



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ
A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS
AND ROBOTICS

METROLOGICKÁ KONFIRMACE MĚŘIDLA – ZPŮSOBILOST SYSTÉMU MĚŘENÍ

METROLOGICAL CONFIRMATION OF THE MEASURING INSTRUMENT –
CAPABILITY MEASUREMENT SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR VENCL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PETR KOŠKA, PH.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Vencel

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

Metrologická confirmace měřidla - způsobilost systému měření

v anglickém jazyce:

Metrological confirmation of the measuring instrument - capability measurement system

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Systémy managementu kvality vyžadují tam, kde dochází k řízení měřicích a monitorovacích zařízení, aby byl vhodně navržen a zaveden systém managementu měření. Problematika úkolu spočívá v návrhu a praktickém ověření metodiky pro hodnocení způsobilosti měřidel v oboru délka.

Cíle bakalářské práce:

1. Analýza stavu v oboru měření délek ve společnosti.
2. Návrh metodiky pro hodnocení způsobilosti měřidel se zaměřením na výškoměry a dutinoměry (digitální a analogové).
3. Sběr dat pro hodnocení způsobilosti měřidel.
4. Vyhodnocení způsobilosti měřidel.

Seznam odborné literatury:

1. Analýza systémů měření (MSA). Třetí vydání. Překlad: Petrášová I., Horálek V. Česká společnost pro jakost. Praha, 2003. ISBN 80-02-01562-2.
2. Management jakosti v automobilovém průmyslu. Způsobnost kontrolních procesů. Překlad: Janeček Z., Nenáhlo Č. Česká společnost pro jakost. Praha, 2004. ISBN 80-02-01656-4.
3. ČSN ISO 5725-2:1997 Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření. ČSNI. Praha, 1997.
4. ČSN EN ISO 10012:2003 Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení. ČSNI. Praha, 2003.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Koška, Ph.D.

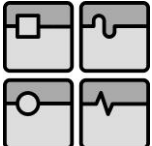
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 18.11.2013

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou stavu v oboru měření délek ve společnosti Bühler, návrhem metodiky pro hodnocení způsobilosti měřidel, sběrem dat a také samotným vyhodnocením způsobilosti zvolených měřidel, kterými jsou analogový dutinoměr, digitální dutinoměr, pasometr a výškoměr. Problematika úkolu spočívá v návrhu a především v praktickém ověření metodiky pro hodnocení způsobilosti měřidel v oboru délka.

Abstract

This bachelor's thesis deals with measurement system analysis in Bühler Company. It is focused on proposal for a methodology for verification capability of gauges, data collection and evaluation of selected gauges. Selected gauges are analog bore gauge, digital bore gauge, dial snap gage and height gauge. The problem lies in the proposal task and especially in a practical verification methodology for the capability of gauges.

Klíčová slova





způsobilost měřidel, způsobilost systému měření, MSA, opakovatelnost, reprodukovatelnost, GRR

Keywords

capability of the measuring instrument, capability of measurement system, MSA, repeability, reproducibility, GRR

Bibliografická citace

VENCL, P. *Metrologická confirmace měřidla - způsobilost systému měření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Koška, Ph.D..

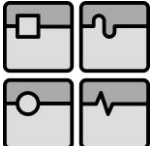
 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Prohlášení

Prohlašuji, že předloženou bakalářskou práci jsem zpracoval sám s konzultační pomocí vedoucího projektu. Všechny použité literární prameny jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne:

Podpis:

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		

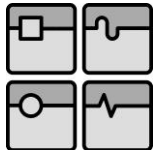
Poděkování

Za cenné připomínky a rady při zpracovávání této práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petrovi Koškovi, Ph.D.. Dále bych rád poděkoval společnosti Bühler CZ s.r.o. za možnost zpracování praktické bakalářské práce v jejich podniku a v neposlední řadě také patří velký dík mým rodičům.

Obsah

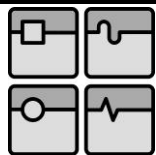
Abstrakt.....	5
Klíčová slova	5
Bibliografická citace	5
Prohlášení	6
Poděkování	7
Obsah	8
1. Úvod	10
2. Analýza stavu v oboru měření délek ve společnosti.....	11
2.1 Představení společnosti.....	11
2.2 Kde bude prováděna analýza	13
2.2.1 Pracoviště kontroly jakosti - obrobna	13
2.2.2 Systém výpůjček	15
2.2.3 Princip měření vybraných měřidel.....	15
3. Návrh metodiky pro hodnocení způsobilosti měřidel.....	18
3.1 Rozbor MSA.....	18
3.1.1 Variabilita polohy	19
3.1.2 Variabilita šíře	20
3.1.3 Variabilita systému	21
3.1.4 Regulační diagramy	22
3.2 Proces měření.....	23
3.3 GRR studie.....	23
3.3.1 Vzorce a výpočty	23
3.3.2 Vyhodnocení způsobilosti měřidla	25
3.4 Metoda pomocí koeficientů c_g a c_{gk} (SPC-Ford)	27
3.4.1 Vzorce pro výpočty.....	27
3.4.2 Vyhodnocení způsobilosti měřidla	28
4. Sběr dat pro hodnocení způsobilosti měřidel.....	28
4.1 Návrh experimentu	28
4.2 Sběr dat pro hodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru	29
4.3 Sběr dat pro hodnocení způsobilosti analogového dutinoměru	33
4.4 Sběr dat pro hodnocení způsobilosti pasametru	37
4.5 Sběr dat pro hodnocení výškoměru	40
5. Vyhodnocení způsobilosti měřidel	47
5.1 Vyhodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru.....	47
5.1.1 Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}	47

5.1.2	Vyhodnocení pomocí studie GRR	48
5.2	Vyhodnocení způsobilosti analogového dutinoměru.....	49
5.2.1	Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}	49
5.2.2	Vyhodnocení pomocí studie GRR	50
5.3	Vyhodnocení způsobilosti pasametru	51
5.3.1	Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}	51
5.3.2	Vyhodnocení pomocí studie GRR	52
5.4.	Vyhodnocení způsobilosti výškoměru	53
5.4.1.	Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}	53
5.4.2	Vyhodnocení pomocí studie GRR	55
6.	Závěr	57
7.	Seznam použité literatury	58
8.	Seznam použitých zkratek a symbolů.....	59

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1. Úvod

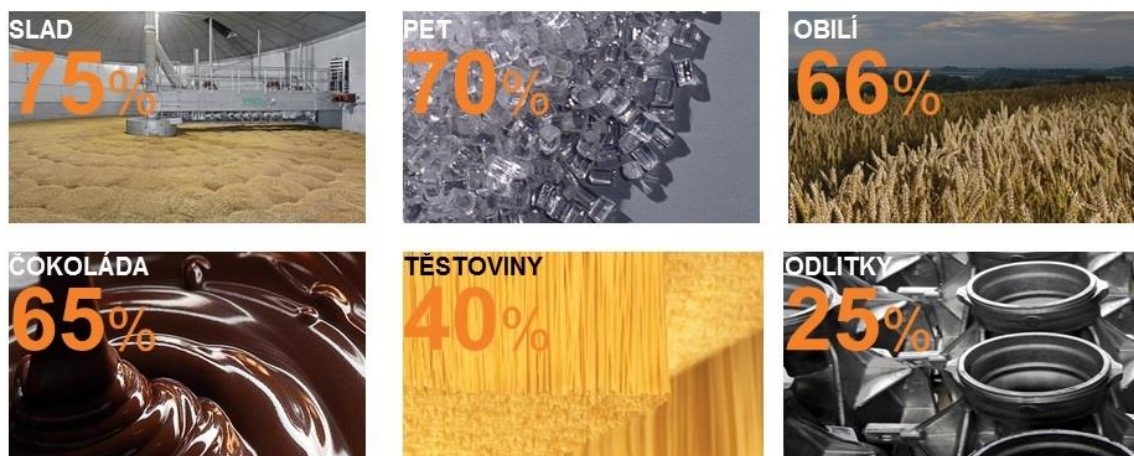
Konkurenceschopná a prosperující firma, musí být schopná vyrobit kvalitní a prodejný produkt. Vztah mezi výrobcem a jeho zákazníkem je závislý především na kvalitě výroby, včasném plnění objednávek a dodržování dodacích termínů. V současné době je míra konkurence velmi vysoká a částku, kterou je zákazník ochoten zaplatit, proto výrazně ovlivňuje kvalita produktu. Strojírenské firmy jsou schopny vyrobit součásti s přesností pohybující se v tisícinách milimetrů. Aby byla firma schopna garantovat kvalitu svých výrobků, musí být celý výrobní proces od začátku do konce prováděn kontrolními a zkušebními operacemi, u strojírenské výroby nejčastěji v oboru měření délky. Hlavním cílem této práce je vyhodnotit způsobilost pro vybraná měřidla. Pro splnění tohoto úkolu budou aplikovány dvě metody, které lze při analýze výsledků porovnávat. Tato bakalářská práce je určena firmě Bühler CZ s.r.o. a její výsledky budou využity při tvorbě kontrolních plánů a technologických postupů.



2. Analýza stavu v oboru měření délek ve společnosti

2.1 Představení společnosti

Firma Bühler CZ s.r.o. je globální vůdce na trhu v dodávkách společnostem zpracovávajících mouku, dodává součásti do výrobních linek zpracovávajících těstoviny a čokoládu, do zařízení na výrobu krmiv pro zvířata a do systémů tlakového lití hliníku. 75% sladu, 70% PET, 66% obilí, 65% čokolády, 40% těstovin a 25% odlitků na světovém trhu je zpracováno na strojích vyráběných firmou Bühler CZ s.r.o. Je to švýcarská rodinná společnost, jejímž stoprocentním vlastníkem je pan Urs Bühler, který celosvětově zaměstnává přes 8000 zaměstnanců.



Obr. 1 Podíl společnosti Bühler CZ s.r.o. na světovém trhu

Od roku 2012 je Bühler CZ s.r.o. majitelem závodu v Žamberku. Výrobní závod, byl založen v roce 1908 a má tedy více než stoletou tradici podnikání. Z toho 45 let jde o tradici ve strojírenské výrobě. Hlavním výrobním programem závodu v Žamberku je výroba přesných strojírenských dílů do potravinářských a textilních strojů a do automobilů. Montují se zde části strojů, převodovky nebo celé stroje, které jsou následně součástí textilních a potravinářských výrobních linek. V Žamberku se dále vyrábí například součásti do moderních mlýnů pšenice, kukuřice nebo žita s výkonem až 11 000 000 tun/rok; díly do optické třídičky rýže, které na celém světě vytrídí 20 000 tun rýže za hodinu; komponenty do válcovačky čokolády s výkonem 30 km pásu čokolády za hodinu nebo části strojů pro tlakové lití, které v dnešní době vyrábí tlakové odlitky do každého druhého na světě vyrobeného automobilu. Žamberk je první výrobní síť Bühleru v rámci rozšíření výrobní kapacity do východní Evropy.



Obr. 2 Prodejní a výrobní místa společnosti Bühler CZ s.r.o.



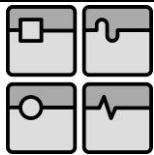
Obr.3 Obráběné komponenty



Obr.4 Převodovky a pohony



Obr.5 Stroje



Závod Bühler CZ s.r.o. v Žamberku je z hlediska měření délek vybaven nejmodernější měřicí technikou. Nacházejí se zde tři souřadnicové měřicí stroje (dva od firmy Mitutoyo a jeden od firmy TESA). Dále například kruhoměr a profilograf taktéž od japonského výrobce Mitutoyo nebo délkoměr Ulm Jena pro kalibraci měřidel. Konvenční měřidla jako délkoměry, výškoměry, dutinoměry, posuvná měřítka, mikrometry, kalibry a tloušťkoměry jsou od renomovaných výrobců měřidel jako Mitutoyo, Mahr, Trimos, Sylvac, Somet či Marposs. Firma investuje každoročně do nákupu kontrolních a měřicích zařízení 0,2% z obrátu. Společnost má také zavedený systém managementu kvality a je držitelem certifikátu ISO 9001.



Obr. 6 Certifikát ISO 9001

2.2 Kde bude prováděna analýza

2.2.1 Pracoviště kontroly jakosti - obrobna

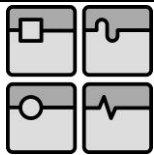
Uložení měřidel na kontrolních pracovištích i u strojů je řízeno dle metodiky „5S“ – separace, systematizace, stálé čištění, standardizace, sebedisciplina. Všechna měřidla mají přesně určená svá místa na kontrole jakosti či u obráběcích strojů. Každé měřidlo má své jednoznačné identifikační číslo, pod kterým je vedeno v PC databázi měřidel a je kalibrováno ve lhůtě dle instrukčního listu. Kalibrační protokoly z poslední a předchozí kalibrace jsou uloženy v archivu. Každé měřidlo je označeno kalibračním štítkem s dobou platnosti kalibrace. Dodržení kalibrační lhůty měřidla je zajištěno uživatelem dle kalibračního štítku a současně PC SW v evidenčním systému měřidel.



Obr. 7 Uložení měřidel – pracoviště kontroly jakosti



Obr. 8 Uložení měřidel u stroje MORI SEIKI NL 2500



2.2.2 Systém výpůjček

Při výpůjčce měřidla je do PC zaznamenána evidence, kde je zapsáno jméno pracovníka, identifikační číslo měřidla, předpokládaná doba výpůjčky a umístění měřidla - typ stroje, kam je měřidlo vypůjčeno. K tomu je možné využít čtečku a identifikační štítek měřidla s čárovým kódem a osobní kartu pracovníka. Pomocí čtečky lze jednoduše zkontrolovat, zda měřidlo již nemělo být vráceno, případně zda nedošlo k výpůjčce bez záznamu do evidence.



Obr. 9 Uložení měřidel určených k výpůjčkám

2.2.3 Princip měření vybraných měřidel

Na základě požadavku představitele vedení pro jakost, bude práce zaměřena na hodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru, analogového dutinoměru, pasometru a výškoměru TRIMOS MESTRA TOUCH MT 600 MA.

