

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ

A METROLOGIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh průměrného přípravku pro kontrolu rámu rypadla na CMM
Design of subsidiary jig for the excavator frame inspection on CMM

AUTOR: Bc. Lucia Škutová

STUDIJNÍ PROGRAM: Výrobní a materiálové inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Petr Mikeš, Ph.D.

PRAHA 2020

©



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škutová** Jméno: **Lucia** Osobní číslo: **453602**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh průměrného přípravku pro kontrolu rámu rypadla na CMM

Název diplomové práce anglicky:

Design of subsidiary jig for the excavator frame inspection on CMM

Pokyny pro vypracování:

- 1) Nejistota měření a zdroje variability při měření na CMM.
- 2) Možnosti hodnocení vlivu průměrného přípravku na celkovou nejistotu měření.
- 3) Návrh průměrného přípravku.
- 4) Ověření způsobilosti přípravku pro sériové měření.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Mikeš, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____



Ing. Petr Mikeš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

23.06.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studentky

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu vypracovala samostatne, a to výhradne s použitím prameňov a literatúry uvedených v zozname citovanej literatúry.

V Praze dne:.....

Podpis:

Anotácia

Diplomová práca sa zaoberá návrhom riešenia kontroly ložiskovej plochy rámu rýpadla na súradnicovom meracom stroji. Práca predstavuje riešenie danej problematiky merania formou prímerného prípravku. V praktickej časti bol navrhnutý dizajn prímerného prípravku, ktorý bol portotypizovaný. Následne bola vyhodnotená spôsobilosť tohoto prípravku v procese merania podľa metodík MSA, VDA 5 a ISO 22514-7 prostredníctvom softwaru Yarovyn.

Táto práca bola vypracovaná v spolupráci so spoločnosťou Bobcat Doosan.

Kľúčové slová

Súradnicové meracie stroje, neistota merania, MSA, GR&R, VDA 5, prímerný prípravok, spôsobilosť meracieho systému, spôsobilosť procesu merania.

Annotation

The diploma thesis discusses possibilities for inspection the bearing surface of an excavator frame on a coordinate measuring machine. The work represents a solution to the measurement problem in the form of subsidiary jig. In the experimental part of diploma thesis, the subsidiary jig was designed and portotyped. Subsequently the capability of the subsidiary jig in the measurement process was evaluted according to MSA, VDA 5 and ISO 22514-7 methodologies in Yarovyn software.

This work was developed in collaboration with Bobcat Doosan company.

Keywords

Coordinate measuring machines, measurement uncertainty, MSA, GR&R, VDA 5, subsidiary jig, capability of measuring system, capability of measurement process.

Podakovanie

Touto cestou by som rada poďakovala vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Petrovi Mikešovi Ph.D., za odbornú pomoc, usmernenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní záverečnej práce.

Ďalej by som chcela poďakovať spoločnosti Bobcat Doosan a hlavne celému NPD Quality tímu, za ochotu, pomoc, ústretovosť a umožnenie realizácie experimentálnej časti tejto práce.

V neposlednom rade, veľká vďaka patrí pánovi Ing. Lukášovi Novotnému za jeho odborné pripomienky, cenné rady z praxe, trpezlivosť a čas, ktorý obetavo venoval konzultáciám k tejto diplomovej práci.

Obsah

Úvod	9
1 Súradnicové meracie stroje (CMM).....	10
1.1 Dotykové CMM	11
2 Proces merania.....	13
2.1 Chyba merania	14
3 Variabilita systému merania na kartézskych CMM	14
3.1 Merací prístroj.....	16
3.2 Okolné prostredie	18
3.3 Meraná súčiastka	19
3.4 Stratégia merania.....	19
3.5 Obsluha CMM	21
3.6 Kontrolný prípravok	21
4 Analýza systému merania (MSA).....	22
4.1 Opakovateľnosť a reprodukovateľnosť meracieho systému (Gage R&R).....	26
4.1.1 Metóda založená na rozpätí RM (Range method)	26
4.1.2 Metóda priemeru a rozpätia ARM (Average and range method).....	27
4.1.3 Metóda ANOVA.....	30
4.2 Vyhodnotenie ukazateľov R&R	30
5 VDA5.....	32
5.1 Neistota merania.....	32
5.1.1 Kombinovaná štandardná neistota meracieho systému a procesu merania	34
5.1.2 Rozšírená neistota merania.....	35
5.2 Výkonnostné pomery meracieho systému a procesu merania	36
5.3 Minimálna možná tolerancia pre meracie systémy a procesy merania	37
6 Norma ISO 22514-7	39

6.1	Ukazatele spôsobilosti	39
7	Porovnanie MSA, VDA 5 a ISO 22514-7.....	42
8	Predstavenie spoločnosti Bobcat Doosan EMEA, s.r.o.....	43
9	Problematika merania kontrolovanej súčiastky	44
9.1	Kontrolovaná súčiastka	44
9.2	Požiadavky na kontrolu	45
9.3	Aktuálna kontrola.....	46
9.4	Meracie zariadenie.....	47
10	Návrh konštrukčného riešenia kontrolného prípravku	48
10.1	Varianta 1.....	48
10.1.1	Varianta 1- Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku.....	50
10.1.2	Zhodnotenie varianty 1	51
10.2	Varianta 2.....	51
10.2.1	Varianta 2 -Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku.....	53
10.2.2	Zhodnotenie varianty 2	54
10.3	Varianta 3.....	55
10.3.1	Varianta 3 -Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku.....	58
10.3.2	Zhodnotenie varianty 3	59
10.4	Varianta 4.....	61
10.4.1	Varianta 4 -Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku.....	64
10.4.2	Zhodnotenie varianty 4	64
10.4.3	Modelová situácia – pákové vychýlenie prímerného prípravku	65
11	Riešenie použitím iného zariadenia	66
11.1	Varianta 5.....	66
11.1.1	Zhodnotenie varinaty 5	68
11.2	Varianta 6.....	69

11.2.1	Zhodnotenie varianty 6	70
12	Návrh experimentu na overenie spôsobilosti kontrolného prípravku pre sériové meranie....	71
12.1	Kontrola písmerných prípravkov	71
12.1.1	Vyhodnotenie merania.....	72
12.2	Overenie spôsobilosti písmerných prípravkov a procesu merania	73
12.3	CMM program na overenie spôsobilosti systému a procesu merania	74
12.4	Postup overenia spôsobilosti meracieho systému.....	76
12.4.1	Vyhodnotenie spôsobilosti meracieho systému	78
12.5	Postup overenia spôsobilosti procesu merania	80
12.5.1	Vyhodnotenie spôsobilosti procesu merania.....	80
12.6	Vyhodnotenie experimentu	82
13	Záver	83
	Zoznam obrázkov	84
	Zoznam tabuliek.....	86
	Zoznam príloh.....	86
	Zoznam skratiek a symbolov	87
	Použitá literatúra.....	89

Úvod

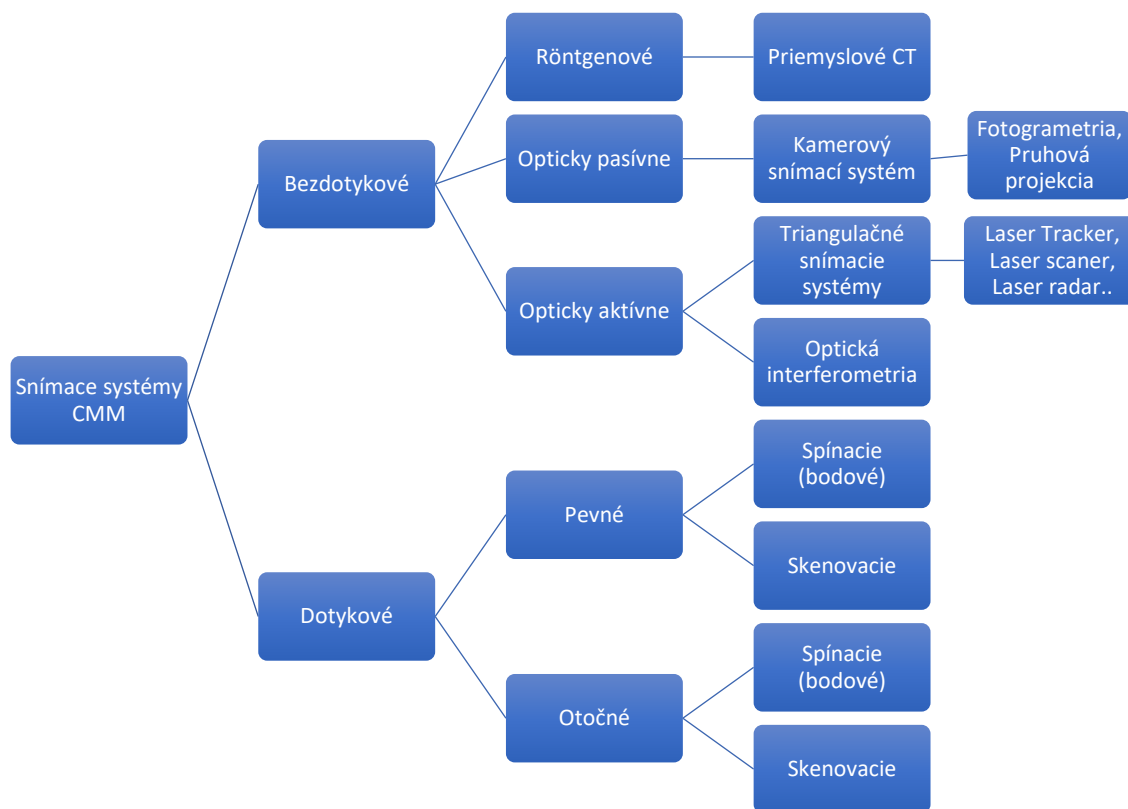
Zaistenie kvality produkcie je prvoradé pre dosahovanie konkurencieschopnosti podniku. Každý podnik si tak uvedomuje dôležitosť vyrábania čo najpresnejších a najkvalitnejších výrobkov. Úlohou kontroly je včasné a hospodárne zistenie odchýlok, ktoré vznikajú v riadenom procese, a ktoré charakterizujú rozdiel medzi plánom a jeho realizáciou, ich analýzu a prijatie potrebných opatrení. V modernom priemysle sa na zaistovanie kvality a teda kontrolu rozmerových a geometrických špecifikácií výrobku využívajú okrem iných metód aj súradnicové meracie stroje (CMM z anglického Coordinate Measuring Machine). Tak je tomu aj v spoločnosti Bobcat Doosan, v spolupráci s ktorou je táto práca vypracovaná. Cieľom práce je navrhnúť riešenie merania ložiskovej plochy rámu rýpadla na súradnicovom meracom stroji. Táto plocha je v aktuálnych podmienkach merania pre meracie zariadenie neprístupná. Z toho dôvodu je potreba nájsť vhodné riešenie, umožňujúce kontrolu tejto plochy.

