

VYSOKÁ ŠKOLA POLYTECHNICKÁ JIHLAVA

Studijní program

Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi

Návrh mezioperačních testů v procesu
zastříkávání výrobků plastickou hmotou

Bakalářská práce

Autor práce: Vojtěch Koděra

Vedoucí práce: Ing. Petr Tyráček, Ph.D., MBA

Jihlava 2024

Vysoká škola polytechnická Jihlava

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: **Vojtěch Koděra**

Studijní program: Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi

Obor: Aplikovaná technika

Název práce: **Návrh mezioperačních testů v procesu zastříkávání výrobků plastickou hmotou**

Cíl práce:

Cílem BP je návrh metody mezioperačních měření rozměrů v procesu zástřiku funkčních dílů do výsledného výrobce stanoveného produktu a definovaného zákazníkem. Je nutné uvažovat celý výrobní proces, který zahrnuje i výrobu dílů pro konečný produkt. Jednalo by se hlavně o návrh měření požadovaných rozměrů. Studentem navržená metoda musí obsahovat i měření polohy určených částí dílů a výsledného produktu. Student musí také ověřit vhodnost jím navržené metody vzhledem k procesním a konstrukčním požadavkům a měl by se vyjádřit také k ovlivňujícím faktorům procesu na rozměry dílů i produktu. V teoretické části bakalářské práce musí student vysvětlit principy jak navrhované metody, tak metody nebo metod pro ověření vhodnosti cílového návrhu. Zadání bakalářské práce bylo projednáno s firmou Kolektor Jihlava.

Ing. Petr Tyráček, Ph.D., MBA

vedoucí bakalářské/diplomové práce

doc. Ing. Radek Kolman, Ph.D.

Katedra technických studií

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem metody mezioperačního měření rozměrů a poloh dílů v procesu zástřiku funkčních částí do finálního produktu. Cílem je vytvořit měřicí postup splňující procesní a konstrukční požadavky a ověřit jeho vhodnost. Práce také analyzuje vlivy výrobního procesu na rozměry dílů.

Klíčová slova

Metrologie; měřidlo; Stabilita měřidla; Měřicí systém

Abstract

This bachelor work is focused on the design of an in-process measurement method for dimensions and positions of components during the overmolding of functional parts into the final product. The aim is to develop a measurement procedure that meets process and design requirements and to verify its suitability. The thesis also analyzes the influence of the manufacturing process on the dimensions of the components.

Keywords

Metrology; Gauge; Measurement stability; Measurement system

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „AZ“).

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje **AZ**, zejména § 60 (školní dílo).

Podle § 47b zákona o vysokých školách souhlasím se zveřejněním své práce podle směrnice prorektora pro studium č. 2/2020, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom/a toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne 19. listopadu 2024

.....

Podpis studenta/k

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Tyráčkovi, Ph.D., MBA za jeho odborné vedení, cenné rady a podporu, kterou mi poskytoval při zpracování této bakalářské práce. Jeho zkušenosti a ochota sdílet znalosti byly pro mě klíčovým přínosem a pomohly mi úspěšně vyřešit řadu odborných výzev, se kterými jsem se během práce setkal.

Velké díky patří také mým kolegům z měrového střediska, kteří mi poskytli podporu a spolupráci při řešení problematiky měření. Jejich ochota a praktické zkušenosti mi umožnily lépe pochopit souvislosti spojené s metrologií a měřicími procesy, což významně přispělo k úspěšnému dokončení této práce.

Obsah

Seznam obrázků.....	7
Seznam tabulek	8
Seznam zkratk.....	9
Úvod	10
1 Metrologie	11
1.1 Metrologie v průmyslu	12
1.2 Zákon o metrologii.....	13
2 Měřidla	14
2.1 Klasifikace měřidel	14
2.2 Vlastnosti měřidel.....	15
2.3 Požadavky na pracovní měřidlo.....	17
2.4 Kalibrace měřidel	19
3 Analýza systému měření	20
3.1 Požadavky IATF 16 949 na analýzu systému měření	20
3.2 Model chyby systému měření SWIPE (MSA AIAG).....	21
3.3 Hodnocení způsobilosti měřidla	23
3.4 Hodnocení způsobilosti systému měření MSA	25
4 O společnosti Kolektor Tesla Jihlava	26
5 Představení vybraného procesu	27
5.1 Problematika.....	27
6 Návrh měřidla a měření	30
6.1 Ověření způsobilosti měřidla	31
7 Analýza měřicího systému	35
7.1 Sběr dat.....	35
7.2 Ověření výpočtem	36
7.3 Vyhodnocení výpočtů	38
Závěr	40
Seznam použité literatury	41

Seznam obrázků

Obrázek 1 Návaznosti měřidel	17
Obrázek 2 životní cyklus měřidla.....	18
Obrázek 3 ukázka kalibračních značek	19
Obrázek 4 chyba 1. řádu	21
Obrázek 5 chyba 2. řádu	22
Obrázek 6 spolehlivost systému.....	23
Obrázek 7 Stanzgitter	27
Obrázek 8 oblast elektroniky	27
Obrázek 9 výkresový rozměr	28
Obrázek 10 navařovací ploch mimo pozici.....	29
Obrázek 11 upnutí dílce	30
Obrázek 12 vyrovnání	30
Obrázek 13 náměry etalonu.....	34
Obrázek 14 náměry operátorů.....	39
Obrázek 15 náměry vzhledem k toleranci	39

Seznam tabulek

Tabulka 1 Náměry etalonu.....	31
Tabulka 2 Náměry pro MSA	35
Tabulka 3 Příprava dat pro MSA	36

Seznam zkratk

KTJ	Kolektor Tesla Jihlava
ČSN	Česká státní norma
MSA	Measurement System Analysis
VŠPJ	Vysoká škola polytechnická Jihlava

Úvod

V oblasti průmyslové výroby se stále více klade důraz na přesnost a kvalitu výrobků, což přímo souvisí s rozvojem měřicích technologií a metod. Schopnost přesně měřit rozměry a polohy dílů je klíčovým faktorem při zajišťování kvality finálního produktu. Moderní výrobní procesy, jako je proces zástřiku plastových dílů, vyžadují vysokou míru kontroly a ověřování. Proto je cílem této práce nejen navrhnout měřicí postupy, které budou vyhovovat požadavkům na mezioperační kontrolu, ale také analyzovat a ověřit způsobilost navrženého měřicího systému.

Tato Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku návrhu mezioperačních měření v procesu zástřiku plastových dílů. Tento proces zahrnuje specifické požadavky na přesnost měření, protože odchylky v rozměrech nebo polohách dílů mohou mít zásadní vliv na kvalitu finálního produktu. V teoretické části práce jsou rozebrány základní principy metrologie a normy pro měření, které tvoří nezbytný základ pro návrh a implementaci měřicího systému.

Praktická část je pak věnována návrhem měřicího systému pro konkrétní rozměr konkrétního výrobku. V této části je ověřena stabilita měřicího systému s ohledem na stabilitu a variabilitu měřidla tak na variabilitu mezi jednotlivými operátory. Ověření způsobilosti systému měření je provedeno dle metodiky MSA.

Motivace

Hlavní motivací této práce je přispět k optimalizaci výrobního procesu prostřednictvím implementace efektivního systému měření, který splňuje přísné požadavky na kvalitu. Ověření měřicího systému a řešení této problematiky rozšířilo mé vědomosti, které jsou velmi přínosné, jelikož působím na oddělení kvality.

1 Metrologie

Metrologie je vědní disciplína zabývající se měřením, měřicími metodami, přístroji a standardy, které zajišťují přesnost a spolehlivost naměřených výsledků. Tento obor má zásadní význam nejen ve vědě a technice, ale také v průmyslu, zdravotnictví, obchodu a každodenním životě, kde přesná měření ovlivňují kvalitu výrobků, bezpečnost zařízení nebo spravedlnost obchodních transakcí. [2]

Základním cílem metrologie je dosáhnout co nejvyšší přesnosti měření, které umožní srovnatelnost výsledků napříč různými systémy a lokalitami. Pro dosažení tohoto cíle jsou stanoveny jednotné standardy měření, jejichž základem je mezinárodní soustava jednotek SI (Système International d'Unités). Tato soustava zahrnuje sedm základních jednotek, jako jsou metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol a kandela, z nichž všechny jsou definovány na základě fyzikálních konstant nebo jevů. Například kilogram byl v roce 2019 redefinován prostřednictvím Planckovy konstanty, což umožnilo větší stabilitu této jednotky nezávisle na fyzickém prototypu. [2]

Metrologie se dělí na tři hlavní oblasti. Základní metrologie se věnuje teoretickým a fundamentálním otázkám, jako jsou definice jednotek, výzkum fyzikálních konstant a zajištění nejvyšší přesnosti měření. Průmyslová metrologie se zaměřuje na aplikaci měření v průmyslovém prostředí, kde je nezbytné zajištění kvality a přesnosti výroby. Třetí oblastí je legální metrologie, která se zabývá měřením v oblastech regulovaných zákonem, například měřením hmotnosti, objemu či času u zboží a služeb, kde je potřeba zajistit spravedlnost a transparentnost. [2]

Pro správné provádění měření je nezbytné využívat kalibrované přístroje a standardy, které zaručují jejich přesnost a návaznost na mezinárodní měřicí etalony. Kalibrace je proces porovnání měřicího přístroje s referenčním standardem, při němž se stanoví odchylky od správných hodnot a případně se přístroj upraví. Tímto způsobem je zajištěno, že výsledky měření jsou srovnatelné a důvěryhodné. [2]

Metrologie má obrovský význam v průmyslu, kde přesné měření hraje klíčovou roli při zajištění kvality výrobků a efektivity výrobních procesů. Například ve strojírenství je potřeba měřit s vysokou přesností rozměry součástí, aby bylo dosaženo jejich správného sestavení. V zdravotnictví je přesné měření důležité při diagnostice a léčbě pacientů, například při měření krevního tlaku nebo dávkování léků. [2]

Kromě technických aspektů se metrologie zaměřuje i na ekonomické a společenské otázky. Přesná měření zvyšují důvěru mezi obchodními partnery a spotřebiteli, minimalizují ztráty surovin a energie a přispívají k udržitelnému rozvoji. Je tak zřejmé, že metrologie není pouze vědeckým oborem, ale také základem pro moderní společnost, která závisí na spolehlivosti a přesnosti měření v každodenním životě. [2]

1.1 Metrologie v průmyslu

Metrologie má v automobilovém průmyslu mimořádný význam, protože přesná měření jsou klíčem k zajištění kvality, bezpečnosti a spolehlivosti vozidel. Automotive je jedním z nejdynamičtějších průmyslových odvětví, kde každý komponent a proces podléhá přísným kontrolám a normám. Díky metrologii je možné dosahovat vysoké úrovně přesnosti, která je nezbytná jak pro samotnou výrobu, tak pro vývoj moderních technologií, jako jsou autonomní vozidla nebo systémy na bázi elektromobility.