2.2.3.1 Dutinoměry

Dutinoměry jsou měřidla délky, která se používají pro dílenskou kontrolu a vyhodnocení otvorů. Jsou vhodné především pro měření homogenních materiálů. Svou konstrukcí umožňují vyhodnotit průměr; omezeně i kruhovitost, válcovitost popřípadě kuželovitost otvorů.

Ve firmě Bühler CZ s.r.o. jsou dutinoměry používány dle metodiky použití IL 3207. Pro nastavování dutinoměru se používají kontrolní kroužky, které jsou nositeli definovaného rozměru délky. Přesnost kroužku je $\pm 0,001$ mm, pro různé jmenovité

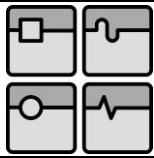
rozměry ji upřesňuje kalibrační protokol ke konkrétnímu kroužku. Rozsah dutinoměru je dán konstrukcí a je vyznačen na těle. Pro každý typ a rozsah uvádí výrobce přesnost zvlášť dle typu konstrukce. Přesnost, respektive chyba měření je dále ovlivněna faktory jako např. prostředí (teplota, tlak, vlhkost), vliv předmětu (drsnot povrchu, čistota), přesností měřicího přístroje a lidským faktorem (zručnost pracovníka). Perioda kalibrace je upřesněna kalibračním štítkem, který zabezpečuje výdejna náradí. Měřidla jsou uložena výhradně na měkkých podložkách (guma, filc). Čištění dutinoměru je prováděno měkkým ubrouskem nebo tkaninou. Snímací doteky měřidla jsou konzervovány vazelinou. Jakékoliv opravy měřidla zabezpečuje výhradně výdejna náradí.

Postup při měření dutinoměrem se skládá z několika kroků. Nejprve vložíme dutinoměr do kalibračního kroužku, nejlépe se shodným průměrem jako bude mít měřený otvor. Přes „řehtačku“ dotáhneme dutinoměr, aby doteky dutinoměru dosedly celou plochou do kalibračního kroužku a dutinoměr neměl žádnou vůli. Na stupnici odečteme naměřenou hodnotu a zkontrolujeme ji s hodnotou vyznačenou na kalibračním kroužku. V případě odchylky seřídíme dutinoměr povolením šroubku stupnice, pootočením a opětovným utažením šroubku. U digitálního dutinoměru využijeme funkce kalibrace (pomocí tlačítka PRESET) a nastavením hodnoty z kalibračního kroužku na displej dutinoměru.

V podniku se nacházejí dutinoměry dvoudotekové, třídótkové i dutinoměry na měření drážek a zápichů. Rok výroby jednotlivých měřidel se pohybuje v intervalu od 1998 - 2013. Z celkového počtu 174 měřidel je zhruba 30% digitálních a 70% analogových.



Obr. 10 Postup při odečítání z analogové stupnice



2.2.3.2 Pasametry

Pasametry jsou měřidla délky, která se používají pro dílenskou kontrolu přesných součástí např. broušených průměrů a ploch. Jsou vhodné pro měření homogenních materiálů.

Pasametry jsou ve firmě používány dle metodiky IL 3204. Pasametr se nastavuje koncovými měrkami. Koncové měrky jsou nositeli definovaného rozměru délky. Rozsah sady měrek je dán velikostí sady a je možno skládáním měrek dosáhnout libovolných rozměrů. Předpokládaná přesnost je 0,0001 mm. Odkládání koncových měrek při práci je možné pouze na měkké podložky, při skladování jsou ukládány do dřevěných kazet.

K odečítání hodnot slouží stupnice s dělením po 0,002 mm. Požadovanou toleranci výrobku lze na pasametru nastavit indikátory mezních hodnot, což slouží pro rychlou a snadnou kontrolu. Čištění celého pasametru se provádí lékárenským lihem pomocí štetceku nebo měkké tkaniny. Dosedací plochy pasametru jsou konzervovány vazelinou. Rovinnost měřicích ploch se kontroluje při kalibraci interferenčními skly.

Postup při měření pasametrem se skládá z několika kroků. Nejprve je nutné sestavit koncové měrky na rozměr, který budeme měřit pasametrem. Poté pečlivě očistit plochy pasametru, povolit kontramatici, vložit koncové měrky mezi doteky a otáčením matice nastavit dolní dotek pasametru tak, aby ručička úchylkoměru byla v polovině rozsahu – to znamená, aby směřovala nahoru. Následně posouváním koncových měrek mezi doteky vytlačit vzduch mezi doteky a koncovými měrkami, dotáhnout kontramatici a tím zajistit dolní dotek, otočením stupnice úchylkoměru nastavit požadovanou hodnotu a zobáčky na obvodu stupnice nastavit toleranci rozměru. Stlačením páčky pasametru dojde k oddálení horního doteku, poté se vloží měřený průměr mezi doteky pasametru a povolí se páčka tak, aby doteky dosedly na měřený průměr. Posledním krokem už je pouze odečíst naměřenou hodnotu.

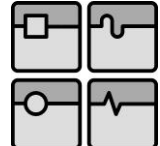
Ve společnosti Bühler CZ s.r.o. se nachází celkem 34 pasametrů. Rok výroby pasametrů ve firmě se pohybuje v intervalu od 2004 – 2013.

2.2.3.3 Výškoměry

Posuvné výškoměry jsou dílenská měřidla délky. Používají se pro kontrolu a vyhodnocení vnějších i vnitřních rozměrů součástí z homogenních materiálů.

Postup při měření výškoměrem se skládá z následujících kroků. Nejprve tlačítkem zapneme výškoměr. Poté otáčením kolečka posuvu najedeme do referenčního bodu výškoměru, stlačíme tlačítko kalibrace a na kalibračním etalonu změříme body dle návodu na displeji výškoměru. Následuje zvolení nulové výšky. Otáčením kolečka posuvu najíždíme čidlem na měřenou plochu, dokud nezazní zvukový signál. Tlačítkem „0“ této ploše lze přiřadit nulovou výšku. Stejným postupem lze měřit body na plochách nebo otvorech a na displeji výškoměru odečítat vzdálenosti od námi zvolené nulové plochy.

Výškoměry jsou používány dle metodiky použití IL 3217. Ve firmě Bühler CZ s.r.o. je k dispozici 15 posuvných digitálních výškoměrů. Výškoměrem TRIMOS MESTRA TOUCH MT 600 MA je možné měřit vzdálenosti ploch, vzdálenosti os otvorů, průměry otvorů, úhly sražených hran nebo vyhledávat nejvyšší i nejnižší body ploch. V případě upnutí dílu na úhelník s možností otočení o 90°, je možné využít funkce 2D měření ve dvou osách. Pak je možné vyhodnocovat například i průměry roztečných kružnic a jejich odchylky k střednímu otvoru, nebo úhly mezi otvory, atd.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3. Návrh metodiky pro hodnocení způsobilosti měřidel

3.1 Rozbor MSA

Všechny definice použité v následující kapitole vychází z terminologie použité v knize Analýza systému měření (podrobněji uvedeno v Seznamu použité literatury). V jiných metrologických slovnících či normách mohou být pojmy definovány odlišně.

Měření je definováno jako „přiřazování čísel (nebo hodnot) hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti“. Tuto definici poprvé vyjádřil C. Eisehart (1963). Proces přiřazování čísel je definován jako proces měření, přičemž přiřazená hodnota je definována jako hodnota měření.^[1]

Měřidlo je libovolné zařízení používané k měření; často se používá ke specifickému označení zařízení používaných v dílně.^[1]

Systém měření je soubor přístrojů nebo měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, softwaru, personálu, prostředí a předpokladů používaných ke kvantifikaci jednotky měření nebo ke stálému posuzování měřené stěžejní charakteristiky; úplný proces používaný k získání měření.^[1]

Problematika měření:

Při hodnocení systému měření musí být věnována pozornost třem základním otázkám:

- Systém měření musí prokázat odpovídající citlivost.
 - Za prvé – má přístroj (a etalon) odpovídající práh citlivosti? Práh citlivosti (nebo třída) je určen návrhem a slouží jako základní výchozí bod pro volbu systému měření. Běžně se používá „pravidlo deseti“, podle kterého má práh citlivosti rozdělit toleranci na deset nebo více částí.
 - Za druhé – prokazuje systém měření efektivní rozlišitelnost? S ohledem na práh citlivosti se určí, zda má systém měření citlivost pro zjišťování změn variability produktu nebo procesu pro danou aplikaci a podmínky.
- Systém měření musí být stabilní.
 - V podmínkách opakovatelnosti je variabilita systému měření způsobena pouze náhodnými příčinami, a nikoliv zvláštními (chaotickými) příčinami.
 - Pracovníci provádějící analýzu měření musí vždy uvážit praktický a statistický význam.
- Statistické vlastnosti (chyby) se shodují v očekávaném rozsahu a jsou adekvátní pro daný účel měření (pro řízení produktu nebo regulaci procesu).^[1]

Z těchto definic vyplývá, že proces měření může být považován za výrobní proces, který na svém výstupu dává čísla (data).^[1]

Etalon (Standard) je provozní definicí, která zajistí stejné výsledky, když ji aplikuje dodavatel nebo zákazník, se stejným významem včera, dnes i zítra. Je to známá hodnota v rozsahu stanovených mezí nejistoty, přijatá jako pravá hodnota.^[1]

Práh citlivosti, čitelnost a rozlišitelnost základního zařízení je jinak také nejmenší odečitatelná jednotka, rozlišitelnost měření, mez stupnice nebo detekční mez, nejmenší jednotka stupnice měření nebo výstupu přístroje.^[1]

Referenční hodnota je hodnota používána jako zástupce pravé hodnoty.^[1]

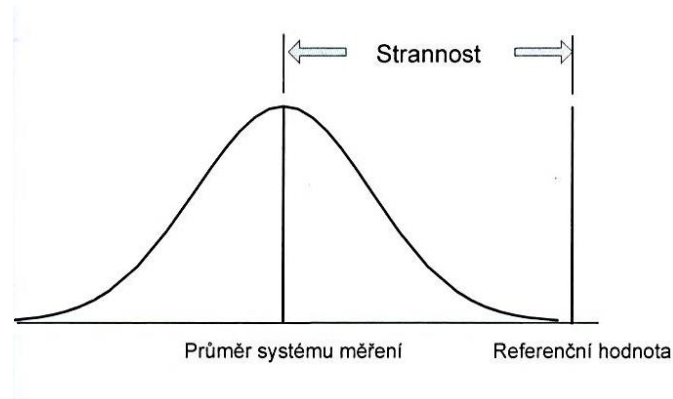
Pravá hodnota je skutečná hodnota artefaktu, neznámá a nepoznatelná. Je žádoucí, aby se jakýkoliv jednotlivý odečet co nejvíce přibližoval k této hodnotě^[1]

3.1.1 Variabilita polohy

Přesnost je generický pojem exaktnosti související s těsností shody mezi průměrnou hodnotou jednoho nebo několika naměřených výsledků a referenční hodnotou. Proces měření musí být ve statisticky zvládnutém stavu, jinak nemá přesnost procesu žádný význam.^[1]

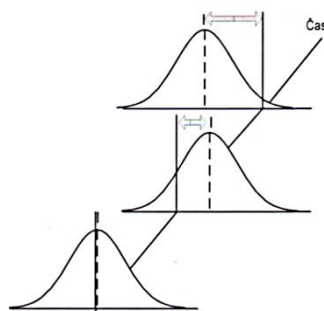
Strannost se často nazývá „přesnost“. Vzhledem k tomu, že „přesnost“ má v literatuře několik významů, její použití jako alternativního výrazu pro „strannost“ se nedoporučuje. Strannost je rozdíl mezi pravou hodnotou (referenční hodnotou) a pozorovanou průměrnou hodnotou měření provedených u stejné charakteristiky na stejném dílu. Strannost je míra systematické chyby systému měření. Je to příspěvek k celkové chybě tvořené kombinovanými účinky všech zdrojů variability, známých nebo neznámých, jejichž příspěvky k celkové chybě mají tendenci důsledně a podle očekávání vyrovnávat všechny výsledky opakovaných aplikací stejného procesu měření v čase měření.^[1]

Pokud by byla strannost příliš velká, je zapotřebí prověřit potenciální příčiny jako např.: chyba etalonu, opotřebení měřidla, nesprávná kalibrace, vliv operátora nebo prostředí.