Teoretická časť diplomovej práce sa zaoberá chybami a variabilitou merania na CMM, neistotami merania a možnosťami hodnotenia meracieho systému a procesu merania podľa metódik MSA, VDA 5 a ISO 22514-7. V experimentálnej časti boli navrhnuté možné riešenia problematiky merania formou prímerných prípravkov. Po prototypizovaní varianty vybratej spoločnosťou Bobcat Doosan nasledovalo overenie spôsobilosti prímerných prípravkov prostredníctvom softwaru Yarovyn. Tento software zlučuje všetky 3 metodiky rozoberané v teoretickej časti a umožňuje tak spoľahlivé a adekvátne vyhodnotenie experimentu.

1 Súradnicové meracie stroje (CMM)

Príchod súradnicových meracích strojov zohral veľkú úlohu vo všetkých priemyselných odvetviach – od leteckého priemyslu, cez automobilový, až po farmaceutický priemysel, kde sa stali neoddeliteľnou súčasťou výrobných procesov. CMM patria k najrýchlejšie sa rozvíjajúcim oblastiam strojárkej meracej techniky. Umožňujú rýchlu a zároveň presnú kontrolu zložitých obrobkov. Prispievajú tak k zabezpečeniu kvality výroby a tým aj k zvyšovaniu konkurencieschopnosti vyrobených produktov. Vývoj CMM priamo súvisí so spresňovaním a zrýchľovaním výrobných procesov, s ktorými musí meracia technika držať krok. Napríklad priemerne každých 10-15 rokov sa presnosť výroby zvyšuje o jeden stupeň (IT), tiež sa zvyšuje rezná rýchlosť pri obrábaní a podobne.

Snímanie bodov na súradnicovom meracom stroji môže prebiehať v kartézskom súradnom systéme (súradnicové meracie centrá), sférickom súradnom systéme (napr. meracie ramená, laser scanner) alebo cylindrickom súradnom systéme (napr. kruhomer). Ďalej možno súradnicové meracie stroje rozdeliť podľa spôsobu snímania bodov na dotykové a bezdotykové snímanie. Rozdelenie CMM podľa senzorky snímania zobrazuje prehľad na obr.1 . [1]



Obr. 1 Rozdelenie CMM podľa snímacieho systému [1]

1.1 Dotykové CMM

Kontaktné snímacie systémy sú založené na fyzickom dotyku medzi snímacou sondou a meraným objektom. Snímacím dotykom, teda interakciou medzi snímacím systémom a meraným objektom býva najčastejšie guľička. Táto guľička musí vykazovať vysokú tuhosť a odolnosť voči opotrebeniu. Najčastejším materiálom dotykov býva rubín, nitrid kremíku alebo oxid zirkončitý.

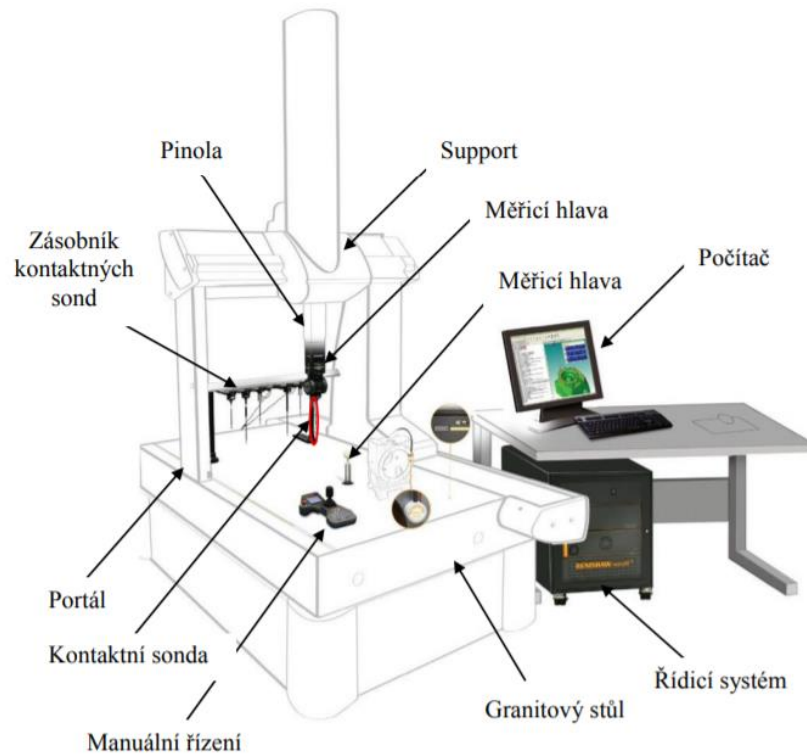
Kontaktné súradnicové meracie stroje možno podľa usporiadania rozdeliť na kartézske a nekartézske súradnicové stroje.

Nekartézske kontaktné CMM – Meracie ramená sú dnes veľmi využívané CMM z dôvodu mobility a jednoduchej obsluhy zariadenia. Konštrukcia ramena sa skladá z rotačných kĺbov, ktoré obsahujú uhlový odmerovací enkodér. Za posledným kĺbom je držiak snímcieho systému s rukoväťou. Na väčšinu typov ramien možno pripevniť ako dotykovú sondu tak laser scanner, tzn. že v rámci jedného merania je možné merať dotykovo aj bezdotykovo.



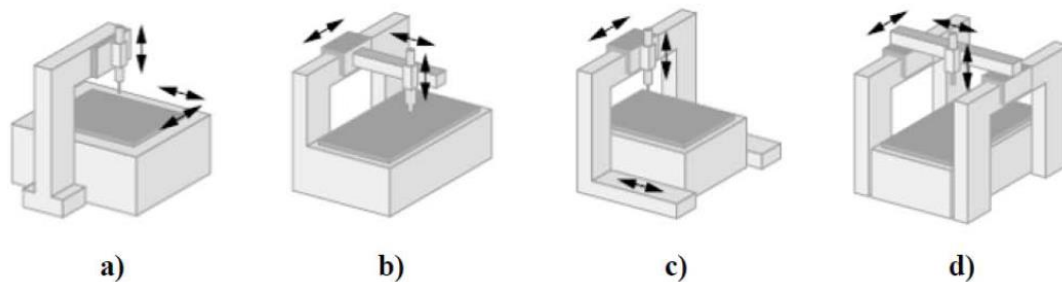
Obr. 2 Absolute Arm 6-osé rameno a QuantumS FaroArm [2] [3]

Kartézske CMM sú súradnicové meracie stroje, ktoré oproti vyššie uvedeným CMM majú o niečo robustnejšiu konštrukciu no za to dosahujú oveľa vyššie presnosti merania. Každý CMM sa skladá z čiastkových subsystémov (obr. 3), ktoré sú navzájom prepojené: pohonný systém (mechanická časť), odmeriavací systém, snímací systém vrátane systému na výmenu snímačov, riadiaci systém, počítač, software. [4]



Obr. 3 Popis základních částí kartézského súradnicového meracieho stroja [4]

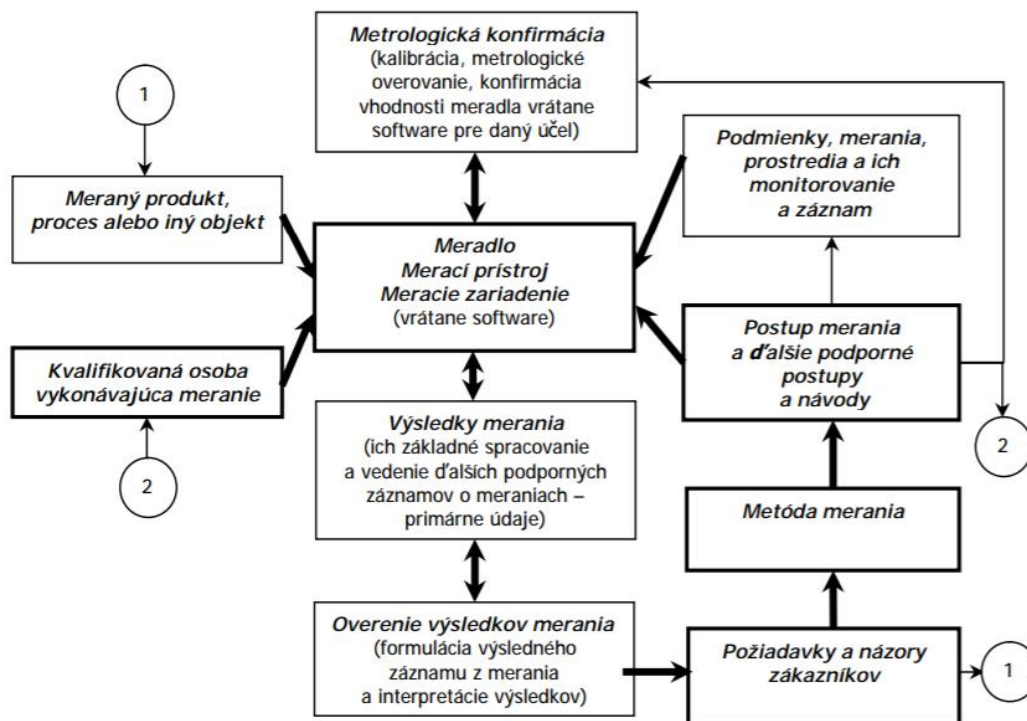
CMM môžu byť jednoosé, dvojosé, trojosé alebo multisenzorové. Nasledujúce kapitoly sa budú vzťahovať ku kontaktnými súradnicovým strojom, nakoľko práve v experimentálnej časti bude prebiehať meranie na súradnicovom meracom stroji DEA Alpha portálového typu. Prehľad konštrukcie CMM je na obr. 4.



