



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZABEZPEČOVÁNÍ KVALITY SESTAV MECHANICKÝCH HŘÍDELOVÝCH TĚSNĚNÍ

QUALITY ASSURANCE OF MECHANICAL SHAFT SEAL ASSEMBLIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Příkaský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jakub Příkaský**
Studijní program: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zabezpečování kvality sestav mechanických hřídelových těsnění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem diplomové práce je formulování požadavků na kvalitu hřídelových těsnění v dané firmě. Na základě posouzení současného stavu je dále nutné vypracovat reálný návrh a zhodnotit úspěšnost realizace vhodných opatření vedoucích ke zlepšení stavu řízení kvality výrobku.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu řízení kvality hřídelových těsnění.
Systémový rozbor hodnocení kvality zvoleného výrobku.
Posouzení možností zlepšení systému řízení kvality zvoleného výrobku ve firmě.
Aplikace vybraných metod na zvoleném výrobku.
Technické posouzení dosažených výsledků.
Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

JURAN, Joseph M. and Blanton A. GODFREY. Juran's Quality Control Handbook. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 00-703-4003-X.

MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition. Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 978-0-470-16992-6.

KIRAN, D. Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies. Amsterdam: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-12-811035-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou vybrané sestavy hřídelového těsnění. Na této sestavě byla provedena analýza neshod a v následném PDCA cyklu navržena, aplikována a ověřena nápravná opatření. Dále byla navržena reálná zlepšení, která mohou mít do budoucna značný pozitivní vliv na celkovou kvalitu této sestavy hřídelových těsnění. Hlavním přínosem této práce je snížení počtu neshod a dále prohloubení řízení moderních metod kvality ve spolupracující organizaci.

ABSTRACT

The thesis deals with the issue of a selected sealing shaft assembly. On this assembly, a nonconformity analysis was performed and corrective measures were proposed, applied and verified in a subsequent PDCA cycle. Furthermore, realistic improvements have been proposed that can have a significant positive impact on the overall quality of this shaft seal assembly in the future. The main contribution of this thesis is to reduce the number of non-conformances and on top of that to deepen the management of modern quality methods in the collaborating organization.

KLÍČOVÁ SLOVA

mechanické hřídelové těsnění, zabezpečení kvality, geometrické tolerance, PDCA cyklus, ISO 9001, systém managementu kvality

KEYWORDS

mechanical shaft seals, quality assurance, geometric tolerances, PDCA cycle, ISO 9001, quality management system

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Příkaský, J. *Zabezpečování kvality sestav mechanických hřídelových těsnění*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2022, 58 s., Vedoucí diplomové doc. Ing. Róbert Jankových, CSc

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Róbertu Jankových, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Také děkuji své rodině, přítelkyni a spolupracující organizaci za podporu při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Róbert Jankových, CSc a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 18.5.2022

.....

Jakub Příkaský

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE.....	17
3	SYSTÉMY ŘÍZENÍ KVALITY	18
3.1	Kvalita.....	18
3.2	Management kvality	18
3.3	ISO 9001	20
3.3.1	Vybrané prvky normy ISO 9001	20
3.4	ISO 9100	22
3.5	Nástroje managementu kvality	22
3.5.1	Vybrané nástroje managementu kvality	23
4	ISO GPS	26
4.1	Geometrické vlastnosti	26
4.2	Vybrané vlastnosti ISO GPS.....	28
4.2.1	Válcovitost [13]	28
4.2.2	Textura povrchu.....	29
5	POPIS SOUČASNÉHO STAVU ŘÍZENÍ KVALITY HŘÍDELOVÝCH TĚSNĚNÍ	31
5.1	Systém managementu kvality	31
5.2	Uvolnění prvního kusu.....	31
5.3	Mezioperační kontrola	31
5.4	Výstupní kontrola	31
5.5	Řízení neshod.....	31
5.6	Systémový rozbor hodnocení kvality zvoleného výrobku.....	32
6	APLIKACE VYBRANÝCH NÁSTROJŮ ŘÍZENÍ KVALITY	33
6.1	Plánuj	33
6.1.1	Identifikace rizik.....	33
6.1.2	Paretův diagram	33
6.1.3	Vizuální vady.....	34
6.1.4	Textura povrchu.....	34
6.1.5	Průměr „A“	35
6.2	Dělej.....	37
6.2.1	Vizuální vady.....	37
6.2.2	Textura povrchu.....	37
6.2.3	Průměr „A“	37
6.3	KONTROLUJ.....	38
6.3.1	Vizuální vady.....	38
6.3.2	Textura povrchu.....	39
6.3.3	Průměr „A“	41
6.4	Jednej	46
6.4.1	Vizuální vady.....	46
6.4.2	Textura povrchu.....	47
6.4.3	Průměr „A“	48
7	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	55

7.1.1	Shrnutí původního stavu.....	55
7.1.2	Kořenové příčiny a nápravná opatření	55
8	ZÁVĚR.....	57
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	63
10.1	Seznam tabulek.....	63
10.2	Seznam obrázků.....	64
10.3	Seznam použitých zkratk	66
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

1 ÚVOD

Tato diplomová práce je příspěvkem k problematice zabezpečování kvality sestav mechanických hřídelových těsnění. Práce je zaměřena na zhodnocení současného stavu řízení kvality vybrané sestavy hřídelového těsnění, rozbor hodnocení kvality této sestavy, posouzení možností zlepšení systému řízení kvality této sestavy a aplikaci vybraných metod zlepšování kvality na zvoleném výrobku.

Diplomová práce byla vypracována s podporou spolupracující organizací. Tato společnost byla založena v roce 1955 a je světovou špičkou v návrhu, výrobě a testování sestav hřídelových těsnění a přesných dílů, které se používají ve vojenských a komerčních leteckých motorech, čerpadlech a mnoha dalších aplikacích.

Diplomová práce se dle jejího zadání a pokynů vedoucího práce dělí na úvod, 7 kapitol a závěr.

Druhá kapitola je zaměřena na úvod do problematiky zvoleného tématu diplomové práce a obsahuje motivaci pro její realizaci.

Ve třetí kapitole jsou definovány pojmy kvalita a management kvality. Dále se zabývá normou ISO 9001 a ISO 9100.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány základy systému ISO GPS a podrobněji popisuje problematiku geometrických tolerancí a textury povrchu.

Pátá kapitola je věnována popisu současného stavu systému řízení kvality hřídelových těsnění a systémovému rozboru hodnocení kvality zvoleného výrobku.

Šestá kapitola je praktickou částí této diplomové práce, kde jsou posouzeny možnosti zlepšení systému řízení kvality zvoleného výrobku a aplikovány na něm vybrané metody řízení kvality. Je zde dle metodiky PDCA řešena problematika zvolené sestavy hřídelových těsnění. Na konkrétní výrobní sérii tohoto produktu je provedena analýza neshodných výrobků, a jsou navržena a provedena nápravná opatření a kontrolovány dosažené výsledky.

V kapitole sedm jsou shrnuty a okomentovány dosažené výsledky této diplomové práce. Je zde také provedeno technické posouzení dosažených výsledků, vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Kapitola osm je závěrem této diplomové práce.

2 MOTIVACE

V dnešní době je kvalita pro zákazníka určujícím faktorem výkonnosti organizace. Součástí života každé zdravé organizace je poskytování vysoce kvalitních produktů a služeb, plnění přání a potřeb zákazníků, dodržování právních předpisů týkajících se životního prostředí a bezpečnosti práce. [1,33]

Žádný zákazník si nechce koupit automobil, který stráví v servisu delší dobu než v silničním provozu z důvodu vysoké poruchovosti. Po této zkušenosti zákazník již zřejmě automobil od této značky nekoupí, a navíc ještě dojde k poškození dobrého jména organizace vyrábějící tento automobil. Žádný vedoucí pracovník organizace nebude používat externí nedestruktivní testování dílů v jiné organizaci, která opakovaně poškodí zaslané díly, tím ohrozí dodací termíny a dobré jméno původní organizace. [1,33]

Jednou ze základních nutností každé organizace je pochopení a uspokojení potřeb všech zainteresovaných stran. Majitel nebo akcionář organizace požaduje, aby organizace vykazovala co největší zisk. Zaměstnanec si přeje, aby mzdy rostly vyšším tempem než inflace. Zákazník požaduje, aby zakoupený produkt byl co nejlevnější a přitom splňoval všechny jeho kvalitativní požadavky. [1,33]

Před několika desítkami let jen málo lidí vědělo o přínosech zavádění a udržování systému managementu kvality. V dnešní době je to pro výrobní organizace v mnoha odvětvích průmyslu nutnost. Cílem každé organizace by mělo být budování dobrého jména u zákazníka, identifikace a zaměření na jeho požadavky, personální konsolidace, snižování nákladů na nekvalitu, efektivitu a z toho vyplývající dobré finanční výsledky organizace. [1,33]

Tato diplomová práce má dle zadání následující cíle:

1. popis současného stavu řízení kvality hřídelových těsnění ve spolupracující organizaci,
2. systémový rozbor hodnocení kvality zvoleného výrobku,
3. posouzení možnosti zlepšení systému řízení kvality zvoleného výrobku ve firmě,
4. aplikace vybraných metod na zvoleném výrobku,
5. technické posouzení dosažených výsledků,
6. vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Tyto cíle jsou v souladu s kapitolou 10.3 normy ČSN EN ISO 9001 neustálé zlepšování. Jen pomocí neustálého zlepšování je možné neustále uspokojovat vyvíjející se potřeby zákazníka a tím dosáhnout udržení podílu na trhu. [1,7]

Dle pokynů vedoucího práce a na základě požadavků spolupracující organizace bylo rozhodnuto jednotlivé cíle plnit následovně. První cíl této diplomové práce zahrnuje popsání současného stavu systému řízení kvality dle norem ISO 9001 a AS 9100 ve spolupracující organizaci. Druhého cíle je možno dosáhnout popsáním systému požadavků na zvolený výrobek. Třetí cíl je možno splnit pomocí návrhu reálných nápravných opatření na základě analýzy neshod. Čtvrtý cíl je dosažitelný pomocí aplikace metod 5 WHY, Paretova diagramu, SPC, PDCA a posuzování shody se specifikací v souladu s ISO 14253-1:2017. Technické výsledky je nutné posuzovat v rámci PDCA cyklu. Doporučení do praxe je možno splnit pomocí návrhu nových geometrických charakteristik pro řešené hřídelové těsnění v souladu s perspektivním systémem ISO GPS.

3 SYSTÉMY ŘÍZENÍ KVALITY

Tato kapitola je teoretická část diplomové práce. V kapitole 3.1 je definován a teoreticky popsán termín kvalita. Kapitola 3.2 popisuje historii vývoje managementu kvality. V části 3.3 je popsán moderní systém kvality dle ISO 9001 a v poslední kapitole 3.4 jsou rozebrány rozdíly mezi normami ISO 9001 a ISO 9100. Tyto systémy řízení kvality jsou využívány ve spolupracující organizaci, podrobně viz. 5. kapitola.

3.1 Kvalita

V literatuře nalezneme celou řadu definic termínu kvalita. Vůbec první definice tohoto pojmu se přisuzuje řeckým filozofům Platónovi a Aristotelovi již několik století před naším letopočtem. S postupem času a průmyslových revolucí se objevovali různé definice kvality. Mezi nejvýznamnější patřily tyto: [6,33]

- „Kvalita je shoda s požadavky (Crosby)“ [6],
- „Kvalita je způsobilost k užití (Juran)“ [6],
- „Kvalita je to, co za ni považuje zákazník (Feigenbaum)“ [6].

V různých oblastech služeb a průmyslu můžeme pojem kvalita chápat odlišně. V tabulce 1 jsou uvedeny příklady těchto odlišných pohledů. V současné době je nejpoužívanější definice kvality z normy ISO 9000: „stupeň plnění požadavků souborem inherentních charakteristik objektu“ [6]. Tato definice je velice obecná, a proto i univerzální. [6,33]

Tabulka 1) Chápání kvality z dle ekonomických oblastí [6]

Oblast ekonomiky	Chápání kvality jako
Letecké společnosti	Dodržení termínů příletů, nízké náklady, bezpečnost
Automobilový průmysl	Nulový rozsah vad, spolehlivost
Zdravotní péče	Správná a rychlá diagnóza, minimální čekací doby, diskrétnost, špičkové znalosti lékařů a sester
Poštovní služby	Rychlost dodání, spolehlivost personálu, spolehlivost dodání zásilek
Školství	Dosažení shody s plánovanými výstupy učení, znalosti žáků a studentů, jejich uplatnění na trhu práce
Výroba „bílého zboží“	Atraktivní design, provozní spolehlivost, nízká energetická spotřeba
Výroba potravin	Zdravotní nezávadnost, vynikající chuť a další senzorické vlastnosti, rychlost dodání zákazníkům

3.2 Management kvality

První písemné zmínky o managementu kvality lze najít v zákoníku krále Babylonu Chammurapiho (kolem roku 1686 před naším letopočtem). Pokud stavitel postavil zeď u domu, která následně spadla, tak byl povinen dle tohoto právního kodexu na své náklady postavit novou dostatečně pevnou zeď. [6, 33, 35]

V moderní době se první zaměstnanci zabývající technickou kontrolu začínají objevovat kolem roku 1920. V průběhu 2. světové války tento trend nabírá na významnosti hlavně v USA [6, 33].

TYP MODELU	OBDOBÍ KOLEM ROKU	CHARAKTERISTICKÉ RYSY
Model řemeslný výroby	1900	Přímý kontakt řemeslníka se zákazníkem
Model výroby s technickou kontrolou	1920	Zprůmyslnění výroby, první výrobní linky. Nejlepší dělníci vyčlenění jako pracovníci kontroly kvality
Model výroby s aplikací statistických metod ve výrobě	1940	První aplikace statistické regulace a statistické přejímky dle návrhů Shewarta a Romiga
Model s regulací procesů	1960	Statistické řízení rozšířeno v Japonsku na všechny procesy. Poprvé zaveden pojem systémů managementu kvality.
Model s komplexním řízením kvality	1970	Přijata idea, že kvalita je záležitostí všech zaměstnanců a týká se všech činností organizace
Model s kritériálními standardy	1987	Vydány první verze norem řady 9000. Byli definovány generické požadavky na systém managementu kvality.
Model s integrací systémů managementu	1999	Analýzou požadavků na další systémy managementu (enviroment, bezpečnost atd.) se dospělo k poznání, že tyto systémy lze integrovat

Obr. 1) Milníky managementu kvality [6]

V průběhu 50. let 20 století se rozvíjel první systémové přístupy k managementu kvality. Jedním z nejdůležitějších milníků managementu kvality bylo vydání prvních norem řady 9000 v roce 1987. Na obrázku 1 jsou znázorněny nejdůležitější milníky managementu kvality v průběhu 20. století. [6,33]

Pro různé organizace s ohledem na jejich zaměření, velikost a požadavky jsou vhodné různé systémy kvality. V současné době jsou nejvíce rozšířené tyto čtyři koncepce systému řízení kvality:

- dle norem řady ISO,
- dle odvětvových norem,

- dle komplexního řízení kvality,
- dle interních norem. [6]

3.3 ISO 9001

„ISO 9001 se ve své historii stala nejprodávanější normou v rámci Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO. Jednotlivá vydání prošla vývojovými stupni, které reagovaly na požadavky celého řetězce uživatelů norem a dále na změny podnikatelského prostředí. Mezi hlavní uživatele norem se řadí organizace, které chtějí zavést systém managementu kvality, akreditační a certifikační orgány, poradenské organizace a organizace požadující systém managementu kvality po svých dodavatelích. Postupem času byly požadavky 20 prvků uvedené v původním prvním vydání nahrazeny prvky s procesní orientací, které umožňují uživatelům monitorovat výkonnost procesů na základě dosažených výsledků, na výstupech z jednotlivých procesů a dále umožňují monitorovat výkonnost systému managementu kvality jako celku“ [1]

V roce 2015 bylo vydáno v pořadí již páté vydání této normy. Toto vydání se zaměřilo na sjednocení struktury norem systému managementu, přizpůsobení změnám podnikatelského prostředí a v neposlední řadě přizpůsobení pro služby a malé organizace. Základními prvky této normy jsou procesní přístup za použití cyklu PDCA a zvažování rizik. [1]

3.3.1 Vybrané prvky normy ISO 9001

V této kapitole jsou popsány vybrané prvky normy ISO 9001 se zaměřením na potřeby této diplomové práce a hlavní myšlenky celé normy. [1,7]

Zásady managementu kvality

Těmito zásadami jsou:

- „zaměření na zákazníka;
- vedení;
- angažovanost lidí;
- procesní přístup;
- zlepšování;
- rozhodování založené na faktech;
- management vztahů.“ [1]