V automobilovém průmyslu se metrologie uplatňuje na všech úrovních. Při výrobě motorů a převodovek je třeba zajistit, aby rozměry jednotlivých součástí odpovídaly specifikacím s přesností v mikrometrech. Pokud by například ozubená kola nebo ložiska neodpovídala přesným rozměrům, mohlo by dojít k vibracím, nadměrnému opotřebení nebo dokonce k selhání celého systému. K tomu se využívají moderní měřicí přístroje, jako jsou souřadnicové měřicí stroje (CMM), které umožňují detailní analýzu geometrických parametrů jednotlivých dílů.

Dalším klíčovým využitím metrologie je kontrola kvality povrchů a materiálů. Technologie, jako je 3D skenování, umožňují zajištění dokonalé povrchové úpravy dílů, což je zásadní například pro aerodynamické vlastnosti karoserií nebo funkci dílů s vysokými nároky na těsnost, jako jsou těsnění motorů nebo brzdové systémy. Optické a laserové měřicí systémy zajišťují, že jednotlivé části vozidla splňují požadované standardy přesnosti a hladkosti povrchu.

Přesná měření mají také přímý vliv na bezpečnost automobilů. Crash testy a simulace dopadů vyžadují precizní analýzu materiálů a komponentů, aby bylo možné předvídat chování vozidla při nárazu. Důležitou roli hraje i měření rozměrů a hmotnosti vozidla, které ovlivňují stabilitu a ovladatelnost. Senzory využívané v moderních bezpečnostních systémech, jako jsou airbagy, ABS nebo systémy detekce překážek, musí být také kalibrovány a testovány s vysokou přesností.

Automobilový průmysl se stále více orientuje na inovace v oblasti elektromobility a autonomního řízení, což klade nové nároky na metrologii. Elektromotory a baterie vyžadují přesné měření elektrických veličin, jako jsou napětí, proud a kapacita, zatímco autonomní systémy závisí na dokonalé kalibraci senzorů, jako jsou kamery, radary a lidary. Bez spolehlivého měření by nebylo možné dosáhnout požadované úrovně spolehlivosti a bezpečnosti těchto systémů.

V oblasti emisí hraje metrologie klíčovou roli při měření výfukových plynů a zajištění shody s legislativními normami. Moderní metody měření emisí, jako je testování na dynamometrech, jsou nezbytné pro monitorování vlivu motorových vozidel na životní prostředí. Díky tomu metrologie přispívá nejen k technologickému rozvoji, ale také k ochraně životního prostředí a zdraví lidí.

Automatizace a digitalizace hrají v automotive metrologii stále větší roli. Využití inteligentních měřicích systémů, které jsou integrovány přímo do výrobních linek, umožňuje provádět měření v reálném čase, což zvyšuje efektivitu a snižuje riziko vzniku vad. Například robotická ramena vybavená měřicími senzory mohou průběžně kontrolovat kvalitu svařovaných spojů nebo lakovaných povrchů. Tato integrace moderních technologií umožňuje rychlejší výrobu, nižší náklady a zajištění vyšší úrovně kvality.

1.2 Zákon o metrologii

Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, je klíčovým právním předpisem České republiky, který upravuje práva a povinnosti fyzických a právnických osob v oblasti měření a měřidel. Jeho hlavním cílem je zajištění jednotnosti a správnosti měření, což je nezbytné pro přesnost a spolehlivost výsledků v různých oblastech průmyslu, obchodu a vědy. [5]

Zákon definuje základní měřicí jednotky, jejich označování, násobky a díly, a stanovuje postupy pro schvalování typů měřidel, jejich ověřování a kalibraci. Dále upravuje vztahy k zahraničí v oblasti metrologie a stanovuje sankce za porušení povinností vyplývajících z tohoto zákona. [5]

V roce 2021 došlo k významné novele tohoto zákona prostřednictvím zákona č. 152/2021 Sb., který aktualizoval definice základních jednotek SI v souladu s mezinárodními standardy přijatými na 26. zasedání Generální konference pro váhy a míry (CGPM) v roce 2018. Tato novela zajišťuje harmonizaci české legislativy s evropskými předpisy a mezinárodními dohodami v oblasti metrologie. [5]

1.2.1 Vybrané požadavky ze Zákona o metrologii

§ 3 Měřidla – tento paragraf definuje měřidla jako prostředky sloužící k určení hodnoty měřené veličiny. Měřidla se dělí na:

- Etalony: Měřidla nejvyšší metrologické kvality pro daný účel.
- Stanovená měřidla: Pracovní měřidla podléhající státní metrologické kontrole.
- Pracovní měřidla: Ostatní pracovní měřidla nepodléhající státní metrologické kontrole.
- Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály, pokud jsou určeny k funkci etalonu nebo stanoveného či pracovního měřidla.

§ 5 Návaznost měřidel

Návaznost měřidel znamená zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny, počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel. Tím je zajištěna správnost a jednotnost měření. [5]

§ 9 Ověřování a kalibrace

Tento paragraf stanovuje povinnost ověřování stanovených měřidel, což je proces potvrzující, že měřidlo splňuje požadované metrologické vlastnosti. Ověřování provádí Český metrologický institut nebo autorizovaná metrologická střediska. Kalibrace pracovních měřidel zajišťuje jejich návaznost na etalony. [5]

§ 11 Používání měřidel

Stanovuje povinnost používat pouze měřidla, která splňují požadavky na správnost a jednotnost měření. Uživatelé stanovených měřidel jsou povinni zajistit jejich ověřování v zákonem stanovených lhůtách a podmínkách. [5]

2 Měřidla

Měřidla jsou základními nástroji metrologie a hrají klíčovou roli v procesu měření, kontrolování a ověřování různých fyzikálních veličin. Jejich přesnost, spolehlivost a vhodnost pro danou aplikaci jsou zásadní nejen ve vědecké a technické praxi, ale také v průmyslu a každodenním životě. Využití správného měřidla umožňuje získat přesné a reprodukovatelné výsledky, což je nezbytné pro zajištění kvality, bezpečnosti a efektivity. [2]

V průmyslovém prostředí se měřidla používají na všech úrovních výroby. V automobilovém průmyslu například hrají důležitou roli délková měřidla, která se používají při kontrole přesnosti rozměrů jednotlivých součástek, jako jsou ozubená kola, ložiska nebo karoserie. Laserová měřidla umožňují měření s vysokou rychlostí a přesností, což je nezbytné pro moderní automatizované výrobní linky. [2]

Elektrická měřidla jsou zásadní při testování a vývoji elektrických systémů, jako jsou baterie nebo motory v elektromobilech. Teplotní měřidla zase zajišťují správnou funkci chlazení motorů nebo řízení teplotních procesů při svařování. [2]

2.1 Klasifikace měřidel

Měřidla lze rozdělit podle různých kritérií, například podle měřených veličin, přesnosti nebo způsobu měření. Základními kategoriemi jsou:

Dle měřených veličin

- Délková měřidla: Pravítka, mikrometry, posuvná měřítka, laserové dálkoměry.
- Hmotnostní měřidla: Váhy, siloměry.
- Teplotní měřidla: Teploměry, termistory, termokamery.
- Elektrická měřidla: Multimetry, osciloskopy, wattmetry.
- Tlaky a síly: Manometry, tlakové senzory, dynamometry.
- Čas a frekvence: Stopky, časomíry, frekvenční měřiče.

Podle způsobu měření

- Přímá měřidla: Měří hodnotu přímo, například pravítko nebo voltmetr.
- Nepřímá měřidla: Hodnota je určena výpočtem na základě jiných veličin, například měření objemu pomocí hustoty a hmotnosti.

Podle přesnosti

- Standardní měřidla: Používají se pro běžná měření.
- Přesná měřidla: Slouží pro laboratorní a kalibrační účely.
- Referenční etalony: Mají nejvyšší úroveň přesnosti a používají se k ověřování ostatních měřidel.

2.2 Vlastnosti měřidel

Vlastnosti měřidel jsou klíčové parametry, které určují jejich schopnost přesně a spolehlivě měřit fyzikální veličiny. Tyto vlastnosti mají zásadní význam pro výběr měřidla pro konkrétní aplikaci, zejména v průmyslu, vědě nebo zdravotnictví. Správné pochopení a hodnocení těchto vlastností umožňuje zajistit, že měřicí procesy budou splňovat požadované nároky na kvalitu a přesnost

Každá z těchto vlastností má zásadní význam pro zajištění kvality a spolehlivosti měření. V průmyslové praxi, zejména v automobilovém průmyslu nebo při přesném měření v laboratořích, je nutné zohlednit všechny tyto aspekty, aby měřicí systém splňoval požadavky na výkon, konzistenci a srovnatelnost výsledků. [2]

2.2.1 Rozlišení

Rozlišení je schopnost měřidla nebo zobrazovacího zařízení zaznamenat nejmenší rozdíl mezi dvěma měřenými hodnotami, který je měřidlo schopno odlišit. Rozlišení je určeno velikostí nejmenšího přírůstku, který měřicí zařízení dokáže zobrazit nebo zaznamenat. Například digitální měřidlo, které zobrazuje hodnoty s přesností na 0,01 mm, má rozlišení 0,01 mm.

V případě zobrazovacích zařízení, jako jsou displeje, rozlišení označuje počet obrazových bodů (pixelů), které lze na zařízení zobrazit, například 1920x1080 pixelů. Vyšší rozlišení znamená větší schopnost zobrazit jemné detaily, což je důležité pro aplikace, jako je optické měření nebo analýza povrchů. V měření je důležité, aby rozlišení odpovídalo požadavkům na přesnost a citlivost, protože příliš nízké rozlišení může vést k přehlédnutí drobných rozdílů v měřených hodnotách. [2]

2.2.2 Pravdivost

Pravdivost je míra, do jaké naměřená hodnota odpovídá skutečné hodnotě měřené veličiny. Jinými slovy, pravdivost vyjadřuje, jak blízko jsou výsledky měření k referenční hodnotě, která je považována za správnou. Pravdivost měření může být ovlivněna systematickými chybami měřidla, jako jsou chyby kalibrace nebo vliv okolních podmínek.