Obr. 11 Strannost

Stabilita jinak řečeno drift, je celková variabilita výsledků měření získaných systémem měření na stejném hlavním etalonu nebo na stejných dílech, když se provádí měření jedné charakteristiky v dostatečně dlouhém časovém úseku. To znamená, že stabilita je změnou strannosti v čase.^[1]



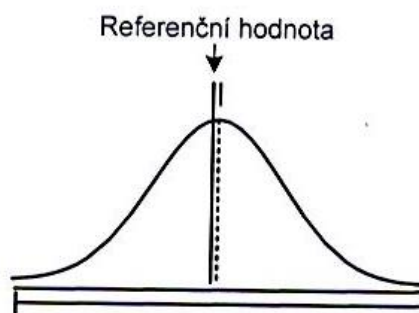
Obr. 12 Stabilita

Linearita je rozdíl strannosti v očekávaném provozním (měřicím) rozsahu zařízení. Linearitu lze považovat za změnu strannosti vzhledem k velikosti.^[1]

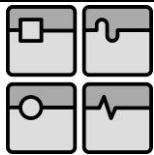
3.1.2 Variabilita šíře

Shodnost obvykle popisuje celkový účinek prahu citlivosti, citlivosti a opakovatelnosti v provozním rozsahu systému měření. V některých organizacích se shodnost zaměňuje při použití s opakovatelností. Ve skutečnosti je shodnost nejčastěji používána k popisu očekávané variability opakovaných výsledků měření v daném rozsahu měření; tímto rozsahem může být velikost nebo čas. Mohli bychom říci, že shodnost je vůči opakovatelnosti to, co je linearita vůči strannosti. ASTM definuje shodnost v širším smyslu, který zahrnuje variabilitu různých odečtů, měřidel, pracovníků, laboratoří nebo podmínek.^[1]

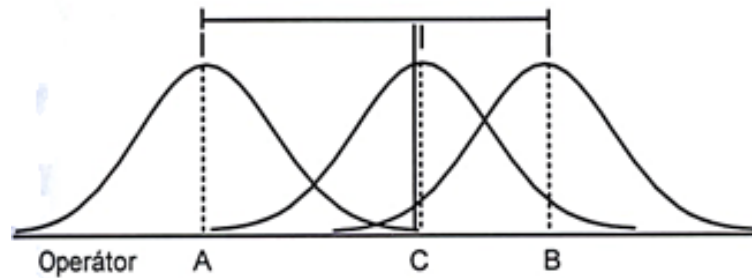
Opakovatelnost se běžně označuje jako variabilita operátora. Opakovatelnost je variabilita výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem, který byl použit několikrát jedním operátorem při měření identické charakteristiky na stejném dílu. Toto je inherentní variabilita nebo způsobilost samotného zařízení. Opakovatelnost se běžně nazývá variabilitou zařízení (EV – equipment variation), ačkoliv je toto zavádějící. Ve skutečnosti je opakovatelnost rozptylem vyvolaným náhodnými příčinami (náhodnými chybami) v po sobě následujících zkouškách realizovaných za definovaných podmínek měření. Nejlepším výrazem pro opakovatelnost je variabilita uvnitř systému, kdy jsou pevně stanoveny a definovány podmínky měření – stanovený díl, přístroj, etalon, metoda, obsluha, prostředí a předpoklady. Kromě variability uvnitř zařízení zahrnuje opakovatelnost veškerou variabilitu uvnitř od libovolné podmínky v modelu chyby.^[1]



Obr. 13 Opakovatelnost

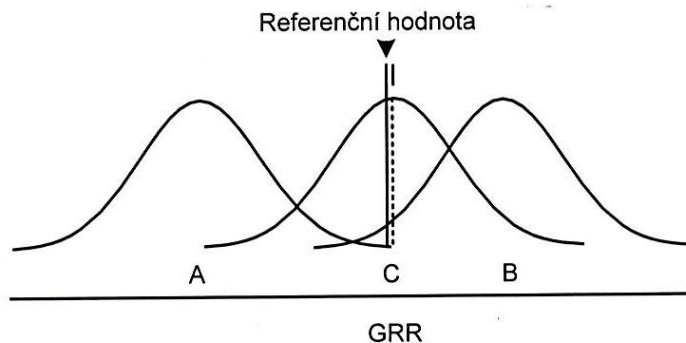


Reprodukovatelnost se běžně označuje jako variabilita „mezi operátory“. Reprodukovatelnost je běžně definována jako variabilita průměru měření prováděných různými operátory za použití stejného měřicího přístroje při měření identické charakteristiky na stejném dílu. To často platí pro ruční přístroje ovlivněné odborností obsluhy. Neplatí to však pro procesy měření, u nichž obsluha není hlavním zdrojem variability. Z tohoto důvodu se reprodukovatelnost nazývá průměrnou variabilitou měření mezi systémy nebo mezi podmínkami.^[1]



Obr. 14 Reprodukovatelnost

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla je odhadem kombinované variability opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Řečeno jiným způsobem – GRR je rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy.^[1]



Obr. 15 Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla

Citlivost je nejmenší vstup, který způsobí zjistitelný výstupní signál. Je to odezva systému měření na změny měřené charakteristiky. Citlivost je určena návrhem měřidla, inherentní kvalitou, provozní údržbou a provozním stavem přístroje a etalonu. Vždy se udává jako jednotka míry/měření.^[1]

3.1.3 Variabilita systému

Variabilitu systému měření lze charakterizovat takto:

Způsobnost systému měření je odhadem kombinované variability chyb měření (náhodných a systematických) na základě krátkodobého hodnocení. Odhad způsobnosti měření je tedy vyjádřením očekávané chyby pro definované podmínky, použitelnost a rozsah systému měření.^[1]

Funkčnost je variabilita v odečtech hodnot získaných během dlouhého časového úseku.^[1]

Nejistota je odhadnuté rozmezí hodnot okolo měřené hodnoty, o němž se tvrdí, že uvnitř něho leží pravá hodnota.^[1]

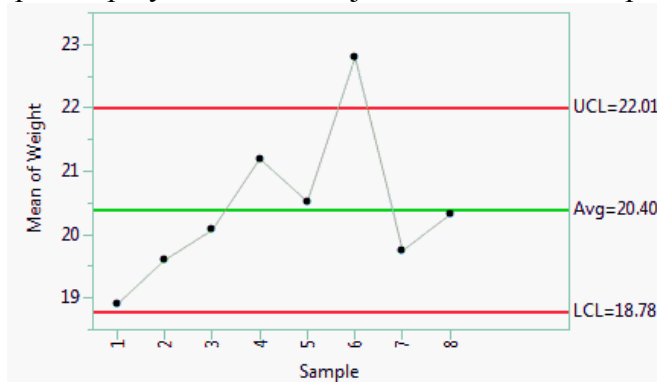
3.1.4 Regulační diagramy

Regulační diagram slouží jako nástroj statistické regulace procesu. Má vždy označenou střední hodnotu sledované statistiky (poloha, proměnlivost) a horní a dolní regulační mez. Mohou být použity například ke kontrole stability procesu. Regulační diagram je jedním ze základních nástrojů pro řízení kvality. Diagram charakteristiky procesu založený na výsledcích měření výběru v časové posloupnosti, který se používá pro zobrazení chování procesu, pro identifikování zvláštních seskupení variability procesu pro posuzování stability a indikování trendů v procesu.

- Zobrazuje zakreslené hodnoty některých statistických hodnot zjištěných z charakteristických znaků, ze střednice charakteristik a z jedné nebo dvou regulačních mezí.
- Minimalizuje čistou ekonomickou ztrátu z chyb typu I a typu II. Chyba prvního druhu nastává, zůstává-li příslušný výrobní proces ve stavu statisticky zvládnutém, ale zjištěná hodnota sledované charakteristiky padne náhodou mimo stanovené regulační meze a v důsledku toho se nesprávně požaduje odstranění příčiny neexistujícího problému. Chyba druhého druhu je opak chyby prvního druhu. To znamená, že statistický stav je nezvládnutý, ale zjištěná hodnota padne do stanovené regulační meze. Může být také vyjádřena jako chyba nadměrné důvěřivosti.
- Má dvě základní použití: posudek pro stanovení, zda proces pracuje ve statisticky zvládnutém stavu, a jako pomůcka pro udržování statistické regulace.

Shewhartův regulační diagram

Pracuje s údaji získanými z výrobního procesu v přibližně pravidelných intervalech. Intervaly mohou být určeny v čase (např. v hodinách) nebo v množství (každá dávka). Regulační meze na Shewhartově diagramu jsou ve vzdálenosti 3σ na každou stranu od centrální příčky, kde σ je směrodatná odchylka sledované statistiky příslušná souboru, z něhož se odebírají podskupiny a charakterizující variabilitu uvnitř podskupiny.



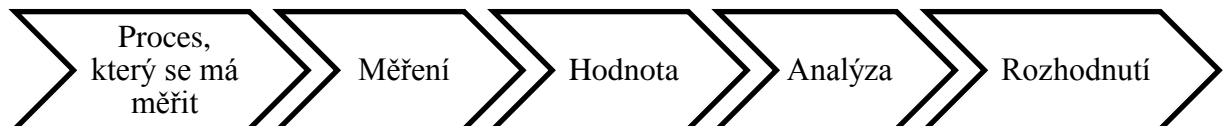
Obr. 16 Shewhartův regulační diagram

3.2 Proces měření

Aby bylo možné efektivně řídit variabilitu libovolného procesu, je třeba vědět:

- co by měl proces dělat,
- co se může pokazit,
- co proces dělá.

Poznatky o tom, co proces dělá, se získávají na základě hodnocení parametrů nebo výsledků procesu. Tato činnost, často nazývaná kontrola, je v podstatě vyšetřováním parametrů procesu, rozpracovaných dílů, smontovaných subsystémů nebo dokončených konečných produktů za pomoci vhodných etalonů a měřicího zařízení, které umožňují pozorovateli pomoci potvrdit nebo odmítnout předpoklad, že proces pracuje stabilizovaným způsobem, s přijatelnou variabilitou a v souladu s cílovou hodnotou, kterou určil zákazník. Avšak tato kontrolní činnost je již sama o sobě procesem. ^[1]



Obr. 17 Proces měření

3.3 GRR studie

Studie měřidla lze provádět s použitím celé řady různých technik. Metoda GRR nebo také R&R je jednou ze tří základních přijatelných metod. Jedná se o metodu založenou na průměru a rozpětí. Nevýhoda všech metod tkví v tom, že ve svých analýzách ignorují variabilitu uvnitř dílu (např. kruhovitost, změny rozměrů, rovinnost atd.) Celkový systém měření, ale nezahrnuje pouze samotné měřidlo a jeho související strannost, opakovatelnost atd., ale také variabilitu kontrolovaných dílů. Metoda založená na průměru a rozpětí poskytuje jak odhad opakovatelnosti, tak i reprodukovatelnosti systému měření.

3.3.1 Vzorce a výpočty

Výběrový aritmetický průměr - \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

n – počet měření za podmínek opakovatelnosti

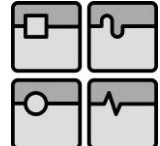
x_i – výsledek i -tého měření

Výběrové rozpětí – R

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2)$$

x_{\max} – největší naměřená hodnota

x_{\min} – nejmenší naměřená hodnota

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Průměrné rozpětí - \bar{R}

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (3)$$

n – počet rozpětí vypočtených z naměřených hodnot

R_i – výsledné rozpětí i -tého měření

Horní regulační mez - UCL_R

$$UCL_R = \bar{\bar{R}} \times D_4 \quad (4)$$

kde: $\bar{\bar{R}} = (\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c) \div \text{počet operátorů} \quad (5)$

$\bar{\bar{R}}$ – průměr všech rozpětí

\bar{R}_i – průměrné rozpětí i -tého operátora

D_4 – hodnota, která je rovna 3,27 pro 2 měření a 2,58 pro 3 měření

Dolní regulační mez - LCL_R

$$LCL_R = \bar{\bar{R}} \times D_3 \quad (6)$$

$\bar{\bar{R}}$ – průměr všech rozpětí (výpočet stejný jako pro horní regulační mez)

Hodnota D_3 se v případě méně než sedmi měření rovná nule.

Opakovatelnost – variabilita zařízení (EV)

$$EV = \bar{\bar{R}} \times K1 \quad (7)$$

$\bar{\bar{R}}$ – průměr všech rozpětí

$K1$ – hodnota závislá na počtu měření, která je rovna 0,8862 pro 2 měření a 0,5908 pro 3 měření

Reprodukovatelnost – proměnlivost operátora (AV)

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K2)^2 - (EV^2 \div [n \cdot r])} \quad (8)$$

\bar{X}_{DIFF} – rozdíl maximálního a minimálního průměru měření

$$\bar{X}_{DIFF} = \max \bar{X} - \min \bar{X} \quad (9)$$

$K2$ – hodnota závislá na počtu operátorů, která je rovna 0,7071 pro 2 operátory a 0,5231 pro 3 operátory

EV – opakovatelnost – variabilita zařízení

n – počet měřených dílů (v našem případě $n = 10$)

r – počet měření (v našem případě $r = 3$)

Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (10)$$

EV – opakovatelnost – variabilita zařízení

AV – reprodukovatelnost – proměnlivost operátora

Variabilita dílu (PV)

$$PV = R_p \times K_3 \quad (11)$$

R_p – rozdíl největšího a nejmenšího průměru dílů

K₃ – hodnota závislá na počtu měřených dílů, která je rovna 0,3146 pro 10 dílů

Celková variabilita (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (12)$$

GRR – opakovatelnost a reprodukovatelnost

PV – variabilita dílu

Počet tříd (ndc)

$$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR} \right) \quad (13)$$

PV – variabilita dílu

GRR – opakovatelnost a reprodukovatelnost

3.3.2 Vyhodnocení způsobilosti měřidla

Práh citlivosti je velikost změny vzhledem k referenční hodnotě, kterou může přístroj zjistit a věrně indikovat. Rovněž se označuje jako čitelnost nebo rozlišitelnost. Postrádá-li systém měření práh citlivosti (citlivost nebo efektivní rozlišitelnost), nemusí být vhodným systémem pro identifikování variability procesu nebo pro kvantifikování charakteristických hodnot jednotlivého dílu. Práh citlivosti je nepřijatelný pro analýzu, jestliže nemůžeme detekovat variabilitu procesu, a nepřijatelný pro kontrolu, jestliže nemůžeme detekovat variabilitu zvláštní příčiny (viz Tab. 1).^[1]

Počet kategorií dat	Řízení	Analýza
1 kategorie dat	Lze použít pouze tehdy, jestliže: - variabilita procesu je malá v porovnání se specifikacemi - ztrátová funkce je při očekávané variabilitě procesu plochá - hlavní zdroj variability způsobuje průměrné hodnoty	- Nepřijatelná pro odhad parametrů a ukazatelů procesu - Pouze indikuje, zda proces produkuje shodné nebo neshodné díly
2 - 4 kategorie dat	- Lze použít u metody řízení, kdy se výrobky třídí v souladu s rozdělení procesu - Může vytvářet regulační diagramy necitlivé proměnné	- Obecně nepřijatelná pro odhad parametrů a ukazatelů procesu, protože umožňuje pouze hrubé odhady
5 nebo více kategorií dat	- Lze použít u regulačních diagramů proměnných	- Doporučuje se

Tab. 1 Dopad počtu odlišných kategorií (ndc) rozdělení procesu na regulační a analytické činnosti ^[1]

GRR	Rozhodnutí	Komentář
pod 10%	Obecně platí, že se jedná o přijatelný systém měření.	Doporučuje se, zejména lze využít v případě, že existuje snaha o třídění nebo klasifikování dílů, nebo požaduje-li se zpřísněná regulace procesu.
10% až 30%	Může být přijatelný pro některé aplikace.	Rozhodnutí by mělo vycházet například z důležitosti měření aplikace, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, z nákladů na přepracování nebo opravu. Mělo by být schváleno zakaníkem.
nad 30%	Považuje se za nepřijatelný.	Veškeré úsilí se má vynaložit na zlepšení systému měření. Tento stav by měl být řešen použitím vhodné strategie měření; například použití průměrného výsledku několika odečtů u stejné charakteristiky dílu s cílem redukovat výslednou variabilitu měření.

