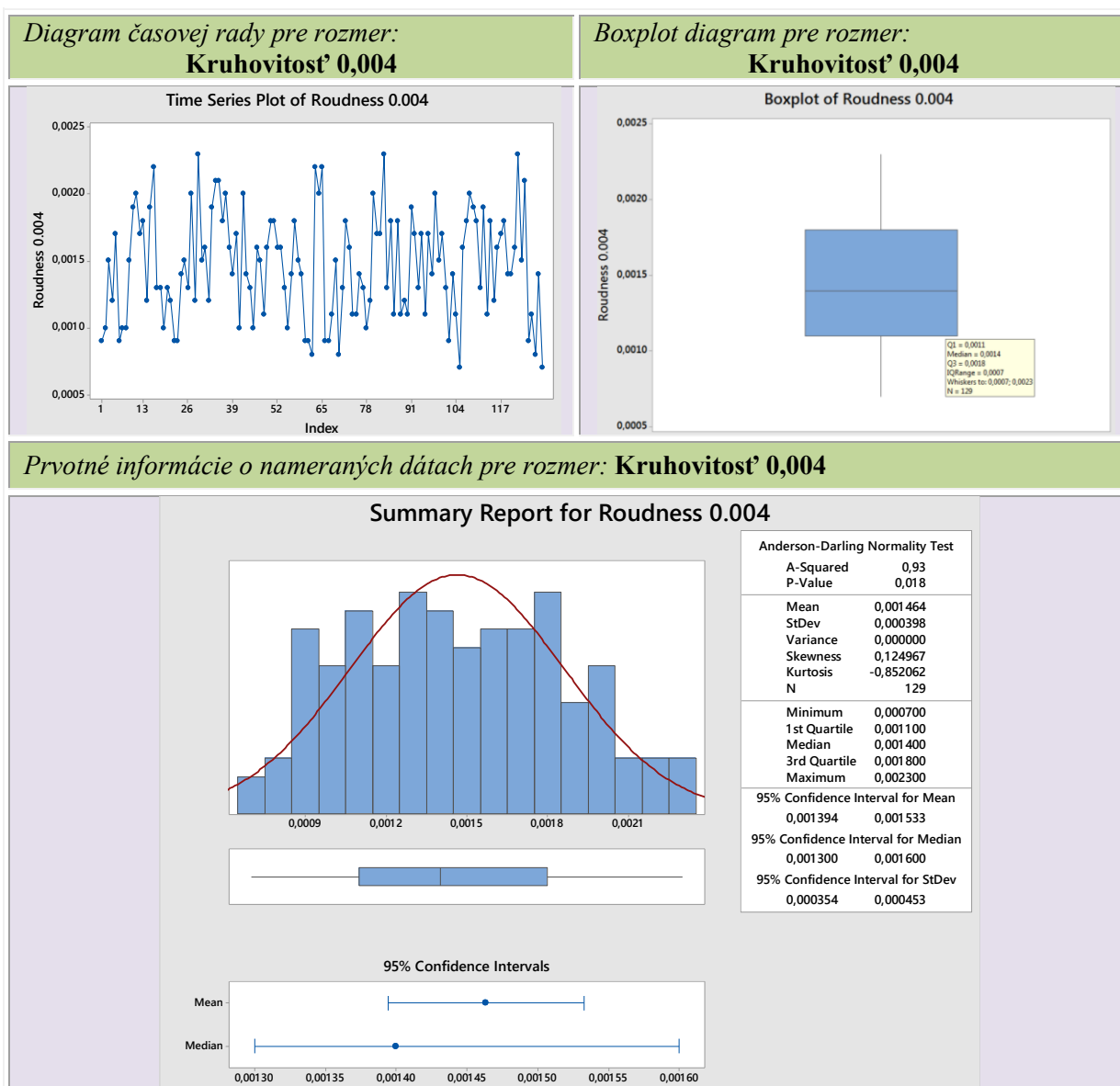
Opätovne je prostredníctvom metodiky EDA overená normalita nameraných dát, ktorej výsledné zistenia sú uvedené v tabuľke 20, a to:

Diagram časovej rady pre geometrickú toleranciu kruhovitosť nevykazuje v nameraných dátach trend a dáta sú variabilné. V dátach pôsobia náhodné vplyvy, ktoré nezamietajú normálne rozdelenie pravdepodobnosti.