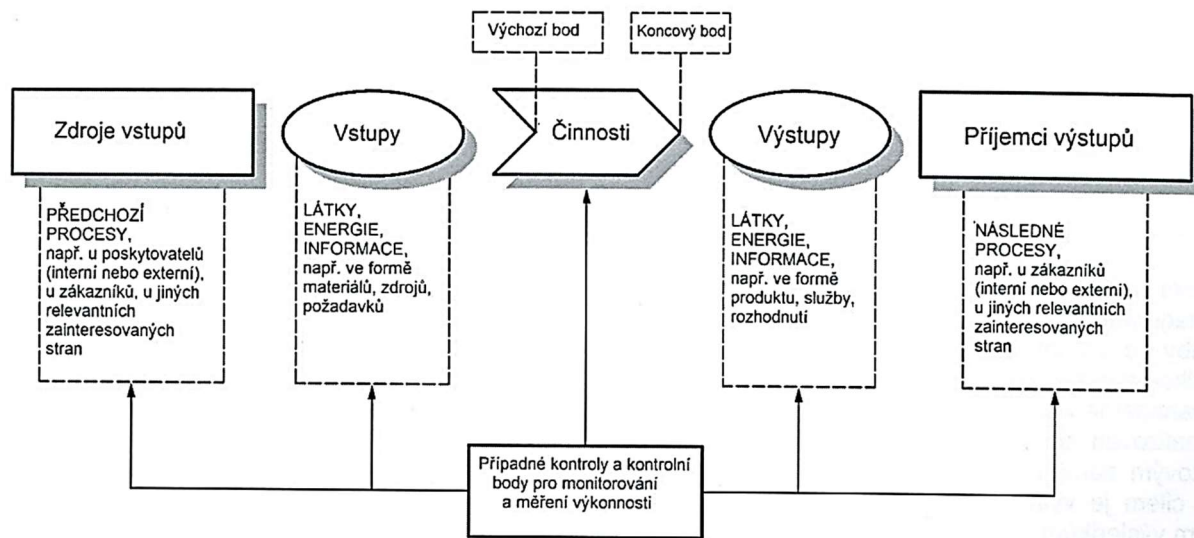
Procesní přístup

„Procesní přístup vyžaduje systematické vymezení a management procesů a jejich vzájemných vazeb tak, aby se dosáhlo zamýšlených výsledků v souladu s politikou kvality a strategickým zaměřením organizace.“ [1]

„Použitím procesního přístupu v rámci systému managementu kvality umožňuje:

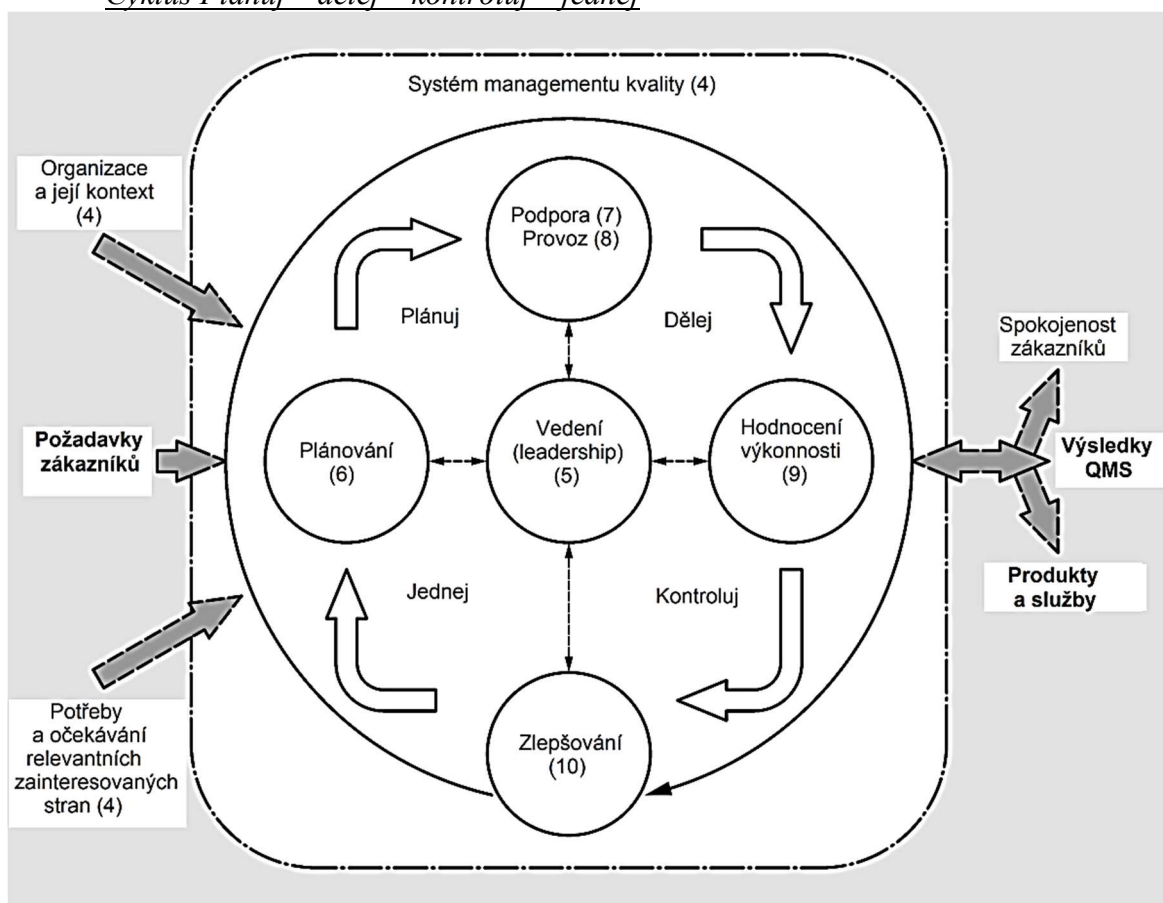
- pochopení požadavků a důsledků při jejich plnění;
- zvažování procesů z hlediska přidané hodnoty;
- dosažení efektivní výkonnosti procesů;
- zlepšení procesů na základě hodnocení dat a informací.“ [1]

„Obrázek 2 uvádí schématické znázornění jakéhokoliv procesu a ukazuje vzájemné vazby jeho prvků. Monitorovací a měřicí kontrolní body, které jsou nezbytné pro řízení, jsou specifické pro každý proces a budou se měnit v závislosti na souvisejících rizicích“ [1]



Obr. 2) Schéma procesu [1]

Cyklus Plánuj – dělej – kontroluj – jednej



Obr. 3) Cyklus PDCA pro kapitoly 4 až 10 normy ISO 9001 [1]

„Cyklus PDCA lze aplikovat na všechny procesy a na systém managementu kvality jako celek.“ [1]

Obrázek 3 znázorňuje příklad použití PDCA cyklu. Jsou na něm uvedeny kapitoly 4 až 10 z normy ISO 9001. Tato metoda je základním stavebním kamenem procesního přístupu a tím i celé normy. [1]

„Cyklus PDCA lze ve stručnosti popsat takto:

- *Plánuj: stanov cíle systému a jeho procesů a zdroje potřebné pro dosažení výsledků v souladu s požadavky zákazníka a s politikami organizace, identifikuj rizika a příležitosti a zaměř se na ně.*
- *Dělej: zaváděj to, co bylo naplánováno.*
- *Kontroluj: monitoruj a (přichází-li to v úvahu) měř procesy a výsledné produkty a služby ve vztahu k politikám, cílům, požadavkům a plánovaným činnostem a podávej zprávy o výsledcích.*
- *Jednej: podle potřeby přijímej opatření pro zlepšení výkonnosti.“ [1]*

„PDCA cyklus umožňuje organizaci ujistit se, že jsou pro její procesy zajištěny a řízeny odpovídající zdroje, jsou stanoveny příležitosti ke zlepšení a jedná se podle nich.“ [1]

„Tradičně je cyklus PDCA používán v případech, kdy se vyskytují problémy. Hnací silou cyklu je rozdíl mezi požadavky zákazníka a výstupem z procesů“ [1]

„Aplikace cyklu PDCA umožňuje systematicky zvyšovat znalosti o procesech, plánovat a zavádět změny a vyhodnocovat výsledky zlepšení. Žádné zlepšení není konečné. Zlepšování všech procesů tvoří základ k dosažení vysoké kvality produktů a služeb.“ [1]

Neustálé zlepšování

„Strategickým cílem každé organizace musí být neustálé zlepšování všech procesů, aby se zvyšovala výkonnost organizace, snižovaly ztráty a aby to přinášelo prospěch organizaci i všem jejím zainteresovaným stranám a zajišťovalo konkurenceschopnost na trhu.“ [1]

3.4 ISO 9100

Tato norma je určena pro organizace, které se zabývají návrhem, vývojem nebo poskytují produkty pro letectví, obranu nebo kosmonautiku. Tyto organizace musí neustále zlepšovat spolehlivost a bezpečnost produktů a služeb. Globalizace těchto průmyslů a tím způsobená geografická rozmanitost jejich působišť organizací tyto cíle komplikuje a čelí výzvám tímto způsobeným. [7]

Všechny požadavky z normy ČSN EN ISO 9001 jsou uvedeny i v letecké normě ČSN EN 9010. K těmto požadavkům jsou přidány další požadavky specifické pro letecký průmysl. Mezi tyto dodatečné požadavky patří například řízení rizik, konfigurační management, etické chování, lidské faktory nebo řízení neshod. Tato norma je shodná s normou AS 9100. [1,7,14]

3.5 Nástroje managementu kvality

Tato část diplomové práce je věnována moderního nástrojů managementu kvality. Z důvodu efektivnosti, účinnosti a objektivního posouzení nejrůznějších procesů došlo k vývoji velkého množství různých nástrojů kvality. [6,29]

Pro každou situaci není vhodný každý nástroj kvality. Pouze vhodným výběrem nástroje a jeho vhodným použitím lze dosáhnout zlepšení kvality. Mezi základní nástroje managementu kvality patří:

- Vývojový diagram, stratifikace / mapy vad;
- Záznamy a záznamníky, formuláře, tabulky, grafy;
- Histogramy;
- Analýza příčin a následků (Ishikawův diagram);
- Paretova analýza;
- Regulační diagramy;
- Regresní a korelační analýza. [6,29,34]

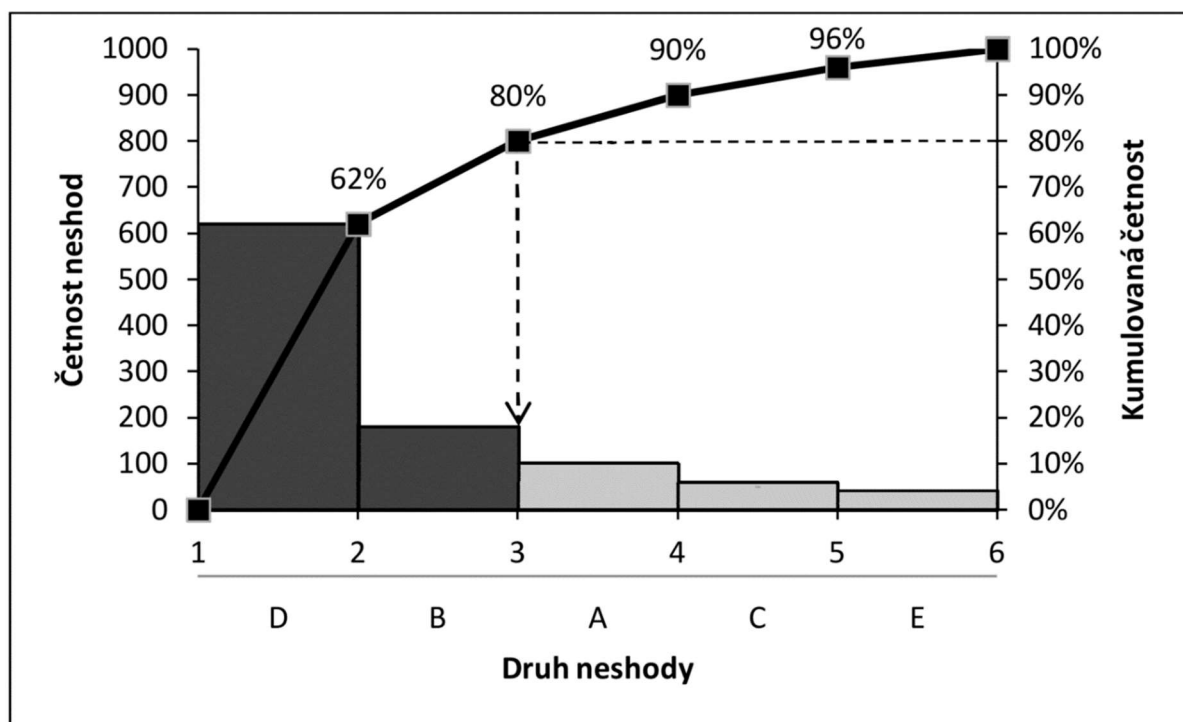
3.5.1 Vybrané nástroje managementu kvality

Tato kapitola je věnována vybraným nástrojům pro potřeby této diplomové práce. [6,29]

Paretova analýza

Tento diagram nese jméno slavného ekonoma italského původu V. Pareta. Tento ekonom se na konci 19. století věnoval studiu rozložení bohatství mezi lidmi. Došel k závěru, že 80 % majetku vlastní 20 % lidí. V dnešní době je tento princip rozšířen v mnoha odvětvích. V oblasti kvality je používán od 70. let 20. století zásluhou J. M. Jurana. [6,29]

Paretův diagram patří z důvodu efektivnosti a snadné aplikovatelnosti k nejpoužívanějším nástrojům v systémech managementu kvality. Tento diagram umožňuje při řešení problému snadno stanovit priority na které mohou být následně zaměřeny další nástroje kvality. [6,29]

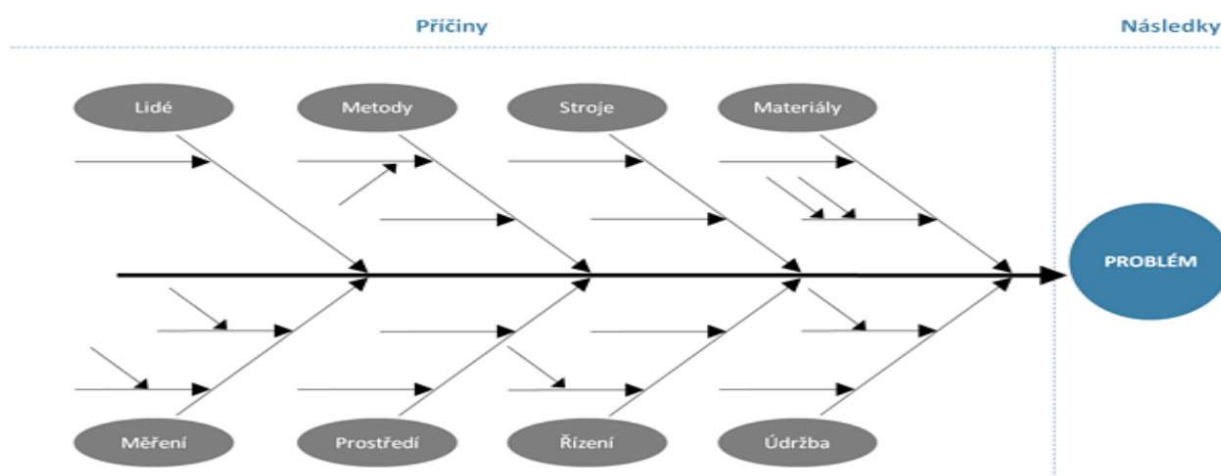


Obr. 4) Příklad Paretova diagramu [29]

Pro správnou aplikaci Paretova diagramu je nejprve rozdělit vstupy do vhodných skupin a poté identifikovat počet jejich výskytů. V některých případech je potřeba také zohlednit závažnost jednotlivých vstupů. V tomto případě vynásobíme vstupy koeficientem závažnosti. Jako koeficient závažnosti se hojně využívá finanční ohodnocení. Příklad Paretova diagramu je uveden na obrázku číslo 4. [6,29]

Ishikawův diagram

Tento diagram je také často označován jako diagram příčin a následků nebo diagram rybí kosti. Tento jednoduchý grafický nástroj logicky a uspořádaně zobrazuje vztah všech možných příčin určitého následku. Je vhodné ho použít pro řešení následku, u kterého předpokládáme, že je způsoben více příčinami. Mezi jeho hlavní výhodu patří snadná pochopitelnost. Na obrázku číslo 5 je uveden příklad Ishikawůva diagramu. [6,29]



Obr. 5) Příklad Ishikawůva diagramu [27,30]

Hlavní problém je zobrazen v pravé části diagramu. Při řešení kvalitativních problémů se nejčastěji používají 4–8 skupin hlavních příčin. Do těchto skupin patří lidé, metody, stroje, materiály, měření, prostředí, řízení a údržba. Často se pro ně používá označení „8M“ vyplývající z jejich anglických ekvivalentů. Hlavní příčiny se do diagramu zobrazují jako „hlavní kosti“. Poté proběhne analýza a do jednotlivých kostí diagramu jsou přiřazeny konkrétní možné příčiny řešeného problému. [6,29]

Regulační diagramy

Jde o základní nástroj statistické regulace procesu. V tomto průběhovém diagramu je vodorovně znázorněn horní a dolní regulační limit. Tyto limity jsou obvykle vzdáleny 3 směrodatné odchylky od centrální přímky, která leží mezi nimi a znázorňuje střední hodnotu. Regulační diagram umožňuje snadno znázornit variabilitu procesu a určit, jestli je proces pod kontrolou nebo mimo kontrolu. Variabilitu procesu způsobují vymezené (zvláštní) a náhodné příčiny. Náhodné příčiny působí na proces trvale a způsobují jen malou variabilitu. Vymezené příčiny mohou ovlivnit variabilitu výraznou měrou. Další dělení vymezených příčin je na nepředvídatelné (například nepředvídané chování procesu) a předvídatelné (například otupení nástroje během obrábění). [6,29]

Metoda 5x proč

Tato metoda je pro její jednoduchost a účinnost nejrozšířenějším nástrojem kvality v průmyslové praxi. Základní myšlenka spočívá v položení 5krát po sobě otázky „Proč?“. Metoda vede postupně řešitele přes jednotlivé úrovně až ke kořenové příčině řešeného problému. Tato metoda může zabránit zavedení nápravných opatření jen na některou z prvních úrovní řešeného problému. V praxi často opakujeme otázku „Proč?“ tři až pětkrát. [6,29]

4 ISO GPS

Tato kapitola se zabývá geometrickou specifikací produktu. V kapitole jsou podrobněji rozebrány vybrané vlastnosti ISO GPS. Konkrétně jde o válcovitost (4.2.1) a texturu povrchu (4.2.2).