Tab. 2 Kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla GRR ^[1]

3.4 Metoda pomocí koeficientů c_g a c_{gk} (SPC-Ford)

Jedno z hledisek, jak posuzovat kvalitu měřidel, je hledisko přesnosti. Vyšetření způsobilosti se provádí na skutečném výrobku, který plní z pohledu této metody roli etalonu. Metoda spočívá v opakovaném měření hodnoty etalonu, zjištění rozptylu a v porovnání takto zjištěného rozptylu s částí tolerančního pole. Obvykle je to 15% nebo 20% tolerančního pole. Opakované měření provádí buď jeden pracovník, nebo skupina pracovníků. Výsledkem jsou hodnoty koeficientů c_g a c_{gk} , vypovídající o opakovatelnosti při variantě s jedním pracovníkem, nebo o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti současně při variantě se skupinou pracovníků. Při použití této metody nemohou být reprodukovatelnost a opakovatelnost posuzovány izolovaně.

3.4.1 Vzorce pro výpočty

c_g – index způsobilosti

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} \quad (14)$$

s_g – výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} \quad (15)$$

n – počet měření za podmínek opakovatelnosti

x_i – výsledek i -tého měření

\bar{x}_g – výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (16)$$

T – tolerance měřeného rozměru

$$T = HMR - DMR \quad (17)$$

HMR – horní mezní rozměr

DMR – dolní mezní rozměr

c_{gk} – kritický index způsobilosti

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} \quad (18)$$

T – tolerance měřeného rozměru

\bar{x}_g – výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu

x_m – nominální hodnota etalonu, střed tolerance

s_g – výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu

3.4.2 Vyhodnocení způsobilosti měřidla

Zda je měřidlo považováno za způsobilé, rozhodneme dle tabulky (Tab. 3).

Verdikt	Velikost tolerance		
	$\leq 20\mu\text{m}$	$> 20\mu\text{m} < 50\mu\text{m}$	$\geq 50\mu\text{m}$
KMZ vyhovuje	$c_g; c_{gk} > 1,00$	$c_g; c_{gk} > 1,14$	$c_g; c_{gk} > 1,33$
KMZ vyhovuje podmíněně	$1,00 \geq c_g; c_{gk} \geq 0,80$	$1,14 \geq c_g; c_{gk} \geq 0,89$	$1,33 \geq c_g; c_{gk} \geq 1,00$
KMZ nevyhovuje	$c_g; c_{gk} < 0,80$	$c_g; c_{gk} < 0,89$	$c_g; c_{gk} < 1,00$

Tab. 3 Rozhodnutí o způsobilosti pomocí c_g a c_{gk}

4. Sběr dat pro hodnocení způsobilosti měřidel

4.1 Příprava pro studii

V tomto oddílu bude provedeno posouzení kroků pro řešení zásadních problémů a bude ukázáno, jak souvisejí s porozuměním problémů v systému měření. Každá společnost může používat proces řešení problémů, který schválil zákazník. ^[1]

I. Identifikování problémů

Při práci se systémy měření, stejně jako u jakéhokoli procesu, je důležité jasně definovat problém nebo formulovat otázky. Otázky související s měřením se mohou týkat přesnosti, variability, stability atd. Důležitou věcí je pokusit se oddělit variabilitu měření a její příspěvek od variability procesu. ^[1]

Problém, který byl zadán k vyřešení, zněl: Provést hodnocení způsobilosti vybraných měřidel společnosti Bühler CZ s.r.o.

II. Identifikování týmu

V našem případě se jedná o tříčlenný tým, který bude pověřen sběrem dat a diskuzí o možných problémech týkajících se samotného měření. Prvním členem týmu se stanu já, jakožto zástupce s minimální praxí v oboru měření délek; druhým článkem týmu naopak bude zkušený pracovník s více než pětadvacetiletou praxí v oboru měření délek a konečně třetí pracovník bude řádový zaměstnanec pracující ve výrobě jako obsluha obráběcího centra.

Vzhledem k tomu, že účelem je hodnocení celkového systému měření, mají být operátoři vybíráni z těch, kteří běžně přístroj obsluhují. Z tohoto důvodu je složení týmu záměrně velmi různorodé. Tato tříčlenná skupina simuluje skutečný stav ve společnosti, která má jednak své stabilní zaměstnance a do které jsou zároveň stále přijímáni noví zaměstnanci, kteří s měřením délek nemají zkušenosti.

III. Volba dílů

Volba dílů je pro správnou analýzu velmi důležitá, proto bylo rozhodnuto vybírat díly pod dohledem pracovníka kontroly jakosti. Vybraný díl bude obsahovat typický rozměr, který je ve společnosti běžně kontrolován pomocí daného měřidla.

IV. Měření

V tomto bodě tým nejprve naplánoval termíny k provádění měření a také rozhodl, jaká měřidla budou použita. Následně byly vyrobeny tabulky pro zápis naměřených hodnot a nastudovány další postupy.

Měření se mají provádět v náhodném pořadí, aby se zajistilo, že jakýkoli drift nebo změny, které by se mohly vyskytnout, budou v celé studii rozděleny náhodně. Operátoři by si neměli být vědomi toho, který očíslovaný díl se kontroluje, aby se zabránilo jakékoli možné znalostní strannosti. Pracovník provádějící studii by však měl vědět, který díl se kontroluje a podle toho zaznamenávat data.^[1]

V. Analýza výsledků

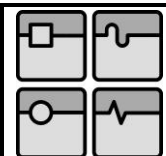
Pracovník vedoucí studii vyhodnotí výsledky. Měřicí zařízení je akceptovatelné pro zamýšlené použití až po vyhodnocení výsledků analýzy. Konečné přijetí systému měření se nemá omezovat na jediný soubor ukazatelů. Měla by se také přezkoumat dlouhodobá funkčnost systému měření, například pomocí grafické analýzy v daném čase. Konečné řešení se dokumentuje ve zprávě.^[1]

4.2 Sběr dat pro hodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru

Jako první jsme se zabývali hodnocením způsobilosti digitálního dutinoměru (Obr. 18). Na týmové schůzce bylo zvoleno měřidlo, které je v běžném provozu velmi často používané. Jedná se o digitální dutinoměr Mitutoyo s rozsahem od 30 mm do 50 mm. Měřidlo bylo zakoupeno před pěti lety a jeho přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,003$ mm. Měřidlo má platnou kalibraci do prosince 2015.

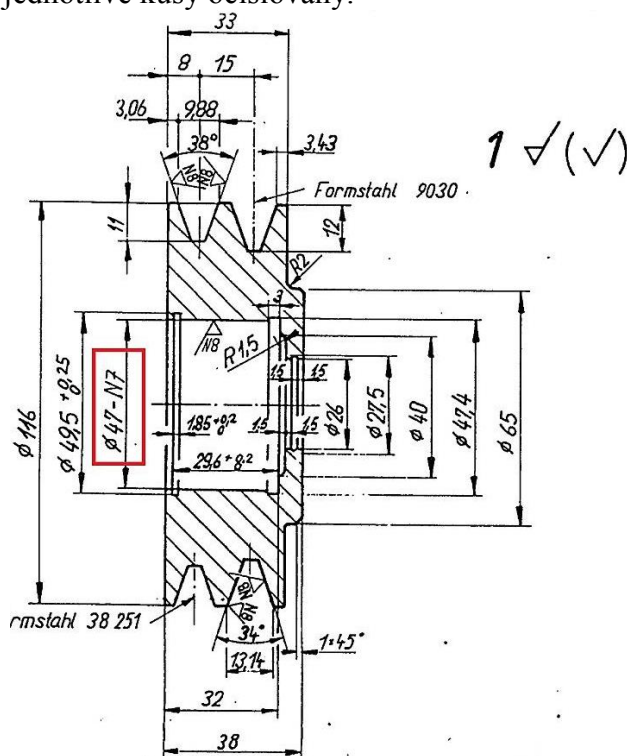


Obr. 18 Vybraný digitální dutinoměr



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Následoval výběr vhodného dílu pro měření, na němž byla následně ověřena kruhovitost otvoru pomocí souřadnicového měřicího stroje MITUTOYO CRYSTA APEX. Příliš velká odchylka kruhovitosti by mohla zkreslovat naměřené hodnoty při sběru dat. Otvor byl tedy snímán tzv. skenováním, což znamená, že čidlo snímalo průměr tisíce body. Výsledná kruhovitost byla 0,005 mm, čímž byla stvrzena vhodnost řemenice pro další měření. Otvory u všech měřených dílů byly důkladně očištěny od nečistot a prachu a následně jednotlivé kusy očíslovány.



Obr. 19 Výkres měřené řemenice

Každý z členů týmu měl k dispozici kalibrační kroužek, na kterém před začátkem měření zkontroloval správné nastavení dutinoměru. Samotné měření probíhalo následovně. Nejdříve byl dvakrát změřen kus číslo 3, který byl náhodně vybrán pro vyhodnocení způsobilosti pomocí indexů c_g a c_{gk} . Následovalo zapsání hodnot do příslušné tabulky a poté postupné měření všech deseti kusů v libovolném pořadí a další zapisování hodnot. Po dokončení prvního cyklu měření následovaly opět dvě měření do tabulky pro způsobilost pomocí c_g a c_{gk} a další proměřování všech 10 kusů. Během samotného měření měl každý člen týmu zakryté své předchozí zaznamenané hodnoty, aby nemohlo dojít k automatickému opisování stejných hodnot nebo k nevědomé „snaze“ dostat se na stejný rozměr. Hodnoty naměřené digitálním dutinoměrem zobrazují následující tabulky.

	ZPŮSOBILOST KMZ	Datum a čas:
	Sběr dat	7.3.2014 8:00

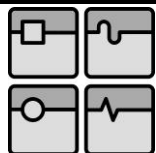
KMZ - název:	duřinoměr	Artikl:	0124-4621
KMZ - číslo:	IM 135	Rožměr:	Ø47N7
KMZ - obor:	děřka	Tolerance:	-0,008; -0,033
Místo zkoušky:	kontrola	Teřplota při zkoušce (°C):	25,0

SBĚR DAT					
1.operátor: A		2.operátor: B		3.operátor: C	
1.	46,975	1.	46,975	1.	46,975
2.	46,976	2.	46,976	2.	46,975
3.	46,976	3.	46,975	3.	46,975
4.	46,976	4.	46,975	4.	46,976
5.	46,976	5.	46,975	5.	46,975
6.	46,975	6.	46,975	6.	46,976
7.	46,974	7.	46,975	7.	46,975
8.	46,974	8.	46,976	8.	46,976
9.	46,976	9.	46,975	9.	46,976
10.	46,975	10.	46,975	10.	46,975

Tab. 4 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti pomocí koeficientů c_g a c_{gk}

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla											
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	46,970	46,974	46,973	46,975	46,977	46,975	46,972	46,974	46,979	46,975	46,9744
A/2	46,971	46,975	46,975	46,975	46,976	46,977	46,971	46,973	46,979	46,974	46,9746
A/3	46,972	46,976	46,975	46,975	46,974	46,975	46,972	46,972	46,979	46,974	46,9744
Průměr	46,9710	46,9750	46,9743	46,9750	46,9757	46,9757	46,9717	46,9730	46,9790	46,9743	$\bar{X}_a = 46,9744$
Rozpětí	0,002	0,002	0,002	0,000	0,003	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	$\bar{R}_a = 0,0015$
B/1	46,971	46,974	46,975	46,974	46,976	46,975	46,973	46,973	46,978	46,973	46,9742
B/2	46,973	46,976	46,977	46,975	46,975	46,975	46,972	46,973	46,977	46,973	46,9746
B/3	46,971	46,975	46,975	46,976	46,975	46,976	46,972	46,972	46,978	46,975	46,9745
Průměr	46,9717	46,9750	46,9757	46,9750	46,9753	46,9753	46,9723	46,9727	46,9777	46,9737	$\bar{X}_b = 46,9744$
Rozpětí	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	$\bar{R}_b = 0,0015$
C/1	46,970	46,975	46,975	46,975	46,976	46,974	46,973	46,972	46,980	46,976	46,9746
C/2	46,970	46,975	46,976	46,976	46,976	46,975	46,974	46,973	46,980	46,975	46,9750
C/3	46,970	46,974	46,976	46,975	46,975	46,974	46,973	46,975	46,980	46,975	46,9747
Průměr	46,9700	46,9747	46,9757	46,9753	46,9757	46,9743	46,9733	46,9733	46,9800	46,9753	$\bar{X}_c = 46,9747$
Rozpětí	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	$\bar{R}_c = 0,0010$
Průměr pro díl	46,9709	46,9749	46,9752	46,9751	46,9756	46,9751	46,9724	46,9730	46,9789	46,9744	$\bar{X} = 46,9745$ $R_p = 0,008$
$([\bar{R}_a = 0,0015] + [\bar{R}_b = 0,0015] + [\bar{R}_c = 0,0010]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,001333$											$\bar{R} = 0,00133$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 46,9747] - [Min \bar{X} = 46,9744] = 0,0003$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,0003$
$UCL_R = [\bar{R} = 0,001333] \times [D_4 = 2,58] = 0,00344$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se \bar{R} a mezní hodnota.</p>											

Tab. 5 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti metodou GRR



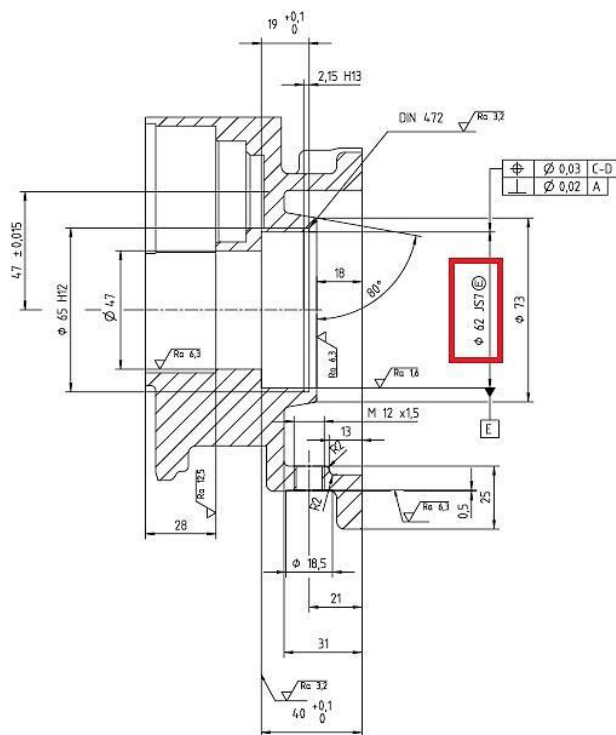
4.3 Sběr dat pro hodnocení způsobilosti analogového dutinoměru

Druhá měření byla prováděna pomocí analogového dutinoměru (Obr. 20,21). Postup při měření a zapisování hodnot byl stejný jako u digitálního dutinoměru. Měřidlo označení IM124 je často využíváno v běžném provozu. Rozsah měřidla je 50 mm – 63 mm, rok výroby 1998 a přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,005$ mm. Měřidlo má platnou kalibraci do prosince 2015.