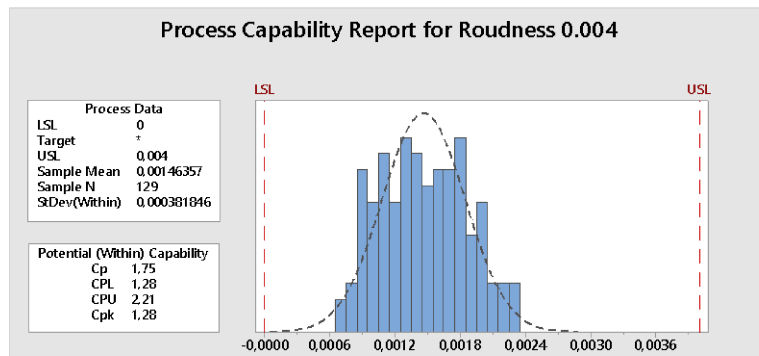
Boxplot diagram pre geometrickú toleranciu kruhovitosť nezobrazuje odľahlé hodnoty. Koeficient šikmosti $\gamma_3 = 0,124$ dokazuje symetrické rozdelenie. Hodnota koeficientu naznačuje mierne kladné zošikmenie, pričom jeho hodnota je nízka a preto je možné ju zanedbať. Hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 0,0011$ a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 0,0018$.

Histogramu s preloženou krivkou normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval sú ďalšími nástrojmi použitými na overenie normality dát. Tvar histogramu poukazuje na normalitu dát. Podľa Anderson-Darlingovho testu je p - hodnota rovná 0,018, ktorá je väčšia než použitá hladina významnosti $\alpha = 0,05$, a preto normalita dát sa pre tento rozmer znovu nezamieta.

Tabuľka 20 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer Kruhovitosť 0,004 pomocou metodiky EDA



Obr. 63 zobrazuje histogram s preloženou krivkou normálního rozdělení vo vnútri svojich tolerančných hraníc.



Obr. 63 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer Kruhovitosť 0,004

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,75$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,28$

Keďže ide o geometrickú toleranciu, pri ktorej je požadovaná čo najmenšia odchýlka, proces je centrovaný k dolnej tolerančnej hranici, čo naznačuje aj index spôsobilosti C_{pk} . Index spôsobilosti C_{pk} dokazuje spôsobilosť procesu.

7.4.8 Kritický rozmer Ra (0,08 – 0,25)

Obr. 64 zobrazuje na priemere 14,27 ($\pm 0,01$) mm sledovanú drsnosť Ra s hodnotou minimálne 0,08 a maximálne 0,25.



Obr. 64 Kritický rozmer Ra (0,08 – 0,25) definovaný na súčiastke Shaft Delta

Tabuľka 21 zobrazuje použité nástroje metodiky EDA použité na vyhodnotenie nameraných dát pre kritický rozmer drsnosť Ra (0,05 – 0,25).