Geometrická specifikace produktu je mezinárodně uznávaný koncept pokrývající všechny různé požadavky, které mohou být uvedené ve výkresové dokumentaci, pro geometrii výrobků. Zahrnuje všechny související principy ověřovací, měřidla a jejich kalibraci. Jednodušeji řečeno jsou to všechny požadavky specifikující mikro a makro geometrii výrobku spolu s požadavky na ověřování a kalibraci použitých měřidel. [8,9,10]

4.1 Geometrické vlastnosti

„V systému ISO GPS je identifikováno devět geometrických vlastností. V budoucnu mohou být přidány další geometrické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou:

- *rozměr;*
- *vzdálenost;*
- *tvar;*
- *orientace;*
- *umístění;*
- *házení;*
- *textura povrchu profilu;*
- *textura povrchu plochy;*
- *nedokonalost povrchu.“* [10]

„Pro každou geometrickou vlastnost je nutné mít možnost definovat specifikaci pro tuto vlastnost, je nutné umět tuto vlastnost změřit a je nutné mít možnost porovnat měření se specifikací.“ [10]

Tabulka 2) Příklad maticového modelu norem ISO GPS [10]

	Články řetězce						
	A	B	C	D	E	F	G
	Značky a indikace	Požadavky prvku	Vlastnosti prvku	Shoda a neshoda	Měření	Měřicí zařízení	Kalibrace
Rozměr	ISO 14405-1	ISO 14405-1	ISO 286-1	ISO/TR 16015	ISO 1938-1	ISO 463	ISO/TS 15530-3
	ISO 286-1	ISO 286-1	soubor ISO/TS 16610	soubor ISO 14253		ISO 13385-1	ISO/TS 15530-4
		ISO 286-2	ISO 14405-1			ISO 13385-2	ISO/TR 16015
						ISO 3650	soubor ISO/TS 16610
						ISO/TR 16015	soubor ISO 14253
						ISO/TS 23165	
						soubor ISO 14253	
						soubor ISO 10360	

„Normy ISO GPS lze uspořádat do matice obsahující řádky a sloupce. Každý řádek v matici obsahuje jednu z devíti kategorií geometrických vlastností, které se smí dále rozdělit do řetězců norem, a každý sloupec je popsán jako „článek řetězce“. Rozsah každé normy ISO GPS lze znázornit v matici ISO GPS, která uvádí, na které články řetězce (sloupce) v daných kategoriích geometrických vlastností (řádky) se norma vztahuje“ [10] V tabulce 2 je uveden příklad použití matice ISO GPS pro identifikaci norem vztahujících se ke geometrické charakteristice rozměru. [8,10]

Rozměr

Norma ČSN EN ISO 14405-1 uvádí, že rozměr lze definovat jako průměr válce, vzdálenost mezi dvěma soustřednými kružnicemi, vzdálenost mezi dvěma paralelními protilehlými rovinami, nebo vzdálenost mezi dvěma protilehlými přímkami. Tyto charakteristiky lze také definovat jako vzdálenost, šířka, tloušťka nebo průměr. Rozměr může být úhlový nebo lineární. [11]

Vzdálenost

Vzdálenost je definována jako rozměr mezi dvěma geometrickými prvky, které ale nemohou být považovány za rozměrový prvek. Vzdálenost může být definována v úhlových nebo délkových jednotkách. [12]

Tvar

Tvar je druh geometrické tolerance, kterou lze popsat určitou vlastností. Mezi tyto vlastnosti patří přímost, rovinnost, kruhovitost, válcovitost, profil čáry a profil povrchu. [13]

Orientace

Orientaci lze popsat, jako geometrickou toleranci, která popisuje rovnoběžnost, kolmost, profil čáry a povrchu. [13]

Umístění

Touto geometrickou tolerancí je možno popsat polohu, soustřednost středů, souměrnost, sousost a profily povrchu a čáry. [13]

Házení

Tato geometrická tolerance se dělí na obvodové házení a celkové házení. [13]

Textura povrchu profilu

Profil povrchu vzniká jako průsečnice dané roviny a skutečného povrchu. Pomocí filtrů vzniká základní profil, profil drsnosti a vlnitosti. [15]

Textura povrchu plochy

Základem plošného hodnocení textury povrchu je matematické zpracování dat z modelu povrchu. Z tohoto povrchu je pomocí vzorkování a aplikace krátkovlnného S-filtru základní povrch. Poté jsou na S-F nebo S-L povrchu vyhodnoceny plošné parametry textury povrchu. [16]

Nedokonalost povrchu

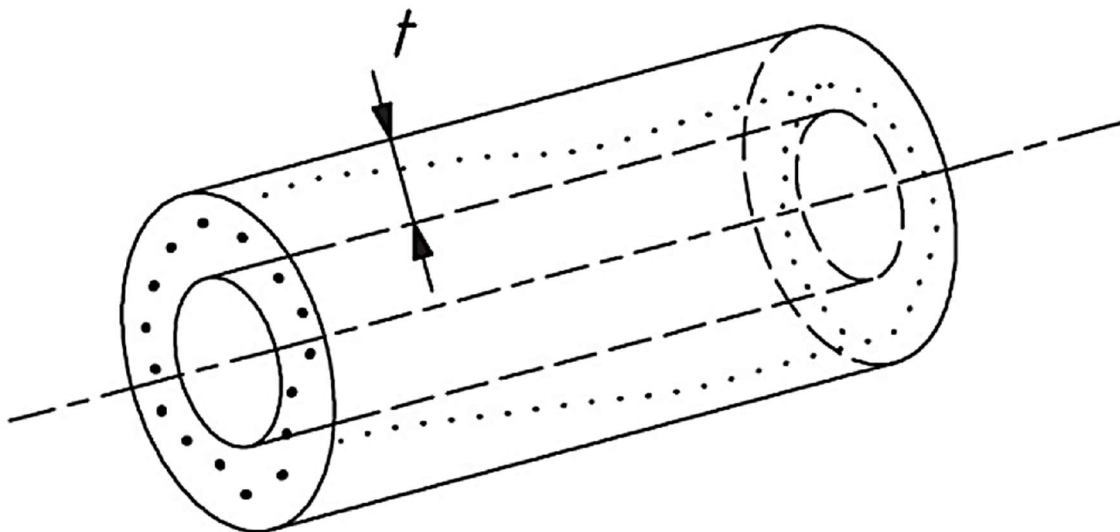
Nedokonalost prvku lze definovat jako prvek nebo nepravidelnost na skutečném povrchu, které byly náhodně nebo neúmyslně způsobeny během používání výrobku nebo jeho výroby či skladování. [17]

4.2 Vybrané vlastnosti ISO GPS

Tato kapitola detailně popisuje vybrané vlastnosti dle koncepce ISO GPS. [8,10]

4.2.1 Válcovitost [13]

Válcovitost lze definovat tak, že všechny body vyhodnocovaného objektu (válce) musí ležet v tolerančním poli stanoveném dvěma soustřednými válci s rozdílem poloměrů o velikosti tolerance válcovitosti (Obr. 6). [13]



Obr. 6) Definice válcovitosti [13]

Referenční válec je válec přizpůsobený válcovému povrchu, ke kterému jsou uvedeny parametry válcovitosti a úchylky od válcového tvaru. V normě ČSN EN ISO 12180-1:2011 jsou definovány následující referenční válce: [18]

- „**Referenční válec minimální zóny** – dva koaxiální válce ohraničující válcový povrch a které jsou umístěny v nejmenší radiální vzdálenosti“ [18]
- „**Referenční válec nejmenších čtverců** – válec, pro který je součet čtverců místních úchylek válcovitosti minimální“ [18]
- „**Minimální opsaný referenční válec** – nejmenší možný válec, který může být umístěn okolo válcového povrchu“ [18]
- „**Maximální vepsaný referenční válec** – největší možný válec, který může být umístěn uvnitř válcového povrchu.“ [18]

Parametry válcovitosti jsou definovány následovně:

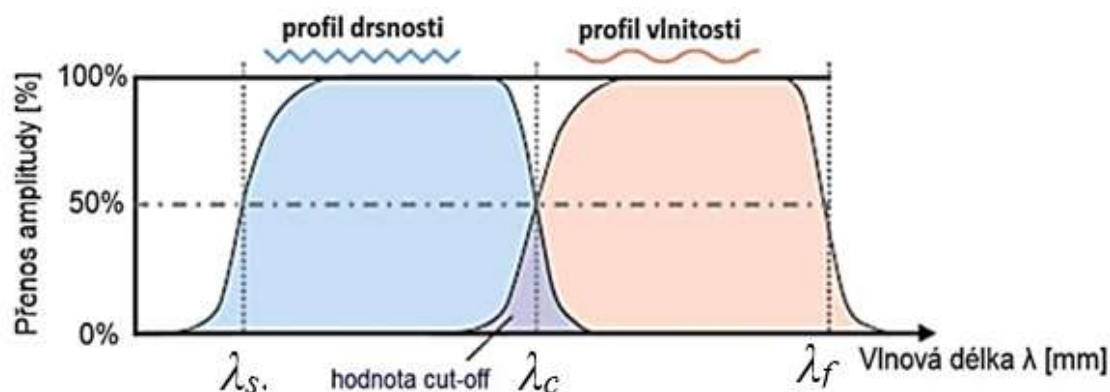
- „**Úchylka válcovitosti od piku k prohlubni** – hodnota největší kladné místní úchylky válcovitosti přidaná k absolutní hodnotě největší záporné místní úchylky válcovitosti.“ [18]
- „**Úchylka válcovitosti od piku k referenci** – hodnota největší kladné místní úchylky válcovitosti od referenčního válce nejmenších čtverců.“ [18]
- „**Úchylka válcovitosti od reference k prohlubni** – absolutní hodnota největší záporné místní úchylky válcovitosti od referenčního válce nejmenších čtverců.“ [18]

- „*Střední kvadratická odchylka válcovitosti – druhá odmocnina součtu čtverců místních úchylek válcovitosti od referenčního válce nejmenších čtverců.*“ [18]

4.2.2 Textura povrchu

Textura povrchu je definována jako náhodné nebo opakované úchyly od geometrického povrchu, které vytváří třírozměrnou topografii povrchu. Textura povrchu je tvořena stopami po obrábění, nedokonalostmi, úchylností tvaru na omezené ploše, drsností a vlnitostí. [17]

Z úplného (naměřeného) profilu je pomocí krátkovlnného filtru λ_s vytvořen základní profil. Od tohoto profilu jsou odvozeny profily drsnosti a vlnitosti. Po aplikaci středně vlnného filtru λ_c na základní profil vznikne profil drsnosti. Profil vlnitosti vzniká ze základního profilu aplikací filtrů λ_f a λ_s . Na obrázku 7 je uveden příklad použití filtrů λ_s , λ_c a λ_f . [15,20,21]



Obr. 7) Příklad použití filtrů [22,23]

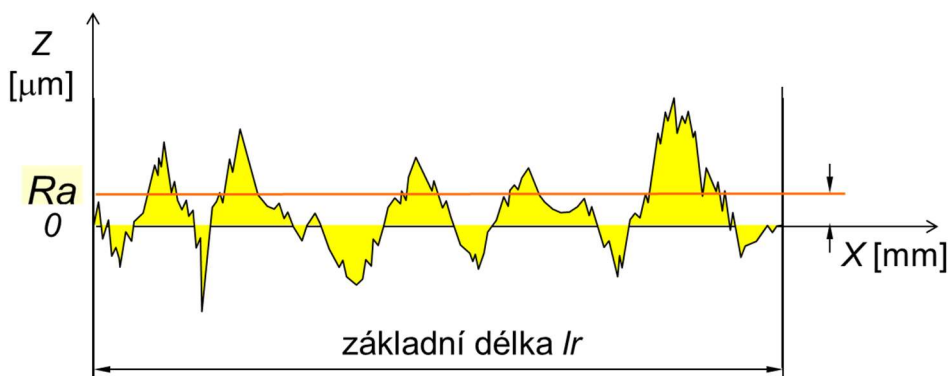
Na základním profilu jsou vyhodnocovány P-parametry, na profilu drsnosti R-parametry a na profilu vlnitosti W-parametry. Norma u každého parametru určuje, zda se vyhodnocuje na vyhodnocovací nebo základní délce ve směru osy X. [15,21]

V normě ČSN EN ISO 4287 je definováno šestnáct parametrů a křivek profilu. Tyto parametry lze rozdělit na tvarové, výškové a délkové. Každý z těchto parametrů je možno vyhodnotit na základním profilu, profilu drsnosti i profilu vlnitosti. Tato práce se dále zabývá pouze parametry drsnosti R_a a R_z . Tyto dva parametry jsou v praxi nejrozšířenější. [15,21]

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

„aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky“ [15]

Na obrázku 8 je uveden příklad parametru R_a . Matematický vztah pro výpočet parametru R_a představuje rovnice (1). Tento parametr je mnohdy již považován za zastaralý z důvodu, že ve skutečnosti jde pouze o „průměrnou hodnotu“. [15,21]



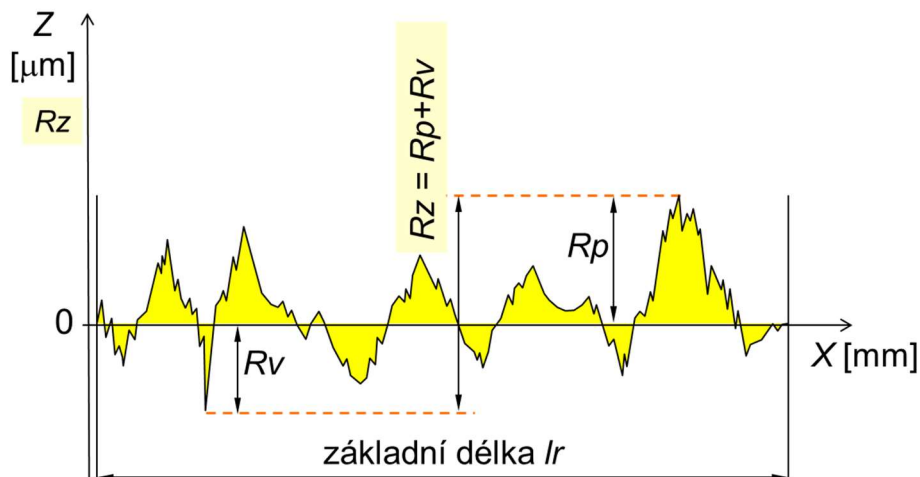
Obr. 8) Parametr drsnosti Ra [36]

$$Ra = \frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} |Z(x)| dx [\mu m] [36] \quad (1)$$

Největší výška profilu

„součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky“ [15]

Z této definice je patrné, že se jedná o „nejhorší“ naměřenou hodnotu drsnosti v celém rozsahu základní délky. Tento parametr drsnosti povrchu je v průmyslu stále více používán a má značnou vypovídající hodnotu. Příklad interpretace tohoto parametru je znázorněn na obrázku 9 a vztah pro jeho výpočet v rovnici (2), (3) a (4). [15,21]



Obr. 9) Parametr drsnosti Rz [36]

$$Rz = Rp + Rv [\mu m] [36], \quad (2)$$

$$Rp = \max(Zp_i) [\mu m] \quad (3)$$

$$Rv = \max(|Zv_i|) [\mu m] [36] \quad (4)$$

5 POPIS SOUČASNÉHO STAVU ŘÍZENÍ KVALITY HŘÍDELOVÝCH TĚSNĚNÍ

Tato kapitola shrnuje současný stav řízení kvality ve vybrané výrobní organizaci pro potřeby této diplomové práce. V rámci organizace jsou jako standartní jednotky používány palce a mikropalce. Pro potřeby této diplomové práce byly jednotky přepočteny do milimetrů a mikrometrů.

5.1 Systém managementu kvality

Organizace má certifikovaný systém managementu kvality dle ISO 9001 a AS9100 (ekvivalent ISO 9100). V organizaci je uplatňován procesní přístup, neustálé zlepšování a všechny další požadavky těchto norem dle kapitol 3.3 a 3.4.

5.2 Uvolnění prvního kusu

V současné době je během výrobních operací prováděno uvolnění prvního kusu. Operátor výroby provede měření všech charakteristik uvedených na výkresové dokumentaci, které je schopný měřit s měřidly dostupnými ve výrobě a naměřené hodnoty zaznamená do formuláře. Poté předá vyrobený kus spolu s formulářem oddělení inspekce a ta provede ověření všech charakteristik uvedených na výkresové dokumentaci. Pokud jsou všechny naměřené hodnoty v souladu s požadavky výkresové dokumentace, tak inspektor provede uvolnění prvního kusu a operátor výroby může pokračovat ve výrobě ostatních kusů stejným způsobem, kterým vyrobil první kus.

5.3 Mezioperační kontrola

V současné době je mezioperační kontrola pouze na uvážení operátora výroby. Ten provádí měření s měřidly dostupnými ve výrobě. V případě, pokud to uzná za vhodné, může požádat oddělení inspekce o mezioperační kontrolu.

5.4 Výstupní kontrola

Dle vnitřních předpisů organizace je prováděna 100% kontrola kritických a vybraných charakteristik oddělením inspekce dle plánu měření pro daný výrobek. Ostatní charakteristiky jsou kontrolovány vzorkováním dle vnitřního předpisu organizace.