Obr. 20,21 Vybraný analogový dutinoměr a měřený díl

Měřeným dílem se tentokrát stalo těleso převodovky (Obr. 22). Přípustnost odchylky kruhovitosti byla opět ověřena na souřadnicovém měřicím stroji MITUTOYO CRYSTA APEX a byla 0,003 mm. Otvory u všech měřených dílů byly důkladně očištěny od nečistot a prachu a následně jednotlivé kusy očíslovány.



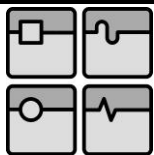
Obr. 22 Výkres měřeného dílu

	ZPŮSOBILOST KMZ	Datum a čas:
	Sběr dat	21.3.2014 8:00

KMZ - název:	analogový dutinoměr	Artikl:	10522369
KMZ - číslo:	IM 124	Rozměr:	Ø62
KMZ - obor:	délka	Tolerance:	JS7 (+0,015; -0,015)
Místo zkoušky:	kontrola	Teplota při zkoušce (°C):	25,2

SBĚR DAT					
1.operátor: A		2.operátor: B		3.operátor: C	
1.	61,988	1.	61,992	1.	61,994
2.	61,989	2.	61,992	2.	61,993
3.	61,990	3.	61,992	3.	61,994
4.	61,989	4.	61,991	4.	61,993
5.	61,990	5.	61,991	5.	61,992
6.	61,989	6.	61,992	6.	61,996
7.	61,989	7.	61,993	7.	61,993
8.	61,990	8.	61,992	8.	61,992
9.	61,989	9.	61,993	9.	61,993
10.	61,991	10.	61,992	10.	61,992

Tab. 6 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti pomocí koeficientů c_g a c_{gk}



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

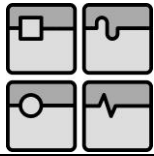
Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla											
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	61,990	61,991	61,990	61,991	61,989	61,989	61,989	61,988	61,988	61,991	61,9896
A/2	61,989	61,990	61,990	61,990	61,988	61,989	61,988	61,989	61,989	61,990	61,9892
A/3	61,990	61,990	61,989	61,989	61,989	61,989	61,989	61,989	61,988	61,990	61,9892
Průměr	61,9897	61,9903	61,9897	61,9900	61,9887	61,9890	61,9887	61,9887	61,9883	61,9903	$\bar{X}_a = 61,9893$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	$\bar{R}_a = 0,0010$
B/1	61,992	61,992	61,992	61,991	61,993	61,992	61,992	61,992	61,994	61,993	61,9923
B/2	61,992	61,993	61,991	61,992	61,993	61,992	61,993	61,993	61,994	61,994	61,9927
B/3	61,992	61,993	61,993	61,993	61,993	61,992	61,993	61,991	61,993	61,994	61,9927
Průměr	61,9920	61,9927	61,9920	61,9920	61,9930	61,9920	61,9927	61,9920	61,9937	61,9937	$\bar{X}_b = 61,9926$
Rozpětí	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	$\bar{R}_b = 0,0010$
C/1	61,995	61,991	61,992	61,993	61,994	61,993	61,992	61,991	61,990	61,995	61,9926
C/2	61,995	61,994	61,992	61,993	61,995	61,993	61,991	61,999	61,994	61,995	61,9941
C/3	61,993	61,994	61,992	61,992	61,995	61,993	61,992	61,991	61,995	61,994	61,9931
Průměr	61,9943	61,9930	61,9920	61,9927	61,9947	61,9930	61,9917	61,9938	61,9930	61,9947	$\bar{X}_c = 61,9933$
Rozpětí	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,008	0,005	0,001	$\bar{R}_c = 0,0022$
Průměr pro díl	61,9920	61,9920	61,9912	61,9916	61,9921	61,9913	61,9910	61,9915	61,9917	61,9929	$\bar{\bar{X}} = 61,9917$ $R_p = 0,0019$
$([\bar{R}_a = 0,001] + [\bar{R}_b = 0,001] + [\bar{R}_c = 0,0022]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,0014$											$\bar{\bar{R}} = 0,0014$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 61,9933] - [Min \bar{X} = 61,9893] = 0,004$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,004$
$UCL_R = [\bar{\bar{R}} = 0,0014] \times [D_4 = 2,58] = 0,003612$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se $\bar{\bar{R}}$ a mezní hodnota.</p>											

Tab. 7 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti metodou GRR

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla											
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	61,990	61,991	61,990	61,991	61,989	61,989	61,989	61,988	61,988	61,991	61,9896
A/2	61,989	61,990	61,990	61,990	61,988	61,989	61,988	61,989	61,989	61,990	61,9892
A/3	61,990	61,990	61,989	61,989	61,989	61,989	61,989	61,989	61,988	61,990	61,9892
Průměr	61,9897	61,9903	61,9897	61,9900	61,9887	61,9890	61,9887	61,9887	61,9883	61,9903	$\bar{X}_a = 61,9893$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	$\bar{R}_a = 0,0010$
B/1	61,992	61,992	61,992	61,991	61,993	61,992	61,992	61,992	61,994	61,993	61,9923
B/2	61,992	61,993	61,991	61,992	61,993	61,992	61,993	61,993	61,994	61,994	61,9927
B/3	61,992	61,993	61,993	61,993	61,993	61,992	61,993	61,991	61,993	61,994	61,9927
Průměr	61,9920	61,9927	61,9920	61,9920	61,9930	61,9920	61,9927	61,9920	61,9937	61,9937	$\bar{X}_b = 61,9926$
Rozpětí	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	$\bar{R}_b = 0,0010$
C/1	61,995	61,991	61,992	61,993	61,994	61,993	61,992	61,991	61,990	61,995	61,9934
C/2	61,995	61,994	61,992	61,993	61,995	61,993	61,991	61,999	61,994	61,995	61,9934
C/3	61,993	61,994	61,992	61,992	61,995	61,993	61,992	61,991	61,995	61,994	61,9930
Průměr	61,9943	61,9930	61,9920	61,9927	61,9947	61,9930	61,9917	61,9938	61,9930	61,9947	$\bar{X}_c = 61,9933$
Rozpětí	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,008	0,005	0,001	$\bar{R}_c = 0,00096$
Průměr pro díl	61,9920	61,9915	61,9912	61,9916	61,9921	61,9913	61,9910	61,9903	61,9910	61,9929	$\bar{\bar{X}} = 61,9915$
											$R_p = 0,0026$
$([\bar{R}_a = 0,001] + [\bar{R}_b = 0,001] + [\bar{R}_c = 0,00096]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,00098$											$\bar{\bar{R}} = 0,00098$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 61,9933] - [Min \bar{X} = 61,9893] = 0,004$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,004$
$UCL_R = [\bar{\bar{R}} = 0,00096] \times [D_4 = 2,58] = 0,002551$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se $\bar{\bar{R}}$ a mezní hodnota.</p>											

Tab. 8 Vyhodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru pomocí studie GRR

V naměřených hodnotách se vyskytly i hodnoty mimo horní regulační mez, které byly vyřazeny a ze zbývajících hodnot se opakovaně přepočítal průměr i mezní hodnota (viz Tab. 8)

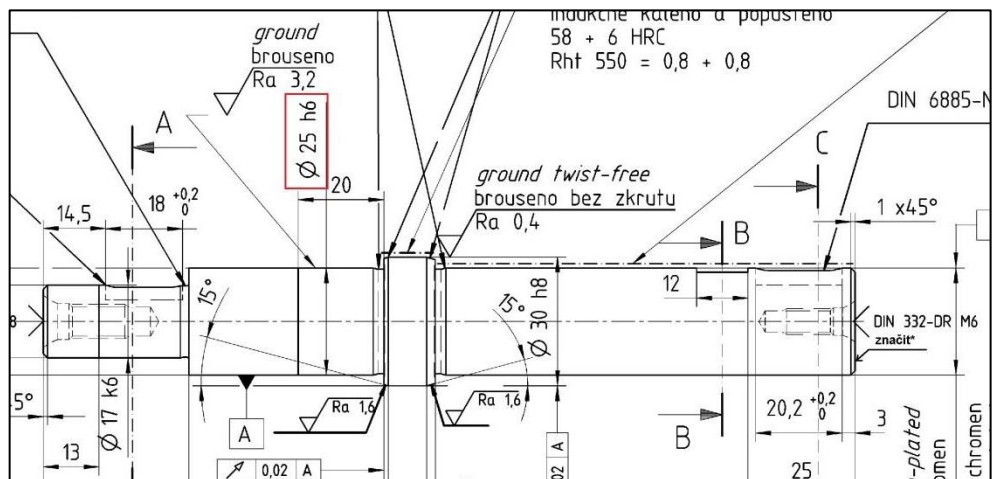


4.4 Sběr dat pro hodnocení způsobilosti pasometru

Třetí měření byla prováděna pasametrem (Obr. 23). Postup při měření a zapisování hodnot byl totožný jako v předchozích dvou případech. Pasametr PA41 s rozsahem 0 mm – 25 mm byl vyroben v roce 2010 a přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,002$ mm. Měřidlo má platnou kalibraci do prosince 2014. Měřeným dílem byla hřídel s broušeným průměrem, který je dle technologického postupu kontrolován pasametrem. Všechny hřídele byly důkladně očištěny od nečistot a prachu a následně jednotlivé kusy očíslovány.



Obr. 23 Vybraný pasametr



Obr. 24 Část výkresu měřeného dílu



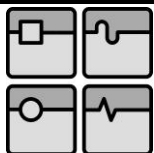
Obr. 25 Uložení pasametrů a koncových měřek

	ZPŮSOBILOST KMZ	Datum a čas:
	Sběr dat	21.3.2014 11:00

KMZ - název:	pasametr	Artikl:	10237505
KMZ - číslo:	PA 41	Rozměr:	Ø25
KMZ - obor:	délka	Tolerance:	h6 (0,000; -0,013)
Místo zkoušky:	kontrola	Teplota při zkoušce (°C):	25,7

SBĚR DAT								
1.operátor: A			2.operátor: B			3.operátor: C		
1.	24,993		1.	24,992		1.	24,994	
2.	24,993		2.	24,994		2.	24,995	
3.	24,994		3.	24,995		3.	24,993	
4.	24,994		4.	24,994		4.	24,993	
5.	24,994		5.	24,994		5.	24,994	
6.	24,995		6.	24,994		6.	24,995	
7.	24,994		7.	24,996		7.	24,992	
8.	24,994		8.	24,994		8.	24,993	
9.	24,994		9.	24,995		9.	24,994	
10.	24,994		10.	24,995		10.	24,993	

Tab. 9 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti pomocí koeficientů c_g a c_{gk}



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla											
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	24,994	24,995	24,995	24,994	24,994	24,995	24,996	24,994	24,990	24,994	24,9941
A/2	24,994	24,995	24,994	24,994	24,994	24,994	24,996	24,995	24,990	24,994	24,9940
A/3	24,995	24,995	24,994	24,995	24,994	24,994	24,996	24,995	24,991	24,994	24,9943
Průměr	24,9943	24,9950	24,9943	24,9943	24,9940	24,9943	24,9960	24,9947	24,9903	24,9940	$\bar{X}_a = 24,9941$
Rozpětí	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	$\bar{R}_a = 0,0006$
B/1	24,995	24,996	24,996	24,995	24,996	24,996	24,997	24,996	24,990	24,995	24,9952
B/2	24,995	24,995	24,996	24,995	24,995	24,996	24,997	24,995	24,991	24,996	24,9951
B/3	24,994	24,996	24,996	24,995	24,995	24,996	24,997	24,995	24,990	24,996	24,9950
Průměr	24,9947	24,9957	24,9960	24,9950	24,9953	24,9960	24,9970	24,9953	24,9903	24,9957	$\bar{X}_b = 24,9951$
Rozpětí	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	$\bar{R}_b = 0,0006$
C/1	24,994	24,995	24,996	24,995	24,994	24,995	24,998	24,995	24,990	24,995	24,9947
C/2	24,993	24,994	24,995	24,994	24,994	24,996	24,998	24,995	24,990	24,994	24,9943
C/3	24,994	24,994	24,996	24,994	24,995	24,996	24,998	24,996	24,991	24,994	24,9948
Průměr	24,9937	24,9943	24,9957	24,9943	24,9943	24,9957	24,9980	24,9953	24,9903	24,9943	$\bar{X}_c = 24,9946$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	$\bar{R}_c = 0,0009$
Průměr pro díl	24,9942	24,9950	24,9953	24,9946	24,9946	24,9953	24,9970	24,9951	24,9903	24,9947	$\bar{X} = 24,9946$ $R_p = 0,0067$
$([\bar{R}_a = 0,0006] + [\bar{R}_b = 0,0006] + [\bar{R}_c = 0,0009]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,0007$											$\bar{R} = 0,0007$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 24,9952] - [Min \bar{X} = 24,9943] = 0,001$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,001$
$UCL_R = [\bar{R} = 0,0007] \times [D_4 = 2,58] = 0,001806$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se \bar{R} a mezní hodnota.</p>											