Obr. 4 Typy súradnicových meracích strojov. a.) Stojanový typ, b.) Výložníkový typ, c.) Portálový typ, d.) Mostový typ [4]

2 Proces merania

Proces merania predstavuje súbor operácií, ktoré majú za cieľ určenie hodnoty meranej veličiny. Meranie sa preto začína príslušnou špecifikáciou meracej metódy a postupu merania. Metóda merania je logická postupnosť operácií, opísaná všeobecným spôsobom, ktorá sa využíva na vykonanie požadovaného merania. Postup merania predstavuje súbor operácií, ktoré sú opísané všeobecným spôsobom, pričom sa používa na vykonanie konkrétneho merania podľa danej metódy. [5] [6]



Obr. 5 Schématické znázornenie procesu merania [7]

V praxi nie sú žiadne merania, žiadne meracie metódy ani žiadne prístroje absolutne presné. V reálnom procese merania sa vyskytujú rôzne negatívne vplyvy, ktoré sa vo výsledku merania prejavujú odchýlkou medzi nameranou a skutočnou hodnotou sledovanej veličiny. Výsledok merania sa tak vždy pohybuje v určitom „tolerančnom poli“ okolo skutočnej hodnoty. Rozdiel medzi nameranou a skutočnou hodnotou meranej veličiny sa nazýva absolútna chyba merania. Táto chyba sa skladá z dvoch zložiek – systematickej a náhodnej. [8] [9] [10]

2.1 Chyba merania

Chyba merania je súhrnná hodnota, ktorá zahŕňa celý rad čiastkových chýb, z ktorých sa niektoré vyskytujú systematicky a iné náhodne.

Systematické chyby sú chyby, ktorých hodnota sa pri rovnakých podmienkach nemení, je konštantná čo do veľkosti aj znamienka, alebo ktorá sa pri zmene podmienok mení podľa určitej závislosti. Systematické chyby pri meraní na CMM môžu byť spôsobené použitím nevhodnej meracej metódy, nepresným meradlom či meracím prístrojom, nevhodne upevneným, či poškodeným snímačom alebo nevhodne zvoleným, opotrebeným alebo znečisteným meracím dotyk, prípadne obsluhou prístroja. Tieto chyby pravidelným spôsobom „systematicky“ ovplyvňujú výsledok merania. Buď ho za rovnakých podmienok vždy zväšujú alebo zmenšujú bez ohľadu na počet opakovaných meraní. Často ich možno odhaliť až pri porovnaní s výsledkami z iného prístroja.

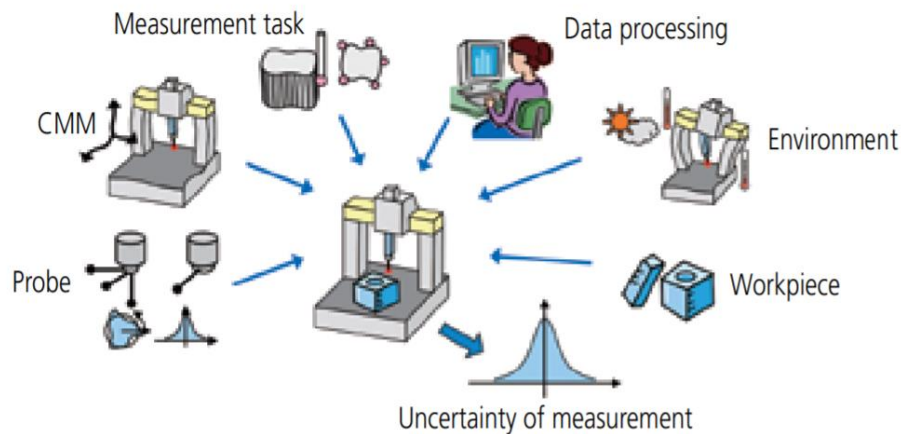
Náhodné chyby sú chyby, ktoré pôsobia úplne náhodne, sú ťažko predvídateľné a nedajú sa vylúčiť. Môže ísť napríklad o uvoľnený snímač alebo merací dotyk, nečakané zmeny podmienok (zmeny teploty). Pri opakovanom meraní sa menia ich veľkosti aj znamienka. Náhodné chyby sa správajú ako náhodné veličiny a riadia sa matematickými zákonmi pravdepodobnosti. Náhodné chyby možno teda popísať určitým pravdepodobnostným rozdelením. Systematické chyby ovplyvňujú správnosť, náhodné presnosť výsledku merania.

Okrem týchto dvoch druhov chýb sa vyskytujú ešte *hrubé chyby* (označované ako vybočujúce alebo odľahlé hodnoty). Tieto chyby sú obvykle spôsobené nevhodnou metódou (predovšetkým nevhodný snímač alebo merací dotyk, nesprávne zvolený spôsob spracovania dát, metodika merania) a nevhodnými podmienkami pri meraní (extrémna teplota, vlhkosť, prach, vibrácie). Namernaná hodnota sa pri opakovanom meraní výrazne líši od ostatných hodnôt. Takéto hodnoty je nutné zo spracovania vylúčiť, aby neskresľovali výsledok merania. [6] [8] [11]

3 Variabilita systému merania na kartézskych CMM

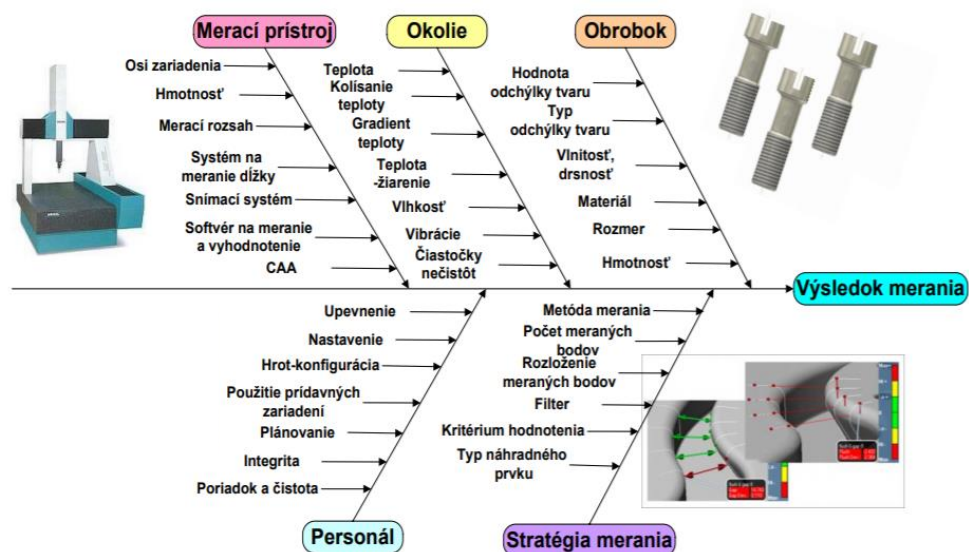
Súradnicové meracie stroje sú dnes jedným z najvyužívanejších prostriedkov na kontrolu kvality výrobkov v priemysle. Rozsiahle uplatnenie CMM v priemyselnej metrológii možno pripísať ich schopnosti merať komplexnú geometriu aj tých najzložitejších súčiastok. Ich nespornou výhodou je vysoká presnosť, rýchlosť a opakovateľnosť meriaceho procesu. Meranie na CMM je však sprevádzané mnohými zdrojmi variability (obr. 6), ako sú napr. upnutie a orientácia súčiastky, typ a

konfigurácia sondy, podmienky okolného prostredia, výpočtová stratégia atď. Systém merania teda môže byť ovplyvnený náhodnými alebo systematickým zdrojmi variability. Tieto zdroje majú vždy svoju príčinu vzniku a našou snahou je tieto zdroje variability identifikovať a eliminovať.