Pravdivost je často vyjádřena jako rozdíl mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou. Měření s vysokou pravdivostí poskytuje výsledky, které jsou spolehlivé a vhodné pro další analýzu nebo rozhodování, například při kontrole kvality. [2]

2.2.3 Správnost

Správnost je komplexní vlastnost, která kombinuje pravdivost a opakovatelnost měření. Měřidlo nebo měřicí proces je správný, pokud poskytuje výsledky, které jsou nejen blízké skutečné hodnotě, ale také stabilní při opakovaném měření. Správnost se liší od přesnosti, která zahrnuje pouze blízkost ke skutečné hodnotě. [2]

Například měřidlo může být pravdivé, ale ne opakovatelné, což by znamenalo, že jeho správnost je nízká. Správnost je klíčová v aplikacích, kde je nezbytné minimalizovat systematické chyby a zajistit opakovatelný výkon, například při dlouhodobém monitorování nebo při měření v průmyslové výrobě. [2]

2.2.4 Opakovatelnost měření

Opakovatelnost vyjadřuje schopnost měřidla poskytovat stejné výsledky při opakovaném měření stejné veličiny za stejných podmínek. Opakovatelnost se posuzuje v rámci jednoho měřidla a jedné sady podmínek (například stejné prostředí, stejný operátor, stejný postup).

Vysoká opakovatelnost znamená, že měřicí proces je stabilní a poskytuje konzistentní výsledky. Je klíčová v aplikacích, kde je potřeba opakovaně kontrolovat stejný parametr, například při sériové výrobě, kde musí být všechny výrobky měřeny stejným způsobem. [6]

2.2.5 Reprodukovatelnost měření

Reprodukovatelnost je schopnost měřidla nebo měřicího procesu poskytovat stejné výsledky při měření stejné veličiny, ale za odlišných podmínek. Tyto podmínky mohou zahrnovat změnu operátora, prostředí, času nebo dokonce měřidla. Na rozdíl od opakovatelnosti se reprodukovatelnost zabývá variabilitou mezi různými sadami podmínek.

Reprodukovatelnost je důležitá v případech, kdy výsledky měření musí být srovnatelné napříč různými pracovišti nebo laboratorními podmínkami. Například v automobilovém průmyslu je nutné, aby stejný měřicí proces poskytoval konzistentní výsledky bez ohledu na to, kde nebo kým bylo měření provedeno. [6]

2.2.6 Linearita

Linearita je vlastnost, která vyjadřuje, jak blízko se vztah mezi vstupní veličinou (měřená hodnota) a výstupem měřidla (zaznamenaná hodnota) blíží přímce. Ideální měřidlo má lineární charakteristiku, což znamená, že změna měřené veličiny způsobí odpovídající a proporcionální změnu výstupní hodnoty po celém rozsahu měření. Pokud měřidlo není lineární, může poskytovat zkreslené výsledky, které je třeba opravit pomocí kalibračních křivek. Linearita je důležitá například u senzorů, které sledují teplotu, tlak nebo elektrické veličiny. [6]

2.2.7 Stabilita měřidla

Stabilita vyjadřuje schopnost měřidla udržet si své vlastnosti a přesnost měření v průběhu času nebo za změněných podmínek. Stabilitu lze rozdělit na dvě základní kategorie:

Krátkodobá stabilita popisuje chování měřidla během krátkého časového intervalu nebo při rychlých změnách podmínek. Například při měření v laboratorních podmínkách je důležité, aby měřidlo reagovalo konzistentně i při drobných výkyvech teploty nebo vlhkosti. Měřidlo s dobrou krátkodobou stabilitou minimalizuje riziko náhodných chyb. [6]

Dlouhodobá stabilita označuje schopnost měřidla udržet si svou přesnost a správnost během delšího období, například měsíců nebo let. Dlouhodobá stabilita je klíčová u přístrojů, které jsou používány v průmyslu nebo při kontinuálním monitorování, protože eliminuje potřebu časté kalibrace. Nestabilní měřidlo může vykazovat postupné odchylky od skutečných hodnot, což vede k nepřesnostem, které mohou ovlivnit kvalitu výrobků nebo výsledky analýz. [6]

2.3 Požadavky na pracovní měřidlo

Kalibrace měřidel musí být prováděna v rozsahu odpovídajícím požadavkům na metrologickou návaznost, přičemž tato návaznost je stanovena „schématem návaznosti,“ které potvrzuje vedoucí organizace. Toto schéma zahrnuje konkrétní kroky, jako jsou ověření, kalibrace, justáže, seřízení, opravy či funkční zkoušky, a stanovuje časové intervaly (konfirmační lhůty), ve kterých mají být tyto činnosti prováděny. [5]

Každý uživatel měřidel má právo si stanovit způsob zajištění návaznosti svých pracovních měřidel. Tento postup zahrnuje výběr subjektu, který provede metrologickou návaznost, stanovení lhůt pro pravidelné navazování a určení kritérií shody mezi metrologickými parametry měřidla a požadavky konkrétní aplikace. Uživatelé tak mohou přizpůsobit metrologické procesy svým specifickým potřebám a prostředí. [5]

Zákon o metrologii žádnou další kategorii měřidel nedefinuje, a proto by měla být všechna ostatní měřidla, která jsou v organizacích identifikována a používána především pro orientační či informativní měření, považována za pracovní měřidla. Rozdíl mezi těmito měřidly a běžnými pracovními měřidly spočívá pouze v jejich pojmenování či významu v daném kontextu. Ve všech případech je však nutná tato měřidla řídit stejným způsobem jako standardní pracovní měřidla.

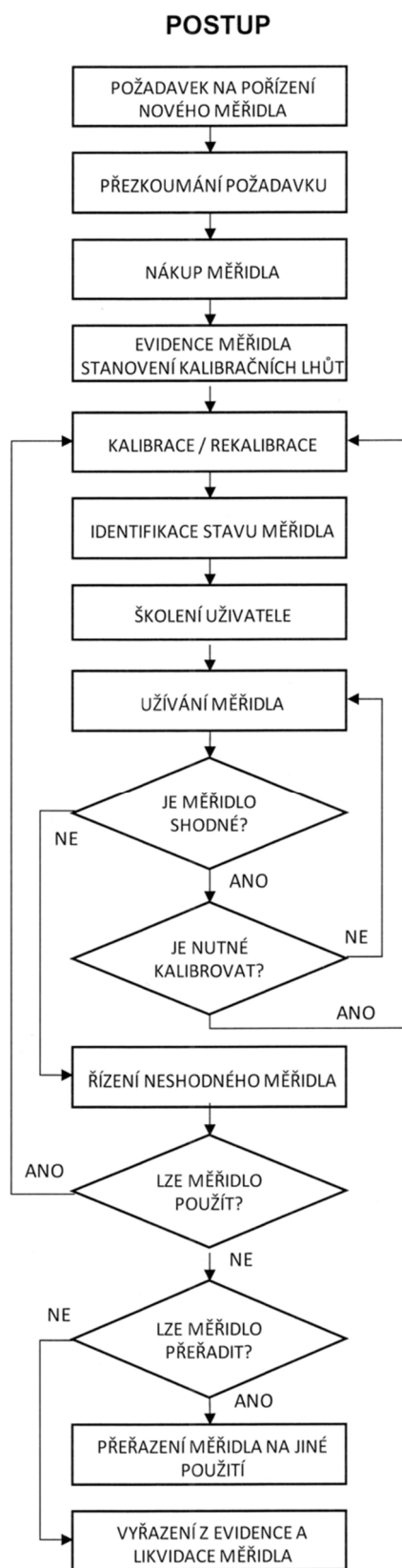
Je důležité rozlišovat kalibraci od justování měřicího systému, které je často mylně označováno jako „samokalibrace,“ a rovněž od ověřování (verifikace). Kalibrace zahrnuje porovnání hodnot naměřených měřidlem s referenčními hodnotami a potvrzení jeho metrologické návaznosti, zatímco justování představuje nastavení měřicího systému tak, aby splňoval požadované parametry. [5]

Schéma návaznosti měřidel je založeno na kritériích TAR (test accuracy ratio) a TUR (test uncertainty ratio), která jsou uvedena v mezinárodních standardech, jako je Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), a v dalších dokumentech Mezinárodní organizace pro legální metrologii (OIML). Tato kritéria zajišťují, že měřidla splňují požadované úroveň přesnosti a spolehlivosti při použití v praxi. [5]



Obrázek 1 Návaznosti měřidel

(ČSJ, 2010 s. 10)



Obrázek 2 životní cyklus měřidla

2.4 Kalibrace měřidel

Kalibrace měřidel je proces, při kterém se stanovuje odchylka mezi hodnotou naměřenou měřidlem a referenční hodnotou získanou pomocí standardu nebo etalonu vyšší metrologické úrovně. Kalibrace slouží k ověření správnosti měřidla, zajištění jeho návaznosti na mezinárodní soustavu jednotek (SI) a zaručení spolehlivých a přesných měření. [1]

Značka	Kategorie MZ	Popis
	PM	MZ kalibrováno uveden konec platnosti kalibrace
	Všechna MZ	MZ v poruše nesmí být používáno
	Všechna MZ	MZ kalibrováno kalibrace před každým použitím
	Všechna MZ	MZ kalibrováno uveden počátek a konec platnosti kalibrace kalendářním týdnem
	PM skupina IM	MZ kalibrováno lhůta platnosti – bez omezení, požadována FZMZ

Obrázek 3 ukázka kalibračních značek

3 Analýza systému měření

Účelem analýzy je získat spolehlivé a přesné poznatky o procesu, které jsou nezbytné pro jeho efektivní řízení a důkladné prokazování jeho kvality. Analýza umožňuje identifikovat klíčové parametry a faktory ovlivňující výkon procesu, odhalit případné odchylky a rizika a zároveň slouží jako nástroj pro jejich prevenci nebo nápravu. Výsledky analýzy poskytují základ pro optimalizaci procesů, což vede ke zvýšení jejich efektivity, snížení nákladů a zajištění požadované úrovně kvality. [1]

3.1 Požadavky IATF 16 949 na analýzu systému měření

Pro analyzování variability výsledků systémů kontrolních, měřicích a zkušebních zařízení, identifikovaných v plánu kontroly a řízení, je nutné provádět statistické studie. Tyto studie jsou klíčové pro hodnocení spolehlivosti a přesnosti měření a zajištění, že variabilita systému měření nenarušuje rozhodovací procesy. Analytické metody a přijímací kritéria používaná při těchto studiích musí odpovídat doporučením uvedeným v příručkách pro analýzu systému měření, jako je například MSA (Measurement Systems Analysis). [1]

Pokud jsou používány alternativní analytické metody a přijímací kritéria, je jejich použití podmíněno schválením zákazníkem. V takovém případě je nezbytné uchovávat dokumentaci o schválení těchto alternativních metod společně s výsledky provedených analýz alternativních systémů měření. [1]

Je důležité stanovovat priority při výběru studií systému měření tak, aby se zaměřily na kritické nebo zvláštní charakteristiky produktu či procesu, které mají zásadní vliv na kvalitu a bezpečnost. Tyto charakteristiky je nutné analyzovat přednostně, protože variabilita měřicího systému může významně ovlivnit rozhodnutí týkající se stability, cílové hodnoty a variability procesu.