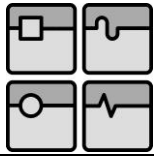
Tab. 10 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti metodou GRR

4.5 Sběr dat pro hodnocení výškoměru

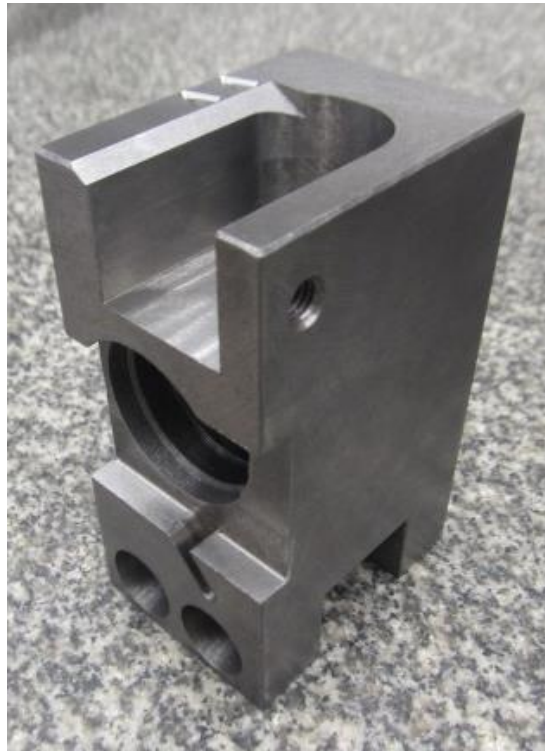
V pořadí čtvrtá a poslední měření byla prováděna za pomoci výškoměru (Obr. 26). Výškoměr TRIMOS MT 600 MA má rozsah 0 mm – 600 mm, rok výroby 2008 a platnost kalibrace do dubna 2014. Vzhledem k tomu, že pomocí výškoměru lze provádět různé měřicí úlohy, bylo rozhodnuto vyhodnotit dvě nejčastěji využívané měřicí úlohy. A to měření vzdálenosti dvou ploch (tzv. měření bod, bod) a měření od plochy k ose otvoru (tzv. měření bod, osa otvoru). Postup při měření a zapisování hodnot byl stejný jako u předchozích třech měřidel.



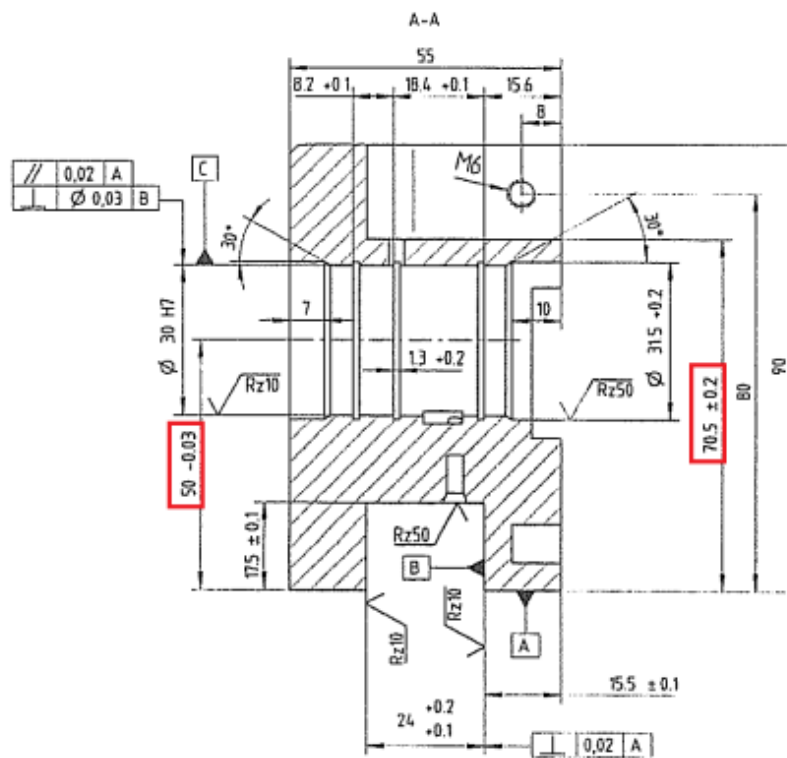
Obr. 26 Výškoměr TRIMOS




BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 27 Vybraný díl




Obr. 28 Výkres dílu měřeného výškoměrem

	ZPŮSOBILOST KMZ	Datum a čas:
	Sběr dat	4.4.2014 14:00
KMZ - název:	výškoměr	Artikl: 10537973
KMZ - číslo:	PV 31	Rozměr: 50
KMZ - obor:	délka	Tolerance: -0,03
Místo zkoušky:	kontrola	Teplota při zkoušce (°C): 26,2

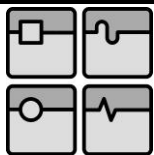
SBĚR DAT					
1.operátor: A		2.operátor: B		3.operátor: C	
1.	49,978	1.	49,977	1.	49,977
2.	49,975	2.	49,977	2.	49,977
3.	49,976	3.	49,978	3.	49,976
4.	49,976	4.	49,977	4.	49,977
5.	49,977	5.	49,977	5.	49,977
6.	49,976	6.	49,977	6.	49,977
7.	49,976	7.	49,977	7.	49,974
8.	49,976	8.	49,977	8.	49,976
9.	49,977	9.	49,976	9.	49,976
10.	49,976	10.	49,977	10.	49,976

Tab. 11 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti pomocí koeficientů c_g a c_{gk}
- měření od desky k ose

	ZPŮSOBILOST KMZ	Datum a čas:
	Sběr dat	4.4.2014 8:00
KMZ - název:	výškoměr	Artikl: 10537973
KMZ - číslo:	PV 31	Rozměr: 70,5
KMZ - obor:	délka	Tolerance: +0,2 ; -0,2
Místo zkoušky:	kontrola	Teplota při zkoušce (°C): 26,4

SBĚR DAT					
1.operátor: A		2.operátor: B		3.operátor: C	
1.	70,538	1.	70,531	1.	70,532
2.	70,535	2.	70,532	2.	70,533
3.	70,535	3.	70,533	3.	70,532
4.	70,536	4.	70,530	4.	70,531
5.	70,537	5.	70,530	5.	70,532
6.	70,537	6.	70,528	6.	70,532
7.	70,533	7.	70,532	7.	70,530
8.	70,533	8.	70,532	8.	70,531
9.	70,531	9.	70,529	9.	70,531
10.	70,531	10.	70,531	10.	70,532

Tab. 12 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti pomocí koeficientů c_g a c_{gk}
- měření od desky k ploše



Měření od desky k ose

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

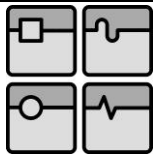
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	49,977	49,978	49,983	49,983	49,985	49,982	49,980	49,977	49,978	49,979	49,9802
A/2	49,977	49,978	49,982	49,984	49,975	49,981	49,980	49,978	49,978	49,979	49,9792
A/3	49,976	49,979	49,982	49,983	49,986	49,980	49,980	49,978	49,982	49,980	49,9806
Průměr	49,9767	49,9783	49,9823	49,9833	49,9820	49,9810	49,9800	49,9777	49,9793	49,9793	$\bar{X}_a = 49,98$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011	0,002	0,000	0,001	0,004	0,001	$\bar{R}_a = 0,0023$
B/1	49,977	49,978	49,982	49,986	49,986	49,981	49,980	49,978	49,979	49,981	49,9808
B/2	49,977	49,979	49,984	49,985	49,986	49,982	49,981	49,978	49,979	49,981	49,9812
B/3	49,977	49,979	49,982	49,986	49,987	49,983	49,981	49,979	49,979	49,980	49,9813
Průměr	49,9770	49,9787	49,9827	49,9857	49,9863	49,9820	49,9807	49,9783	49,9790	49,9807	$\bar{X}_b = 49,9811$
Rozpětí	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	$\bar{R}_b = 0,001$
C/1	49,976	49,979	49,983	49,986	49,985	49,981	49,980	49,978	49,979	49,980	49,9807
C/2	49,977	49,979	49,983	49,986	49,986	49,981	49,980	49,979	49,979	49,980	49,9810
C/3	49,976	49,978	49,982	49,985	49,986	49,980	49,980	49,978	49,979	49,980	49,9804
Průměr	49,9763	49,9787	49,9827	49,9857	49,9857	49,9807	49,9800	49,9783	49,9790	49,9800	$\bar{X}_c = 49,9807$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	$\bar{R}_c = 0,0007$
Průměr pro díl	49,9767	49,9786	49,9826	49,9849	49,9847	49,9812	49,9802	49,9781	49,9791	49,9800	$\bar{\bar{X}} = 49,9806$ $R_p = 0,0082$
$([\bar{R}_a = 0,0023] + [\bar{R}_b = 0,001] + [\bar{R}_c = 0,0007]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,001333$											$\bar{\bar{R}} = 0,00133$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 49,9811] - [Min \bar{X} = 49,98] = 0,0011$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,0011$
$UCL_R = [\bar{\bar{R}} = 0,00133] \times [D_4 = 2,58] = 0,00343914$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se $\bar{\bar{R}}$ a mezní hodnota.</p>											

Tab. 13 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti metodou GRR
- měření od desky k ose

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla											
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	49,977	49,978	49,983	49,983	49,985	49,982	49,980	49,977	49,978	49,979	49,9799
A/2	49,977	49,978	49,982	49,984	49,975	49,981	49,980	49,978	49,978	49,979	49,9799
A/3	49,976	49,979	49,982	49,983	49,986	49,980	49,980	49,978	49,982	49,980	49,9798
Průměr	49,9767	49,9783	49,9823	49,9833	49,9820	49,9810	49,9800	49,9777	49,9793	49,9793	$\bar{X}_a = 49,9798$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011	0,002	0,000	0,001	0,004	0,001	$\bar{R}_a = 0,001$
B/1	49,977	49,978	49,982	49,986	49,986	49,981	49,980	49,978	49,979	49,981	49,9808
B/2	49,977	49,979	49,984	49,985	49,986	49,982	49,981	49,978	49,979	49,981	49,9812
B/3	49,977	49,979	49,982	49,986	49,987	49,983	49,981	49,979	49,979	49,980	49,9813
Průměr	49,9770	49,9787	49,9827	49,9857	49,9863	49,9820	49,9807	49,9783	49,9790	49,9807	$\bar{X}_b = 49,9811$
Rozpětí	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	$\bar{R}_b = 0,001$
C/1	49,976	49,979	49,983	49,986	49,985	49,981	49,980	49,978	49,979	49,980	49,9807
C/2	49,977	49,979	49,983	49,986	49,986	49,981	49,980	49,979	49,979	49,980	49,9810
C/3	49,976	49,978	49,982	49,985	49,986	49,980	49,980	49,978	49,979	49,981	49,9805
Průměr	49,9763	49,9787	49,9827	49,9857	49,9857	49,9807	49,9800	49,9783	49,9790	49,9803	$\bar{X}_c = 49,9807$
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	$\bar{R}_c = 0,0007$
Průměr pro díl	49,9767	49,9786	49,9826	49,9849	49,9860	49,9812	49,9802	49,9781	49,9790	49,9801	$\bar{\bar{X}} = 49,9805$
											$R_p = 0,0093$
$([\bar{R}_a = 0,001] + [\bar{R}_b = 0,001] + [\bar{R}_c = 0,0007]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,0009$											$\bar{\bar{R}} = 0,0009$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 49,9811] - [Min \bar{X} = 49,9798] = 0,0013$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,0013$
$UCL_R = [\bar{\bar{R}} = 0,00133] \times [D_4 = 2,58] = 0,002322$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se $\bar{\bar{R}}$ a mezní hodnota.</p>											

Tab. 14 Vyhodnocení způsobilosti výškoměru pomocí studie GRR

V naměřených hodnotách se vyskytly i hodnoty mimo horní regulační mez, které byly vyřazeny, a ze zbývajících hodnot se opakovaně přepočítal průměr i mezní hodnota (viz Tab. 14).