Obr. 6 Zdroje variability merania na CMM [12]

Jednotlivé faktory pôsobiace na autenticitu výsledkov merania vieme zosumarizovať pomocou nižšie uvedeného Ishikawa diagramu (obr. 7) obsahujúceho činitele, s ktorými sa najčastejšie v súvislosti s touto problematikou stretávame. Všetky tieto faktory spôsobujú variabilitu jednotlivých meraní a stoja za rozdielnymi výsledkami meraní pri ich opakovaní a reprodukování, obzvlášť pri zmenách stratégie merania. Stratégia merania je významným faktorom ovplyvňujúcim výsledok merania a nezanedbateľný vplyv má aj operátor CMM, ktorý na začiatku volí stratégiu merania. [13] [14] [15]



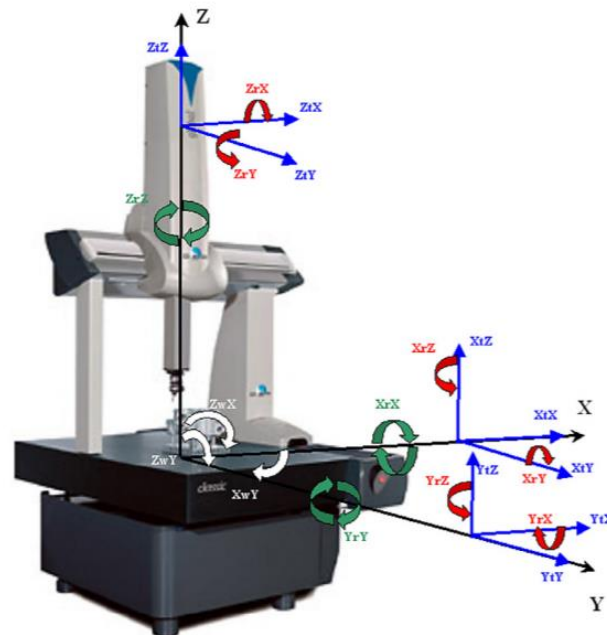
Obr. 7 Faktory pôsobiace na výsledky merania na súradnicových meracích strojoch [15]

3.1 Merací přístroj

Napriek tomu, že výrobné technológie umožňujú dodržiavať veľmi prísne tolerancie a vyrábať veľmi presné výrobky, stále sa vyskytujú určité nedokonalosti. Hoci sú veľmi malé, skutočnosť, že existujú tolerancie znamená, že existujú chyby. CMM sa v tomto smere od ostatných prístrojov nijako nelíšia. Aj keď sú vyrábané s mimoriadne prísnyimi toleranciami, v ich konštrukcii sa vyskytujú chyby.

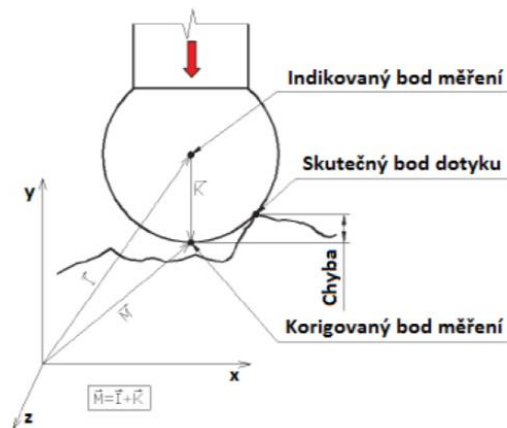
V priestore trojosého CMM, ktorý sa skladá z troch translačných osí X, Y, Z s môže objaviť až 21 geometrických chyb: 3 chyby pohybu lineárneho polohovania, 6 chyb pohybu priamosti, 9 úhlových chyb (rotačné pohyby – rolling, yawing a pitching) a 3 chyby kolmosti medzi osami X-Y, Y-Z, X-Z (Obr.8)

Geometrické chyby vychádzajú z konstrukčných nepresností stroja a majú dopad na jeho pracovnú kinematiku a opakovateľnosť merania. Tieto chyby spôsobené malými nepresnosťami vzájomne sa pohybujúcich súčastí CMM (vplyv vôle, drsnosti povrchu, chyby priamosti vedenia, a pod.) sa podieľajú viac než z 60% na celkovej chybe. Tieto chyby sa však správajú ako chyby systematické s dobrou opakovateľnosťou. Keď sú zmerané všetky geometrické chyby CMM, tzv. korekčným mapovaním, je možné ich minimalizovať alebo dokonca eliminovať pomocou výkonných algoritmov softwaru. Táto metóda sa nazýva volumetrická kompenzácia chýb. [16] [17] [18] [19]



Obr. 8 Geometrické chyby trojosého CMM [16]

Dôležitú rolu v presnosti merania CMM hrá aj snímacia sonda. Pri meraní dotykovou sondou nastáva problém pri dotyku sondy s meranou súčiastkou, kedy často dochádza ku skresleniu zmeraných súradníc. V okamihu, kedy sa merací dotyk dotkne povrchu meranej súčasti, dochádza k zaznamenaniu priestorových súradníc. CMM prepočíta súradnice do korigovaného bodu merania, ktorý je predpokladaným bodom na povrchu meraného objektu. Tu dochádza k skresleniu výsledkov, pretože korigovaný bod nemusí byť vždy zhodný so skutočným bodom dotyku. (Obr. 9) Korekčný vektor sa potom rovná polomeru snímačej guľičky a je doplnený o korekciu systematickej chyby, ktorá vzniká pri meraní. [20] [21]



Obr. 9 Chyba dotyku sondy [20]

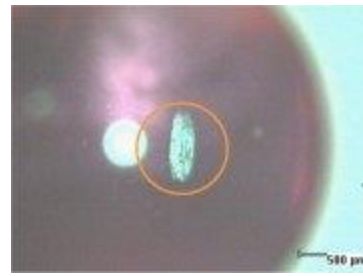
Aj opotrebenie dotyku má výrazný vplyv na vznik chýb pri meraní. Samotné opotrebenie vzniká pri styku snímačej guľičky s meraným predmetom. Tak dochádza k systematickej chybe, kedy skutočný rozmer snímačieho dotyku má v mieste opotrebenia inú hodnotu, než je hodnota, s ktorou CMM počíta. V prípade spínacieho dotykového mernia je guľička dotyku v kontakte s meraným povrchom len krátku dobu a nedochádza k žiadnému relatívnemu pohybu. V prípade využitia snímania skenovaním, guľička kľže po povrchu obrobku a to má za následok opotrebenie oterom. Tento predĺžený kontakt môže v extrémnych prípadoch spôsobiť obrusovanie guľičky alebo naopak nanášanie materiálu snímaného objektu na povrch guľičky, čo výrazne ovplyvňuje jej geometriu. Tento vplyv je ešte viac umocnený v prípade, že je v kontakte s meraným objektom len jedna oblasť guľičky. [21] [14]

Na získanie správnych výsledkov merania je potrebné zvoliť dotyk snímačieho systému súradnicového meracieho stroja s ohľadom nielen na konštrukčné usporiadanie kontrolovanej súčiastky, ale aj s ohľadom na použitý konštrukčný materiál a kvalitu povrchu. [21] [14]

Na väčšinu aplikácii je najvhodnejším materiálom guličky dotyku syntetický rubín. Za určitých okolností však môžu byť lepšou alternatívou iné materiály. (obr. 10 a 11) [22]



Obr. 11 Abrasívny oter rubinovej guličky pri skenovaní liatiny. Riešenie: zirkoniová gulička [22]



Obr. 10 Adhézny oter rubinovej guličky pri skenovaní hliníku. Riešenie: gulička z nitrídu kremíku [22]

Najdôležitejšie zásady pre voľbu dotyku:

- voliť čo najkratší dotyk, ale zároveň dostatočne dlhý, aby bol schopný dosiahnuť na všetky merané body na súčiastke,
- voliť minimum spojov, pretože každý spoj je potencionálnym zdrojom nepresností, spôsobuje ohyby a deformácie dotyku,
- voliť čo najväčší priemer guličky, ten má veľký vplyv na presnosť snímania bodov na súčiastkach s drsnejším povrchom. Ďalším dôvodom je aj väčší rozdiel medzi priemerom guličky a stopky dotyku, teda znižuje riziko nasnímania bodu stopkou dotyku.

3.2 Okolné prostredie

Tak ako každý iný merací systém, aj CMM je citlivý na vplyvy okolného prostredia, ako je teplota, vlhkosť, prach, olej a vibrácie. V porovnaní s inými faktormi prostredia, ktoré pôsobia vo výrobnej hale, môže mať teplota okolia najväčší vplyv na presnosť a opakovateľnosť merania na CMM. Teplotné zmeny spôsobujú, že meradlá, konštrukcia stroja a merané súčiastky sa rozťahujú, sťahujú a v niektorých prípadoch deformujú nelineárnym spôsobom.

Teplotné podmienky v typickom výrobnom prostredí sa značne líšia a podliehajú časovým a priestorovým teplotným gradientom. Zapínanie a vypínanie kúrenia, sezónne kolísanie teploty, prehrievanie spôsobené obrábacími strojmi alebo sklenenými dverami vystavenými slnku a prúdenie vzduchu spôsobené otváraním dverí a brán. Tieto všetky faktory vytvárajú teplotné gradienty, ktoré ovplyvňujú výsledky merania.

Všeobecne je teplotná závislosť presnosti CMM špecifikovaná pomocou teplotných pásiem so stredom okolo 20°C. Výrobci CMM špecifikujú maximálnu povolenú chybu merania

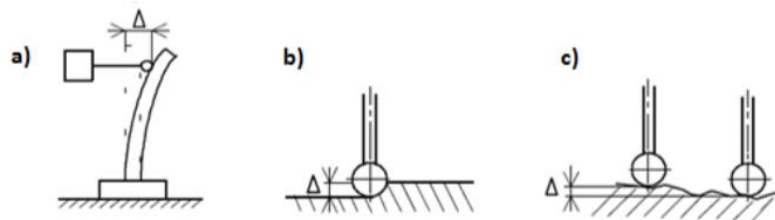
hypotetického CMM (MPEE), podľa normy ISO 10360-2 v teplotnom pásme 18 až 22 °C ako: $MPEE = 3,0 + 3,0 * L / 1000$ (MPEE se uvádza v μm a L je meraná dĺžka v mm.)