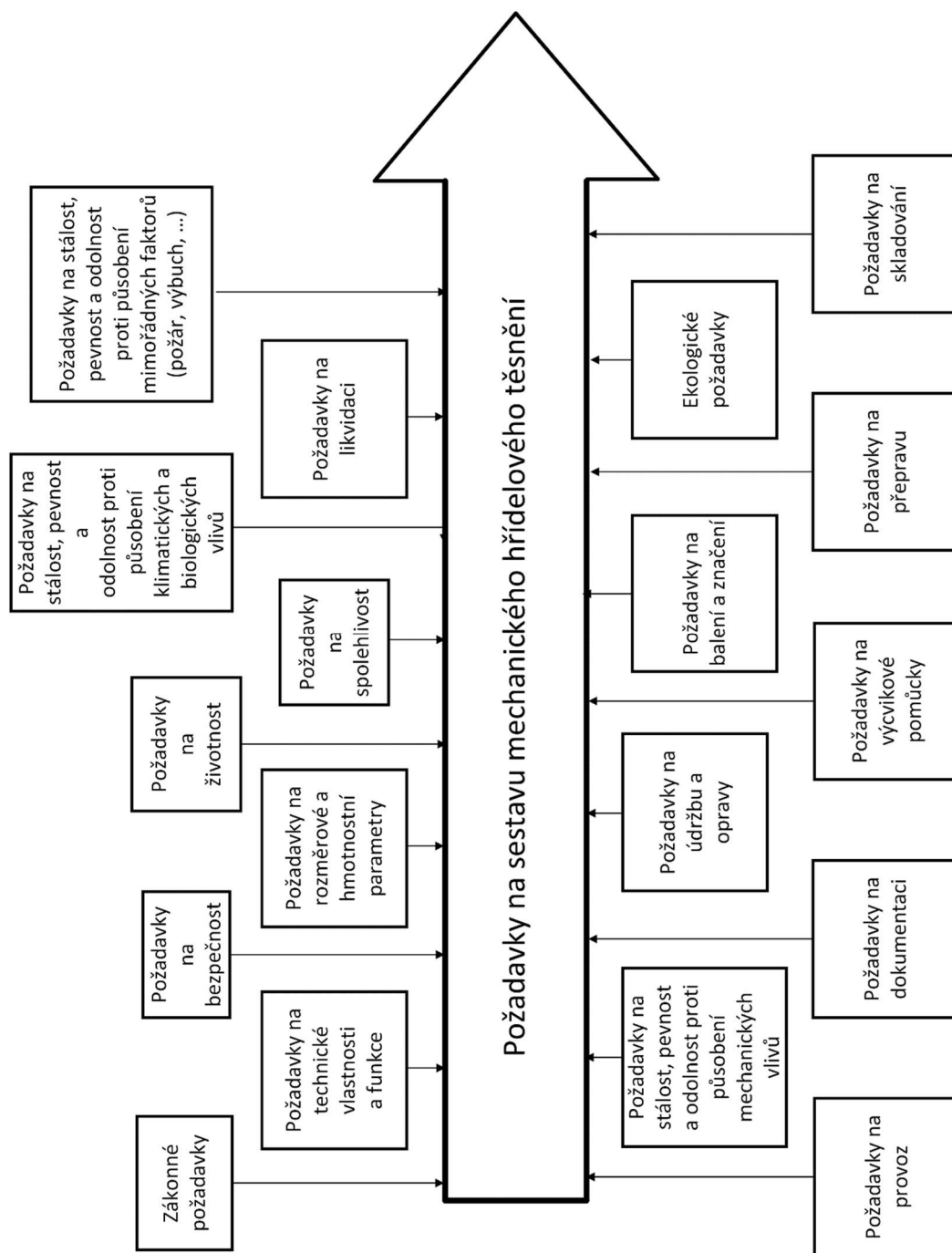
5.5 Řízení neshod

V případě nalezení neshody na kusu během jakékoliv fáze výroby je nutno vystavit formulář o neshodě. O dispozicích neshod poté rozhoduje oprávněná osoba dle vnitřních předpisů organizace.

5.6 Systémový rozbor hodnocení kvality zvoleného výrobku

Kvalita zvolené sestavy hřídelových těsnění je řízena dle výše uvedeného systému (kapitoly 5.1,5.2,5.3,5.4 a 5.5). Pro funkci sestavy je kritický průměr „A“ a textura povrchu Ra 12 μ inch.

Systémový rozbor hodnocení kvality zvoleného výrobku je zobrazen na obrázku číslo 10. Na základě tohoto obrázku je možno konstatovat, že požadavky na zvolenou sestavu hřídelového těsnění jsou komplexní a není možné žádný z nich opomenout. Zvláštní pozornost je třeba věnovat požadavku na bezpečnost.



Obr. 10) Systémový rozbor hodnocení kvality mechanického hřídelového těsnění [31]

6 APLIKACE VYBRANÝCH NÁSTROJŮ ŘÍZENÍ KVALITY

V této kapitole byla řešena problematika vybrané sestavy hřídelových těsnění dle ISO 9001 pomocí metody PDCA. V kapitole 6.1 byl popsán stav po finální kontrole jedné výrobní série vybrané sestavy hřídelových těsnění a v rámci diplomové práce byly navrženy nápravné opatření a na ně navazující akce v kapitolách 6.2, 6.3 a 6.4.

6.1 Plánuj

„Stanov cíle systému a jeho procesů a zdroje potřebné pro dosažení výsledků v souladu s požadavky zákazníka a s politikami organizace, identifikuj rizika a příležitosti a zaměř se na ně“ [1]

6.1.1 Identifikace rizik

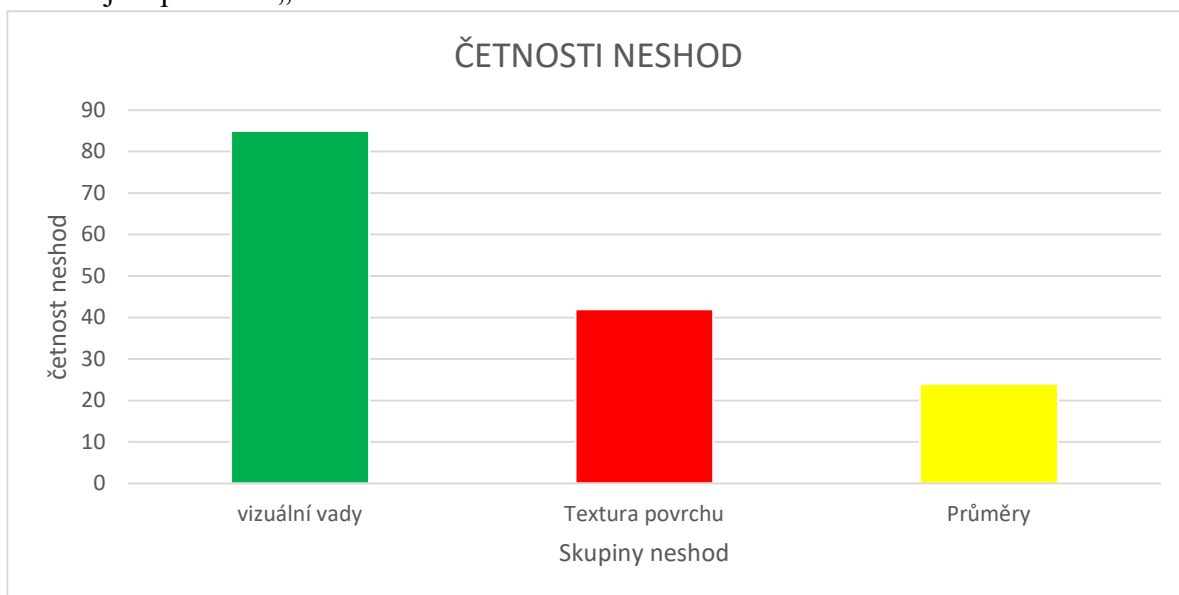
Během výstupní kontroly u vybrané výrobní série o velikosti 84 kusů bylo identifikováno 151 neshod. Jako dispozice bylo u 137 neshod rozhodnuto o opravě a u zbývajících 14 neshod o žádosti o odchylku ze strany zákazníka.

6.1.2 Paretův diagram

Neshody byly rozčleněny do skupin dle druhu a byl vytvořen Paretův diagram (Obr. 11).

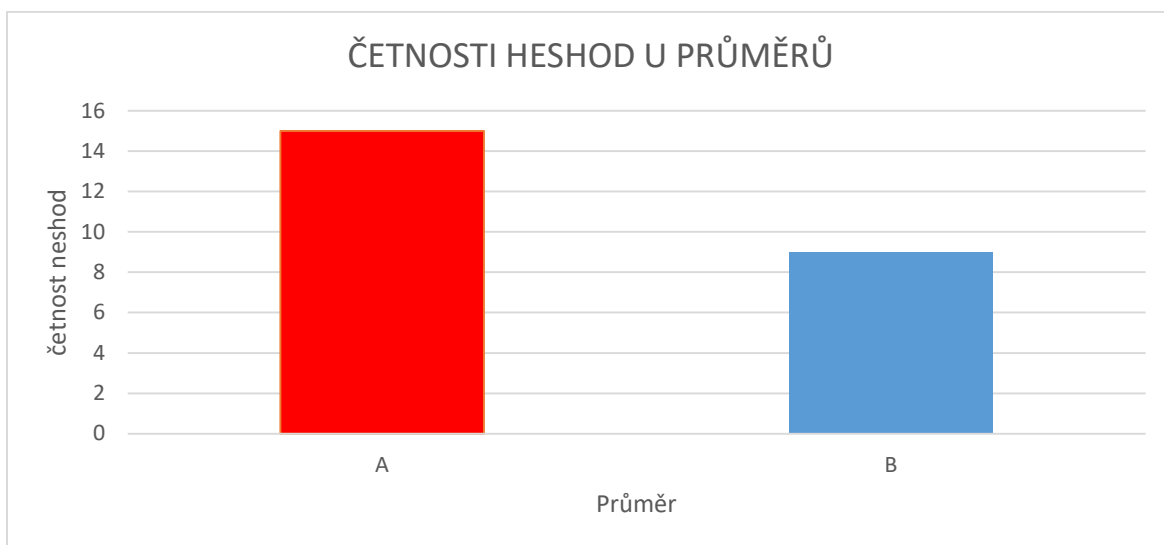
Z diagramu vyplývá, že největší počet neshod byl identifikován u vizuálních vad, následovaných texturou povrchu a průměry.

Vizuální vady nebyly dále rozděleny během výstupní kontroly dle jednotlivých typů. U textury povrchu jde pouze o jednu charakteristiku a to Ra 12 μ inch. Pro neshody u průměrů byl vytvořen samostatný Paretův diagram (Obr. 12). Z něho vyplývá, že zhruba 2/3 neshodných průměrů je u průměru „A“.



Obr. 11) Paretův diagram dle skupin neshod [6]

Paretovo pravidlo uvádí, že 20 % příčin má za následek 80 % důsledků. Tyto neshody představují 80 % všech identifikovaných neshod, což odpovídá tomuto pravidlu. Těchto 80 % neshod mělo největší podíl v nákladech na nekvalitu organizace pro tento typ těsnění. Diplomová práce se bude dále zaměřovat řešení těchto „TOP problémů“. [6]



Obr. 12) Paretův diagram pro průměry

6.1.3 Vizuální vady

Vizuální vady byly hodnoceny pouze parametry „OK“ a „NOK“. Toto hodnocení bylo v rámci diplomové práce shledáno jako nedostatečné pro potřeby analýzy jejich vzniku. V rámci diplomové práce bylo také shledáno jako nedostatečné identifikování těchto neshod až během výstupní kontroly.

Nápravné opatření

Pro další výrobní sérii byl umístěn na pracoviště odjehlování inspektor, který dával operativně pracovníkům výroby zpětnou vazbu. Byl také proveden také záznam o kontrole. Kusy označené jako „NOK“ byly rozřazeny na kategorie mechanické poškození a nedostatečné odjehlení. Byla také provedena rozsáhlejší analýza takto získaných dat.

6.1.4 Textura povrchu

U textury povrchu byly identifikovány všechny neshody u parametru Ra 12 μ inch. Na tento parametr byla v rámci diplomové práce vypracována analýza metodou 5x proč.

5x proč pro parametr textury povrchu

Tabulka 3) 5x proč pro texturu povrchu

5x proč	Proč nebylo dosaženo textury povrchu Ra 12 μinch?
1. Proč	Výsledný parametr Ra vykazuje nestabilitu.
2. Proč	Proces obrábění byl nestabilní.
3. Proč	Nebylo dosaženo vhodných řezných podmínek.
4. Proč	Nebyla použita správná výměnná břitová destička
5. proč	Nebylo předepsáno jeho použití.

Nápravné opatření

Po konzultaci s oddělením výroby byla pro další vyráběnou sérii použita jiná výměnná břitová destička typu Iscar MIFR (Obr. 13).

Výrobce pro tuto výměnnou břitovou destičku pro vnitřní soustružení doporučuje o 20-30% vyšší řezné rychlosti než konkurence. Vyšší řezné rychlosti mají pozitivní vliv na texturu povrchu.

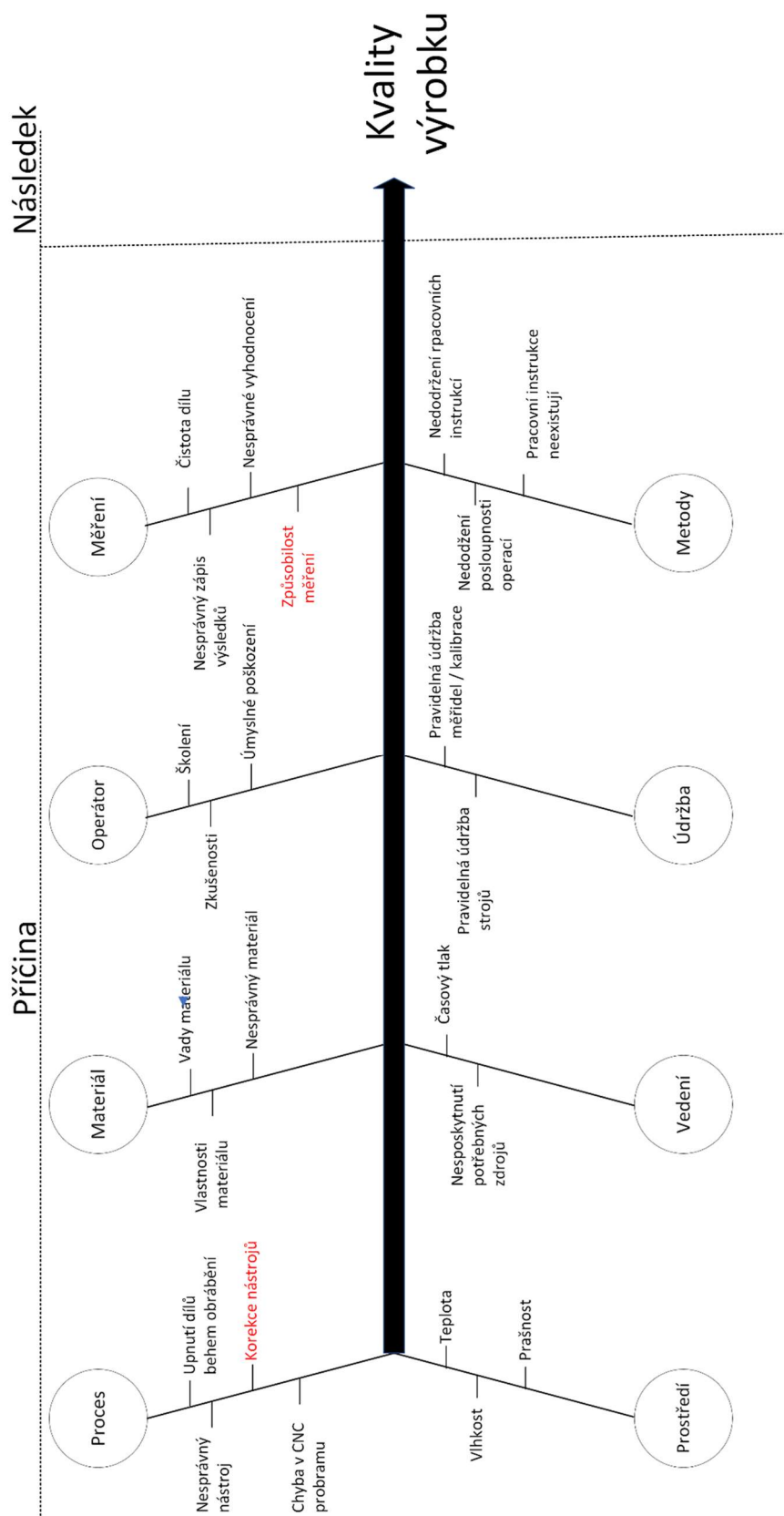
Na vybraném kusu (vzorku) byla také provedena analýza pomocí interferometru.



Obr. 13) Výměnná břitová destička typu Iscar MIFR [2]

6.1.5 Průměr „A“

Tento průměr je kritickou charakteristikou pro fungování sestavy hřídelového těsnění. Tolerance tohoto průměru jsou 44,20108 – 44,16044 mm. V době před řešením diplomové práce byla odpovědnost za mezioperační kontrolu na CNC operátorovi, který prováděl výrobu dílu a nebyla nijak regulována. Docházelo také k rozdílným výsledkům měření ve výrobě a na výstupní kontrole.



Obr. 14) Ishikawův diagram pro průměr „A“ [27]

Po konzultaci s odborníky napříč odděleními organizace, byl vypracován Ishikawův diagram (Obr. 14). Z diagramu bylo vyvozeno, že „TOP příčinami“ jsou korekce nástrojů a způsob měření. Tyto příčiny byly dále analyzovány pomocí metody 5x proč. [6,27]

5x proč pro průměr „A“

Tabulka 4) 5x proč pro průměr „A“

5x proč	Proč došlo ke značnému množství neshod u průměru „A“?	
1. Proč	Na výrobu jednotlivých dílů nebyly použity správné korekce nástroje.	Způsob měření
2. Proč	Nebyla stanovena četnost měření.	Rozdílné měření ve výrobě (mezioperační kontrola) a na výstupní kontrole.
3. Proč	Nebyly použity regulační diagramy.	Nebyla provedena analýza způsobilosti měření.
4. Proč		
5. proč		

Nápravné opatření pro průměr „A“

Pro průměr „A“ byl vypracován regulační diagram. Byla provedena analýza typu VDA5 pro měření průměru „A“ ve výrobě a při výstupní kontrole.