Měření od desky k ploše

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	50,534	50,536	50,538	50,546	50,542	50,540	50,535	50,536	50,536	50,538	50,5381
A/2	50,536	50,537	50,539	50,549	50,543	50,536	50,531	50,532	50,534	50,535	50,5372
A/3	50,534	50,533	50,535	50,542	50,538	50,537	50,531	50,531	50,535	50,534	50,5350
Průměr	50,5347	50,5353	50,5373	50,5457	50,5410	50,5377	50,5323	50,5330	50,5350	50,5357	$\bar{X}_a = 50,5368$
Rozpětí	0,002	0,004	0,004	0,007	0,005	0,004	0,004	0,005	0,002	0,004	$\bar{R}_a = 0,0041$
B/1	50,531	50,531	50,532	50,544	50,534	50,534	50,530	50,530	50,532	50,532	50,5330
B/2	50,532	50,533	50,534	50,543	50,537	50,535	50,530	50,529	50,530	50,533	50,5336
B/3	50,530	50,532	50,534	50,542	50,539	50,530	50,529	50,531	50,531	50,533	50,5331
Průměr	50,5310	50,5320	50,5333	50,5430	50,5367	50,5330	50,5297	50,5300	50,5310	50,5327	$\bar{X}_b = 50,5332$
Rozpětí	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	0,001	0,002	0,002	0,001	$\bar{R}_b = 0,0024$
C/1	50,532	50,534	50,534	50,543	50,539	50,534	50,534	50,532	50,532	50,536	50,5350
C/2	50,532	50,533	50,533	50,544	50,537	50,533	50,532	50,532	50,532	50,533	50,5341
C/3	50,532	50,532	50,534	50,544	50,539	50,535	50,531	50,532	50,534	50,534	50,5347
Průměr	50,5320	50,5330	50,5337	50,5437	50,5383	50,5340	50,5323	50,5320	50,5327	50,5343	$\bar{X}_c = 50,5346$
Rozpětí	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	0,002	0,003	$\bar{R}_c = 0,0016$
Průměr pro díl	50,5326	50,5334	50,5348	50,5441	50,5387	50,5349	50,5314	50,5317	50,5329	50,5342	$\bar{\bar{X}} = 50,5349$ $R_p = 0,0127$
$([\bar{R}_a = 0,0041] + [\bar{R}_b = 0,0024] + [\bar{R}_c = 0,0016]) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,0027$											$\bar{\bar{R}} = 0,0027$
$\bar{X}_{DIFF} = [Max \bar{X} = 50,5368] - [Min \bar{X} = 50,5332] = 0,0036$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,0036$
$UCL_R = [\bar{\bar{R}} = 0,0027] \times [D_4 = 2,58] = 0,006966$											

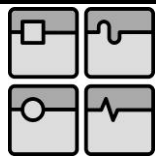
$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se $\bar{\bar{R}}$ a mezní hodnota.

Tab. 15 Hodnoty naměřené pro hodnocení způsobilosti metodou GRR
- měření od desky k ploše

Formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla											
Operátor / číslo měření	DÍL										PRŮMĚR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A/1	50,534	50,536	50,538	50,546	50,542	50,540	50,535	50,536	50,536	50,538	50,5372
A/2	50,536	50,537	50,539	50,549	50,543	50,536	50,531	50,532	50,534	50,535	50,5359
A/3	50,534	50,533	50,535	50,542	50,538	50,537	50,531	50,531	50,535	50,534	50,5342
Průměr	50,5347	50,5353	50,5373	50,5457	50,5410	50,5377	50,5323	50,5330	50,5350	50,5357	$\bar{X}_a = 50,5358$
Rozpětí	0,002	0,004	0,004	0,007	0,005	0,004	0,004	0,005	0,002	0,004	$\bar{R}_a = 0,0038$
B/1	50,531	50,531	50,532	50,544	50,534	50,534	50,530	50,530	50,532	50,532	50,5330
B/2	50,532	50,533	50,534	50,543	50,537	50,535	50,530	50,529	50,530	50,533	50,5336
B/3	50,530	50,532	50,534	50,542	50,539	50,530	50,529	50,531	50,531	50,533	50,5331
Průměr	50,5310	50,5320	50,5333	50,5430	50,5367	50,5330	50,5297	50,5300	50,5310	50,5327	$\bar{X}_b = 50,5332$
Rozpětí	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	0,001	0,002	0,002	0,001	$\bar{R}_b = 0,0024$
C/1	50,532	50,534	50,534	50,543	50,539	50,534	50,534	50,532	50,532	50,536	50,5350
C/2	50,532	50,533	50,533	50,544	50,537	50,533	50,532	50,532	50,532	50,533	50,5341
C/3	50,532	50,532	50,534	50,544	50,539	50,535	50,531	50,532	50,534	50,534	50,5347
Průměr	50,5320	50,5330	50,5337	50,5437	50,5383	50,5340	50,5323	50,5320	50,5327	50,5343	$\bar{X}_c = 50,5346$
Rozpětí	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	0,002	0,003	$\bar{R}_c = 0,0016$
Průměr pro díl	50,5326	50,5334	50,5348	50,5433	50,5387	50,5349	50,5314	50,5317	50,5329	50,5342	$\bar{\bar{X}} = 50,5345$
$(\bar{R}_a = 0,0038) + (\bar{R}_b = 0,0024) + (\bar{R}_c = 0,0016) : [\text{počet operátorů} = 3] = 0,0026$											$\bar{\bar{R}} = 0,0026$
$\bar{X}_{DIFF} = [\text{Max } \bar{X} = 50,5357] - [\text{Min } \bar{X} = 50,5332] = 0,0025$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,0025$
$UCL_R = [\bar{\bar{R}} = 0,0026] \times [D_4 = 2,58] = 0,006708$											
<p>$D_4 = 2,58$ pro 3 měření. UCL_R představuje mez pro jednotlivá R. Do kroužku se dají hodnoty mimo tuto mez. Identifikuje se příčina a uskuteční se náprava. Odečty se opakují se stejným operátorem na téže jednotce, která byla původně použita, nebo se hodnoty vyřadí a ze zbývajících pozorování se opakovaně vypočítá průměr a přepočítá se $\bar{\bar{R}}$ a mezní hodnota.</p>											

Tab. 16 Vyhodnocení způsobilosti výškoměru pomocí studie GRR

V naměřených hodnotách se vyskytly i hodnoty mimo horní regulační mez, které byly vyřazeny, a ze zbývajících hodnot se opakovaně přepočítal průměr i mezní hodnota (viz Tab. 16).



5. Vyhodnocení způsobilosti měřidel

5.1 Vyhodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru

5.1.1 Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}

- Výběrová směrodatná odchylka s_g

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{30-1} \sum_{i=1}^{30} (x_i - 46,9753)^2} = 0,00059 \quad (15)$$

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} x_i = 46,9753 \quad (16)$$

- c_g – index způsobilosti

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot 0,025}{6 \cdot 0,00059596} = 1,3983 \quad (14)$$

- c_{gk} – kritický index způsobilosti

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,025 - |46,9753 - 46,975|}{3 \cdot 0,00059596} = 1,2305 \quad (18)$$

Dle kritérií uvedených v tabulce 3 pro rozhodnutí o způsobilosti měřidla pomocí indexů c_g a c_{gk} , bylo ověřeno, že digitální dutinoměr je způsobilý.

5.1.2 Vyhodnocení pomocí studie GRR

Protokol o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla			
Název dílu: řemenice		Číslo měřidla: IM135	Datum: 7.3.2014
Název měřidla: digi. dutinoměr		Obor měřidla: délka	Provedl: Petr Venc1
Data z formuláře:	$\bar{R} = 0,00133$	$\bar{X}_{DIFF} = 0,0003$	$R_p = 0,008$
Analýza měřicí jednotky			% celkové variability (TV)
<i>Opakovatelnost - Variabilita zařízení (EV)</i>			
Měření	K1	$EV = \bar{R} \times K1 = 7,8773 \times 10^{-4}$	$\%EV = 100 \cdot \left[\frac{EV}{TV} \right]$ = 29,862%
2	0,8862		
3	0,5908		
<i>Reprodukovatelnost - Opakovatelnost operátora (AV)</i>			
Operátoři	K2	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K2)^2 - (EV^2 \div [n \cdot r])}$ = $6,27925 \times 10^{-5}$	$\%AV = 100 \cdot \left[\frac{AV}{TV} \right]$ = 2,38%
2	0,7071		
3	0,5231		
		n = díly = 10	r = měření = 3
<i>Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)</i>			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = 7,9023 \times 10^{-4}$			$\%GRR = 100 \cdot \left[\frac{GRR}{TV} \right]$ = 29,956%
<i>Variabilita dílu</i>		Díly	K3
$PV = R_p \times K3 = 0,008 \cdot 0,3146 = 2,5168 \times 10^{-3}$		2	0,7071
		3	0,5231
		4	0,4467
		5	0,403
		6	0,3742
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = 2,6379 \times 10^{-3}$		7	0,3534
		8	0,3375
		9	0,3249
		10	0,3146
			$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR} \right)$ = 4,491

Tab. 17 Vyhodnocení způsobilosti digitálního dutinoměru pomocí studie GRR

Popis zjištění

Procento opakovatelnosti a reprodukovatelnosti spadá do rozsahu 10 - 30%, což vyjadřuje přijatelný výsledek. Počet tříd se pohybuje lehce pod hranicí 5, což souvisí s hranicí 10 – 30% na přijatelnosti výsledku.

Závěr

Digitální dutinoměr lze považovat za způsobilý podle obou použitých analýz.

5.2 Vyhodnocení způsobilosti analogového dutinoměru

5.2.1 Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}

- Výběrová směrodatná odchylka s_g

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{30-1} \sum_{i=1}^{30} (x_i - 61,99153)^2} = 0,00182 \quad (15)$$

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} x_i = 61,9915 \quad (16)$$

- c_g – index způsobilosti

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot 0,03}{6 \cdot 0,001851994} = 0,5399 \quad (14)$$

- c_{gk} – kritický index způsobilosti

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,03 - |61,99153 - 62|}{3 \cdot 0,001815994} = -0,9839 \quad (18)$$

V případě, že kritický index způsobilosti vychází záporný, znamená to, že průměrná hodnota ukazatele je mimo toleranční interval a v tomto případě hodnota $c_{gk} = 0$. Dle kritérií uvedených v tabulce 3 pro rozhodnutí o způsobilosti měřidla pomocí indexů c_g a c_{gk} vychází, že analogový dutinoměr není způsobilý.

5.2.2 Vyhodnocení pomocí studie GRR

Protokol o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla			
Název dílu: těleso převodovky		Číslo měřidla: IM 124	Datum: 21.3. 2014
Název měřidla: Analog. dutinoměr		Obor měřidla: délka	Provedl: Petr Vencel
Data z formuláře:	$\bar{R} = 0,00096$ $\bar{X}_{DIFF} = 0,004$ $R_p = 0,0026$		
Analýza měřící jednotky			% celkové variability (TV)
<i>Opakovatelnost - Variabilita zařízení (EV)</i>			
Měření	K1	$EV = \bar{R} \times K1 = 5,7111 \times 10^{-4}$	$\%EV = 100 \cdot \left[\frac{EV}{TV} \right]$ $= 24,662\%$
2	0,8862		
3	0,5908		
<i>Reprodukovatelnost - Opakovatelnost operátora (AV)</i>			
Operátoři	K2	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K2)^2 - (EV^2 \div [n \cdot r])}$ $= 2,0898 \times 10^{-3}$	$\%AV = 100 \cdot \left[\frac{AV}{TV} \right]$ $= 90,245\%$
2	0,7071		
3	0,5231		
		n = díly = 10	r = měření = 3
<i>Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)</i>			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = 2,1664 \times 10^{-3}$			$\%GRR = 100 \cdot \left[\frac{GRR}{TV} \right]$ $= 93,554\%$
<i>Variabilita dílu</i>		Díly	K3
$PV = R_p \times K3 = 8,1796 \times 10^{-4}$		2	0,7071
		3	0,5231
		4	0,4467
		5	0,403
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = 2,3157 \times 10^{-3}$		$\%PV = 100 \cdot \left[\frac{PV}{TV} \right] =$ $= 35,322\%$	
		6	0,3742
		7	0,3534
		8	0,3375
$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR} \right)$ $= 0,532$		9	0,3249
		10	0,3146

Tab. 18 Vyhodnocení způsobilosti analogového dutinoměru pomocí studie GRR

Popis zjištění

Procento opakovatelnosti a reprodukovatelnosti je výrazně vyšší než 30%, což vyjadřuje jasně nepřijatelný výsledek. Výsledek GRR analýzy také potvrzuje neuspokojivý výsledek u metody pomocí indexů způsobilosti.

Možné příčiny

Počet kategorií vyjadřuje malou variabilitu procesu v porovnání se specifikacemi a pouze indikuje, zda proces produkuje shodné nebo neshodné díly. Dalším zdrojem nepřesné analýzy může být nevhodný postup měření.

Návrh opatření

Následujícím krokem by mělo být monitorování a ověření stability procesu. Dále je nutné ověřit předpoklad normálního rozdělení.

Závěr

Analogový dutinoměr je dle obou analýz nezpůsobilý, a proto je nutné se jím i nadále zabývat.

5.3 Vyhodnocení způsobilosti pasametru

5.3.1 Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}

- Výběrová směrodatná odchylka s_g

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{30-1} \sum_{i=1}^{30} (x_i - 24,99393)^2} = 0,00002 \quad (15)$$

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} x_i = 24,9939 \quad (16)$$

- c_g – index způsobilosti

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot 0,013}{6 \cdot 0,00002386} = 0,4776 \quad (14)$$

- c_{gk} – kritický index způsobilosti

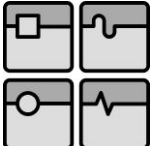
$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,013 - |24,99393 - 24,9935|}{3 \cdot 0,001815994} = 0,3184 \quad (18)$$

Dle kritérií uvedených v tabulce 3 vychází měřidlo dle metody pomocí indexů c_g a c_{gk} jako nezpůsobilé.