Avšak väčšina CMM je schopná pomocou teplotných senzorov nepriaznivý vplyv okolnej teploty eliminovať. CMM a ich software zahŕňajú funkciu lineárnej kompenzácie, ktorú software vyhodnocuje nasledovne:

Lineárna kompenzácia = (Koefficient tepelnej rozťažnosti) X (Posunutie + Zmena teploty každej osy a dielu). Pokiaľ je na ose viac teplotných senzorov, software spriemeruje získané hodnoty na zistenie teplotnej zmeny. [23] [24] [25]

3.3 Meraná súčiastka

Geometrické a fyzikálne vlastnosti samotnej meranej súčiastky tiež ovplyvňujú výsledky merania. Tvar, zvlnenie povrchu a drsnosť povrchu meraných prvkov majú značný vplyv na výsledky merania. Ďalej koeficient tepelnej rozťažnosti meranej súčiastky a jeho zmeny spôsobujú neistotu v kompenzácii teploty. Iným významným faktorom je deformácia súčiastky vplyvom prítlačnej sily sondy pri meraní dotykom. A v neposlednom rade tiež deformácia spôsobená ustavením a upnutím súčiastky, ktoré takisto vnášajú neistotu do výsledkov merania. Príklady deformácie meraného objektu snímacím dotykom sú na obr. 12. [20] [26]

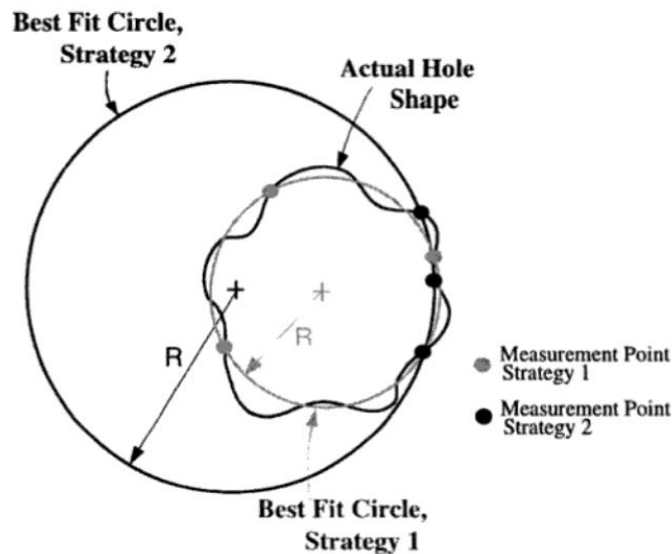


Obr. 12 a) Deformácia súčiastok b) deformácia povrchu súčiastky c) tvarová odchýlka kontrolovaného povrchu [20]

3.4 Stratégia merania

Stratégia merania patrí tiež k významným zdrojom neistoty merania. Do stratégie merania patrí výber meraných bodov – ich počet a poloha na meranej súčiastke, ako aj metóda vyhodnotenia nasnímaných bodov. Teoreticky by mohol byť považovaný nameraný výsledok za správny, v prípade, že by bol vyhodnocovaný element zmeraný pomocou nekonečného počtu bodov rozmiestnených po celom prvku súčiastky. Avšak vo všetkých skutočných meraniach je meranie uskutočnené prostredníctvom konečného počtu nasnímaných bodov. Jedným z mnohých možných prípadov vzniku variability merania je vplyv výberu meraných bodov na meranom elemente. Tento možný zdroj variability je znázorený na obr. 13. V tomto príklade boli použité dve rôzne stratégie merania

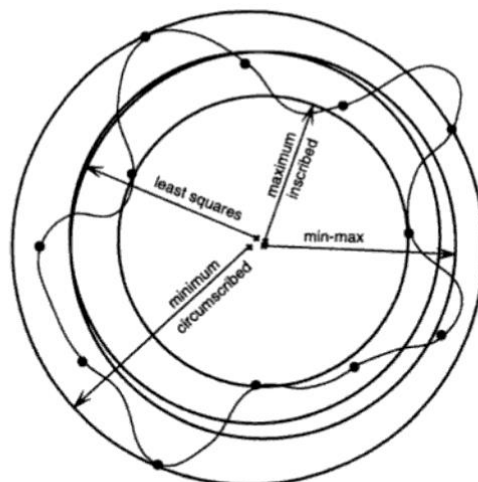
kružnice pomocou troch bodov. Môžeme si všimnúť, že metóda vyhodnotenia tejto kružnice dokonale zapadá do nasnímaných bodov v oboch prípadoch. [27]



Obr. 13 Znáznornenie vplyvu výberu meraných bodov na celkové vyhodnotenie meraného elementu. [27]

Ďalším možným zdrojom variability pri meraní na CMM je možnosť zvoliť rôzne metódy vyhodnotenia. Napríklad už pri spomínanej kružnici existuje niekoľko metód na určenie jej priemeru. Patrí sem metóda najmenšej opisanej kružnice, metóda najväčšej vpísanej kružnice, metóda najmenších štvorcov.

Dokonca aj v prípade použitia dokonalého CMM, pri zvolení ľubovoľného počtu snímaných bodov, môžu tieto rôzne metódy vyhodnotenia viesť k výrazne odlišným výsledkom, v závislosti na chybe tvaru súčiastky (obr. 14). Preto aj za ideálnych podmienok sa nominálne okrúhly čap nemusí fyzicky zmestiť do diery, aj keď to vypočítané výsledky naznačujú. Malo by byť zrejmé, že tento „problém“ je výsledkom použitia nesprávneho matematického modelu v analýze merania vzhľadom na zamýšľanú funkciu súčiastky. [27] [28]



Obr. 14 Metódy vyhodnotenia kružnice [27]

Treba podotknúť, že vyššie uvedené príklady tvoria len zlomok zo všetkých možných zdrojov variability, ktoré vznikajú v dôsledku stratégie merania.

3.5 Obsluha CMM

Stratégiu merania volí na začiatku merania operátor CMM, ktorý by mal použiť správnu stratégiu na základe meraného prvku (napríklad pri meraní čapu použije metódu najmenej opísanej kružnice). Ďalej výsledky merania tiež výrazne ovplyvňuje vyrovnanie súčiastky, operátor musí voliť vhodnú metódu vyrovnania a teda aj prvky, na ktoré bude meranú súčiastku vyrovnávať. Veľký vplyv má aj upnutie súčiastky na CMM, a prípadné použitie kontrolného prípravku na vyhodnotenie meraných elementov. Správne stanovená stratégia merania je základným predpokladom na získanie relevantných výsledkov merania súčiastok a tým aj následného rozhodovania v strojárskvej výrobe. [14] [27]

3.6 Kontrolný prípravok

Kontrolné prípravky slúžia na zjednodušenie a zrýchlenie merania rozmerov, tvarov a geometrickej polohy meraného objektu. Prípravok, vložený do meracej sústavy, prenáša zo stroja na kontrolovaný objekt nepresnosť. Avšak prípravok nie je len prenášaťelom znepresňovania v meracej sústave, ale aj zdrojom znepresňovania. Pri konštrukcii prípravku je teda nutné tento vplyv analyzovať a zohľadniť pri predpisovaní výrobnjej presnosti jednotlivých prvkov prípravku.

Chyby spôsobené prípravkom môžu byť:

- Chyby vzniknuté zo základovania. Ide o znepresnenie merania v dôsledku zámény použitých technologických základní pri uložení meranej súčiastky v prípravku, namiesto konštrukčných základní.
- Chyby podopretia predstavujú znepresnenie vyplývajúce z použitých opieracích prvkov, ich funkcie a samotnej presnosti týchto prvkov. Chyby podopretia spolu s chybami základovania tvoria chybu z ustavenia kontrolovanej súčiastky v prípravku.
- Chyba upínania, je spôsobená pôsobením upínacích síl kontrolného prípravku na meraný objekt. Vzniká v dôsledku deformácie dotykových plôch súčiastky a upínacích plôch prípravku. Veľkosť chyby upínania závisí nie len na veľkosti upínacej sily, materiále súčiastky a prípravku ale aj od kvality stykových plôch (drsnoti).
- Chyba ustavenia prípravku je znepresnenie merania vzniknuté v dôsledku nesprávneho ustavenia prípravku na meracom zariadení.
- Chyba opotrebenia prípravku predstavuje znepresnenie merania vzniknuté z opotrebenia funkčných plôch prípravku.

Súhrn týchto všetkých chýb nazývame chybou kontrolného prípravku. [29] [30]

4 Analýza systému merania (MSA)

Ako bolo uvedené systém merania môže byť ovplyvnený náhodnými alebo systematickými zdrojmi variability. Tieto zdroje majú vždy svoju príčinu vzniku a našou snahou je tieto zdroje variability identifikovať a eliminovať.

Analýza systému merania (Measurement System Analysis) je analytická metóda, určená k verifikácii a determinácii kvality meracieho systému. Metóda MSA je pôvodom metódou americkej akciovej skupiny pre automobilový priemysel AIAG, kde sa stala súčasťou normy QS 9000, a ďalej potom s ďalšími príručkami APQP (Advanced Product Quality Planning), SPC (Statistical Process Control), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) a PPAP (Production Part Approval Process) tvorí túto normu. Tým sa MSA stala univerzálnou metódou, a vďaka tomu sa rozšírila aj do ďalších odvetví priemyselnej výroby, na zaistenie efektivity výrobných procesov.

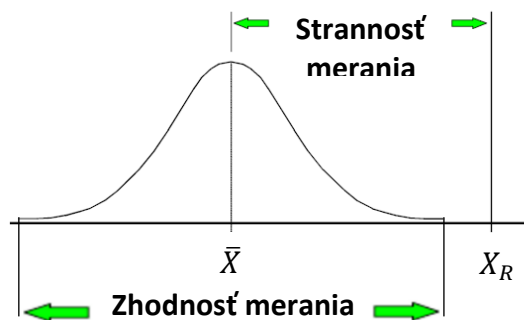
V predchádzajúcich kapitolách bolo už spomenuté, že merací systém netvorí len samotné meracie zariadenie a prístroje, ale aj operátori, ktorí zariadenie používajú, stratégie, ktoré sú pri meraní používané a prostredie, v ktorom je merací systém prevádzkovaný. Na vyhodnotenie

meracieho systému sa používajú štatistické nástroje a doporučuje sa použiť aj špecializované štatistické programy, ktoré majú v sebe implementované metódy analýzy systému merania, napr. Minitab, Palstat, Q-DAS, Yarovyn a iné. Vyhodnotenie systému merania má veľkú vypovedajúcu hodnotu o nameraných dátach, a ich dôveryhodnosti a vhodnosti ich použitia pri analýze rizík.