Variabilita systému měření přímo ovlivňuje pozorovanou variabilitu procesu. Základní vztah mezi variabilitou skutečného a pozorovaného procesu je popsán rovnicí:

$$\sigma_{\text{pozorovaný}}^2 = \sigma_{\text{skutečný}}^2 + \sigma_{\text{měřicího systému}}^2$$

kde:

- $\sigma_{\text{pozorovaný}}^2$ je rozptyl pozorovaného procesu,
- $\sigma_{\text{skutečný}}^2$ je rozptyl skutečného procesu,
- $\sigma_{\text{měřicího systému}}^2$ je rozptyl měřicího systému.

Tento vztah ukazuje, že rozptyl měřicího systému je přímou součástí pozorovaného rozptylu, a proto je zásadní minimalizovat variabilitu měřicího systému, aby se zajistila co nejpřesnější interpretace skutečné variability procesu. Efektivní analýza systému měření umožňuje identifikovat slabiny v měřicím systému a podniknout kroky k jejich nápravě, což přispívá ke zlepšení kvality a stability celého procesu. [1]

3.2 Model chyby systému měření SWIPE (MSA AIAG)

Akronym ****SWIPE**** se používá k označení šesti základních prvků obecného systému měření, které zajišťují dosažení požadovaných cílů měření. Tento přístup představuje model potenciálních zdrojů chyb v kompletním měřicím systému a zahrnuje následující prvky:

- Standard – etalon, který slouží jako referenční hodnota.
- Workpiece – obrobek, tedy předmět měření.
- Instrument – přístroj, používaný k měření.
- Person – pracovník, který měření provádí.
- Procedure – postup, definující metodiku měření.
- Environment – prostředí, ve kterém je měření prováděno.

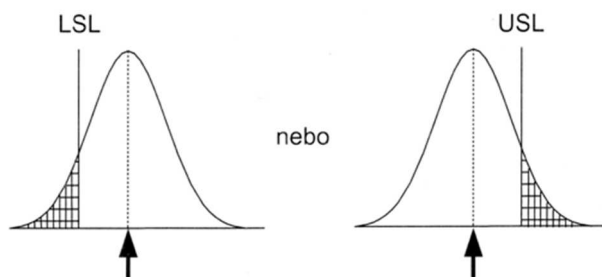
Každý z těchto prvků může být zdrojem variability, což znamená, že systém měření nepřináší vždy identické výsledky při opakovaných odečtech na stejném dílu. Rozdíly ve výsledcích jsou způsobeny náhodnými nebo zvláštními příčinami, které ovlivňují přesnost a spolehlivost měření.

Variabilitu systému měření je nutné hodnotit jak v krátkodobém, tak dlouhodobém časovém horizontu. ****Způsobnost systému měření**** je definována jako náhodná chyba v krátkém časovém úseku, přičemž tato způsobnost je ovlivněna kombinací faktorů, jako je linearita, uniformita, opakovatelnost a reprodukovatelnost. Funkčnost systému měření, podobně jako funkčnost výrobního procesu, je pak ovlivněna všemi zdroji variability v průběhu času. [1]

Výsledky měření, které systém poskytuje, slouží jako podklad pro rozhodování o kvalitě produktu a procesu. Souhrnný vliv všech zdrojů variability systému měření se často označuje jako ****chyba systému měření****. Tato chyba je klíčovým faktorem, protože ovlivňuje, zda měření přesně odráží skutečný stav sledovaného procesu či produktu. [1]

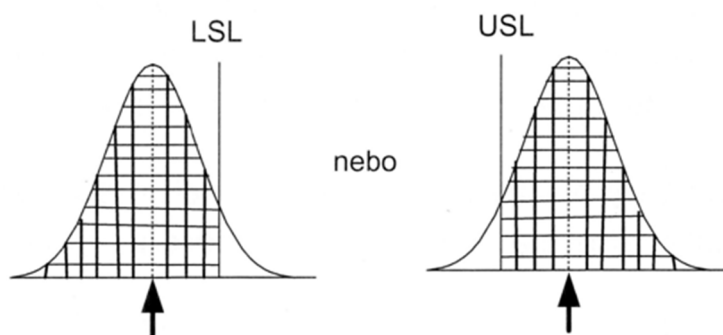
V důsledku této chyby může dojít k nesprávnému rozhodnutí, například pokud naměřené hodnoty překročí stanovené mezní hodnoty, přestože skutečný stav produktu nebo procesu odpovídá požadovaným standardům. Proto je důležité minimalizovat chyby a správně řídit variabilitu všech prvků systému měření, aby byla zajištěna jeho spolehlivost a přesnost. [1]

Chyba I. typu (také známá jako "riziko výrobce" nebo "zbytečný signál") nastává, když je dobrý díl označen jako „špatný.“ To může vést k odmítnutí nebo přepracování dílu, přestože splňuje všechny požadované standardy. Tato chyba představuje ztrátu času, materiálů a výrobních kapacit na straně výrobce. [1]



Obrázek 4 chyba 1. řádu
(ČSJ, 2010, s.19)

Chyba II. typu (známá jako "riziko odběratele" nebo "chybějící signál") nastává, když je špatný díl označen jako „dobrý.“ V tomto případě dochází k tomu, že vadný díl je schválen a odeslán zákazníkovi, což může vést k nespokojenosti odběratele, reklamaci nebo závažnějším problémům, jako je selhání produktu v provozu. [1]



Obrázek 5 chyba 2. řádu

(ČSJ, 2010, s.19)

Vzhledem k mezním hodnotám stanoveným specifikací platí, že možnost učinit chybné rozhodnutí o stavu dílu nastává pouze tehdy, pokud chyba systému měření přesahuje tyto mezní hodnoty. To vede k existenci tří vzájemně se vylučujících oblastí, které lze popsat následovně:

Oblast mimo toleranci (špatné díly správně označené jako špatné): Špatné díly jsou vždy správně klasifikovány jako nevyhovující. [1]

Přechodná oblast (možnost chybného rozhodnutí): Zde existuje riziko, že dobrý díl bude označen jako špatný, nebo naopak špatný díl jako dobrý.

Oblast uvnitř tolerance (dobré díly správně označené jako dobré): Dobré díly jsou vždy správně klasifikovány jako vyhovující. [1]

Cílem je maximalizovat podíl správných rozhodnutí o stavu produktu a minimalizovat chyby. K tomu lze využít dvě základní strategie:

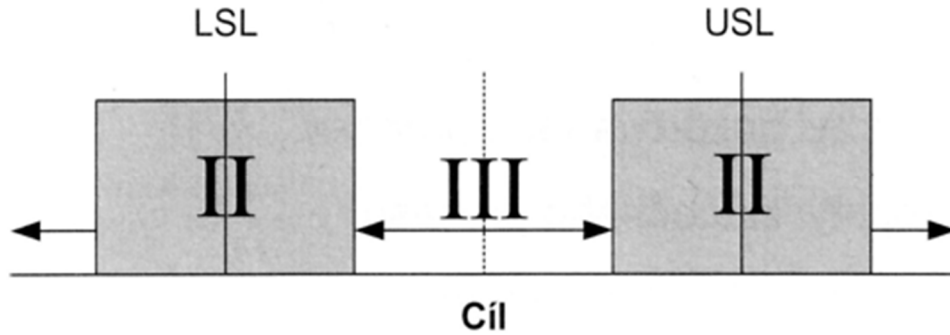
Zlepšení výrobního procesu

Snížení variability procesu tak, aby se veškeré vyráběné díly nacházely uvnitř tolerance, mimo přechodnou oblast. Toho lze dosáhnout optimalizací parametrů procesu, lepší kontrolou vstupních materiálů nebo zvýšením stability zařízení. [1]

Zlepšení systému měření

Snížení chyby systému měření tak, aby se zmenšila přechodná oblast, ve které může docházet k chybnému rozhodnutí. To zahrnuje kalibraci měřidel, použití přesnějších přístrojů, školení pracovníků a zavedení pokročilejších metod měření. [1]

Optimalizace obou těchto aspektů – výrobního procesu i systému měření – je klíčová pro zajištění, že produkty budou správně hodnoceny a že rozhodovací procesy budou přesné a spolehlivé. To nejen zvyšuje kvalitu výrobků, ale také snižuje náklady spojené s chybnými klasifikacemi. [6]



Obrázek 6 spolehlivost systému
(ČSJ, 2010, s.20)

3.3 Hodnocení způsobilosti měřidla

Analýza krátkodobé stability měřidla se zaměřuje na ověření, že samotné měřidlo není zdrojem variability výsledků měření během výrobního procesu. Tato analýza je klíčová pro zajištění, že měřidlo poskytuje konzistentní a spolehlivé výsledky. Pro provedení studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (A&R) je nezbytné zajistit stabilní podmínky, ideálně laboratorní prostředí, které minimalizuje vnější vlivy a zajišťuje opakovatelnost měření. [3]

Krátkodobá stabilita měřidla hodnotí následující vlastnosti:

- Přesnost a správnost (Accuracy, Trueness): Ověřuje, že naměřené hodnoty odpovídají skutečné hodnotě a jsou bez systematických odchylek.
- Opakovatelnost (Repeatability): Posuzuje, zda měřidlo poskytuje konzistentní výsledky při opakovaných měřeních za stejných podmínek.

Pokud je krátkodobá stabilita měřidla statisticky zvládnutá a výsledky splňují stanovená kritéria referenčních hodnot technické specifikace (mezní hodnoty USL a LSL), je prokázána klíčová vlastnost měřidla – jeho způsobilost (Capability). To znamená, že měřidlo může být spolehlivě použito v měřicích procesech a poskytuje výsledky odpovídající požadavkům na kvalitu. [3]

3.3.1 Ukazatelé způsobilosti měřidla (Cg, Cgk)

Cg (Capability Gauge) a Cgk (Corrected Capability Gauge) jsou ukazatele způsobilosti měřidla, které se používají k hodnocení přesnosti a správnosti měřidla ve vztahu k jeho stanoveným tolerancím. Tyto indexy umožňují zjistit, zda měřidlo splňuje požadavky na opakovatelnost a zda jeho chyba neovlivní výsledky měření v procesu. [3]

Cg hodnotí opakovatelnost měřidla, tedy schopnost poskytovat konzistentní výsledky při opakovaných měřeních stejné veličiny za stejných podmínek. [3]

Tolerance = rozsah povolených hodnot měřené veličiny (USL – LSL)

σ = směrodatná odchylka výsledků měření.

$$C_g = \frac{\text{Tolerance}}{6 \cdot \sigma} \quad (1)$$

C_{gk} bere v úvahu nejen opakovatelnost, ale také správnost měřidla, tedy jeho schopnost měřit hodnoty co nejbližší referenční hodnotě. Hodnota C_{gk} ukazuje, zda je měřidlo způsobilé i v případě, že výsledky měření obsahují systematické chyby. [3]

$$C_{gk} = \frac{\min(USL - \bar{X}, \bar{X} - LSL)}{3 \cdot \sigma} \quad 2$$

USL = horní mez tolerance,

LSL = dolní mez tolerance,

$\bar{X}$ = průměr naměřených hodnot,

σ = směrodatná odchylka výsledků měření.