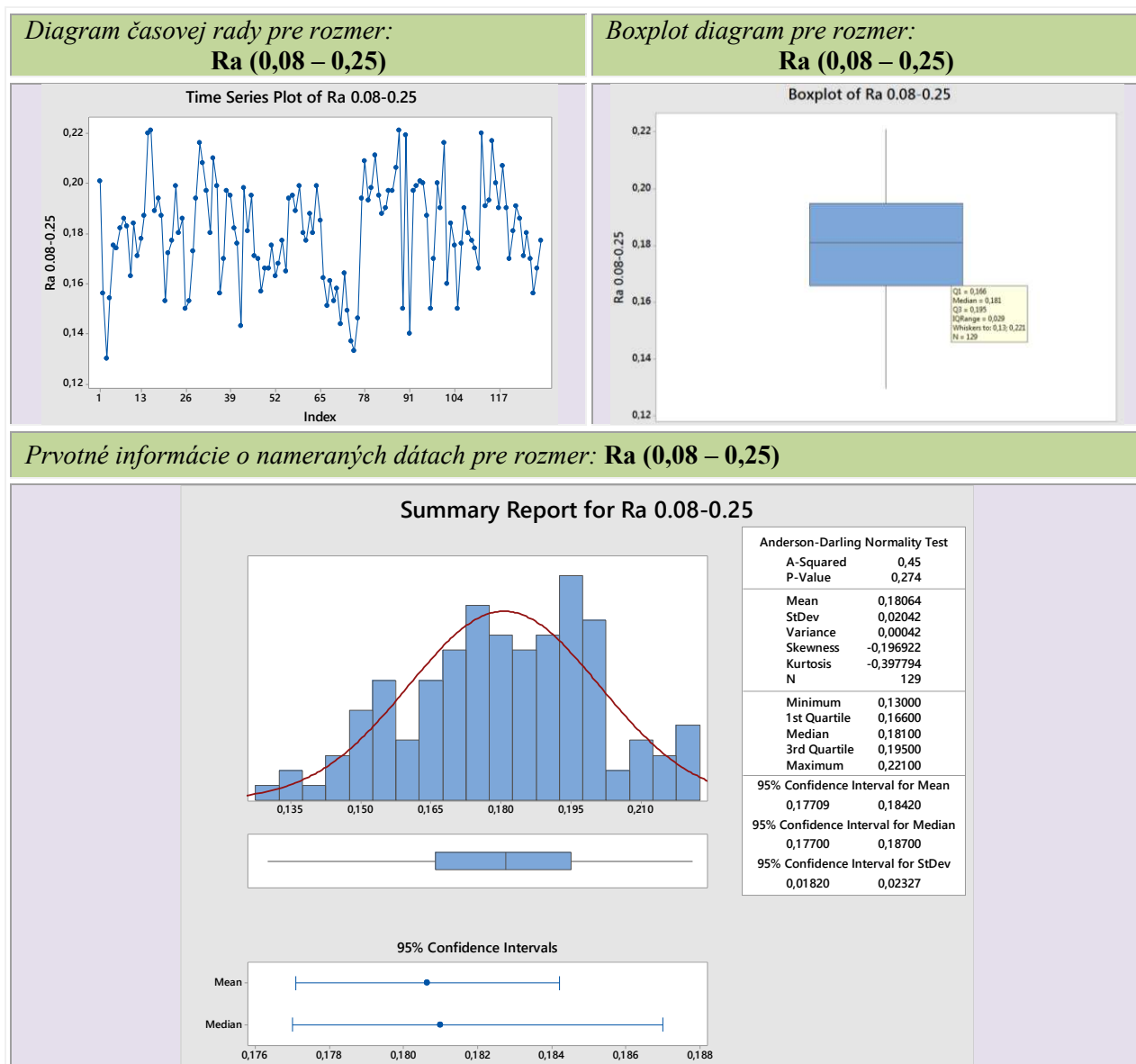
Diagram časovej rady naznačuje priebeh merania. Diagram nezobrazuje trendy, čo znamená, že na proces pôsobia len náhodné vplyvy, čo je predpoklad pre normálne rozdelené dáta.

Tvar boxplot diagramu má symetrické rozdelenie a nenaznačuje žiadne vychýlené hodnoty. Symetria je overené koeficientom šikmosti, ktorý dosahuje hodnotu $\gamma_3 = -0,196$.

Táto hodnota je pomerne nízka, a preto asymetriu dát je možné vylúčiť. Aj v tomto prípade ide o symetrické rozdelenie. Z tabuľky 21 pre Boxplot diagram vyplýva, že hodnota dolného kvartilu je $Q_1 = 0,166$ a pre hodný kvartil platí $Q_3 = 0,195$.

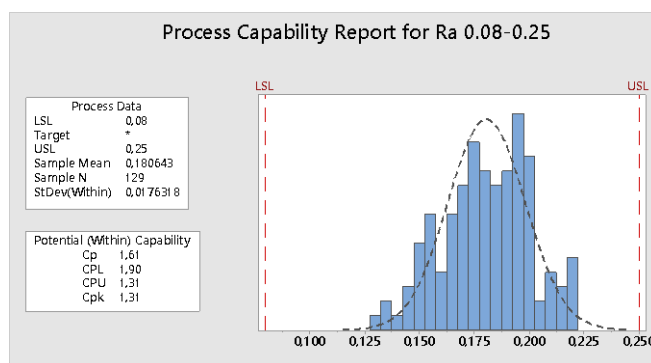
Histogram s preloženou krivkou hustoty hypotetického normálneho rozdelenia pravdepodobnosti a 95 %-ný konfidenčný interval je zobrazený v spodnej časti tabuľky 21. Pomocou Anderson-Darlingovho testu je overená normalita dát. P - hodnota, ktorá je 0,274 naznačuje, že pri použitej hladine významnosti $\alpha = 0,05$ má sledovaný znak kvality normálne rozdelenie.