6.2 Dělej

„Zaváděj to, co bylo naplánováno“ [1]

6.2.1 Vizuální vady

Pro následující výrobní sérii byl umístěn na pracoviště odjehlování inspektor, který prováděl průběžnou mezioperační kontrolu a operativně předával pracovníkům výroby zpětnou vazbu.

Každé ráno byla svolána porada, které se účastnili pracovníci výroby provádějící odjehlování, inspektor provádějící mezioperační kontrolu, pracovník oddělení kvality a vedoucí výroby. Na této poradě se hodnotil předchozí den, diskutovalo se o nejčastějších neshodách a stanovil se nejlepší postup pro odstranění těchto neshod.

6.2.2 Textura povrchu

Výroba následující výrobní série byla provedena s pomocí plátku ISCAR MIFR. Během uvolnění prvního kusu a mezioperační kontroly se nevyskytl problém s parametrem textury povrchu.

Ve spolupráci s VUT FSI bylo provedeno měření na interferometru Taylor Hobson.

6.2.3 Průměr „A“

Po průměr „A“ byla provedena analýza způsobilosti měření typu VDA 5 a vypracován regulační diagram.

6.3 KONTROLUJ

„Monitoruj a (přichází-li to v úvahu) měř procesy a výsledné produkty a služby ve vztahu k politikám, cílům, požadavkům a plánovaným činnostem a podávej zprávy o výsledcích“ [1]

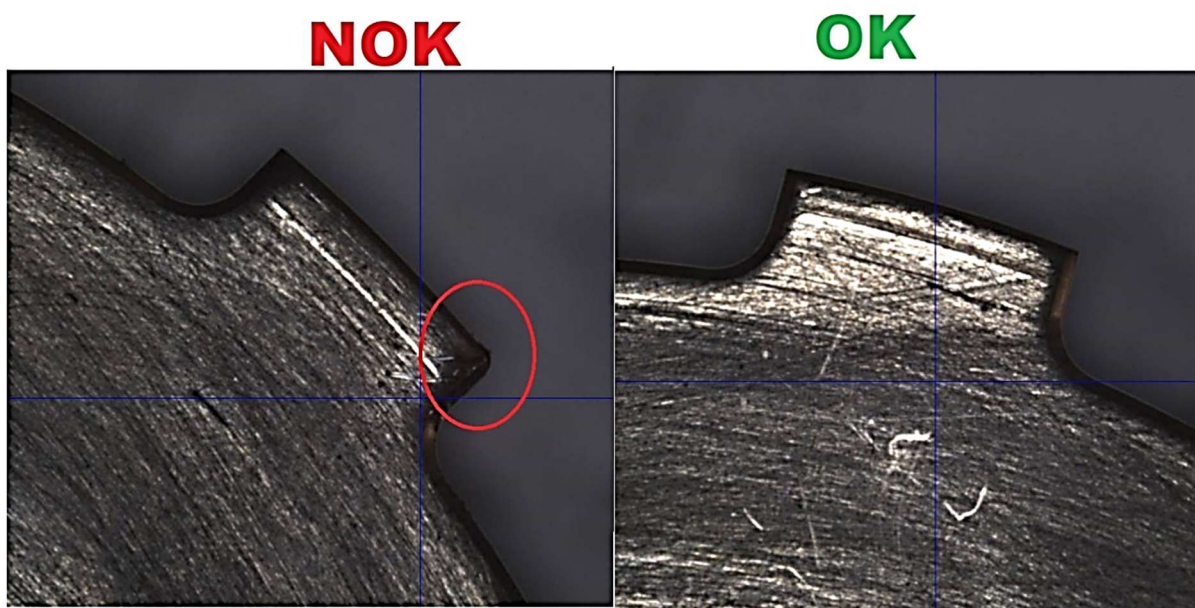
6.3.1 Vizuální vady

Výsledky mezioperační kontroly byly zaneseny do tabulky 5. Kusy označené „NOK“ byly rozděleny do skupin „mechanické poškození“ a „nedostatečné odjehlení“.

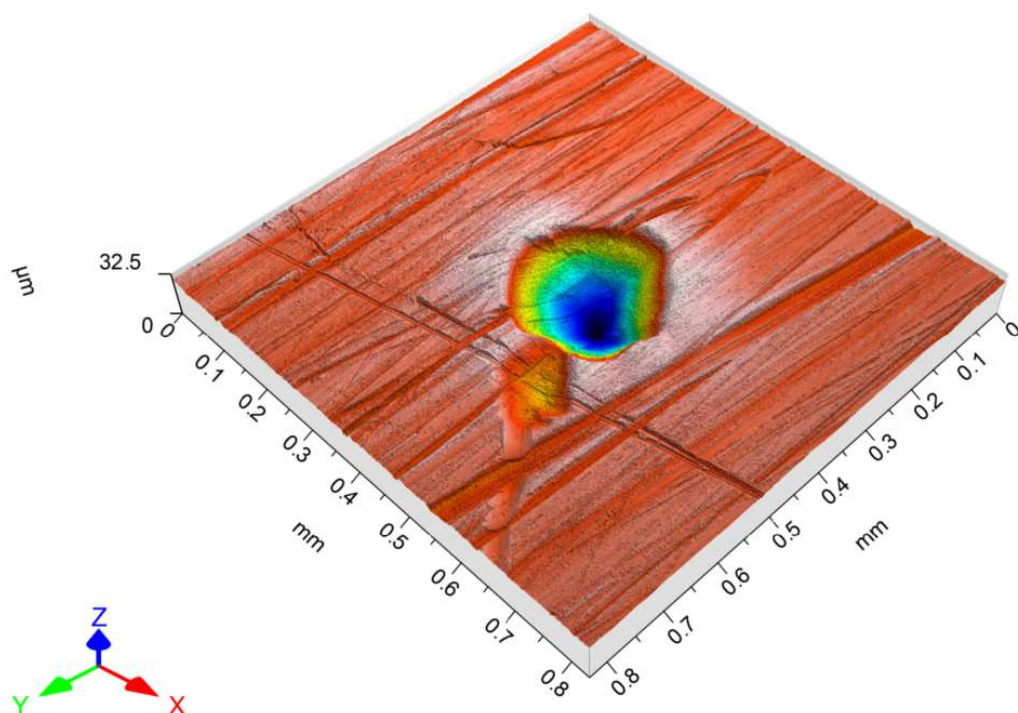
Tabulka 5) Mezioperační vizuální kontrola

Den	Počet kusů	„OK“	„NOK nedostatečné Odjehlení“	„NOK mechanické poškození“	Inspektor
1.	40	14	17	9	ABC
2.	28	17	3	8	ABC
3.	48	29	17	2	ABC
4.	9	8	0	1	ABC
5.	6	6	0	0	ABC
celkem	131	74	37	20	
%	100	56,5 %	28,2 %	15,3 %	

Z výsledků mezioperační kontroly vyplynulo, že 56,5 % kusů bylo shledáno vyhovujících po operaci odjehlování. U 28,2 % kusů bylo nalezeno „nedostatečné odjehlení“ a u 15,3 % kusů „mechanické poškození“.



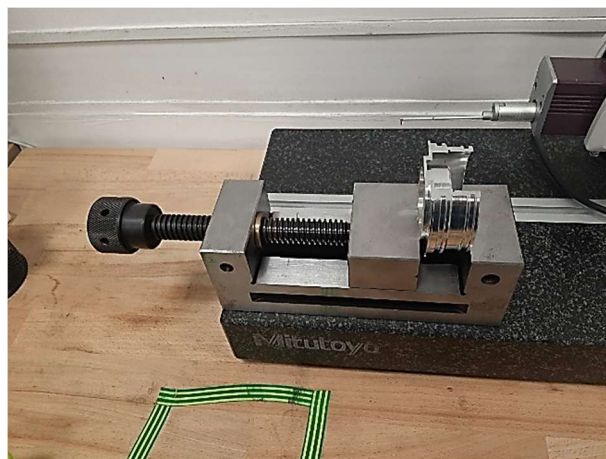
Obr. 15) Odjehlení „zubu“



Obr. 16) poškození od doteku úchylkoměru

U kusů nedostatečně odjehlených se v 35 ze 37 případů jednalo o „zub“ na kusu znázorněný na Obr. 15. Kritérium přijatelnosti je takové, že při přejetí po hraně zubu nehtem nesmí dojít k zaseknutí.

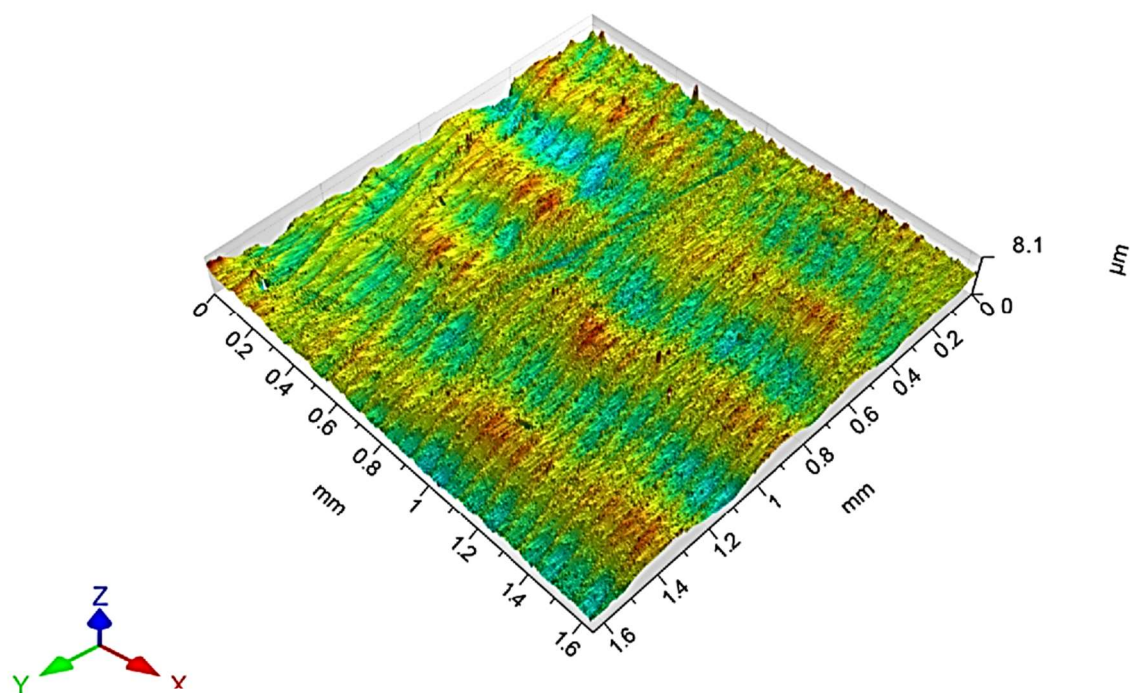
U mechanického poškození byl jako zdroj poškození identifikován dotek úchylkoměru (Obr. 16) a svěrák používaný pro měření textury povrchu (Obr. 17). Mohlo také dojít k poškození dílů během manipulace a skladování mezi jednotlivými operacemi.



Obr. 17) svěrák používaný pro měření textury povrchu

6.3.2 Textura povrchu

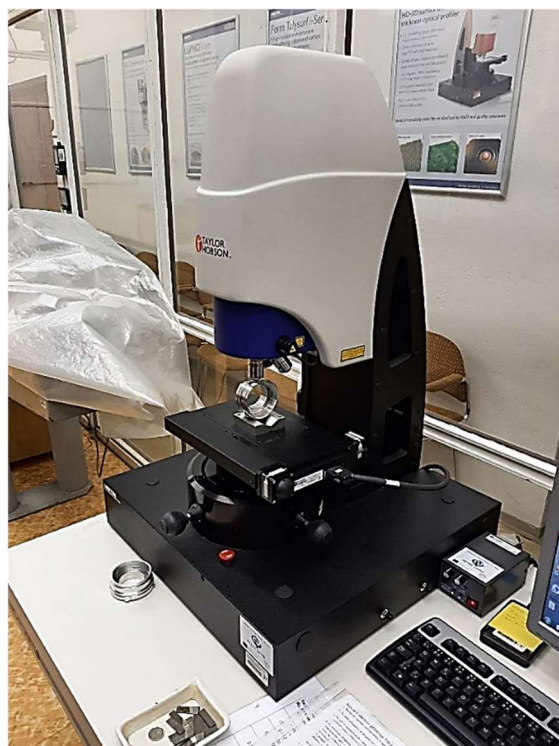
Během výstupní kontroly další vyráběné série nebyly objeveny žádné neshody u parametru textury Ra 12 μinch.



Obr. 18) Povrch drsnost Gaussův filtr (S-L)
0,8 mm

Na interferometru Taylor Hobson byl změřen vybraný kus na 3 místech a poté byla textura povrchu analyzována pomocí SW (Obr. 19). Byl použit Gaussian filter, 0.8 mm. Na obrázku 18 je zobrazen profil drsnosti za použití tohoto filtru. Z obrázku je patrné, že se v profilu textury povrchu pravidelně střídají prohlubně a výstupky, což odpovídá periodickému povrchu po obrábění.

Parametru textury R_a 12 μinch . odpovídá 0.3048 μm . Během výstupní kontroly byla na tomto dílu naměřena pomocí dotykového drsnoměru Mitutoyo SJ-410 hodnota R_a 0.2629 μm . V tabulce 6 jsou uvedeny naměřené hodnoty pomocí interferometru. Maximální hodnota parametru R_a je překročena na místě měření 1 a 3. V místě 2 splňuje požadovanou specifikaci. Hodnoty na všech třech místech měření si jsou velmi blízké. Hodnoty parametru R_a naměřené touto metodou (bezdotykovou), jsou větší, než je hodnota naměřená při výstupní kontrole pomocí dotykového drsnoměru.



Obr. 19) Měření pomocí
interferometru Taylor Hobson

Tabulka 6) Naměřené hodnoty textury povrchu pomocí interferometru

místo	parametr	střední hodnota [μm]	směrodatná odchylka [μm]	Min [μm]	Max [μm]
1	Ra	0,35514	0,045135	0,26595	0,46711
2		0,27447	0,031607	0,20209	0,41062
3		0,3379	0,043875	0,26025	0,47861
1	Rz	2,6751	0,55663	1,7225	6,945
2		2,1850	0,45287	1,4112	5,0794
3		3,0065	0,85241	1,74	9,5908

Parametr textury povrchu R_a nemá vypovídající hodnotu o prohlubních a výstupcích na měřeném dílu. Daleko větší vypovídající hodnotu má parametr R_z . Na tomto parametru jsou patrné značné rozdíly mezi minimálními a maximálními naměřenými hodnotami. Kompletní výsledky měření na interferometru jsou uvedeny v příloze číslo 1.

6.3.3 Průměr „A“

VDA 5 pro výškoměr a dvě CMM



Obr. 21) Výškoměr Trimos V7

Byla provedena analýza způsobilosti měřicího systému dle VDA 5 pro měřidla, která byla použita na měření průměru „A“. Tato analýza byla provedena na nastavovacím kroužku s průměrem 49,9996 mm. Tento kroužek byl vybrán z toho důvodu, že z možných použitých kroužků byl nejbližší jmenovité hodnotě průměru „A“.

Pro mezioperační měření průměru „A“ během výroby byl použit výškoměr Trimos V7 (Obr. 21) a pro výstupní kontrolu je použito jedno ze dvojice CMM Mitutoyo crista apex (Obr. 24).



Obr. 20) Rubínový dotek o průměru 4 mm pro výškoměr Trimos

Tyto dvě CMM se liší pouze ve své velikosti. CMM označeno jako 1 má maximální pojezd stroje 500 x 700 x 400 mm (na šířku x délku x výšku) a CMM 2 900 x 1 000 x 600 mm. Pro

výstupní kontrolu řešené sestavy hřídelového těsnění se používají obě CMM v závislosti na aktuálním vytížení strojů.

Postup měření na výškoměru Trimos V7

Před měřením byla důkladně vyčištěna granitová deska, svěrák i použitý dotek. Pro měření byl použit standartně používaný dotek s rubínovou kuličkou o průměru 4 mm (Obr. 21). Tento dotek byl použit během výroby k mezioperační kontrole průměru „A“.

Před samotným měřením byl dotek kalibrován pomocí kalibračního zařízení (Obr. 22). Kalibrace spočívá ve změření kalibračního zařízení a následného ověření na tom samém zařízení. Poté byl upnut nastavovací kroužek do metrologického svěráku (Obr. 23). Následovalo samotné měření průmětu na výškoměru. Naměřená hodnota byla poté zaznamenána do připravené tabulky. Nastavovací kroužek byl nakonec vybrán ze svěráku.

Proces kalibrace, upnutí kroužku do svěráku, měření, zaznamenání naměřené hodnoty a odepnutí kroužku ze svěráku byl opakován celkem 10x.