$C_g \geq 1,33$: Měřidlo má dostatečnou opakovatelnost.

$C_{gk} \geq 1,33$: Měřidlo má dostatečnou opakovatelnost i správnost.

3.3.2 Interpretace výsledků

- C_g a C_{gk} jsou dostatečné ($\geq 1,33$): Měřidlo je způsobilé pro použití, protože má nízkou variabilitu a měří správně.
- C_g je dostatečné, ale C_{gk} je nízké: Měřidlo je konzistentní, ale obsahuje systematickou chybu (nutná kalibrace nebo oprava).
- C_g a C_{gk} jsou nízké: Měřidlo je nezpůsobilé a nemělo by být použito bez zásadního zlepšení.

Tyto ukazatele pomáhají při rozhodování, zda je měřidlo vhodné pro daný proces a jaká zlepšení jsou případně potřeba. [3]

3.4 Hodnocení způsobilosti systému měření MSA

Pro provedení studie R&R je nezbytné zajistit variabilní podmínky reprodukovatelnosti, tedy podmínky, které odpovídají reálným pracovním situacím. Tato analýza je zaměřena na ověření, že chyby měřicího systému používaného ve výrobním procesu nebudou zdrojem variability výsledků měření. Validace měřicího systému prostřednictvím této studie slouží jako důkaz, že měřicí systém je schopen spolehlivě a přesně vykonávat své funkce. [1]

Při této analýze se hodnotí následující klíčové vlastnosti měřicího systému:

Opakovatelnost (Repeatability):

Míra variace výsledků měření při opakovaných měřeních stejného objektu stejným měřidlem a za stejných podmínek. Vyjádřena jako směrodatná odchylka opakovatelnosti, označovaná také jako EV (Equipment Variation). [1]

Reprodukovatelnost (Reproducibility):

Míra variace výsledků měření při opakovaných měřeních stejného objektu různými operátory nebo při změně jiných vnějších podmínek. Vyjádřena jako směrodatná odchylka reprodukovatelnosti, označovaná také jako AV (Appraiser Variation). [1]

Celková variabilita měřicího systému (GRR):

Kombinace opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, která představuje celkovou variabilitu měřicího systému. Vyjádřena jako směrodatná odchylka měřicího systému, označovaná jako GRR (Gauge Repeatability & Reproducibility Variation). [1]

Třídící schopnost měřicího systému (Number of Distinct Categories – ndc)

Důležitou součástí studie R&R je hodnocení schopnosti měřicího systému spolehlivě rozlišovat mezi jednotlivými třídami variabilních charakteristik produktu. Tato schopnost je založena na nepřekrývajících se konfidenčních intervalech ($P = 0,9973$), které pokrývají rozpětí očekávané variability produktu. Počet těchto třídících intervalů je označován jako ndc (Number of Distinct Categories). Vyšší hodnota ndc znamená lepší rozlišovací schopnost měřicího systému. [1]

4 O společnosti Kolektor Tesla Jihlava

Tesla Jihlava byla založena jako pobočka národního podniku Tesla Lanškroun dne 1. dubna 1958. V tomto roce začala výroba s přibližně 160 zaměstnanci, zaměřená na výrobu kondenzátorů. V průběhu dalších let byl výrobní program rozšířen o konektory, otočné přepínače a tlačítkové soupravy pro televizní přijímače. Další produkty, zejména spínací a spojovací prvky, byly do výroby zaváděny na základě vlastního vývoje i akvizic zahraničních licencí. Na základě rozhodnutí ministra elektrotechnického průmyslu vznikl z původního závodu samostatný podnik Tesla Jihlava v rámci koncernu Tesla Elektronické součástky, koncern Rožnov.

Systém managementu kvality v TESLA Jihlava a.s. byl poprvé certifikován podle normy ČSN EN ISO 9001:1994 v roce 1997. V roce 2001 společnost získala certifikáty podle VDA 6.1 a ČSN EN ISO 9001:2000, v roce 2004 certifikaci dle ISO 14001:1996 a v roce 2005 certifikaci dle ISO/TS 16949:2002. Od roku 2017 je firma certifikována dle normy IATF 16949:2016.

Dne 1. ledna 2012 byla TESLA Jihlava, a.s., převzata společností CONTTEK Holding GmbH. Následně, k datu 1. října 2012, došlo ke změně názvu společnosti na TESLA Jihlava, s.r.o., přičemž všechny závazky původní akciové společnosti byly převzaty nově vzniklou společností.

Dne 5. dubna 2017 byla celá skupina CONTTEK Holding GmbH začleněna do nadnárodního koncernu KOLEKTOR, konkrétně do divize Hybridica, která se specializuje na výrobu dílů z kombinace plastu a kovu. Od 1. ledna 2018 nese společnost název Kolektor Tesla Jihlava, s.r.o.

V současnosti se Kolektor Tesla Jihlava, s.r.o., zaměřuje na výrobu konstrukčních elektrotechnických součástek. Nabídka společnosti zahrnuje:

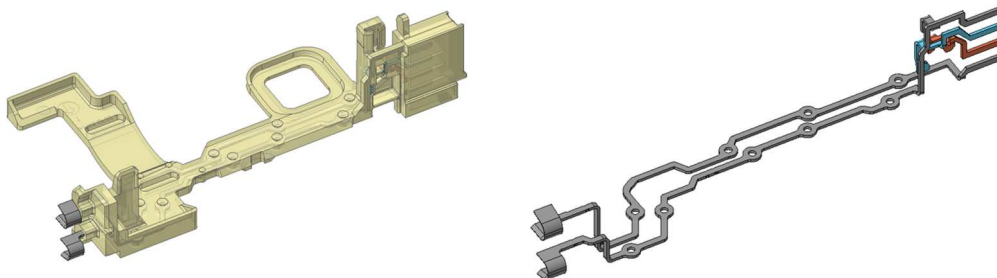
- zákaznické konektory,
- zákaznické elektromechanické součástky,
- HYPCON kontakty a konektory,
- plastové vstřikované díly,
- stříhané kontakty a vodivé dráhy,
- pokovování z cívky na cívku (zlacení, niklování, cínování, stříbření, mědění),
- pokovování v bubíncích (mědění, stříbření, cínování),
- pokovování ve vibračních koších (zlacení, cínování, niklování).

Hlavními oblastmi využití výrobků společnosti jsou automobilový a elektrotechnický průmysl, kde si Kolektor Tesla Jihlava, s.r.o., udržuje významné postavení díky širokému portfoliu a vysoké kvalitě svých produktů.

5 Představení vybraného procesu

Jako proces pro stanovení měrové strategie byl vybrán plastový zástřík vyráběný na automatizované lince. Jedná se o zástřík kontaktů do plastu.

Výrobek se skládá ze čtyř kontaktů, které jsou nejprve rozstříženy v nástroji a následně založeny robotem do formy kde jsou zastříknuty plastem.



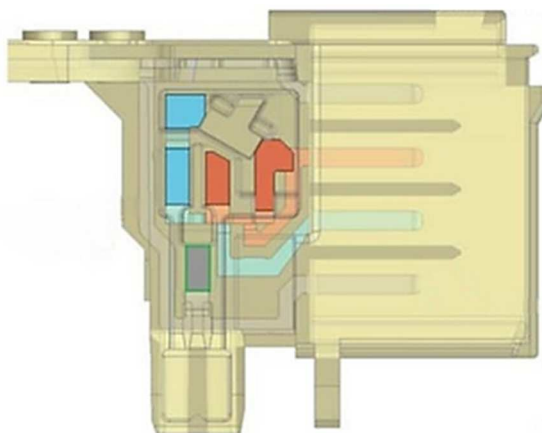
Obrázek 7 Stanzgitter
(Vlastní)

Tento dílec je součástí systému pro uzamykání brzdy pro automatickou převodovku, známé také jako Brake Shift Interlock (BSI), je bezpečnostní prvek implementovaný v moderních vozidlech s automatickými převodovkami. Jeho hlavním cílem je zajištění, aby řidič mohl přepnout převodovou páku z polohy „Park“ (P) do jiné polohy (např. „Drive“ nebo „Reverse“) pouze tehdy, pokud má sešlápnutý brzdový pedál. Tento mechanismus slouží k prevenci neúmyslného pohybu vozidla, což výrazně zvyšuje bezpečnost.

5.1 Problematika

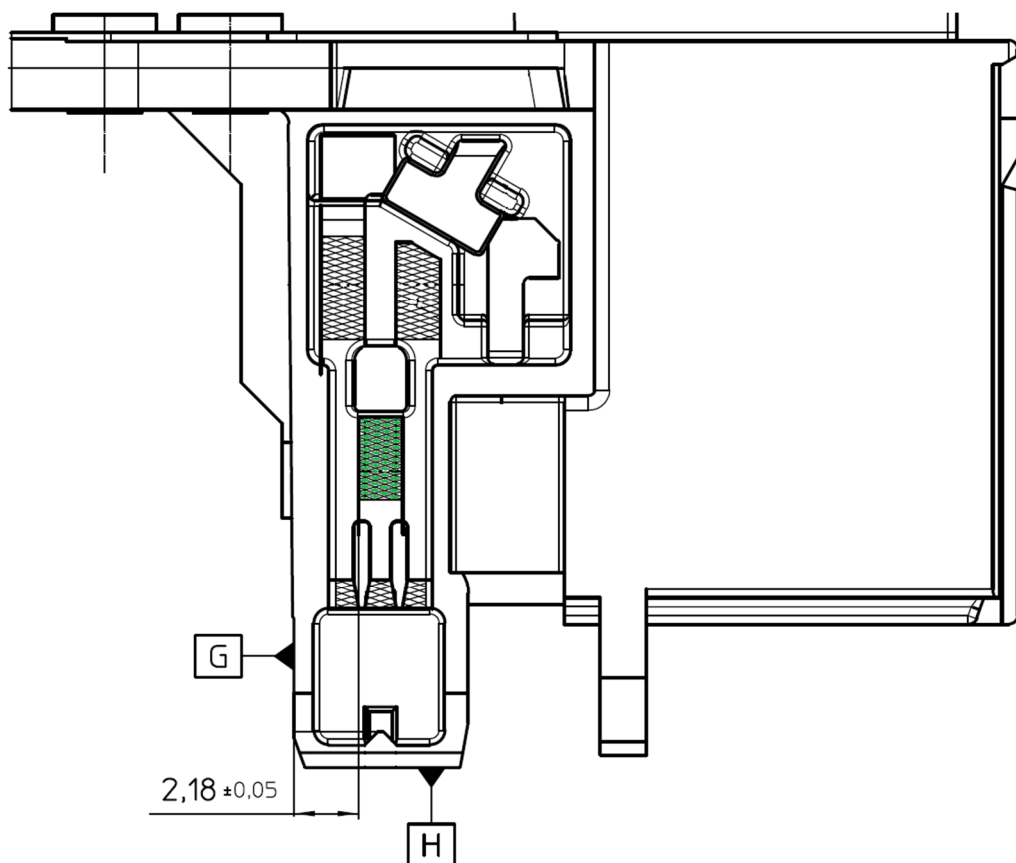
Problematickou oblast na tomto dílci představuje oblast pro elektroniku viz obr. č. 8.