Tabuľka 21 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer Ra (0,08 – 0,25) pomocou metodiky EDA



Výsledná hodnota pre *smerodajnú odchýlku* je 0,02042, pre *aritmetický priemer* 0,18064 a pre *medián* 0,181. Hodnota priemeru a mediánu sa líšia v malej miere, a preto normalita nameraných dát nie je zamietnutá.

Na obr. 65 je graficky zobrazený histogram s preloženou krivkou hustoty normálneho rozdelenia, ktorý leží vo vnútri tolerančných hraníc pre daný rozmer.



Obr. 65 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer Ra (0,08 – 0,25)

Tvar histogramu naznačuje normálne rozdelenie nameraných dát. Proces sa nenachádza v strede tolerančného poľa, ale je mierne centrovaný k hornej tolerančnej hranici.

Pre odhad indexu spôsobilosti C_p platí: $C_p = 1,61$

Pre odhad indexu spôsobilosti C_{pk} platí: $C_{pk} = 1,31$

Proces sa nenachádza v strede tolerančného poľa, ale podľa indexu spôsobilosti C_{pk} je mierne centrovaný k hornej tolerančnej hranici. Hodnota indexu spôsobilosti C_p udáva spôsobilosť procesu. V prípade pre kritický rozmer drsnosti Ra (0,08 – 0,25) ide o stabilný, spôsobilý proces.

8 POROVNANIE INDEXOV SPÔSOBILOSTI VÝROBNÉHO PROCESU

V predchádzajúcej časti boli jednotlivé kritické rozmery vyhodnotené pomocou štatistických indexov spôsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pL} a C_{pU} .

Index spôsobilosti C_p pri všetkých vyhodnocovaných kritických rozmeroch zobrazuje potenciálnu schopnosť daného rozmeru dosiahnuť, aby daný rozmer ležal vo vnútri svojich tolerančných hraníc. Nezobrazuje však polohu voči týmto hraniciam. Na polohu rozmeru voči tolerančným hraniciam poukazuje index spôsobilosti C_{pk} . Priemer rozdelí tolerančné pásmo na dve časti, pričom nižšia výsledná hodnota indexu predstavuje kritickú hodnotu indexu C_{pk} . Tak môže byť proces centrovaný v optimálnom prípade na stred tolerancie, kedy $C_p = C_{pk}$, k dolnej tolerančnej hranici, kedy $C_{pk} = C_{pL}$ alebo k hornej tolerančnej hranici, kedy $C_{pk} = C_{pU}$.

Tabuľka 22 zobrazuje prehľad indexov spôsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pL} a C_{pU} vyhodnotené na jednotlivých technologických operáciách prebiehajúcich na výrobnom diele Shaft Delta pre jednotlivé kritické rozmery na danej operácii.

Tabuľka 22 Prehľad výsledných indexov spôsobilosti pre jednotlivé technologické operácie

Poradie	Technologická operácia	Kritický rozmer	C_p	C_{pk}	C_{pL}	C_{pU}
1.	SÚSTRUŽENIE	L 116,68 ($\pm 0,05$) mm	6,18	6,00	6,37	6,00
		D 11,86 ($\pm 0,01$) mm	3,32	2,65	2,65	3,98
		\perp 0,03 A-B	2,82	1,15	1,15	4,49
		L 1,43 ($\pm 0,05$) mm	3,94	3,75	4,14	3,75
2.	VALCOVANIE	D 13,332 ($\pm 0,027$) mm	1,78	1,66	1,91	1,66
3.	KALENIE	D 13,347 ($\pm 0,027$) mm	1,80	1,74	1,86	1,74
		L 116,64 ($\pm 0,1$) mm	1,57	1,40	1,74	1,40
4.	BRÚSENIE	L 65,85 ($\pm 0,1$) mm	1,49	1,19	1,79	1,19
		D 16,012 ($\pm 0,005$) mm	2,05	1,58	2,51	1,58
		D 15,009 ($\pm 0,005$) mm	1,95	1,76	2,13	1,76
		D 16,995 ($^{+0,005}_{-0,006}$) mm	1,71	1,18	2,24	1,18
		Obvodové hádzanie 0,02	9,35	1,52	1,52	17,1
		\perp 0,03 A-B	1,11	0,97	0,97	1,25
		Kruhovitosť 0,004	1,75	1,28	1,28	2,21
		Ra (0,08 – 0,25)	1,61	1,31	1,90	1,31

Z tabuľky 22 vyplýva, že pri procese **sústruženie** dosahujú indexy spôsobilosti vyššie hodnoty ako pri iných operáciách. Môže to byť spôsobené tým, že ide o prvú technologickú operáciu vykonávanú na surovom materiáli, zatiaľ čo pri iných operáciách súčiastka bola obrobená predchádzajúcou operáciou.