Postup měření CMM

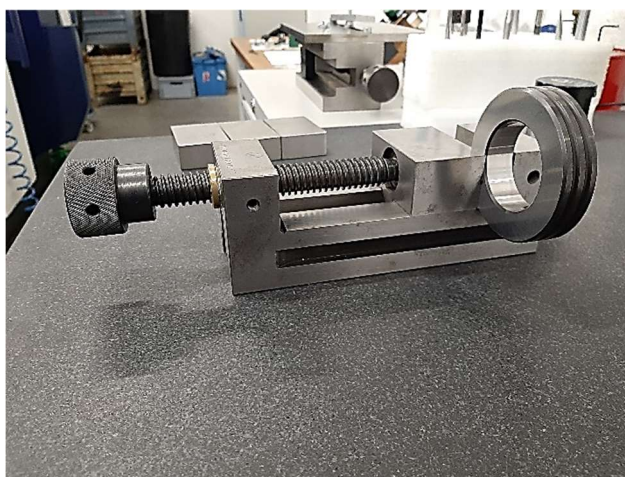
Před měřením bylo provedeno důkladné vyčištění CMM (Obr. 24) a všechny doteky. Poté byla provedena kalibrace a ověření CMM dle vnitřních předpisů organizace.

Dotek použitý pro měření nastavovacího kroužku byl takový, jaký je běžně používán pro měření prvního kusu a výstupní kontroly, to je dotek o průměru 2 mm z nitridu křemíku.

V software Mitutoyo MCOSMOS Geopak byl vytvořen program pro měření nastavovacího kroužku. Tento program byl vytvořen tak, aby se co nejvíce podobal programu používaném při měření řešené sestavy hřídelového těsnění. Tento program se nachází v příloze číslo 2.



Obr. 22) Kalibrační zařízení pro výškoměr Trimos



Obr. 23) Upnutí nastavovacího kroužku do svěráku



Obr. 24) CMM Mitutoyo crista apex

Program se skládá z manuálního vyrovnání na rovinu granitové desky CMM (odebírání 3 stupně volnosti) a manuálního vyrovnání na vnitřní průměr (kružnici) nastavovacího kroužku (odebírání 2 stupně volnosti). Poslední stupeň volnosti není v tomto případě nutno odebírat (natočení nehraje roli). Poté následuje CNC měření vyrovnávací roviny. Samotný průměr nastavovacího kroužku je měřen 13 body. Posledním krokem programu je výdej protokolu.

Měření nastavovacího kroužku bylo provedeno 10x na obou CMM.

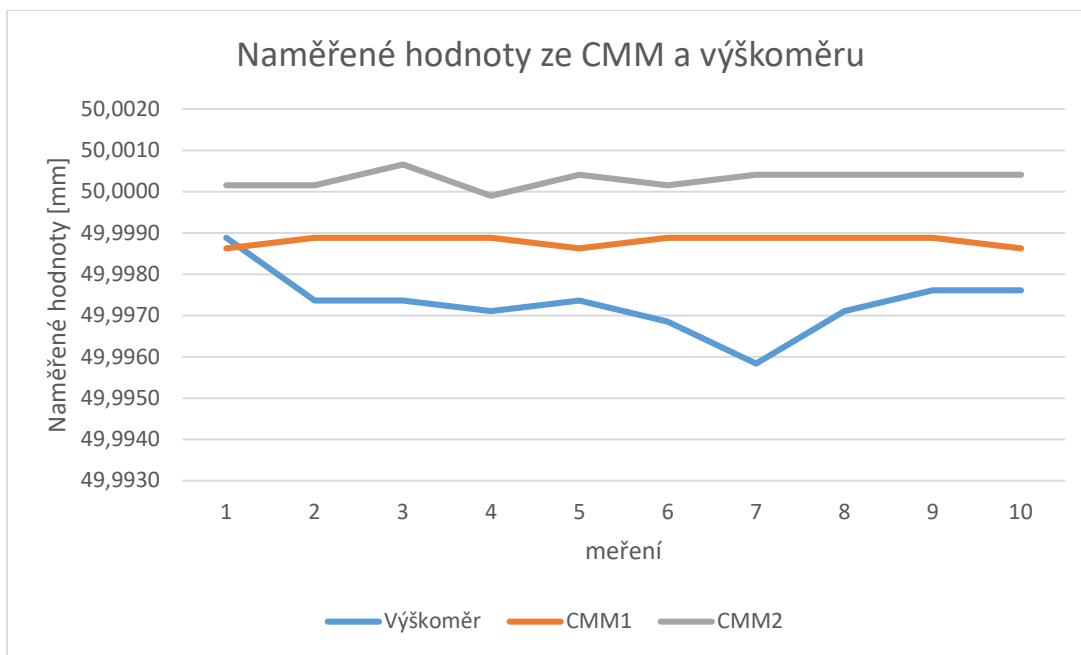
Vyhodnocení VDA 5 pro výškoměr a dvě CMM

Naměřené hodnoty ze všech posuzovaných měřidel byly zpracovány pomocí SW MS Excel. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7. Tyto hodnoty jsou znázorněny také na obrázku

25, z něhož vyplývá, že za použití výškoměru byly naměřeny menší hodnoty než na obou CMM. To odpovídá chybě z upnutí kusu pomocí metrologického svěráku. Mezi hodnotami CMM 1 a CMM2 je rozdíl zhruba 0.001 mm. Výrobce udává nejistotu měření $(1,7+0,3L/100)$ μm , při čemž L je měřená délka v mm, což je méně než sledovaný rozdíl.

Tabulka 7) Naměřené hodnoty ze CMM a výškoměru

Umístění	výroba	Inspekce	Inspekce
naměřené hodnoty [mm]	Výškoměr	CMM1	CMM2
měření 1	49,9989	49,9986	50,0002
měření 2	49,9974	49,9989	50,0002
měření 3	49,9974	49,9989	50,0007
měření 4	49,9971	49,9989	49,9999
měření 5	49,9974	49,9986	50,0004
měření 6	49,9969	49,9989	50,0002
měření 7	49,9958	49,9989	50,0004
měření 8	49,9971	49,9989	50,0004
měření 9	49,9976	49,9989	50,0004
měření 10	49,9976	49,9986	50,0004



Obr. 25) Naměřené hodnoty ze CMM a výškoměru

Vyhodnocení výškoměru a dvou CMM se nachází v tabulce 8. Jako mezní hodnota ukazatele vhodnosti Q_{MS-max} byla dle VDA 5 zvolena hodnota 15%. Výškoměr Trimos V7 těsně nevyhověl požadavkům této normy. Obě CMM vyhověli a výsledky jsou v podstatě totožné. Minimální tolerance TQL_{MN-UMS} pro tyto dvě CMM je poloviční, než je tolerance průměru „A“. Kompletní formulář s vyhodnocením vhodnosti měřidel dle VDA 5 se nachází v příloze číslo 3.

Tabulka 8) Vyhodnocení způsobilosti výškoměru a dvou CMM

Popis	Měřidlo	Výškoměr	CMM1	CMM2
Tolerance	TOL	0,04064	0,04064	0,04064
Rozlišení	%RE	0,2461	0,2461	0,2461
Kombinovaná nejistota měřicího systému	u_{MS}	0,0016	0,0006	0,0006
Rozšířená nejistota měřicího systému	U_{MS} (k=2)	0,0031	0,0012	0,0012
Mezní hodnota ukazatele vhodnosti	Q_{MS-max}	15	15	15
Ukazatel vhodnosti	Q_{MS}	15,4	5,8	5,7
Minimální tolerance	TQL_{MN-UMS}	0,0417	0,0157	0,0154
Vyhodnocení		nevyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

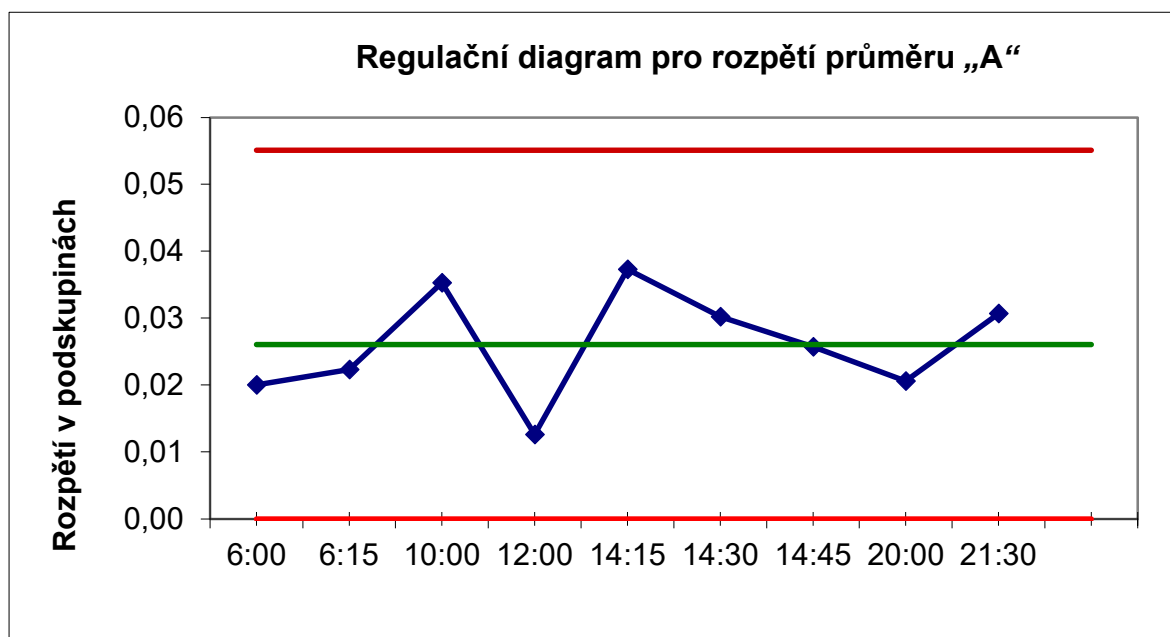
Regulační diagram pro průměr „A“

Jako nejvhodnější varianta byly zvoleny Shewhartovy regulační diagramy pro regulaci měření, a to konkrétně regulační diagram pro průměr a rozpětí. Jde o nejrozšířenější dvojici regulačních diagramů a je vhodná v situaci, pokud pracujeme s rozsahem výběrů 2–10 jednotek. [3,34,35]

Pomocí SW MS Excel byla vytvořena dvojice regulačních diagramů. Tato dvojice regulačních diagramů byla jeden pracovní den experimentálně vyzkoušena. Doby měření byly stanoveny nerovnoměrně se zaměřením na začátek pracovní směny pracovníka, konec přestávky a konec pracovní doby. Tabulka 9 uvádí doby měření a naměřené hodnoty.

Tabulka 9) Naměřené hodnoty regulačního diagramu pro průměr „A“

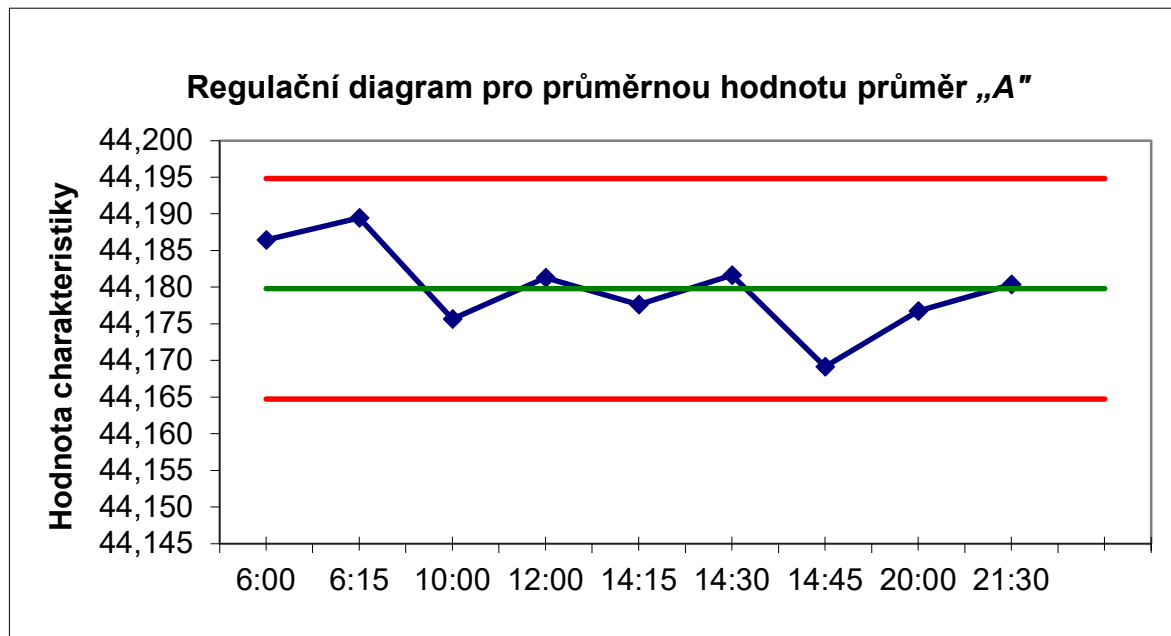
Dne:3.3.2022	6:00:00	6:15:00	10:00:00	12:00:00	14:15:00	14:30:00	14:45:00	19:00:00	21:30:00
Hodnota 1 [mm]	44,1855	44,1890	44,1629	44,1860	44,1645	44,1985	44,1681	44,1846	44,1992
Hodnota 2 [mm]	44,1890	44,1832	44,1856	44,1739	44,1626	44,1834	44,1879	44,1752	44,1817
Hodnota 3 [mm]	44,1812	44,1998	44,1685	44,1818	44,1860	44,1840	44,1622	44,1640	44,1685
Hodnota 4 [mm]	44,1782	44,1775	44,1630	44,1781	44,1999	44,1683	44,1629	44,1846	44,1687
Hodnota 5 [mm]	44,1982	44,1978	44,1982	44,1865	44,1751	44,1740	44,1646	44,1752	44,1836
Průměr[mm]	44,186	44,189	44,176	44,181	44,178	44,182	44,169	44,177	44,180
Rozpětí[mm]	0,020	0,022	0,035	0,013	0,037	0,030	0,026	0,021	0,031
Směrodatná. Odchylka [mm]	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01



Obr. 26) Regulační diagram pro rozpětí průměru „A“ [34]

Obrázek 26 je regulační diagram pro rozpětí průměru „A“. Rozpětí nepřekročilo během dne povolenou mez UCL_R , která byla výpočtem stanovena na 0,0551.

Na obrázku 27 se nachází regulační diagram pro průměrnou hodnotu průměr „A“. Tento diagram v den experimentu nepřekročil meze USL a LSL . Během celého dne osciloval kolem centrální přímk.



Obr. 27) Regulační diagram pro průměrnou hodnotu průměr „A“ [34]

6.4 Jednej

„Podle potřeby přijmej opatření pro zlepšení výkonnosti“ [1]

6.4.1 Vizuální vady

Odjehlování

Po konzultaci s oddělením výroby byl stanoven přesný nástroj a postup pro odjehlení zubu. Pro objehlení bude použit vždy „šábr“ (Obr. 28), se kterým operátor přejede celou hranu najednou.



Obr. 28) Nástroj pro odjehlení

Mechanické poškození

Ostrý dotek na měření pomocí úchylkoměru byl u hliníkových výrobků v organizaci zakázán (Obr. 29). Pro měření budou použity doteky s rádiusem, které nezpůsobují poškození dílů.



Obr. 30) Přípravek na měření na drsnoměru



Obr. 31) Doteky na úchylkoměru



Obr. 29) Ukázka měření na drsnoměru s přípravkem



Obr. 32) Uložení dílů v krabičkách

Pro měření hliníkových dílů se nebude používat svěrák, a to jak u drsnoměru, tak u výškoměru (nahrazení měřidla řešeno u průměru „A“ – kapitola 6.4.3). Pro měření řešeného výrobku na drsnoměru byl pomocí 3D tisku vytvořen přípravek (Obr. 30 a 32). V příloze číslo 4 se nachází výkres přípravku a v příloze číslo 5 program na 3D tisk přípravku.

Bylo potřeba také zlepšit ukládání dílů mezi operacemi a při manipulaci. Proto bylo zavedeno ukládání dílů do krabiček (Obr 31).

6.4.2 Textura povrchu

Nápravné opatření bylo vyhodnoceno jako účinné, ale vzhledem k funkci hřídelové sestavy těsnění není vhodné jako parametr textury povrchu použít pouze *Ra*. Z tohoto

důvodu doporučuji do výkresové dokumentace hřídelové sestavy těsnění přidat parametr $R_{z\ max} 80\ \mu\text{inch}$ (2,032 μm).

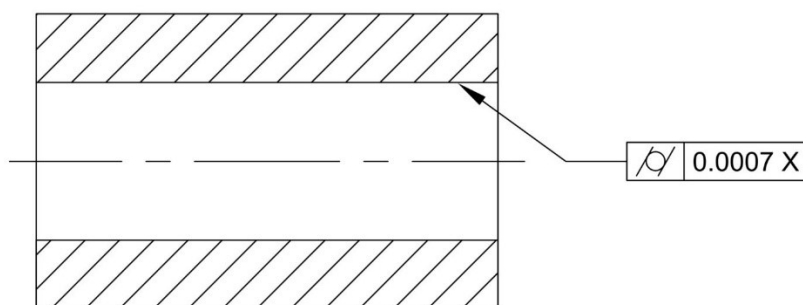
6.4.3 Průměr „A“

Pro průměr „A“ byla zavedena regulace měřením průměru a průměrnou hodnotou. Bylo rozhodnuto o tom, že tento nástroj statistické regulace procesu bude pro tuto charakteristiku používán. V příloze číslo 6 se nachází uzamčený vzorový list v MS Excel pro výpočet, který bude používán operátory při výrobě.

K průměru „A“ vzhledem k jeho funkci navrhuji přidat do výkresové dokumentace geometrickou toleranci válcovitosti CYLt s elementem specifikace maximálního vepsaného referenčního válce (X). Velikost tolerančního pole navrhuji 0,0007 palce (0,0178 mm). Zobrazení této navrhované geometrické tolerance na výkresové dokumentaci je uvedeno na obrázku 34. UPR je pro řešený průměr 1 -150 a je nutno použít minimálně 1050 bodů.