V této oblasti zákazník elektrodou navažuje elektronické díly. Je zde tedy kladen důraz na co nejpřesnější polohu těchto ploch pro svařování a tím i lepší zpracování a eliminaci problémů na straně zákazníka jako je například vyšší zmetkovitost nebo nutnost častého čištění elektrody od plastové hmoty.



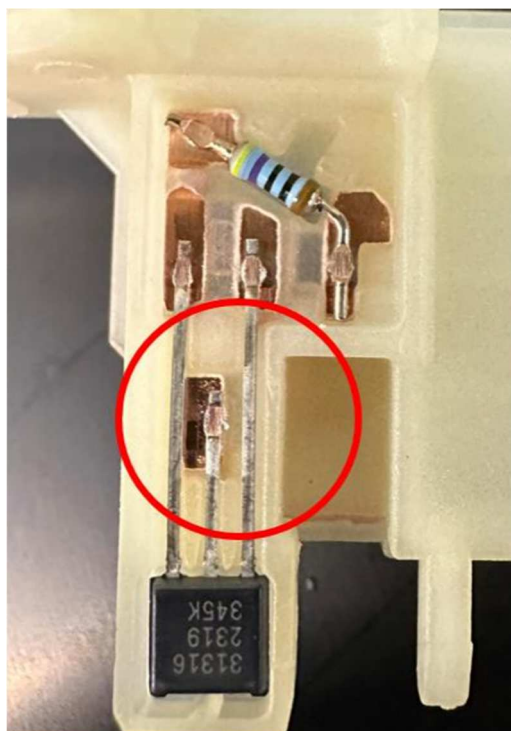
Obrázek 8 oblast elektroniky
(Vlastní)

Pro ověření způsobilosti měřidla a pro způsobilost procesu měření jsem vybral pouze jeden rozměr a to rozměr č. 1 s hodnotou $2,18 \pm 0,05$ mm. Stabilitu měřidla ověřím na nominální hodnotě etalonu 2,2 mm. V této oblasti je více navařovacích ploch, ale vybral jsem právě výše zmíněný rozměr z důvodu opakovaných upozornění ze strany zákazníka na nevyhovující polohu této plochy, a to vzhledem k základně G. Hodnocený rozměr označen na obr 9.



Obrázek 9 výkresový rozměr
(Vlastní)

Na obr. č. 9 je pak znázorněn důsledek nevyhovující polohy kontaktu pro svařování a tím nezpracovatelnosti v dalších operacích, což má vést k vyšší zmetkovitosti u zákazníka. Proto vznikl požadavek na zavedení mezioperační kontroly pro měření tohoto rozměru.

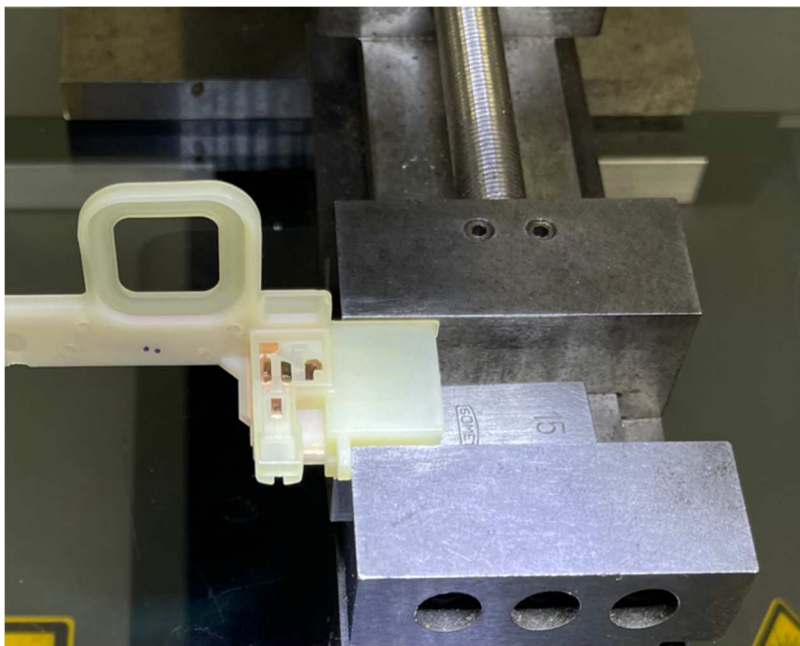


Obrázek 10 navařovací ploch mimo pozici
(Vlastní)

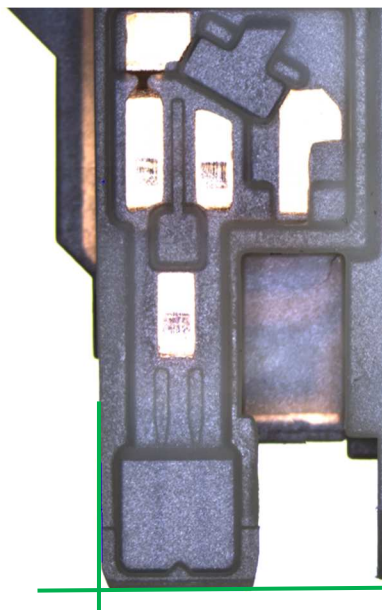
6 Návrh měřidla a měření

Pro rozměry s tolerancí $\pm 0,05$ mm jsem navrhnul měření optickým mikroskopem s rozlišením 0,001 mm. Cílem je měřit tento rozměr v sériové výrobě s četností 3x za osmihodinovou směnu.

Vzhledem k tomu jsem jako jedinou možnost pro tento typ měření mohl zvolit optický mikroskop.



Obrázek 11 upnutí dílce
(Vlastní)



Obrázek 12 vyrovnání
(Vlastní)

6.1 Ověření způsobilosti měřidla

Jako první krok jsem zvolil ověřit způsobilost měřidla. Zda měřidlo splňuje požadavky na opakovatelnost a zda jeho chyba neovlivní výsledky měření v procesu.

K tomu jsem využil výpočtu indexů C_g ; C_{gk} .

6.1.1 Sběr dat

Pro tento výpočet je nutné provést padesát měření na etalonu. Pro hodnocení způsobilosti jsem pro zjednodušení vybral etalon o rozměru 2,2 mm. Na hodnocení způsobilosti měřidla je možno mít jiný jmenovitý rozměr, hodnotí se pouze způsobilost měřidla. Hodnocení způsobilosti bude provedeno dle VDA 5 ($k=2$; $P = 95 \%$)

Výsledné hodnoty jsem pak přepsal do excel tabulky č. 1

Dále pak z těchto hodnot jsem vypočítal indexy způsobilosti.

Tabulka 1 Náměry etalonu

Měření normálu:							
1	2,2009	14	2,2042	27	2,2014	40	2,1966
2	2,2012	15	2,1978	28	2,1968	41	2,2013
3	2,2015	16	2,2013	29	2,2010	42	2,2048
4	2,1982	17	2,2025	30	2,2014	43	2,2013
5	2,1974	18	2,1976	31	2,2036	44	2,2035
6	2,2013	19	2,2026	32	2,2035	45	2,2015
7	2,2008	20	2,2011	33	2,1970	46	2,2068
8	2,1994	21	2,2014	34	2,2014	47	2,2034
9	2,2039	22	2,2010	35	2,2036	48	2,1984
10	2,2034	23	2,1996	36	2,2013	49	2,1983
11	2,2029	24	2,2034	37	2,2008	50	2,2005
12	2,2047	25	2,2027	38	2,1933		
13	2,1993	26	2,2013	39	2,1979		

6.1.2 Výpočet indexů způsobilosti

Výběrový průměr

$$\bar{x}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n x_{mi} = 2,201016$$

Výběrová směrodatná odchylka

$$s_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{mi} - \bar{x}_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{50-1} \cdot \sum_{i=1}^{50} (x_{mi} - 2,20137)^2} = 0,002568$$

Hodnota Cg

$$C_g = \frac{0,2 \cdot TOL}{2 \cdot k \cdot s_w} = \frac{0,2 \cdot 0,1}{2 \cdot 2 \cdot 0,002568} = 1,95$$

Hodnota Cgu

$$c_{gu} = \frac{(x_s + 0,1 \cdot TOL) - \bar{x}_m}{k \cdot s_w} = \frac{(2,2 + 0,1 \cdot 0,1) - 2,201016}{2 \cdot 0,002568} = 1,75$$

Hodnota Cgl

$$c_{gl} = \frac{\bar{x}_m + (x_s - 0,1 \cdot TOL)}{k \cdot s_w} = \frac{2,201016 + (2,2 - 0,1 \cdot 0,1)}{2 \cdot 0,002568} = 2,15$$

Hodnota Cgk

$$c_{gk} = \min\{c_{gu}, c_{gl}\} = 1,75$$

Podmínka způsobilosti měřidla $c_{gk} > 1,33$

Výpočtem byla ověřena stabilita měřidla pro rozměr $2,2 \pm 0,05$ mm, který odpovídá nejbližší výkresovému rozměru $2,18 \pm 0,05$ mm

6.1.3 Vyhodnocení stability měřidla

Na základě provedené analýzy způsobilosti měřidla jsem vyhodnotil, že měřicí systém vykazuje vysokou přesnost a nízkou variabilitu. Směrodatná odchylka $s_w=0,002568$ dokládá velmi malý rozptyl naměřených dat. Hodnota indexu $C_g=1,95$ potvrzuje, že měřidlo má výrazně nižší variabilitu, než je definované toleranční pásmo, což znamená, že jeho přesnost je na velmi dobré úrovni.