Príčinou vyšších hodnôt indexov spôsobilosti môže byť niekoľko faktorov, a to:

- zle určenými tolerančnými hranicami
- vysoko presnou výrobou
- nízkym rozptylom a vysokou toleranciou

Keďže tolerančné hranice daných rozmerov sú definované výkresovou dokumentáciou a do použitého softvéru Minitab sú tieto tolerancie zapísané správne, nemôže ísť o zle určené tolerančné hranice. Meracie zariadenie použité pre meranie daných rozmerov je schopné vysoko presného merania a na základe poslednej kalibrácie je schopné merať na presnosť 0,0005 mm. Takže vysoké hodnoty niektorých indexov spôsobilosti sú dané nízkym rozptylom pri vysokej tolerancii.

Po procese **valcovania** sa priemer $D\ 13,332 (\pm 0,027)$ mm meria a vyhodnocuje v šiestich rôznych polohách od konca čela súčiastky, ako aj po procese **kalenia** pre priemer $D\ 13,347 (\pm 0,027)$ mm. V tabuľke 22 sú uvedené výsledky iba pre najnižšiu hodnotu indexu C_p , pričom táto hodnota je kritická pre určenie spôsobilosti procesu pre dané priemery. V oboch prípadoch však indexy dosahujú hodnoty, na základe ktorých možno tvrdiť, že ide o stabilný, spôsobilý proces pre dané kritické rozmery.

Po technologickej operácii **brúsenie** dosahujú všetky indexy spôsobilosti optimálne hodnoty, až na geometrické tolerancie obvodového hádzania a kolmosti. Pri všetkých geometrických toleranciách je snaha dosiahnuť čo najmenšiu odchýlku od daného rozmeru, príčinou čoho je vyššia hodnota indexu spôsobilosti C_p a možné centrovanie procesu od stredu tolerancie k dolnej alebo hornej tolerančnej hranici ako prípade obvodového hádzania. Index spôsobilosti C_p pri geometrickej tolerancii kolmost' dosahuje hodnotu 1,11, čo je menej ako minimálna požadovaná hodnota 1,33, a preto sa považuje tento rozmer ako nespôsobilý. Keďže sa táto výsledná kolmost' dosahuje pri operácii brúsenie, považuje sa celý proces brúsenia ako nespôsobilý. V takom prípade je nutné všetky rozmery po operácii brúsenie korigovať, sledovať a opätovne vyhodnotiť ich spôsobilosť.

Hodnoty indexu spôsobilosti C_{pk} v jednom prípade pre operáciu sústruženia a v mnohých prípadoch pre operáciu brúsenia nedosahuje minimálnu požadovanú hodnotu 1,33.

Príčinou je nedostatočné centrovanie procesu do stredu tolerančných hraníc. V prípade geometrických tolerancií je takáto nízka hodnota prijateľná, pretože naznačuje vo všetkých prípadoch centrovanie procesu k dolnej tolerančnej hranici. Centrovane procesu k dolnej tolerančnej hranici je podstatné pre dosahovanie čo najmenších odchýlok od danej geometrickej tolerancie. V prípade ostatných kritických rozmerov, ktorých hodnota nedosahuje minimálne požadovanú hodnotu 1,33, je potrebné identifikovať a zaviesť nápravné opatrenia pre lepšie centrovanie procesu do stredu tolerančných hraníc.