Obr. 33) přípravek Mahr Multimar M36B-10 a digitální úchylkoměr Insize 2112-101F



Obr. 34) Schéma navržené válcovitosti

Mezioperační kontrola

Výškoměr Trimos nebylo dle analýzy způsobilosti měřidel vhodné měřidlo pro mezioperační kontrolu průměru „A“. Proto bylo pro kontrolu tohoto parametru navrženo použití měřicího přípravku Marh Multimar M36B-10 a digitálního úchylkoměru Insize 2112-101F (Obr. 33). Před použitím měřidla byla provedena analýza způsobilosti dle VDA 5.

Měřicí přípravek byl důkladně vyčištěn. Poté byly pomocí koncových měrek nastaveny dorazy a úchylkoměr na jmenovitý rozměr. Poté byl nastavovací kroužek (stejný jako byl použit u původní analýzy) vložen do měřicího přípravku a

z úchylkoměru byla odečtena hodnota. Tento postup se opakoval 10x. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10. V tabulce 11 se nachází vyhodnocení. Toto měřidlo vyhovuje dle VDA 5 pro měření průměru „A“ a bylo rozhodnuto o jeho použití pro mezioperační kontrolu výrobku namísto nevyhovujícího výškoměru.

Tabulka 11) Vyhodnocení analýzy způsobilosti přípravku Marh Multimar M36B-10 a digitálního úchylkoměru Insize 2112-101F

Tabulka 10) Naměřené hodnoty pro měření přípravkem a úchylkoměrem

měření	naměřené hodnoty [mm]
měření 1	49,9996
měření 2	49,9996
měření 3	49,9996
měření 4	49,9996
měření 5	49,9996
měření 6	49,9996
měření 7	49,9996
měření 8	50,0006
měření 9	49,9996
měření 10	49,9996

Popis	Měřidlo	Měřicí přípravek a úchylkoměr
tolerance	TOL	0,04064
rozlišení	%RE	0,2461
kombinovaná nejistota měřicího systému	u_{MS}	0,0005
rozšířená nejistota měřicího systému	U_{MS} (k=2)	0,0010
mezní hodnota ukazatele vhodnosti	Q_{MS-max}	15
ukazatel vhodnosti	Q_{MS}	4,7
minimální tolerance	$TQ_{LMN-UMS}$	0,01270
Vyhodnocení		vyhovuje

Prokazování shody ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1 pro průměr „A“

Pro průměr „A“ (44,20108 – 44,16044 mm) bylo nutno zavést moderní způsoby posuzování shody ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1. Na CMM používaném pro finální kontrolu byl vybraný kus změřen 10krát. Pomocí MS Excel byly vypočteny nejistoty měření pro CMM. Výpočetní vztahy pro takto vypočtené nejistoty jsou uvedeny v rovnicích (5) až (10). Nejistoty měření jsou uvedeny v tabulce 12. Nejistoty způsobené teplotou nebyly brány v úvahu, protože CMM je vybaveno teplotní kompenzací. Nejvýznamnější složkou nejistoty je nejistota z kalibračního listu. [25,26]

Standartní nejistotu typu A vypočteme dle vztahu:

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} [26], \quad (5)$$

kde $s(\bar{x})$ je směrodatná odchylka aritmetického průměru ($\bar{x}$) a x_i naměřená hodnota.

Nejistotu z kalibračního listu vypočteme dle vztahu:

$$U_{E1} = 1,7 + \frac{0,3 \times l}{100} [37], \quad (6)$$

kde l je měřená délka v mm.

Příspěvky k nejistotě typu B vypočteme dle vztahu:

$$u_{ej} = c_j \frac{\Delta z_{maxj}}{x} [26], \quad (8)$$

kde c_j je koeficient citlivosti, Δz_{maxj} rozsah odchylek od jmenovité hodnoty a X koeficient rozdělení.

Nejistotu typu B vypočteme dle vztahu:

$$u_B = \sqrt{\sum u_{zj}^2} [26], \quad (9)$$

kde u_{zj} jsou příspěvky k nejistotě typu B.

Kombinovanou nejistotu vypočteme dle vztahu:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} [26], \quad (10)$$

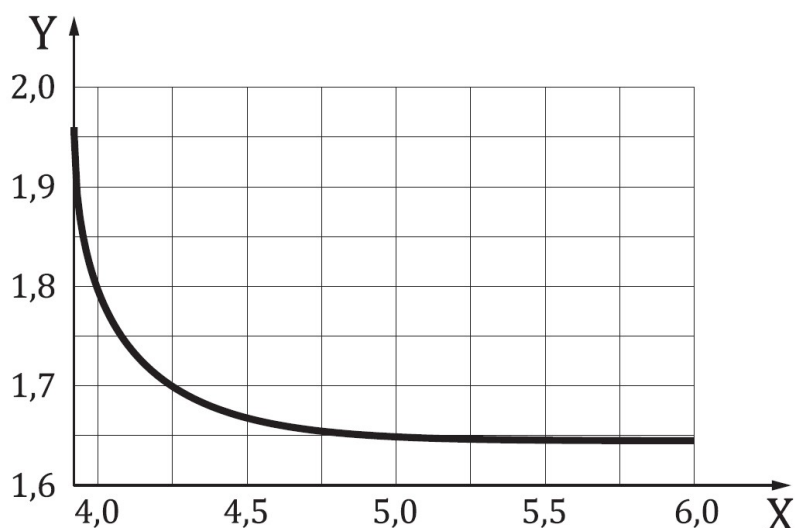
kde u_a je standartní nejistota typu A a u_B je standartní nejistota typu B.

Tabulka 12) Výpočet nejistot měření pro průměr „A“ [26]

$L =$		44,1808	mm		jmenovitá hodnota	
a) naměřené hodnoty odchylek [mm]						
44,1814	44,1815	44,1815	44,1815	44,1800	$s =$	0,0005 mm
44,1815	44,1816	44,1813	44,1810	44,1811	$u_A =$	0,0002 mm
b) nejistota měřidla z kalibračního listu [μm]						
					$U_{E1} =$	1,8325 μm
					$u_{E1} =$	0,9163 μm
c) rozlišovací schopnost měřidla [μm]						
$U_{E2} =$		0,10			$u_{e1} =$	0,0577 μm
kombinovaná nejistota		$u_C =$ 0,9181 μm				

$$X = \frac{(USL - LSL)}{u_c} = \frac{0,04064}{0,0009181} \approx 44,3 \quad [25] \quad (11)$$

V rovnici (11) bylo na základě horní (USL) a dolní (LSL) tolerance vypočtena hodnota proměnné X . Křivka na obrázku 35 zobrazuje závislost g_a na proměnné X . Hodnota g_a je od hodnoty X rovna přibližně 5 již konstantní (1.65). Na základě této skutečnosti byla stanoveno, že pro tento případ je g_a rovno 1,65.

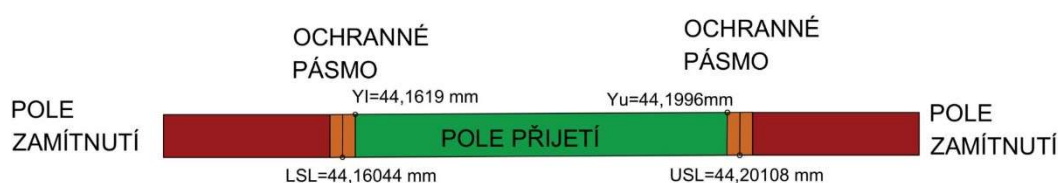


Obr. 35) Graf proměnné g_a [25]

$$g_{La}=g_{Ua} = g_a \times u_c \text{ [25]} \quad (12)$$

$$g_{La}=g_{Ua} = 1,65 \times 0,9181 \approx 1,515 \mu\text{m} \approx \mathbf{0,0015 \text{ mm}} \text{ [25]} \quad (13)$$

Dle vzorce 14 bylo na základě kombinované nejistoty měření u_c a faktoru ochranného pásma g_a vypočteno ochranné pásmo na spodní (g_{La}) a horní (g_{Ua}) toleranci. Na základě takto vypočtených ochranných pásem pro CMM bylo sestaveno pole přijetí, ochranná pásma a pole zamítnutí, které jsou znázorněny na obrázku 36. Nejmenší naměřená hodnota, pro kterou může být ověřena shoda je 44,1619 mm a největší naměřená hodnota pro kterou může být ověřena shoda je 44,1996 mm. [25,26]



Obr. 36) Posuzování shody pro průměr „A“ dle ČSN EN ISO 14253-1 [25]

Prokazování shody ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1 pro válcovitost

Pro měření válcovitosti, která byla navržena jako nový požadavek do výkresové dokumentace, bylo nutno pro CMM také zavést posuzování shody ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1:2018. Pro potřeby tohoto návrhu byla 10krát změřena pomocí CMM kalibrační koule, která má dle certifikátu zanedbatelnou kruhovitost. Takto naměřené hodnoty, jejich směrodatná odchylka (s) a nejistota typu A (u_a) vypočtená pomocí MS Excel jsou uvedeny v tabulce 13. Pro výpočet byl použit vzorec (5).

Tabulka 13) Výpočet nejistot měření pro válcovitost [26]

naměřené hodnoty odchylek [mm]							
0.0010	0.0012	0.0010	0.0010	0.0010	s =	0,00035	mm
0,0007	0.0010	0.0010	0,0012	0.0010	u _A =	0,00011	mm

V kalibračním listu CMM není uvedena nejistota pro geometrické tolerance. Po konzultaci s vedoucím práce byla nejistota typu B odhadnuta na základě následujícího vztahu (16). Maximálně dovolená chyba při hodnocení válcovitosti byla na základě experimentů odhadnuta $MPE_{\text{válcovitost}} = 1,5 \mu\text{m}$.

$$u_B = \frac{MPE}{\sqrt{3}} = \frac{1,5}{\sqrt{3}} = 0,87 \mu\text{m} [32], \quad (16)$$

kde u_b je nejistota typu B a MPE maximální povolená chyba.

Kombinované nejistota je v tomto případě rovna:

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,87^2} \approx 0,877 \mu\text{m}, \quad (14)$$

kde u_c je kombinovaná standardní nejistota, u_a je standardní nejistota typu A a u_B je standardní nejistota typu B.

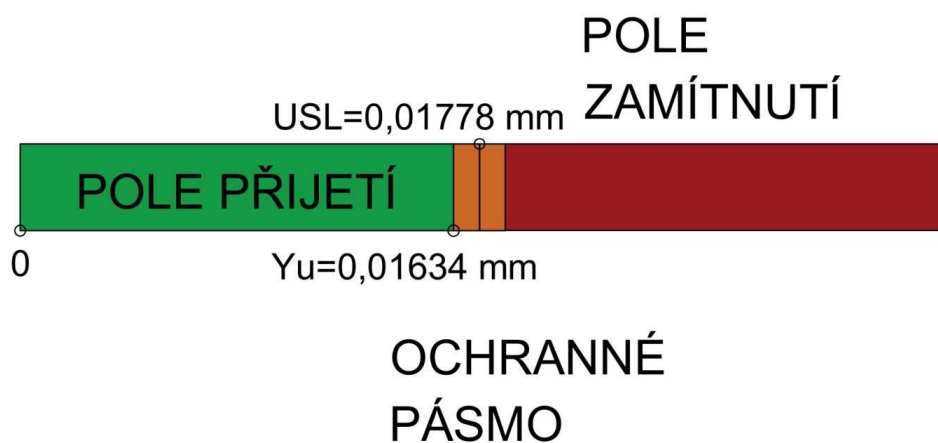
$$X = \frac{(USL - LSL)}{u_c} = \frac{0,0178}{0,000877} \approx 20,3 [25], \quad (15)$$

kde USL je horní tolerance, LSL dolní tolerance a u_c kombinovaná nejistota.

V rovnici (14) byla z nejistot typu A a B vypočtena kombinované nejistota měření u_c . V rovnici (15) byla obdobně jako u CMM vypočtena hodnota proměnné X . Také v tomto případě byla hodnota g_a dle obrázku 24 také stanovena na 1,65.

$$g_{La} = g_{Ua} = g_a \times u_c = 1,65 \times 0,87 \approx 1,436 \mu\text{m} [25], \quad (19)$$

kde u_c je kombinovaná nejistota měření, g_a faktoru ochranného pásma, g_{La} vypočtená velikost ochranného pásma na spodní toleranci a g_{ua} vypočtená velikost ochranného pásma na spodní toleranci.



Obr. 37) Posuzování shody pro válcovitost dle ČSN EN ISO 14253-1 [25]

Na obrázku číslo 37 se nachází pole přijetí pro navrženou válcovitost s tolerančním polem o velikosti 0,0007 inch (0,01778 mm). Nejmenší naměřená hodnota, pro kterou může být ověřena shoda je 0,01634.

7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V této kapitole byl porovnán stav před a po provedení nápravných opatření při výrobě hřídelových těsnění. Při jejich návrhu a aplikaci byla důsledně používána metoda PDCA. Také zde bylo shrnuto technické posouzení dosažených výsledků.

7.1.1 Shrnutí původního stavu

U řešené výrobní série „XYZ“ zkoumaného hřídelového těsnění (výrobního příkazu „XYZ“) bylo dle kapitoly 5.1.1 nalezeno 151 neshod na 84 kusech. V kapitole 5.1.2 byl sestaven Paretův diagram, z něhož byly identifikovány „TOP skupiny neshod“, na které se bylo potřeba zaměřit. Těmito skupinami byly:

- vizuální vady,
- parametr textura povrchu Ra 12 μ inch (0,3048 μ m),
- průměr „A“ (44,20108 – 44,16044 mm).

7.1.2 Kořenové příčiny a nápravná opatření

Pro jednotlivé „TOP skupiny neshod“ byly identifikovány kořenové příčiny a stanoveny nápravné opatření. V závěru je vždy vyhodnocena úspěšnost navrženého nápravného opatření.

Vizuální vady

V kapitole 6.1.3 bylo zjištěno, že vizuální vady byly během výstupní kontroly nevhodně hodnoceny pouze parametry „OK“ a „NOK“. Na pracoviště odjehlování byl umístěn inspektor, který dával operativně zpětnou vazbu a prováděl záznam z mezioperační kontroly. U kusů vyhodnocených jako „NOK“ byla použita další podkategorie – „ODJEHLOVÁNÍ“ a „MECHANICKÉ POŠKOZENÍ“.

V kapitole 6.3.1 bylo vyhodnoceno, že během mezioperační kontroly bylo hodnoceno 56,5 % kusů „OK“, 28,2 % „NOK“ z důvodu nedokonalého odjehlování a zbývajících 15,3 % „NOK“ z důvodu mechanického poškození.

U mechanického poškození byly jako kořenové příčiny neshod určeny:

- vznik mikroplastických deformací způsobených čelistmi svěráku (zkráceně „DO SVĚRÁKU“),
- vznik mikroplastických deformací způsobných nešetrným pokládáním do manipulačních beden a následnou manipulací s nimi (zkráceně „SKLADOVÁNÍ KUSŮ“).

Pro odjehlování nebyl v minulosti stanoven přesný postup a nástroj pro odjehlení „ZUBU“. K vyřešení tohoto problému byl v kapitole 6.4.1 navržen přesný postup a nástroj pro odjehlování „ZUBU“ výrobku. Dále bylo zakázáno používání „OSTŘÉHO DOTEKU“ pro úchylkoměr. V této kapitole bylo také aplikováno použití přípravku pro měření textury povrchu, který nahradil nevyhovující svěrák. Byl také aplikován nový způsob ukládání dílu do krabiček, který zabrání poškození dílů při vkládání a manipulaci.

Všechna navržená opatření byla u výrobce ověřena v měsících únor až květen 2022. Bylo konstatováno, že počet neshod na jednu vyráběnou sérii je z výše uvedených důvodů snížen ze 151 na 32. Avšak je třeba v budoucnu pokračovat v kontrolování účinnosti nápravných opatření a případně zvážit další nápravná opatření.

Textura povrchu

V kapitole 6.1.4 byla jako kořenová příčina neshod u parametru R_a 12 μinch identifikováno použití nesprávné výměnné břitové destičky. Jako nápravné opatření bylo navrženo použití výměnné břitové destičky typu Iscar MIFR. Tato výměnná břitová destička byla použita pro další výrobní sérii, v kterých již nebyla shledána žádná neshoda u parametru R_a 12 μinch a tudíž bylo nápravné opatření vyhodnoceno jako účinné. V kapitole 5.4.2 bylo vzhledem k funkci hřídelové sestavy těsnění navrženo přidání parametru $R_{z\max}$ 80 μinch (2,032 μm). V budoucnu je možné navrhnout zavedení systému vyhodnocování hodnot drsnosti R_a a $R_{z\max}$ dle 6.4.2. V této souvislosti je možné rovněž navrhnout pořízení vhodného profilometru s výrazně menší nejistou měření než u současně používaného Mytutoyo SJ-410. Měření na bezkontaktním přístroji TALYSURF CCI L LITE potvrdilo správnost uvedeného doporučení.

Průměr „A“

Při výstupní kontrole hřídelového těsnění série „XYZ“ byl zjištěn výrobek s rozměrem „A“ mimo toleranci. Uvedený stav byl označen jako nevyhovující s nutností přijmout nápravné opatření. V kapitole 6.1.5 byly jako kořenové příčiny neshod u tohoto průměru stanoveny:

- nepoužívání regulačních diagramů,
- neprovedení analýzy způsobilosti měřidel.