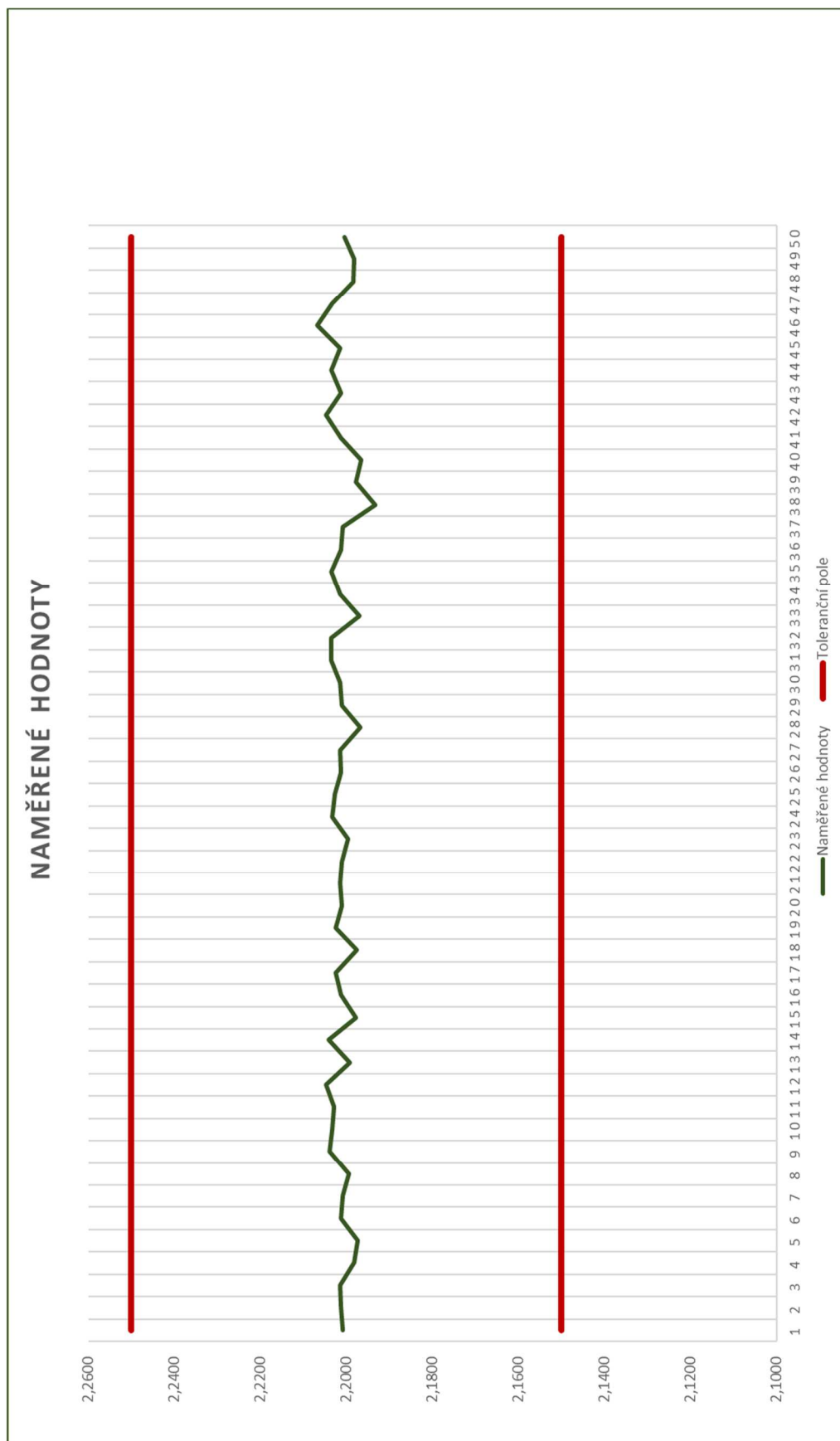
Dále jsem vypočítal indexy C_{gku} a C_{gkl} , které vyjadřují způsobilost měřidla vůči horní a dolní toleranční mezi. Hodnota $C_{gku}=1,75$ ukazuje způsobilost vůči horní toleranční mezi, zatímco hodnota $C_{gkl}=2,15$ dokládá způsobilost vůči dolní toleranci. Obě hodnoty překračují požadované minimum 1,33, což indikuje minimální systematické chyby měřidla.

Celkový index způsobilosti $C_{gk}=1,75$ který byl určen jako menší z hodnot C_{gku} a C_{gkl} . Tím jsem si potvrdil, že měřidlo je vysoce způsobilé pro sledovaný proces a že jeho měření je přesné a spolehlivé.

Z výsledků analýzy vyplývá, že měřidlo splňuje všechny požadavky na způsobilost a je schopné přesně a stabilně měřit v definovaném tolerančním pásmu. Hodnoty převyšují podmínku

způsobilosti min. 1,33. Pro požadovaný rozměr $2,18 \pm 0,05$ mm jsem měřidlo vyhodnotil jako vyhovující z hlediska stability měřidla.

Na obrázku č 12 jsou pak graficky znázorněny náměry etalonu. Je zde vidět položení hodnot náměrů vůči požadovanému tolerančnímu poli. Náměry jsou položeny blízko středu tolerance z čehož lze vyloučit strannost měřidla.



Obrázek 13 náměry etalonu
(Vlastní)

7 Analýza měřicího systému

Po analýze způsobilosti měřidla jsem dále postupoval analýzou měřicího systému jako celku s ohledem na další vlivy, které způsobují nepřesnosti v měření a vyhodnocování výsledků.

Jedná se o zkoušku opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřicího systému.

7.1 Sběr dat

V této části bylo mým úkolem sesbírat data dle metodiky MSA, a to tak tak, že jsem vybral 10 náhodných dílců, které jsem poté postupně předal třem nezávislým operátorům změřit (každý z nich byl na jiné pracovní směně). V našem případě označení Operátor A, B, C.

Každý operátor změří na dílci požadovaný rozměr 3x. Musel jsem také docílit toho, aby operátoři nevěděli, který z deseti dílců zrovna měří. Značení dílců provedeno tak abych je byl schopen rozlišit pouze já.

Z takto definovaného postupu jsem přepsal hodnoty do tabulky č. 2.

Tabulka 2 Náměry pro MSA

Operátor A										
Naměř. Hodnota [mm]	2,1395	2,1425	2,1443	2,1446	2,1426	2,1437	2,1356	2,1425	2,1345	2,1468
	2,1419	2,1434	2,144	2,1468	2,1447	2,1457	2,1369	2,1436	2,1373	2,1443
	2,1411	2,1446	2,1436	2,1444	2,1435	2,1457	2,1343	2,1414	2,1367	2,1463
Operátor B										
Naměř. Hodnota [mm]	2,1439	2,1439	2,1487	2,149	2,1465	2,1458	2,1378	2,1431	2,1366	2,1425
	2,1464	2,1474	2,1502	2,1481	2,1482	2,1476	2,1399	2,1447	2,1379	2,1446
	2,1439	2,1439	2,1487	2,149	2,1465	2,1458	2,1378	2,1431	2,1366	2,1425
Operátor C										
Naměř. Hodnota [mm]	2,1439	2,1439	2,1465	2,147	2,1455	2,1452	2,1387	2,1446	2,1426	2,1441
	2,1454	2,146	2,1481	2,1478	2,1456	2,1464	2,137	2,1427	2,1438	2,1456
	2,1434	2,1434	2,145	2,1456	2,1444	2,1431	2,1386	2,1445	2,1423	2,1446

7.2 Ověření výpočtem

V následujícím výpočtu jsem ověřoval stabilitu měřicího systému jak vzhledem stability měřidla, tak i dopad variability měření mezi třemi operátory.

Z jednotlivých tabulek jsem si vypočítal průměr pro každé 3 měření a následně celkový průměr odchylky pro každou ze třech tabulek. V excel souboru jsem pak vytvořil jednoduchými funkcemi následující soubor hodnot pro následující výpočty.

Tabulka 3 Příprava dat pro MSA

OPERÁTOR / POKUS	STANZGITTER										PRŮMĚRY ROZPĚTÍ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. 1	2,1395	2,1425	2,1443	2,1446	2,1426	2,1437	2,1356	2,1425	2,1345	2,1468	2,1417
2. 2	2,1419	2,1434	2,1440	2,1468	2,1447	2,1457	2,1369	2,1436	2,1373	2,1443	2,1429
3. 3	2,1411	2,1446	2,1436	2,1444	2,1435	2,1457	2,1343	2,1414	2,1367	2,1463	2,1422
4. $\bar{X}_A$	2,1408	2,1435	2,1440	2,1453	2,1436	2,1450	2,1356	2,1425	2,1362	2,1458	$\bar{X}_A = 2,1422$
5. R_A	0,0024	0,0021	0,0007	0,0024	0,0021	0,0020	0,0026	0,0022	0,0028	0,0025	$R_A = 0,0022$
6. 1	2,1439	2,1439	2,1487	2,1490	2,1465	2,1458	2,1378	2,1431	2,1366	2,1425	2,1438
7. 2	2,1464	2,1474	2,1502	2,1481	2,1482	2,1476	2,1399	2,1447	2,1379	2,1446	2,1455
8. 3	2,1439	2,1439	2,1487	2,1490	2,1465	2,1458	2,1378	2,1431	2,1366	2,1425	2,1438
9. $\bar{X}_B$	2,1447	2,1451	2,1492	2,1487	2,1471	2,1464	2,1385	2,1436	2,1370	2,1432	$\bar{X}_B = 2,1444$
10. R_B	0,0025	0,0035	0,0015	0,0009	0,0017	0,0018	0,0021	0,0016	0,0013	0,0021	$R_B = 0,0019$
11. 1	2,1439	2,1439	2,1465	2,1470	2,1455	2,1452	2,1387	2,1446	2,1426	2,1441	2,1442
12. 2	2,1454	2,1460	2,1481	2,1478	2,1456	2,1464	2,1370	2,1427	2,1438	2,1456	2,1448
13. 3	2,1434	2,1434	2,1450	2,1456	2,1444	2,1431	2,1386	2,1445	2,1423	2,1446	2,1435
14. $\bar{X}_C$	2,1442	2,1444	2,1465	2,1468	2,1452	2,1449	2,1381	2,1439	2,1429	2,1448	$\bar{X}_C = 2,1442$
15. R_C	0,0020	0,0026	0,0031	0,0022	0,0012	0,0033	0,0017	0,0019	0,0015	0,0015	$R_C = 0,0021$
16. PRŮMĚR DÍLŮ	2,1433	2,1443	2,1466	2,1469	2,1453	2,1454	2,1374	2,1434	2,1387	2,1446	$\bar{X}_p = 2,1436$
17. ROZPĚTÍ DÍLŮ											$R_p = 0,0095$
18. $\bar{R}_{(A,B,C)} = (\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C) / (\# \text{ OF APPRAISERS}) =$											$\bar{R}_{(A,B,C)} = 0,0021$
19. $x_{DIFF} = (\text{Max } \bar{X}_{(A,B,C)} - \text{Min } \bar{X}_{(A,B,C)}) =$											$x_{DIFF} = 0,0021$

7.2.1 Opakovatelnost – variabilita měřidla

Opakovatelnost je variabilita způsobená samotným měřidlem, tedy schopností přístroje poskytovat konzistentní výsledky při opakovaném měření stejného dílce za stejných podmínek.