ZÁVER

Hlavným cieľom diplomovej práce bolo porovnanie indexov spôsobilosti výrobného procesu. Pre dosiahnutie stanoveného cieľa bolo nutné splniť niekoľko ďalších cieľov, a to nastaviť systém zberu a merania hodnotných dát. Dáta, ktoré boli vyhodnocované boli najskôr systematicky zberané v intervale merania každé štyri hodiny na troch kusoch. Na meranie jednotlivých kritických rozmerov bolo použitých niekoľko meracích zariadení a to: optický merací systém Opticline C305, mikrometer s kolíkmi a schodíkom pre zabezpečenie merania v správnej dĺžke a drsnomer Form Talysurf i120. Po získaní dát pre všetky kritické rozmery hodnotené na súčiastke Shaft Delta bola overená normalita dát pomocou metodiky EDA. Pri metodike EDA boli využité tieto nástroje: diagram časovej rady, box plot diagram, histogram. Nástrojmi bola potvrdená normalita nameraných dát pre všetky rozmery. Až po overení normality dát bolo prístupné k vyhodnoteniu spôsobilosti daných rozmerov. Každý z použitých indexov vyjadroval spôsobilosť daného procesu rôzne. Index spôsobilosti C_p poukazoval na celkovú potenciálnu spôsobilosť procesu, pričom na rozdiel od indexu C_{pk} nezohľadňoval polohu voči tolerančným hraniciam. Vyššie hodnoty indexu spôsobilosti C_p naznačili nízky rozptyl dát pri vysokej tolerancii a hodnoty indexu spôsobilosti C_{pk} centrovanie dát vzhľadom na tolerančné pole. Pri procese brúsenia bol rozmer geometrickej tolerancie kolmost' vyhodnotený ako nespôsobilý. Keďže tento rozmer môže ovplyvniť aj ďalšie rozmery po operácii brúsenie, bolo poznamenané, že daný rozmer je potrebné optimalizovať a opätovne posúdiť jeho spôsobilosť spolu s ostatnými rozmermi po operácii brúsenie.

ZOZNAM POUŽITÉJ LITERATURY

- [1] LINCZENYI, A.: *Riadenie kvality*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 1996. ISBN 80-227-0886-0
- [2] Dostupné na internete: <http://katedry.fimmi.vsb.cz/639/qmag/mj39-cz.htm>
- [3] HUTYRA, M. a kol.: *Management jakosti*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1484-1
- [4] NENADÁL, J., VYKYDAL, D.: *Systémy managementu jakosti I*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2586-1
- [5] LINCZENYI, A., NOVÁKOVÁ, R.: *Manažérstvo kvality*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2001. ISBN 80-227-1586-7
- [6] HARAUSOVÁ, H.: *Procesné prístupy v manažérstve kvality*. Bratislava: Prešovská univerzita v Prešove, 2012. ISBN 978-80-555-0546-6
- [7] MLKVA, M., KUČEROVÁ, M., CHLPEKOVÁ, A.: *Základy manažérstva kvality*. Trnava: Materiálovotechnologická fakulta STU, 2016. ISBN 978-80-8096-233-3
- [8] VIRČÍKOVÁ E.: *Integrované manažérske systémy*. Košice: Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-8073-761-0
- [9] KUČEROVÁ, M., LESTYÁNSZKA, K.: *Štatistické metódy kontroly kvality*. Trnava: Materiálovotechnologická fakulta STU, 2011. ISBN 978-80-8096-146-6
- [10] SOCHA, V., SOCHA L., SZABO, S., SOUŠEK, R.: *Manažérstvo kvality*. 1. vyd. Košice: ROTAPRINT, s. r. o., 2015. ISBN 978-80-971877-1-2
- [11] TOMAŠTÍKOVÁ, Veronika: *Aplikace 7 starých a 7 nových nástrojů řízení kvality ve společnosti Metalliset CZ s. r. o.*: bakalářská práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky, 2010. 88 s., 2 příl. Vedúci bakalárskej práce: Ing. Martin Kovářik
- [12] PLÁŠKOVÁ, A.: *Jednoduché nástroje řízení jakosti II*. 1. vyd. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004. 72 s. ISBN 80-02-01690-4
- [13] HINDLS, R. a kol.: *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6
- [14] SOUČEK, E.: *Statistika pro ekonomy*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomie a managementu, 2006. 267 s. ISBN 80-86730-06-9
- [15] KUBANOVÁ, J.: *Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi*. 2. vyd. Bratislava: STATIS, 2004. 249 s. ISBN 80-85659-37-9

- [16] BLATNÁ, D.: *Metody statistické analýzy*. 3. vyd. Praha: Bankovní institut. 2008. 92 s. ISBN 978-80-7265-129-0
- [17] TRNKA, A.: *Základné štatistické metódy marketingového výskumu*. 1. vyd. Trnava: Fakulta masmediálnej komunikácie, Univerzita sv. Cyrila a Metoda, 2016. 116s. ISBN 978-80-81-8105-768-7
- [18] MELOUN, M., MILITKÝ, J.: *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Academia, 2001. 753 s. ISBN 80-200-1008-4
- [19] BENKOVÁ, Marta. 2007. *Zabezpečovanie kvality procesov*. Košice: TECHNICKÁ UNIVERZITA, 2007. 85 s.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