Vo väčšine meracích procesov je celková variabilita merania popisovaná normálnym rozdelením. V skutočnosti však existujú meracie systémy, ktoré nie sú normálne distribuované, a tak MSA môže preceňovať nepresnosť takýchto systémov merania.

MSA posudzuje niekoľko štatistických charakteristík meracieho systému, kde jednotlivé druhy chýb možno rozlišovať ako odchýlky polohy a odchýlky šírky rozdelenia. Medzi odchýlky polohy rozdelnia patrí strannosť (bias), stabilita (stability) a linearita (linearity) merania. Medzi odchýlky šírky rozdelenia patrí zhodnosť (precision), opakovateľnosť (repeatability) a reprodukovateľnosť (reproducibility) merania. [9] [31]

Strannosť (Bias) alebo vychýlenie merania je rozdiel medzi skutočnou hodnotou (referenčnou hodnotou) a aritmetickým priemerom nameraných hodnôt, získaných z opakovaného merania tej istej charakteristiky na tej istej súčiastke (viď obr.15).

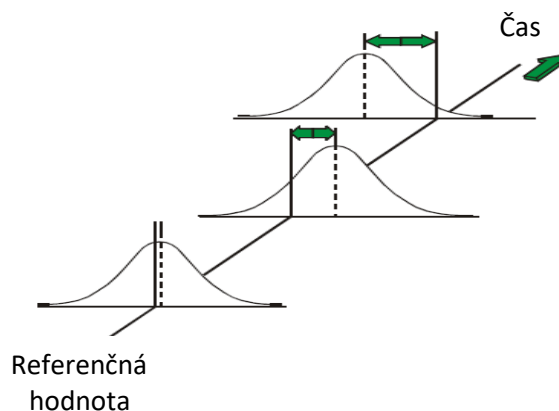


Obr. 15 Strannosť a zhodnosť merania, kde \bar{X} je aritmetický priemer opakovaných meraní a X_R je referenčná hodnota [9]

Strannosť merania predstavuje celkovú systematickú chybu merania, zloženú z kombinácie rôznych zdrojov variability merania ako je napr. zlé nastavenie alebo nesprávna kalibrácia meracieho zariadenia, opotrebenie meracieho nástroja, vplyv okolného prostredia (teplota, vlhkosť, vibrácie, čistota). Ďalšou príčinou môže byť použitá meracia sila pri meraní dotykom, ktorá môže spôsobiť deformáciu meraného objektu alebo priamo meracieho zariadenia. [9]

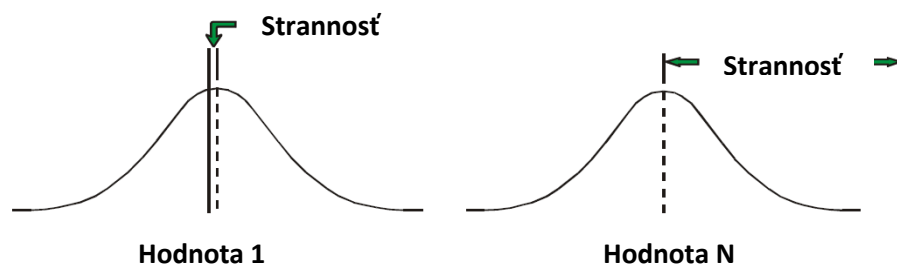
Pojmom **Stabilita (Drift)** alebo stálosť merania rozumieme udržanie vopred definovanej hodnoty na určitej úrovni. Jedná sa o celkovú variabilitu nameraných hodnôt rovnakej charakteristiky kvality v dlhšom časovom úseku. Ako je možné vidieť na obr. 16 ide o zmenu strannosti v závislosti

na čase. V prípade stabilného systému sa teda strannosť v čase nemení. Príčinou malej stability meracieho systému môže byť poškodené meradlo, okolné prostredie, či dlhý časový interval kalibrácie meradla. [9]



Obr. 16 Stabilita merania [9]

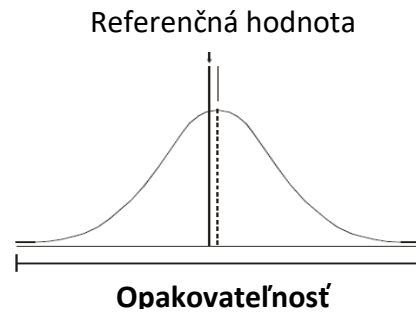
Linearitu merania (Linearity) možno definovať ako zmenu strannosti (rozdiel hodnôt strannosti) v určitom pracovnom rozsahu meradla. Vzťahuje sa len k niektorým typom meradiel (napr. indukčné snímače dĺžok), kde dochádza k zníženiu pracovného rozsahu zvyšujúcou sa rozlišovacou schopnosťou meradla, ktorá nemusí mať len lineárny priebeh. Linearitu merania zachytáva obr. 17. [9]



Obr. 17 Linearita merania [9]

Zhodnosť (Precision) merania vyjadruje variabilitu výsledkov opakovaného merania rovnakej charakteristiky kvality. Mierou zhodnosti merania je jeho nezhodnosť, vyjadrená pomocou smerodajnej odchýlky z výsledkov merania, prípadne oblasti skutočnej vyriability výsledkov merania (napr. 6σ). Zhodnosť merania teda charakterizuje pôsobenie náhodných chýb merania. Zhodnosť merania je znázornená na Obr. 15. [9]

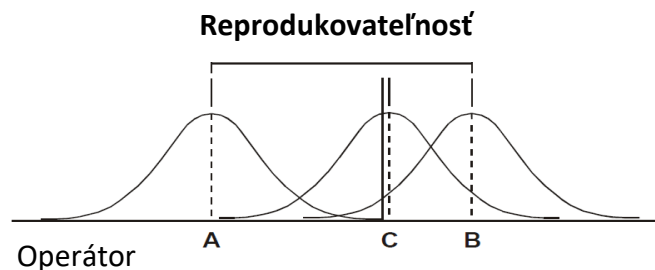
Opakovateľnosť (Repeatability) merania predstavuje zhodnosť merania v podmienkach opakovateľnosti. Podmienky opakovateľnosti reprezentujú podmienky, kedy sú merané hodnoty získavané rovnakým operátorom, rovnakou metódou merania, v rovnakom mieste merania, použitím rovnakého meracieho zariadenia v čo najkratšom časovom rozmedzí. Opakovateľnosť merania zobrazuje obr. 18. [9]



Obr. 18 Opakovateľnosť merania [9]

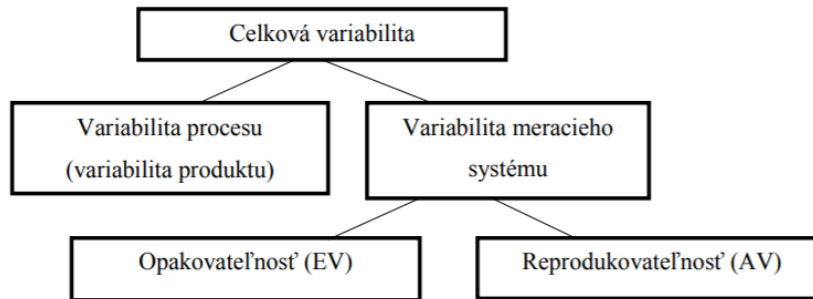
Chybu opakovateľnosti merania nie je možné eliminovať, pretože je vyvolaná náhodnými príčinami, ale v niektorých prípadoch je možné ju zlepšiť, napr. stabilnými podmienkami (stála teplota, vlhkosť, meracia sila, potlačenie prípadných vibrácií, atď.)

Reprodukovateľnosť (Reproducibility) merania vyjadruje variabilitu stredných hodnôt (napr. aritmetických priemerov) u opakovaných meraní rovnakej charakteristiky kvality, ale za rozličných podmienok. Najčastejšie sa jedná o prípad, kedy meranie vykonávajú rôzni operátori, teda ide o variabilitu medzi operátormi. Zvyšné podmienky musia byť už rovnaké, aby jediné, čo nie je možné eliminovať boli individuálne vplyvy operátorov. Ďalším možným prípadom je jeden operátor, ktorý uskutočňuje meranie danej charakteristiky pomocou rôznych meradiel alebo na rôznych meracích pracoviskách. Reprodukovateľnosť môže byť teda spôsobená operátormi a ich skúsenosťami, použitou metódou merania a podmienkami okolného prostredia. Reprodukovateľnosť medzi operátormi je zobrazena na obr 19. [9]



Obr. 19 Reprodukovateľnosť merania [9]

V praxi sa väčšinou vykonáva hodnotenie kombinovanej opakovateľnosti a reprodukovateľnosti systému merania GRR, a to z toho dôvodu, že pri samotnom meraní sa väčšinou nedajú zaistiť stabilné podmienky (podmienky opakovateľnosti). Reálne podmienky sa obvykle menia, najčastejšie sa jedná o zmenu operátora, ktorý meranie vykonáva. Rozdelenie celkovej variability je zobrazené na obr. 20. [9] [32]



Obr. 20 Rozdelenie celkovej variability. EV (equipment variation) – variabilita zariadenia, AV (appraiser variation)- variabilita operátorov [32]

4.1 Opakovateľnosť a reprodukovateľnosť meracieho systému (Gage R&R)

Štúdiá opakovateľnosti a reprodukovateľnosti meracieho systému (Gage repeatability and reproducibility - Gage R&R) sa používa na určenie, spôsobilosti meracieho systému pre zamýšľaný účel. Skúmanie opakovateľnosti a reprodukovateľnosti systému merania možno realizovať použitím rôznych techník ako je napríklad:

- Metóda založená na rozpätí RM (Range method),
- Metóda priemeru a rozpätia ARM (Average and range method),
- Metóda ANOVA (Analysis Of Variance).