EV – Equipment Variation

R – Rozsah měření (Range), což je rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou naměřených dat.

K₁: Statistický faktor závislý na počtu opakování (nalezen v tabulkách MSA). Pro tento výpočet pro 10 opakování odpovídá hodnotě k=0,5907

$$EV = R_{(A,B,C)} \cdot K_1 = 0,0021 \cdot 0,5907 = 0,0012$$

Vyjádření EV jako procento celkové variability (TV – Total Variation)

$$TV = \frac{H\dot{U} + D\dot{U}}{6} = \frac{0,05 + 0,05}{6} = 0,01667$$

$$\%EV = \frac{EV}{TV} \cdot 100 = \frac{0,0012}{0,01667} = 7,3\%$$

Variabilita měřidla představuje 7,3 % celkové variability. Hodnota pod 10 % znamená, že měřicí systém je vysoce způsobilý (podle pravidel MSA)

Pokud by hodnota %EV byla mezi 10 % a 30 % indikují potřebu zlepšení měřicího systému.

Hodnota nad 30 % by znamenala, že měřicí systém není způsobilý.

Z vypočtených hodnot jsem určil, že variabilita měřidla je vyhovující dle metodiky MSA.

7.2.2 Reprodukovatelnost operátorů (AV)

Po vypočtení variability měřidla jsem postoupil na vyhodnocení analýzu variability mezi operátory kde se hodnotí například jejich schopností měřit shodně při stejných podmínkách.

Jedná se o reprodukovatelnost (AV-Appraiser Variation) hodnotí variabilitu měřicího systému způsobenou rozdíly mezi operátory.

Tento výpočet je součástí analýzy reprodukovatelnosti a opakovatelnosti (R&R) systému měření.

$$AV = \sqrt{(x_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \frac{EV^2}{n \cdot r}} = AV = \sqrt{(0,0021 \cdot 0,5236)^2 - \frac{0,0012^2}{10 \cdot 3}} = 0,0011$$

XDIFF=0,0021 (rozdíl mezi průměrnými hodnotami operátorů)

K2=0,5236 (pro 3 operátory z tabulky faktorů)

EV=0,0012 (variabilita měřidla z předchozí analýzy)

n=10 (počet dílů)

r=3 (počet opakování měření na každém dílu)

Vyjádření AV jako procento celkové variability (TV), Podíl reprodukovatelnosti na celkové variabilitě procesu ověřeno následujícím výpočtem

$$\%AV = \frac{AV}{TV} \cdot 100 = \frac{0,0011}{0,017} \cdot 100 = 6,55\%$$

Vypočtená variabilita mezi operátory je 6,55 %, což vyhovuje podmínce dle metodiky MSA 6,55 % < 10%.

7.2.3 Celková opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)

Celková opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR – Gauge Repeatability and Reproducibility) je kombinací variability způsobené samotným měřidlem (opakovatelnost) a variability způsobené rozdíly mezi operátory (reprodukovatelnost).

V tomto kroku jsem tedy hodnotil měřicí systém jak z pohledu variability měřidla, tak z hlediska variability operátorů. GRR hodnotí celkovou způsobilost měřicího systému a jeho vliv na variabilitu procesu.

EV: Variabilita způsobená měřidlem (Equipment Variation).

AV: Variabilita způsobená operátory (Appraiser Variation).

EV=0,003 (hodnota z předchozích výpočtů opakovatelnosti).

AV=0,001 (hodnota z předchozích výpočtů reprodukovatelnosti).

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{0,0012^2 + 0,0011^2} = 0,0016$$

Vyjádření GRR jako procento celkové variability (TV)

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100 = \frac{0,0016}{0,01667} \cdot 100 = 9,81\%$$

Celková variabilita způsobená měřicím systémem představuje 9,81 % celkové variability.

Z tohoto výsledku jsem mohl uznáš systém měření pro tento rozměr jako způsobilý, jelikož vyhovuje podmínce %GRR < 10%.

7.3 Vyhodnocení výpočtů

Na základě provedené analýzy měřicího systému jsem ověřil, že měřicí systém, který jsem navrhl, splňuje všechny požadavky na způsobilost a přesnost. Hodnoty opakovatelnosti (EV) a reprodukovatelnosti (AV) jsou pod stanovenými limity, což potvrzuje, že variabilita způsobená měřicím systémem má minimální vliv na celkovou variabilitu procesu. Kombinovaná hodnota GRR činí 9,70 % celkové variability, což svědčí o vysoké spolehlivosti a stabilitě systému.

Výpočty jsem dokázal, že měřicí přístroj i operátoři dosahují konzistentních výsledků a systém jako celek je připraven na použití v reálném výrobním procesu. Tato analýza potvrdila správnost mého návrhu a poskytla mi jistotu, že navržený systém přispívá ke zvýšení kvality a efektivity měření.

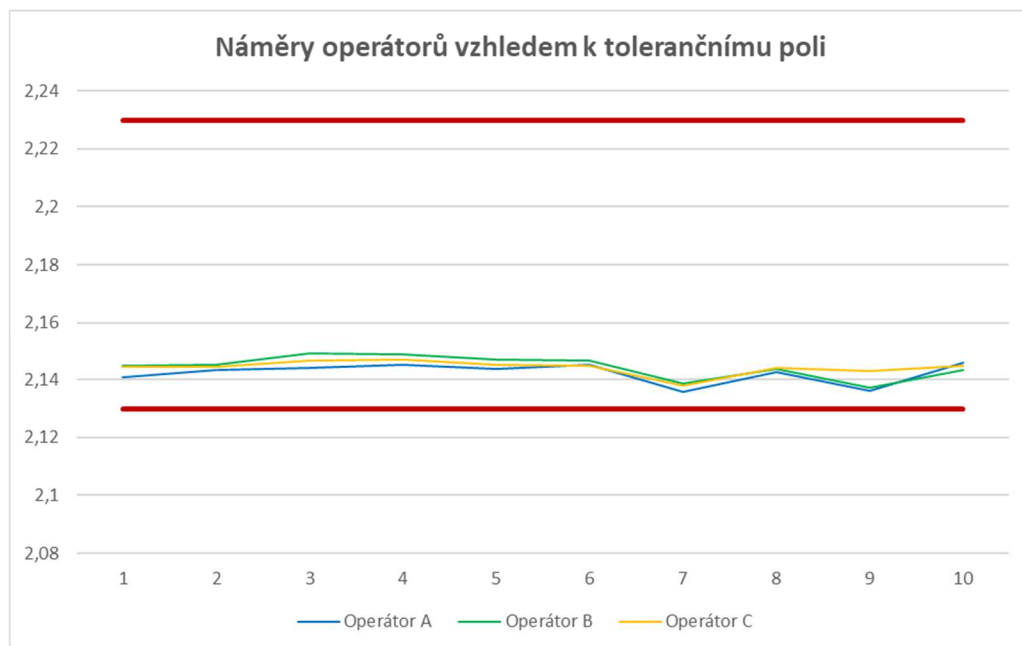
7.3.1 Grafické vyhodnocení

Na základě grafického hodnocení jsem potvrdil, že měřicí systém vykazuje konzistentní a spolehlivé výsledky. Grafy náměrů operátorů ukazují, že všechny hodnoty spadají do definovaného tolerančního pásma. Operátoři dosahují konzistentních výsledků bez významných odchylek, což dokládá dobrou reprodukovatelnost systému.

Grafy rovněž ukazují minimální variabilitu mezi jednotlivými operátory a měřeními, což svědčí o stabilitě a přesnosti měřicího procesu. Díky tomu jsem získal důvěru v to, že navržený systém splňuje požadavky na kvalitu měření a je vhodný pro použití v reálném výrobním prostředí. Toto grafické zhodnocení mě utvrdilo v tom, že navržený systém nejen přispívá ke zlepšení kvality procesu, ale také minimalizuje riziko chyb spojených s měřeními.



Obrázek 14 náměry operátorů
(Vlastní)



Obrázek 15 náměry vzhledem k toleranci
(Vlastní)

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout metodu mezioperačního měření rozměrů a poloh dílů v procesu zástřiku funkčních komponent. Zaměřil jsem se na analýzu metrologických požadavků, výběr vhodného měřicího systému a jeho validaci prostřednictvím metodiky MSA (Measurement System Analysis). Součástí bylo také zhodnocení způsobilosti systému měření a návrh opatření k optimalizaci měřicího procesu.

V teoretické části jsem popsal základy metrologie, legislativní rámec a význam způsobilosti měřicích systémů v řízení kvality. V Praktické části jsem se zaměřil na návrh konkrétního měřicího systému, jeho ověření a analýzu výsledků. Na základě provedených výpočtů a grafického hodnocení bylo potvrzeno, že navržený systém splňuje všechny požadavky na způsobilost. Hodnoty opakovatelnosti (EV), reprodukovatelnosti (AV) i celkové variability (GRR) se pohybovaly pod stanovenými limity, což dokazuje vysokou přesnost a stabilitu systému.

V Grafickém znázornění výsledků jsem navíc potvrdil, že měřicí systém je nejen spolehlivý, ale i schopný přesně rozlišovat naměřené hodnoty v definovaném tolerančním poli. Tyto výsledky poskytují jistotu, že navržený systém přispívá ke zlepšení kvality výrobního procesu, včasného odhalení nevyhovujících dílců a tím k včasnému zásahu.

Práce mě naučila, jak důležitou roli hraje správně navržený a validovaný měřicí systém při zajišťování kvality v průmyslové výrobě. Navržený systém přináší významné benefity, jako je snížení variability procesů, zlepšení přesnosti měření a efektivnější kontrola kvality.

Tato práce splnila svůj cíl a poskytla nejen praktické výsledky, ale i nástroje, které lze využít pro další zlepšování kvality výrobních procesů. Navržený systém je připraven pro implementaci v průmyslové praxi a jeho využití povede ke zvýšení spokojenosti zákazníků a celkové efektivity výroby.

Seznam použité literatury

- [1] MSA – *Analýza systémů měření*. 4. Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [2] GRUMMER, Heiko. *Moderní metrologie: přesné měření a analýza dat*. Praha: Scientia, 2015. ISBN 978-80-7183-123-4.
- [3] VOŘÍŠEK, Jiří. *Statistická regulace procesů SPC*. 2. vydání. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-247-2296-7.
- [4] SVEČKO, Jiří. *Metrologie a řízení kvality*. 3. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2020. ISBN 978-80-214-5918-4.
- [5] ČSN ISO 10012:2003 – *Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [6] ŠTĚPÁNEK, Pavel. *Základy metrologie: Měření a kontrola kvality v průmyslu*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2019. ISBN 978-80-261-