$C_p; C_{pk}$	indexy spôsobilosti
$C_{pL}; C_{pU}$	indexy spôsobilosti
ČSN	česká štátna norma
EN	európska norma
ISO	Medzinárodná organizácia pre normalizáciu
TS	Technická špecifikácia
PDCA	Demingov cyklus „plan – do – check – act“
TQM	Total Quality Management
API	American Petroleum Institute
QS	americká norma
AQAP	obranný štandard
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
USA	Spojené štáty americké
FTA	analýza stromu chýb
FMEA	analýza druhov a dôsledkov chýb
QFD	Quality Function Deployment
ANOVA	analýza rozptylu
EDA	exploratory data analysis
CL	centrálna priamka
UCL	horná regulačná hranica
LCL	dolná regulačná hranica
β_i	parametre regresnej funkcie
ε_i	náhodná zložka
b_i	odhady regresných parametrov

e_i	odhad náhodnej složky
H_0	nulová hypotéza
H_a	alternativna hypotéza
r	výberový párový korelačný koeficient
μ	stredná hodnota
σ	smerodajná odchýlka

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1 Juranova špirála kvality [2]</i>	13
<i>Obr. 2 Všeobecný model systému manažérstva kvality [6]</i>	15
<i>Obr. 3 Typy histogramov [10]</i>	19
<i>Obr. 4 Regulačný diagram [10]</i>	21
<i>Obr. 5 Paretov diagram a Lorenzova krivka [9]</i>	22
<i>Obr. 6 Symboly vývojového diagramu [10]</i>	23
<i>Obr. 7 Ishikawa diagram [7]</i>	23
<i>Obr. 8 Korelačný diagram - silná závislosť [9]</i>	24
<i>Obr. 9 Korelačný diagram - slabá závislosť [9]</i>	24
<i>Obr. 10 Korelačný diagram - nezávisle premenná a nelineárna závislosť [9]</i>	25
<i>Obr. 11 Diagram afinity [vlastné spracovanie]</i>	26
<i>Obr. 12 Sieťový diagram [vlastné spracovanie]</i>	28
<i>Obr. 13 Vstupný materiál</i>	44
<i>Obr. 14 Súčiastka po procese sústruženia</i>	44
<i>Obr. 15 Súčiastka po procese valcovania</i>	45
<i>Obr. 16 Súčiastka po procese kalenia</i>	45
<i>Obr. 17 Súčiastka po procese brúsenia</i>	46
<i>Obr. 18 Optické meracie zariadenie</i>	47
<i>Obr. 19 Základné časti Opticline C305</i>	48
<i>Obr. 20 Uchutenie súčiastky pri meraní daného priemeru po valcovaní a kalení</i>	50
<i>Obr. 21 Spôsob merania daného priemeru po valcovaní a kalení</i>	50
<i>Obr. 22 Drsnomer</i>	50
<i>Obr. 23 Meranie drsnosti</i>	51
<i>Obr. 24 Kritický rozmer L 116,68($\pm 0,05$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	52
<i>Obr. 25 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer L 116,68 ($\pm 0,05$) mm</i>	54
<i>Obr. 26 Kritický rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	55
<i>Obr. 27 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer D 11,86 ($\pm 0,01$) mm</i>	56
<i>Obr. 28 Kritický rozmer $\perp 0,03$ A-B definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	57
<i>Obr. 29 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $\perp 0,03$ A-B</i>	59
<i>Obr. 30 Kritický rozmer L 1,43 ($\pm 0,05$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	59
<i>Obr. 31 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer L 1,43 ($\pm 0,05$) mm</i>	61
<i>Obr. 32 Kritický rozmer D 13,332 ($\pm 0,027$) mm definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	62