Použitie každej z týchto techník prináša určité výhody a nevýhody, ktoré môžu ovplyvniť kvalitu a vypovedajúcu spôsobilosť dosiahnutých výsledkov. [33] [31]

4.1.1 Metóda založená na rozpätí RM (Range method)

Metóda založená na rozpätí je metóda, ktorá umožňuje rýchlu aproximáciu variability merania. Táto metóda poskytuje iba celkový obraz o systéme merania. Nerozkladá variabilitu na opakovateľnosť a reprodukovateľnosť. Bežne sa používa na rýchlu kontrolu, aby sa overilo, že nedošlo k zmene GRR. Napríklad dvaja operátori -A, B merajú 5 rovnakých dielov. Rozsah každého

dielu sa počíta ako rozdiel hodnôt nameraných operátorom A a operátorom B. Z hodnôt sa vypočíta priemerné rozpätie \bar{R} a následne podľa rovnice 3.1.1 vypočítame GRR.

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \quad (3.1.1)$$

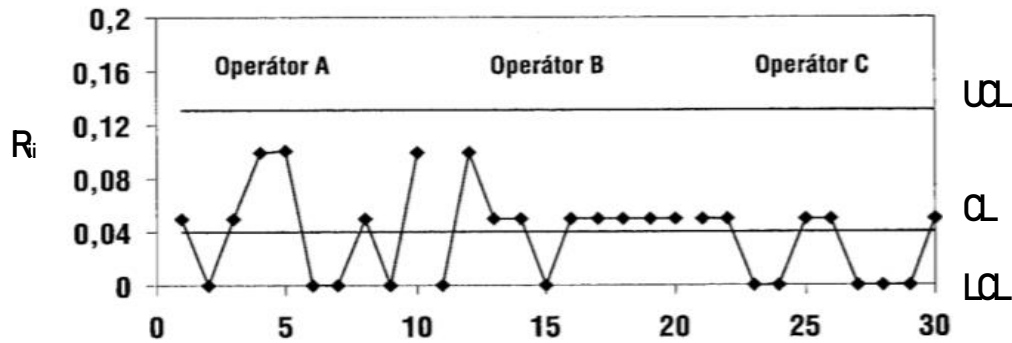
Kde d_2^* je tabuľková hodnota závislá na počte meraní jednotlivých vzoriek a počte meraných dielov. [31] [34]

4.1.2 Metóda priemeru a rozpätia ARM (Average and range method)

Metóda priemeru a rozpätia je metóda, ktorá poskytuje odhad ako opakovateľnosti, tak aj reprodukovateľnosti systému merania. Umožňuje rozložiť variabilitu systému merania na dve samostatné zložky, opakovateľnosť a reprodukovateľnosť, avšak nevyjadruje ich vzájomnú interakciu.

Postup je taký, že sa vyberú vzorky $n \geq 5$, všeobecne platí čím viac vzoriek, tým lepšie a presnejšie budú výsledky analýzy. Vzorky sú označené tak, aby toto značenie nebolo viditeľné pre operátorov, ktorí budú meranie vykonávať. Určí sa niekoľko operátorov, ktorí sa budú na štúdiu podieľať (označia sa ich napr. A,B,C..). Operátori vykonajú niekoľko opakovaných merní na vzorkách v náhodnom poradí, dáta sa zaznamenávajú do výsledkového formulára.

K samotnému vyhodnocovaniu výsledkov metódy ARM sa používajú ako grafické tak aj numerické metódy a ich kombinácia. Vyhodnotenie je rozdelené do niekoľkých na seba nadväzujúcich krokov. V prvom kroku je nutné overiť jeden z predpokladov, a to štatistickú stabilitu procesu merania z hľadiska variability opakovaných meraní. Toto overenie sa vykonáva pomocou regulačného diagramu pre rozpätie vid' obr 21., kde R_{ij} predstavuje variačné rozpätie (rozdiel maximálnej a minimalnej nameranej hodnoty j-teho kusu, i-tým operátorom), CL predstavuje centrálnu priamku regulačného diagramu (aritmetický priemer variačného rozpätia opakovaných meraní pre všetkých operátorov), UCL je horná regulačná medza a LCL je dolná regulačná medza. [9] [31] [35]



Obr. 21 Regulačný diagram variačných rozpätí využívaný na rozhodnutie o štatistickej zvládnutelnosti procesu merania z pohľadu variability opakovaných meraní [35]

Pokiaľ všetky variačné rozpätia ležia v rámci regulačných medzí, možno proces merania prehlásiť za štatisticky zvládnutý. Ak sa v procese merania objavia vymedziteľné príčiny, tak proces nie je štatisticky zvládnutý. V prípade, že nastal problém len u jedného operátora, je možné, že použil inú metódu merania a je nutné ju zjednotiť s ostatnými operátormi a tento operátor by mal opätovne vykonať meranie. Avšak ak sa vymedziteľné príčiny objavujú u všetkých operátorov, tak je daný merací systém príliš citlivý na techniku merania a je nutné zaviesť zmeny. [31] [35]

Po overení štatistickej stability procesu možno pristúpiť k výpočtu hodnoty opakovateľnosti merania EV (Equipment variation). Tá sa vypočíta na základe vzťahu 4.1.2.

$$EV = \bar{R} \cdot \frac{1}{d_{2(EV)}^*} \quad (4.1.2)$$

Kde \bar{R} je priemerné variačné rozpätie opakovaných meraní pre všetkých operátorov a $d_{2(EV)}^*$ je tabuľková hodnota závislá na počte meraní jednotlivých vzoriek a počte meraných dielov, ktorý sa násobí počtom operátorov.

V ďalšom kroku je možné pristúpiť k výpočtu reprodukovateľnosti merania AV (Appraiser variation). Tú je možné vyhodnotiť na základe stanovenej hodnoty variačného rozpätia aritmetických priemerov opakovaných meraní jednotlivých kusov jednotlivými operátormi. Vzhľadom k tomu, že je reprodukovateľnosť merania (AV) ovplyvnená opakovateľnosťou merania (EV), musí sa upraviť odčítaním podielu EV podľa vzťahu 4.1.3.

$$AV = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_0}{d_{2(AV)}^*}\right)^2 - \frac{(EV)^2}{r \cdot n}} \quad (4.1.3)$$

Kde \bar{R}_0 je variačné rozpätie aritmetických priemerov u merania všetkých kusov jednotlivými operátormi. Koeficient $d_{2(AV)}^*$ je tabuľková hodnota závislá na počte operátorov, existuje len jeden

výpočet rozpětí. EV představuje opakovatelnost merania, r je celkový počet opakovaných meraní a n je celkový počet meraných kusov.

V prípade, že je vypočítaná hodnota pod odmocninou záporná, hodnota reprodukovateľnosti merania je rovná nule.

V tejto chvíli už máme definované potrebné informácie k vyhodnoteniu opakovateľnosti a reprodukovateľnosti systému merania GRR podľa vzťahu 4.1.4.

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (4.1.4)$$

GRR je teda celkový rozptyl nameraných hodnôt, ktorý odpovedá súčtu rozptylu opakovateľnosti a rozptylu reprodukovateľnosti.

Samotná hodnota GRR nám však nehovorí nič o vhodnosti analyzovaného systému merania. Celková variabilita sa pri štandardnom postupe, kedy merané vzorky reprezentujú výrobné rozpätie, stanovuje na základe variability medzi meranými vzorkami. Vhodnosť analyzovaného systému je tak možné určiť porovnaním GRR s celkovou variabilitou (Total variation) TV. Variabilitu medzi meranými vzorkami (Part variation) PV stanovíme podľa vzťahu 4.1.5

$$PV = R_p \cdot \frac{1}{d_{2(PV)}^*}; \quad (4.1.5)$$

Kde R_p je variačné rozpätie aritmetických priemerov všetkých meraní jednotlivých vzoriek. Koeficient $d_{2(PV)}^*$ predstavuje tabuľkovú hodnotu závislú na počte meraných kusov pričom v tomto existuje len jeden výpočet rozpätí.

Celkovú variabilitu (TV – Total Variation) vzhľadom k variabilite procesu, teda variabilite výrobku, možno stanoviť vďaka získaným hodnotám opakovateľnosti (EV), reprodukovateľnosti (AV) a variability medzi meranými kusmi (PV) podľa vzťahu 4.1.6. Alebo vzhľadom k tolerančnému poľu výrobku podľa vzťahu 4.1.7.

$$TV = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (PV)^2} = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}; \quad (4.1.6)$$

$$TV = \frac{USL - LSL}{6}; \quad (4.1.7)$$

Kde USL je horná tolerančná medza a LSL je dolná tolerančná medza.

Následne je možné podiel jednotlivých variabilít vyjadriť percentuálne práve pomocou celkovej variability TV. Percentuálny podiel opakovateľnosti a reprodukovateľnosti merania na celkovej variabilite sa vypočíta podľa vzorca 4.1.8

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100 ; \quad (4.1.8)$$

Obdobne sa vypočítajú aj percentuálne podiely ostatných zložiek celkovej variability systému merania. [9] [32] [33] [34] [36]

4.1.3 Metóda ANOVA

Výhodou metódy ANOVA, analýzy rozptylu (Analysis Of Variance), oproti ostatným metódam je schopnosť vyrovnáť sa s akýmkoľvek experimentálnym nastavením meracieho systému. Metódou ANOVA môžeme získať presnejší odhad rozptylov a ďalšie informácie napr. o interakciách medzi dielom a operátorom. Naopak nevýhodou metódy je zložitosť výpočtu a nutnosť štatistických znalostí. Analýza sa väčšinou vykonáva pomocou počítačového štatistického softwaru.