5.3.2 Vyhodnocení pomocí studie GRR

Protokol o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla			
Název dílu: hřídel		Číslo měřidla: PA41	Datum: 7.3.2014
Název měřidla: pasametř		Obor měřidla: délka	Provedl: Petr Vencľ
Data z formuláře:	$\bar{R} = 0,0007 \quad \bar{X}_{DIFF} = 0,001 \quad R_p = 0,0067$		
Analýza měřicí jednotky		% celkové variability (TV)	
<i>Opakovatelnost - Variabilita zařízení (EV)</i>			
Měření	K1	$EV = \bar{R} \times K1 = 4,1356 \times 10^{-4}$	$\%EV = 100 \cdot \left[\frac{EV}{TV} \right]$ = 18,717%
2	0,8862		
3	0,5908		
<i>Reprodukovatelnost - Opakovatelnost operátora (AV)</i>			
Operátori	K2	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K2)^2 - (EV^2 \div [n \cdot r])}$ = 5,1762x10 ⁻⁴	$\%AV = 100 \cdot \left[\frac{AV}{TV} \right]$ = 23,427%
2	0,7071		
3	0,5231		
		n = díly = 10	r = měření = 3
<i>Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)</i>			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = 6,6254 \times 10^{-4}$		$\%GRR = 100 \cdot \left[\frac{GRR}{TV} \right]$ = 29,986%	
<i>Variabilita dílu</i>		Díly	K3
$PV = R_p \times K3 = 2,10782 \times 10^{-3}$		2	0,7071
		3	0,5231
		4	0,4467
		5	0,403
		6	0,3742
$\%PV = 100 \cdot \left[\frac{PV}{TV} \right]$ = 95,398 %			
<i>Celková variabilita (TV)</i>		7	0,3534
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = 2,2095 \times 10^{-3}$		8	0,3375
		9	0,3249
		10	0,3146
		$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR} \right)$ = 4,486	

Tab. 19 Vyhodnocení způsobilosti pasametřu pomocí studie GRR

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Popis zjištění

Procento opakovatelnosti a reprodukovatelnosti spadá do rozsahu 10 - 30%, což vyjadřuje přijatelný výsledek. Systém měření je vyhovující podle analýzy GRR, ale nevyhovující podle metody pomocí koeficientů c_g a c_{gk} .

Možné příčiny

Nevyhovující výsledky indexů způsobilosti mohou být způsobeny rozdílem dat v čitateli – tedy příliš úzkým tolerančním intervalem. Dalším zdrojem nepřesné analýzy může být nevhodný postup měření stejně jako u předchozího měřidla.

Návrh opatření

Jedno z řešení by mohlo být rozšířit toleranční interval, pokud je to možné. Druhá možnost je zpřesnit systém měření, aby se dle metody GRR dostal pod 10%.

Závěr

Neuspokojivý výsledek metody pomocí indexů způsobilosti byl ovlivněn příliš úzkým tolerančním intervalem. Počet tříd se pohybuje lehce pod hranicí 5, což souvisí s hranicí 10 – 30% na přijatelnosti výsledku. Po dohodě bylo rozhodnuto, že v tomto případě bude větší důležitost kladena na výsledek metody GRR, a proto budeme hodnotit pasametr jako způsobilý.

5.4. Vyhodnocení způsobilosti výškoměru

5.4.1. Vyhodnocení pomocí koeficientů c_g a c_{gk}

Vyhodnocení měření od desky k ose

- Výběrová směrodatná odchylka s_g

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{30-1} \sum_{i=1}^{30} (x_i - 49,97653)^2} = 0,00082 \quad (15)$$

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} x_i = 49,9765 \quad (16)$$

- c_g – index způsobilosti

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot 0,03}{6 \cdot 0,0008193} = 1,2205 \quad (14)$$

- c_{gk} – kritický index způsobilosti

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,03 - |49,97653 - 49,985|}{3 \cdot 0,0008193} = -2,2241 \quad (18)$$

Dle kritérií uvedených v tabulce 3 vychází index způsobilosti c_g jako způsobilý. Kritický index způsobilosti c_{gk} ale vychází záporný. To znamená, že průměrná hodnota ukazatele je mimo toleranční interval a tudíž tato hodnota odpovídá $c_{gk} = 0$. Příčinou je, že proces není centralizovaný. Z naměřených hodnot lze vypočítat přílišný úběr materiálu vzhledem ke středu tolerance.

Vyhodnocení měření od desky k ploše

- Výběrová směrodatná odchylka s_g

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{30-1} \sum_{i=1}^{30} (x_i - 70,53233)^2} = 0,00238 \quad (15)$$

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} x_i = 70,53233 \quad (16)$$

- c_g – index způsobilosti

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot 0,4}{6 \cdot 0,0023828} = 5,5954 \quad (14)$$

- c_{gk} – kritický index způsobilosti

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,4 - |70,53233 - 70,5|}{3 \cdot 0,0023828} = 1,0724 \quad (18)$$

Dle kritérií uvedených v tabulce 3 vychází index způsobilosti c_g jako způsobilý. Kritický index způsobilosti c_{gk} jako podmíněně způsobilý. V tomto případě je hodnota indexu způsobilosti výrazně vyšší než hodnoty, které slouží k posuzování způsobilosti. Toleranční interval je totiž příliš široký vůči systému měření. Systém měření je tedy příliš kvalitní k ověřování dané tolerance. Z výsledku kritického indexu způsobilosti lze též vyčíst, že proces není centralizovaný – v tomto případě se jedná o menší úběr materiálu vzhledem ke středu tolerance.

5.4.2 Vyhodnocení pomocí studie GRR

Vyhodnocení měření od desky k ose

Protokol o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla			
Název dílu: 3G kostka		Číslo měřidla: PV31	Datum: 4.4. 2014
Název měřidla: výškoměr		Obor měřidla: délka	Provedl: Petr Vencel
Data z formuláře:	$\bar{R} = 0,0009$ $\bar{X}_{DIFF} = 0,0013$ $R_p = 0,0093$		
Analýza měřící jednotky			% celkové variability (TV)
<i>Opakovatelnost - Variabilita zařízení (EV)</i>			
Měření	K1	$EV = \bar{R} \times K1 = 5,3172 \times 10^{-4}$	$\%EV = 100 \cdot \left[\frac{EV}{TV} \right]$ $= 17,44\%$
2	0,8862		
3	0,5908		
<i>Reprodukovatelnost - Opakovatelnost operátora (AV)</i>			
Operátoři	K2	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K2)^2 - (EV^2 \div [n \cdot r])}$ $= 6,7306 \times 10^{-4}$	$\%AV = 100 \cdot \left[\frac{AV}{TV} \right]$ $= 22,076\%$
2	0,7071		
3	0,5231		
		n = díly = 10	r = měření = 3
<i>Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)</i>			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = 8,5775 \times 10^{-4}$			$\%GRR = 100 \cdot \left[\frac{GRR}{TV} \right]$ $= 28,133\%$
<i>Variabilita dílu</i>		Díly	K3
$PV = R_p \times K3 = 2,92578 \times 10^{-3}$		2	0,7071
		3	0,5231
		4	0,4467
		5	0,403
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = 3,0489 \times 10^{-3}$		6	0,3742
		7	0,3534
		8	0,3375
		9	0,3249
		10	0,3146
			$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR} \right)$ $= 4,809$

Tab. 20 Vyhodnocení způsobilosti výškoměru pomocí studie GRR

Popis zjištění

Procento opakovatelnosti a reprodukovatelnosti spadá do rozsahu 10 - 30%, což vyjadřuje přijatelný výsledek.

Závěr

Celkově lze proces měření výškoměrem od desky k ose považovat za způsobilý.

Měření od desky k ploše dílu

Protokol o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla			
Název dílu: 3G kostka		Číslo měřidla: PV31	Datum: 4.4. 2014
Název měřidla: výškoměr		Obor měřidla: délka	Provedl: Petr VencI
Data z formuláře:	$\bar{R} = 0,0026$ $\bar{X}_{DIFF} = 0,0025$ $R_p = 0,0119$		
Analýza měřicí jednotky			% celkové variability (TV)
<i>Opakovatelnost - Variabilita zařízení (EV)</i>			
Měření	K1	$EV = \bar{R} \times K1 = 1,5360 \times 10^{-3}$	$\%EV = 100 \cdot \left[\frac{EV}{TV} \right]$ $= 36,06 \%$
2	0,8862		
3	0,5908		
<i>Reprodukovatelnost - Opakovatelnost operátora (AV)</i>			
Operátoři	K2	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K2)^2 - (EV^2 \div [n \cdot r])}$ $= 1,3308 \times 10^{-3}$	$\%AV = 100 \cdot \left[\frac{AV}{TV} \right]$ $= 31,241\%$
2	0,7071		
3	0,5231		
		n = díly = 10	r = měření = 3
<i>Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)</i>			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = 2,0324 \times 10^{-3}$			$\%GRR = 100 \cdot \left[\frac{GRR}{TV} \right]$ $= 47,711 \%$
<i>Variabilita dílu</i>		Díly	K3
$PV = R_p \times K3 = 3,7437 \times 10^{-3}$		2	0,7071
		3	0,5231
		4	0,4467
		5	0,403
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = 4,2598 \times 10^{-3}$		6	0,3742
		7	0,3534
		8	0,3375
		9	0,3249
		10	0,3146
			$ndc = 1,41 \cdot \left(\frac{PV}{GRR} \right)$ $= 2,597$

Tab. 21 Vyhodnocení způsobilosti výškoměru pomocí studie GRR

Popis zjištění

Procento opakovatelnosti a reprodukovatelnosti přesáhlo hranici 30%, což vyjadřuje nepříznivý výsledek, s nímž souvisí počet kategorií v rozsahu 2 – 4.

Možné příčiny

Důvodem neuspokojivých výsledků analýzy může být nevhodný postup měření.

Návrh opatření

Následujícím krokem by mělo být monitorování a ověření stability procesu. Dále je nutné ověřit předpoklad normálního rozdělení.

Závěr

I když analýza indexy způsobilosti zobrazuje uspokojivé výsledky, dle analýzy GRR proces měření od desky k ploše nezpůsobilý. Proto by mělo později následovat další důkladné prověření.

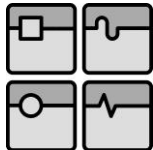
6. Závěr

Cílem této bakalářské práce, určené společnosti Bühler CZ s.r.o., je provést hodnocení způsobilosti měřidel. Zaměřili jsme se na nejčastěji používaná měřidla, u nichž byl následně popsán základní princip měření. Po dohodě s vedením společnosti bylo rozhodnuto použít celkem dvě metody hodnocení způsobilosti měřidel. První z nich byla metoda z pohledu přesnosti, pomocí indexů způsobilosti (SPC Ford). Druhá, metoda GRR, je metoda založená na průměru a rozpětí. Pro lepší porozumění problematice byl proveden rozbor základních definicí MSA. Při přípravě studie byl vytvořen tříčlenný tým, který byl pověřen výběrem měřených dílů a sběrem dat. Následné vyhodnocení obou metod přineslo výsledky, jež jsou shrnuty v tabulce 22.

Měřidlo	Kontrolovaný rozměr	Index způsobilosti (cg)	Kritický index způsobilosti (cgk)	Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)	Závěr
Digitální dutinoměr	Průměr	1,3983	1,2305	29,956%	✓
Analogový dutinoměr	Průměr	0,5399	0,0000	93,554%	✗
Pasametr	Průměr	0,4776	0,3184	29,986%	✓
Výškoměr	Od desky k ose	1,2205	0,0000	28,133%	✓
	Od desky k ploše	5,5954	1,0724	47,711%	✗

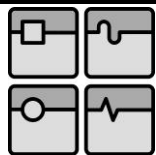
Tab. 22 Výsledky hodnocení způsobilosti měřidel

Po vyhodnocení byl ve dvou případech zjištěn nevyhovující výsledek. Především v případě analogového dutinoměru bude následovat monitorování procesu, ověření stability procesu a ověření předpokladu normálního rozdělení. Ve třech případech bylo dosaženo příznivého výsledku, čímž bylo ověřeno, že proces měření u těchto měřidel je způsobilý.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

7. Seznam použité literatury

- [1] PETRAŠOVÁ, Ivana. *Analýza systémů měření (MSA)*. 4. vyd. Praha 1: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [2] *Způsobilost kontrolních procesů: použitelnost kontrolních prostředků, vhodnost kontrolních procesů, přihlídnutí k nejistotám měření: 1. vyd. 2003*. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2004, 112 s. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 80-020-1656-4.
- [3] ČSN ISO 5725-2:1997 *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizovaní metody měření*. ČSNI. Praha, 1997.
- [4] ČSN EN ISO 10012:2003 *Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení*. ČSNI. Praha, 2003
- [5] ČSN ISO 8258. *Shewhartovy regulační diagramy*. Brno: s. p. Print, provoz 51, 1993.
- [6] ADAMEC, M. *Kvalita a konkurenceschopnost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Alois Fiala, CSc.
- [7] NAVRÁTIL, T. *Optimalizace kontrolních procesů ve výrobě satorů a elektromotorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.
- [8] MIKŠÁNEK, Štěpán. *Způsobilost kontrolních procesů: Qualification check suit*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 1 elektronický optický disk [CD-ROM / DVD]. Diplomová práce. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pernikář, Csc.
- [9] MAŘÍK, Josef. BÜHLER CZ S.R.O. *Databáze řízené dokumentace*. Žamberk, 1998-2012.



8. Seznam použitých zkratk a symbolů

\bar{x}	výběrový aritmetický průměr
n	počet měření za podmínek opakovatelnosti
x_i	výsledek i-tého měření
x_{\max}	největší naměřená hodnota
x_{\min}	nejmenší naměřená hodnota
R	výběrové rozpětí
R_i	výsledné rozpětí i-tého měření
\bar{R}	průměrné rozpětí
\bar{R}_i	průměrné rozpětí i-tého operátora
$\bar{\bar{R}}$	průměr všech rozpětí
R_P	rozdíl největšího a nejmenšího průměru dílů
UCL_R	horní regulační mez
LCL_R	dolní regulační mez
D_4	hodnota, která je rovna 3,27 pro 2 měření a 2,58 pro 3 měření
\bar{X}_{DIFF}	rozdíl maximálního a minimálního průměru měření
EV	opakovatelnost – variabilita zařízení
AV	reprodukovatelnost – proměnlivost operátora
GRR	opakovatelnost a reprodukovatelnost
PV	variabilita dílu
TV	celková variabilita
ndc	počet tříd
$K1$	hodnota závislá na počtu měření, která je rovna 0,8862 pro 2 měření a 0,5908 pro 3 měření
$K2$	hodnota závislá na počtu operátorů, která je rovna 0,7071 pro 2 operátory a 0,5231 pro 3 operátory
$K3$	hodnota závislá na počtu měřených dílů, která je rovna 0,3146 pro 10 dílů