Obr. 33 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ v polohe $0^\circ - 3,5\text{mm}$	65
Obr. 34 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ v polohe $0^\circ - 8\text{mm}$	65
Obr. 35 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$	65
Obr. 36 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ v polohe $90^\circ - 3,5\ \text{mm}$	68
Obr. 37 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ v polohe $90^\circ - 8\ \text{mm}$	68
Obr. 38 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ v polohe $90^\circ - 12,5\ \text{mm}$	68
Obr. 39 Diagram časovej rady pre indexy spôsobilosti C_p	69
Obr. 40 Kritický rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ definovaný na súčiastke Shaft Delta	69
Obr. 41 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ po kalení v polohe $0^\circ - 3,5\ \text{mm}$	72
Obr. 42 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$	73
Obr. 43 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$ po kalení v polohe $0^\circ - 12,5\ \text{mm}$	73
Obr. 44 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$	76
Obr. 45 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$	76
Obr. 46 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$	76
Obr. 47 Diagram časovej rady pre indexy spôsobilosti C_p	77
Obr. 48 Kritický rozmer $L\ 116,64\ (\pm\ 0,1)\ \text{mm}$ definovaný na súčiastke Shaft Delta.....	77
Obr. 49 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ \text{mm}$	79
Obr. 50 Kritický rozmer $L\ 65,85\ (\pm\ 0,1)\ \text{mm}$ definovaný na súčiastke Shaft Delta.....	80
Obr. 51 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $L\ 65,85\ (\pm\ 0,1)\ \text{mm}$	81
Obr. 52 Kritický rozmer $D\ 16,012\ (\pm\ 0,005)\ \text{mm}$ definovaný na súčiastke Shaft Delta	82
Obr. 53 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 16,012\ (\pm\ 0,005)\ \text{mm}$	84
Obr. 54 Kritický rozmer $D\ 15,009\ (\pm\ 0,005)\ \text{mm}$ definovaný na súčiastke Shaft Delta	84
Obr. 55 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 15,009\ (\pm\ 0,005)\ \text{mm}$	86
Obr. 56 Kritický rozmer $D\ 16,995\ (^{+0,005}_{-0,006})\ \text{mm}$ definovaný na súčiastke Shaft Delta	86
Obr. 57 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer $D\ 16,995\ (^{+0,005}_{-0,006})\ \text{mm}$	88

<i>Obr. 58 Kritický rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 59 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer Obvodové hádzanie 0,02 A-B</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 60 Kritický rozmer \perp 0,03 A-B definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 61 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer \perp 0,03 A-B</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 62 Kritický rozmer Kruhovitost' 0,004 definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 63 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer Kruhovitost' 0,004</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 64 Kritický rozmer Ra (0,08 – 0,25) definovaný na súčiastke Shaft Delta</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 65 Vyhodnotenie indexov spôsobilosti pre rozmer Ra (0,08 – 0,25)</i>	<i>97</i>

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1 Výpočet základných ukazovateľov</i>	22
<i>Tabuľka 2 Chyby I. a II. druhu [15]</i>	31
<i>Tabuľka 3 Základné informácie o použitom optickom meracom zariadení</i>	48
<i>Tabuľka 4 Základné informácie o použitom drsnomeri</i>	51
<i>Tabuľka 5 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 116,68\ (\pm\ 0,05)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	53
<i>Tabuľka 6 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 11,86\ (\pm\ 0,01)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	56
<i>Tabuľka 7 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $\perp\ 0,03\ A-B$ pomocou metodiky EDA</i>	58
<i>Tabuľka 8 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 1,43\ (\pm\ 0,05)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	60
<i>Tabuľka 9 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	63
<i>Tabuľka 10 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,332\ (\pm\ 0,027)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	67
<i>Tabuľka 11 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	71
<i>Tabuľka 12 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 13,347\ (\pm\ 0,027)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	75
<i>Tabuľka 13 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 116,64\ (\pm\ 0,1)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	78
<i>Tabuľka 14 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $L\ 65,85\ (\pm\ 0,1)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	81
<i>Tabuľka 15 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 16,012\ (\pm\ 0,005)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	83
<i>Tabuľka 16 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 15,009\ (\pm\ 0,005)\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	85
<i>Tabuľka 17 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $D\ 16,995\ (^{+0,005}_{-0,006})\ mm$ pomocou metodiky EDA</i>	87
<i>Tabuľka 18 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer Obvodové hádzanie $0,02\ A-B$ pomocou metodiky EDA</i>	90

<i>Tabuľka 19 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer $\perp 0,03$ A-B pomocou metodiky EDA</i>	<i>92</i>
<i>Tabuľka 20 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer Kruhovitost' 0,004 pomocou metodiky EDA</i>	<i>94</i>
<i>Tabuľka 21 Vyhodnotenie nameraných dát pre rozmer Ra (0,08 – 0,25) pomocou metodiky EDA</i>	<i>96</i>
<i>Tabuľka 22 Prehľad výsledných indexov spôsobilosti pre jednotlivé technologické operácie</i>	<i>98</i>

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha PI: Technický výkres - sústruženie

Príloha PII: Technický výkres - valcovanie

Príloha PIII: Technický výkres - kalenie

Príloha PIV: Technický výkres - brúsenie

Príloha PV: CD disk