V kapitole 6.3.3 byla provedena analýza způsobilosti měření VDA 5 pro měřidla používaná pro výstupní kontrolu (oba CMM) a mezioperační kontrolu (výškoměr Trimos). Oba CMM byly shledány jako vhodné (způsobilé) a výškoměr Trimos jako nevyhovující (nezpůsobilý). Jako náhrada výškoměru pro mezioperační kontrolu byl navržen přípravek Marh Multimar M36B-10 a digitální úchylkoměr Insize 2112-101F. Toto měřidla jsou dle VDA 5 hodnocena jako způsobilá.

V kapitole 6.3.3 byl také aplikován regulační diagram pro průměrnou hodnotu ϕ , „A“ a jeho rozpětí pro podskupiny o rozsahu $n=5$. Toto nápravné opatření bylo vyzkoušeno v měsíci březen 2022. Bylo zhodnoceno jako účinné a je zavedeno do praxe výrobce.

Dále bylo navrženo přidat k průměru „A“ (vzhledem k jeho funkci) požadavek na geometrickou toleranci tvaru – válcovitost s elementem specifikace maximálního vepsaného referenčního válce CYLt (X) a velikostí tolerančního pole 0,0007 palce (0,0178 mm). V této kapitole bylo také zavedeno perspektivního posuzování shody pro průměr „A“ a válcovitost ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1:2018.

8 ZÁVĚR

Diplomová práce je jako celek příspěvkem ke hledání zlepšení kvality sestav hřídelových těsnění ve spolupracující organizaci. V rámci této organizace je již třetí rok zaveden systém řízení kvality dle ISO 9001 a letecké normy AS9100 (ekvivalent ISO 9100). Díky tomu jsou v této organizaci vytvořeny všestranné systémové podmínky pro neustálé zlepšování systému řízení kvality všech výrobků. V zadání diplomové práce je stanoveno 6 základních cílů. Všechny stanovené cíle jsou splněny takto:

Popis současného stavu řízení kvality hřídelových těsnění (první cíl) je splněn v kapitolách 5.1, 5.2 a 5.3. V první z těchto kapitol je uvedeno, že ve spolupracující organizaci je zaveden systém řízení kvality dle ISO 9001 a letecké normy AS 9100. V následujících kapitolách je popsán systém uvolnění prvního kusu, mezioperační kontroly a řízení neshod.

Kapitola 5.6 se zabývá systémovým rozбором hodnocení kvality. Tento (druhý) cíl je splněn komplexním rozбором požadavků na zvolenou sestavu hřídelového těsnění. Opomenutí jakéhokoliv z těchto požadavků může mít fatální vliv na ostatní požadavky, včetně požadavku na bezpečnost.

Posouzení možností zlepšení systému řízení kvality řešené sestavy hřídelového těsnění v organizaci (třetí cíl) a aplikace vybraných metod (čtvrtý cíl) jsou řešeny v šesté kapitole. Dle Paretova diagramu byly jako hlavní příčiny neshod na vyráběných dílech vyhodnoceny vizuální vady, parametr drsnosti povrchu Ra 12 μ inch a vnější průměr „A“ (dále jen průměr „A“) zkoumaného těsnění. Pro tyto parametry byly stanoveny kořenové příčiny a navrženy nápravné opatření.

U vizuálních vad bylo zjištěno, že díly byly během výstupní kontroly nevhodně hodnoceny pouze jako shodné za pomoci označení „OK“ a neshodné pomocí označení „NOK“. Na pracoviště „ODJEHLOVÁNÍ“ byl dle zavedeného nápravného opatření umístěn inspektor, který předává operativně zpětnou vazbu a provádí záznam z mezioperační kontroly. U kusů vyhodnocených jako „NOK“ byly z důvodu nesrovnalosti v hodnocení použity další dvě podkategorie – „ODJEHLOVÁNÍ“ a „MECHANICKÉ POŠKOZENÍ“. Během mezioperační kontroly bylo 56,5 % kusů „OK“, 28,2 % „NOK“ z důvodu „ODJEHLOVÁNÍ“ a zbývajících 15,3 % „NOK“ z důvodu „MECHANICKÉHO POŠKOZENÍ“.

U nesrovnalosti „MECHANICKÉ POŠKOZENÍ“ byly jako kořenové příčiny určeny „UPÍNÁNÍ DO SVĚRÁKŮ“ a „SKLADOVÁNÍ KUSŮ“. Při odjehlování nebyl stanoven přesný postup a nástroj pro „ODJEHLENÍ ZUBU“. Dle zavedeného nápravného opatření byl stanoven přesný postup a navržen vhodný nástroj pro odjehlování „zubu“ výrobku.

Na základě analýzy textury povrchu pomocí interferometru Taylor Hobson CCI LITE bylo zjištěno poškozování funkčního povrchu těsnění při měření. Proto bylo zakázáno používání ostrého měřicího doteku pro úchylkoměry. Po tomto zjištění byly schváleny doteky s rádiusem.

Dle výsledků předložené diplomové práce bylo úspěšně aplikováno použití navrženého přípravku pro měření textury povrchu řešeného těsnění, který nahradil doposud používaný standartní svěrák. Rovněž byl navržen nový způsob ukládání dílu do papírových pořadačů („papírových krabiček“), který zabrání poškození dílů při manipulaci.

U textury povrchu bylo jako kořenová příčina neshod pro parametr Ra 12 μinch identifikováno použití nesprávné výměnné břitové destičky při obrábění. Jako nápravné opatření bylo navrženo použití plátku typu Iscar MIFR. Tato výměnná břitová destička je používána pro další výrobu tohoto průměru. Pro vyhodnocení efektivity zavedeného nápravného opatření byla použita další vyráběná série, ve které již nebyla shledána žádná neshoda pro parametr Ra 12 μinch za použití pravidla 16 %.

Pro průměr „A“ bylo jako hlavní příčina neshod identifikováno nepoužívání regulačních diagramů a neprovedení analýzy způsobilosti měřidel před jejich použitím. Byla provedena analýza dle VDA 5 pro dva CMM používané pro výstupní kontrolu a výškoměr používaný pro mezioperační kontrolu. Obě CMM vyhověly požadavkům této metodiky, ale výškoměr nevyhověl. Jako náhrada výškoměru pro mezioperační kontrolu byl navržen přípravek Mahr Multimar M36B-10 a digitální úchylkoměr Insize 2112-101F. Tato měřidla dle VDA 5 vyhovují.

Pro řízení hodnoty průměru „A“ bylo také zavedeno použití regulačních diagramů (X-R) pro průměrnou hodnotu $\bar{\phi}$ „A“ a jeho rozpětí.

Pro průměr „A“ a válcovitost bylo zavedeno posuzování shody se specifikací ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1.

Doporučení pro praxi (šestý cíl DP) se nachází v kapitole 6.4. U vnějšího průměru těsnění doporučuji přidat parametr drsnosti povrchu $R_{z\max}$ 80 μinch (2,032 μm) a geometrickou toleranci válcovitosti s tolerančním polem o velikosti 0,0007 palce.

Technické posouzení dosažených výsledků (pátý cíl) je shrnuto v sedmé kapitole. Za hlavní praktický přínos této práce je možné považovat výrazné snížení nákladů na nekvalitu (četnost neshod se snížila v měsíci duben o 79 % proti předchozímu období). Za hlavní teoretický přínos je možno považovat zahájení přípravy na implementaci perspektivního systému ISO GPS do praxe.

Na základě doposud uvedeného je možné doporučit pokračovat ve vykonané práci následujícím způsobem řešením těchto problémů:

- aplikace regulačních diagramů pro všechny kritické charakteristiky dílů vyráběných v organizaci;
- trvale rozvinout v organizaci posuzování shody dle ČSN EN ISO 14253-1 na všechny kritické charakteristiky;
- zavedení analýzy způsobilosti měřidel dle ISO 22504-7:2021.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Komentované vydání ČSN EN ISO 9001:2016: Systémy managementu kvality - Požadavky.* Česká společnost pro jakost. ISBN 978-80-02-02642-6.
2. *Iscar* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=3300277&fnum=2810&mapp=TG&GFSTYP=M&srch=1>
3. JANKOVÝCH, Róbert. *Statistické řízení procesů: 08 Statistická regulace srovnáváním.* Brno, 2021. Přednáška. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
4. *Triumf.cz* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.triumf.cz/>
5. *ISO 9000:2015: Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník.* 2016.
6. NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století* [online]. 1. vydání: Management Press, 2018 [cit. 2022-02-01]. ISBN 978-80-726-1561-2. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=zii2DwAAQBAJ&pg=PA20&dq=historie+%C5%99%C3%ADzen%C3%AD+kvality&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwj7dyq2tT2AhXDgv0HHblzAV0Q6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=historie%20%C5%99%C3%ADzen%20>
7. *ČSN EN 9100: Systémy managementu kvality - Požadavky pro organizace v letectví, kosmonautice a obraně.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
8. HENZOLD, Georg. *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection.* Elsevier Science & Technology, 2006. ISBN 0750667389.
9. *ISO/TC 213: Dimensional and geometrical product specifications and verification* [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://committee.iso.org/home/tc213>
10. *ČSN EN ISO 14638: Geometrické specifikace produktu (GPS) - Maticový model.* 2021.
11. *ČSN EN ISO 14405-1: Geometrické specifikace produktu (GPS) – Tolerování rozměrů – Část 1: Lineární rozměry.* 2021.
12. *ČSN EN ISO 14405-2: Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů - Část 2: Rozměry jiné než lineární nebo úhlové rozměry.* 2022.
13. *ČSN EN ISO 1101: Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování - Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení.* 2020.
14. *Smithers: Understanding the Difference Between AS9100 and ISO 9001* [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.smithers.com/resources/2021/november/difference-between-as9100-and-iso-9001>
15. *ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* 1999.

16. ČSN EN ISO 25178-2: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. 2012.
17. ČSN EN ISO 8785: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Nedokonalosti povrchu - Termíny, definice a parametry*. 2000.
18. ČSN EN ISO 12180-1: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Válcovitost - Část 1: Slovník a parametry válcovitosti*. 2011.
19. ČSN EN ISO 428: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1999.
20. ČSN EN ISO 3274: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Jmenovité charakteristiky dotkových (hrotových) přístrojů*. 1999.
21. HARČÁŘÍK, Matej. *HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU KONTAKTNÍ A BEZKONTAKTNÍ METODOU*. 2014. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. RÓBERT JANKOVÝCH, CSc.
22. BLANAROVIČ, Ladislav. *Snižování drsnosti povrchu při frézování tvarových ploch*. Ostrava, 2018. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.
23. Souvislosti objemových parametrů [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://docplayer.net/19032059-Optical-3d-measurement-and-its-use-in-mintingalicon-mr-dipl-ing-christian-janko-munze-osterreich-mr-ing-alfred-gnadenberger29-1.htm>
24. ELUC [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1571>
25. ČSN EN ISO 14253-1: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením - Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi*. 2018.
26. JANKOVÝCH, Róbert. *Praktická metrologie: STATISTICKÉ NÁSTROJE V METROLOGII 3*. 2020. Přednáška. Vysoké učení technické v Brně.
27. *Management mania* [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/ishikawuv-diagram>
28. *Vnitřní předpisy spolupracující organizace*.
29. SEDMÍK, Petr. *Úloha technické kontroly v moderním řízení kvality*. Brno, 2014. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Alois Fiala, CSc.
30. LUCIE, Janků. *Hodnocení kvality výroby odporových snímačů teploty*. Ostrava, 2017. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Pavel Blecharz.
31. JANKOVÝCH, Róbert. *Statistické řízení procesů: 01 Analýza procesů*. 2020. Přednáška. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
32. *VDA 5: Vhodnost kontrolních procesů*. 2. vydání. 2011.
33. JURAN, Joseph M. and Blanton A. GODFREY. *Juran's Quality Control Handbook*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 00-703-4003-X.

34. MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition*. Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 978-0-470-16992-6.
35. KIRAN, D. *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*. Amsterdam: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-12-811035-5
36. JANKOVÝCH, Róbert. *Praktická metrologie: METROLOGIE TEXTURY POVRCHU I*. 2020. Přednáška. Vysoké učení technické v Brně.
37. Mitutoyo [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: 37.
[https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CRYSTA-Apex%20V7106%20CNC%20SMS/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/191-565/index.xhtml?jsessionid=D31533A7DDB221B35836AF255D0BA1C5](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CRYSTA-Apex%20V7106%20CNC%20SMS/$catalogue/mitutoyoData/PR/191-565/index.xhtml?jsessionid=D31533A7DDB221B35836AF255D0BA1C5)

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam tabulek

Tabulka 1) Chápání kvality z dle ekonomických oblastí

Tabulka 2) Příklad maticového modelu norem ISO GPS

Tabulka 3) 5x proč pro texturu povrchu

Tabulka 4) 5x proč pro průměr „A“

Tabulka 5) Mezioperační vizuální kontrola

Tabulka 6) Naměřené hodnoty textury povrchu pomocí interferometru

Tabulka 7) Naměřené hodnoty ze CMM a výškoměru

Tabulka 8) Vyhodnocení způsobilosti výškoměru a dvou CMM

Tabulka 9) Naměřené hodnoty regulačního diagramu pro průměr „A“

Tabulka 10) Naměřené hodnoty pro měření přípravkem a úchylkoměrem

Tabulka 11) Vyhodnocení analýzy způsobilosti přípraveku Marh Multimar M36B-10 a digitálního úchylkoměru Insize 2112-101F

Tabulka 12) Výpočet nejistot měření pro průměr „A“

Tabulka 13) Výpočet nejistot měření pro válcovitost

10.2 Seznam obrázků

- Obr. 1) Milníky managementu kvality
- Obr. 2) Schéma procesu
- Obr. 3) Cyklus PDCA pro kapitoly 4 až 10 normy ISO 9001
- Obr. 4) Příklad Paretova diagramu
- Obr. 5) Příklad Ishikawůva diagramu
- Obr. 6) Definice válcovitosti
- Obr. 7) Příklad použití filtrů
- Obr. 8) Parametr drsnosti R_a
- Obr. 9) Parametr drsnosti R_z
- Obr. 10) Systémový rozbor hodnocení kvality mechanického hřídelového těsnění
- Obr. 11) Paretův diagram dle skupin neshod
- Obr. 12) Paretův diagram pro průměry
- Obr. 13) Výměnná břitová destička typu Iscar MIFR
- Obr. 14) Ishikawův diagram pro průměr „A“
- Obr. 15) Odjehlení „zubu“
- Obr. 16) poškození od doteku úchylkoměru
- Obr. 17) svěrák používaný pro měření textury povrchu
- Obr. 18) Povrch drsnost Gaussův filtr (S-L) 0,8 mm
- Obr. 19) Měření pomocí interferometru Taylor Hobson
- Obr. 20) Rubínový dotek o průměru 4 mm pro výškoměr Trimos
- Obr. 21) Výškoměr Trimos V7
- Obr. 22) Kalibrační zařízení pro výškoměr Trimos
- Obr. 23) Upnutí nastavovacího kroužku do svěráku
- Obr. 24) CMM Mitutoyo crista apex
- Obr. 25) Naměřené hodnoty ze CMM a výškoměru
- Obr. 26) Regulační diagram pro rozpětí průměru „A“

- Obr. 27) Regulační diagram pro průměrnou hodnotu průměr „A“
- Obr. 28) Nástroj pro odjehlení
- Obr. 29) Ukázka měření na drsnoměru s přípravkem
- Obr. 30) Přípravek na měření na drsnoměru
- Obr. 31) Dotečky na úchylkoměru
- Obr. 32) Uložení dílů v krabičkách
- Obr. 33) přípravek Mahr Multimar M36B-10 a digitální úchylkoměr Insize 2112-101F
- Obr. 34) Schéma navržené válcovitosti
- Obr. 35) Graf proměnné g_a
- Obr. 36) Posuzování shody pro průměr „A“ dle ČSN EN ISO 14253-1
- Obr. 37) Posuzování shody pro válcovitost dle ČSN EN ISO 14253-1

10.3 Seznam použitých zkratek

$\%RE$ – rozlišení

CMM – souřadnicový měřicí stroj

g_a – faktor ochranného pásma

g_{La} – spodní ochranné pásmo

g_{ua} – horní ochranné pásmo

Inch – palce

ISO – Mezinárodní organizace pro normalizaci

ISO GPS - geometrické specifikace produktu

L – jmenovitá délka

l – měřená délka

l_r – základní délka

LSL – dolní přípustná mez

s – směrodatná odchylka

PDCA – cyklus plánuj-dělej-kontroluj – jednej

QMS – systém managementu kvality

QMS - ukazatel vhodnosti

QMS_{max} – mezní hodnota ukazatele vhodnosti

Ra – Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

Rz – největší výška profilu

TOL – tolerance

TQL_{MN-UMS} - Minimální tolerance

u_a – nejistota typu A

u_b – nejistota typu B

u_c – kombinovaná nejistota

UCL_R – přípustná mez

U_e – nejistota

u_e – příspěvek k nejistotě typu B

u_{MS} – kombinovaná nejistota měřicího systému

U_{MS} – rozšířená nejistota měřicího systému

USL – horní přípustná mez

X – proměnná pro výpočet faktoru ochranného pásma

Z_p – nejvyšší výstupek profilu

Z_v – nejnižší prohlubně profilu

λ_c – středně vlnný filtr

λ_f – dlouhovlnný filtr

λ_s – krátkovlnný filt

11 SEZNAM PŘÍLOH

1. Výsledky měření textury povrchu pomocí interferometru
2. CMM program pro měření kalibračního kroužku
3. Formulář s vyhodnocením vhodnosti měřidel dle VDA 5
4. Výkres přípravku pro měření textury povrchu
5. Program na 3D tisk přípravku pro měření textury povrchu
6. Vzor formuláře pro regulaci měřením