V prípade tejto metódy možno celkovú variabilitu rozdeliť na variabilitu zariadenia (EV), variabilitu operátora (AV), variabilitu medzi dielmi (PV) a na variabilitu vyvolanú interakciami medzi operátormi a meranými vzorkami (INT).

Vyhodnotenie štúdie GRR pomocou metódy ANOVA teda umožňuje získať viac informácií než v prípade metódy ARM, pretože navyše poskytuje informáciu o tom, ako veľká časť z celkovej variability je spôsobená interakciami medzi jednotlivými operátormi a vzorkami. V prípade že je táto interakcia štatisticky významná, uvádza sa jej hodnota samostatne. Kombinovaná opakovateľnosť sa reprodukovateľnosť sa vypočíta podľa vzťahu 4.1.9.

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (INT)^2} ; \quad (4.1.9)$$

V prípade, že je interakcia štatisticky nevýznamná, jej hodnota (INT) je priradená k hodnote opakovateľnosti merania (EV).

Celková variabilita TV sa v tomto prípade stanoví rovnako ako to bolo u metódy ARM, teda podľa vzťahu 4.1.6 a percentuálny podiel opakovateľnosti a reprodukovateľnosti merania na celkovej variabilite sa vypočíta podľa vzťahu 4.1.8. [9] [31] [36]

4.2 Vyhodnotenie ukazateľov R&R

Variabilitu systému merania možno v prípade Gage R&R hodnotiť dvoma kritériami:

- Prvým je kritérium ndc (number of distinct categories – počet rozlíšiteľných kategórií)

- Druhým kritériom je ukazateľ celkovej variability procesu TV, resp. presnejšie jeho percentuálnymi podielmi opakovateľnosti (%EV), reprodukovateľnosti (%AV), variability dielov (%PV) a opakovateľnosti a reprodukovateľnosti (%GRR). Pričom na záverečné posúdenie vhodnosti systému merania je najdôležitejšie percentuálne vyjadrenie podielu %GRR, pretože podľa tejto hodnoty sa rozhoduje, či je alebo nie je analyzovaný systém merania prijateľný. [9] [32] [36]

Kritérium ndc, teda kritérium počtu rozlišiteľných kategórií slúži k stanoveniu počtu rôznych kategórií, ktoré možno spoľahlivo rozlíšiť systémom merania. Ide o štatistiku variability systému merania a indukuje počet kategórií, do ktorých možno proces merania rozdeliť, resp. sú to triedy, do ktorých je meradlo schopné opakovateľne roztriediť merané diely s 97% pravdepodobnosťou, pokiaľ je pokryté celé výrobné rozpätie. Kritérium ndc sa vypočíta podľa nasledovného vzťahu:

$$ndc = 1.41 \cdot \frac{PV}{GRR} ; \quad (3.1.9)$$

Výsledná hodnota sa zaokrúhľuje na celé číslo smerom dole, pričom táto hodnota musí byť väčšia než 5; **ndc ≥ 5**. V prípade, že tomu tak nie je, systém merania nemá dostatočnú citlivosť detekovať jednotlivé kategórie merania, a teda nie je vyhovujúci. [9] [32] [36]

Vhodnosť systému merania pomocou **kritéria %GRR** je posudzovaná podľa podmienok v Tabuľke 1.

Tabuľka 1 Kritéria prijateľnosti systému merania na základe analýzy GRR [9]

% GRR < 10%	Systém merania vyhovuje a jedná sa o prijateľný systém merania
10 % < %GRR < 30%	Systém merania môže byť vyhovujúci, ale závisí na konkrétnej aplikácii (dôležitosť, náklady)
% GRR > 30%	Systém merania je považovaný za neprijateľný

V prípade, že je systém merania prijateľný, nie je nutné vykonávať žiadne opatrenia pre zlepšenie systému merania. V situácii, kedy je systém merania prijateľný len podmienene, je potrebné tento systém priebežne zlepšovať. Pokiaľ systém merania nie je prijateľný, je nutné okamžite vykonať nápravné opatrenia k zlepšeniu systému merania na prijateľnú úroveň.

Pri vyhodnocovaní systému merania je nutné venovať pozornosť okrem kritéria %GRR a ndc aj ďalším charakteristikám variability.

Ak je opakovateľnosť *EV* > reprodukovateľnosť *AV*, príčna môže byť:

- potřeba údržby kontrolného prípravku,
- zmena konštrukcie, návrh presnejšieho a stabilnejšieho meradla,
- nutnosť lepšieho upevnenia meranej súčiastky k meraciemu alebo kontrolnému prípravku pri meraní tak, aby bolo zaistené meranie jednotnej pozície,
- vysoká variabilita dielov a iné.

Ak je reprodukovateľnosť AV > opakovateľnosť EV , príčina môže byť:

- nedostatočné zaškolenie operátorov,
- potreba pomocného prípravku na správne používanie meracieho zariadenia a zabezpečenie konzistencie merania
- nesprávna kalibrácia meradla a iné. [32]

5 VDA5

Metodika VDA 5 (Verband der Automobilindustrie) bola zhotovená nemeckou pracovnou skupinou pre automobilový priemysel a jeho dodávateľov v Európe. Zámerom metodiky VDA 5 je súhrn požiadaviek a postupov, ktoré sú obsiahnuté v platných normách a smerniciach do jedného prakticky využiteľného modelu na stanovenie a zohľadnenie rozšírenej neistoty merania. Podstata VDA 5, spočíva vo výpočte neistôt merania, ktoré sú v spojení s toleranciou meranej súčiastky primárnym kritériom pri rozhodovaní o spôsobilosti systému merania. [37] [38]

Obsahom metodiky VDA 5 je popis postupov na stanovenie spôsobilosti kontrolných procesov:

- na zaistenie neistoty merania,
- na stanovenie použiteľnosti kontrolných prostriedkov,
- na dôkaz spôsobilosti kontrolných procesov a doporučení. [38]

5.1 Neistota merania

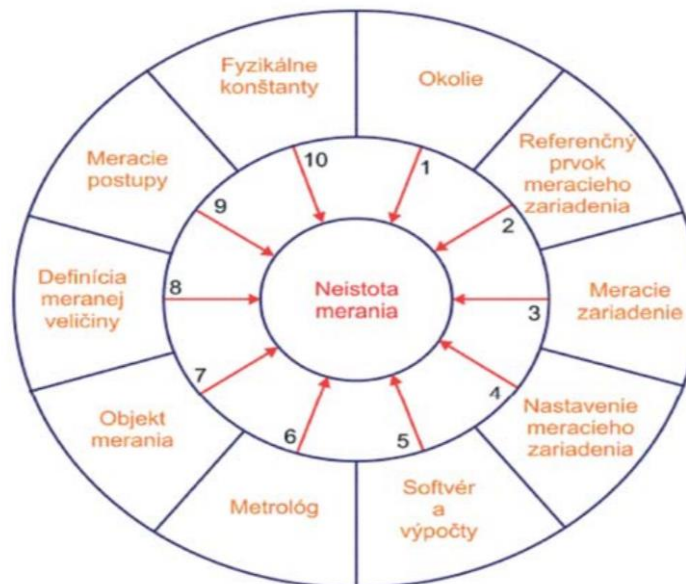
Slovo neistota znamená pochybnosť, takže v najširšom zmysle slova neistota merania znamená pochybnosti o platnosti výsledku merania. Neistota merania je stanovená na základe kvantifikácie príspevku všetkých chýb merania (náhodných aj systematických), ktoré môžu výsledok merania významne ovplyvniť.

Neistota merania predstavuje parameter priradený k výsledku merania charakterizujúci rozptyl hodnôt, ktoré sa dajú odôvodnene priradiť k meranej veličine. Môže sa týkať výsledku merania, hodnôt odčítaných z použitých prístrojov, hodnôt použitých konštánt, korekcií a podobne.

Javy, ktoré prispievajú k neistote (a teda, že výsledok merania sa nedá charakterizovať jedinou hodnotou) sa nazývajú zdroje neistôt. V praxi existuje mnoho potenciálnych zdrojov neistôt pri meraní medzi, ktoré najčastejšie patira:

- nevhodný výber prístroja (rozlišovacia schopnosť a pod.),
- neúplná alebo nedokonalá definícia meranej veličiny alebo jej realizácia,
- nevhodný, resp. nereprezentatívny výber vzoriek merania,
- nevhodný postup pri meraní,
- zjednodušenie alebo nesprávne zaokrúhlenie konštánt a prevzatých hodnôt,
- linearizácia, aproximácia, interpolácia alebo extrapolácia pri vyhodnocovaní,
- nekompensované alebo neznáme vplyvy prostredia,
- nedodržanie zhodných podmienok pri opakovaných meraniach,
- subjektívne vplyvy obsluhy,
- nepresnosť etalónov a referenčných zdrojov alebo materiálov. [5] [8] [39] [40]

Všetky zdroje neistôt, ktoré v procese merania vplývajú na výsledok merania môžeme zhrnúť pomocou obrázka (Obr.22).



Obr. 22 Vplyvy pôsobiace na výsledok merania [5]

Základnou kvantitatívnou charakteristikou neistoty je štandardná neistota, označovaná písmenom u . Štandardné neistoty sa podľa spôsobu získania delia na neistoty stanovené:

- *Metódou A (neistota typu A, označovaná u_A)* : medzi zložky neistoty typu A patria zložky stanovené na základe štatistického spracovania opakovaných meraní. Tieto zložky sú charakterizované odhadmi rozptylov a smerodajných odchýliek stanovených z opakovaných meraní. Príčiny neistôt sú neznáme a s rastúcim počtom meraní ich hodnoty klesajú. [5] [8] [40]

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.1.1)$$

kde n je počet meraní, x_i je výsledok i -teho merania, výraz $x_i - \bar{x}$ predstavuje odchýlku meranej veličiny od skutočnej hodnoty (konvenčne pravá hodnota).

- *Metódou B (neistota typu B, označovaná u_B)* predstavuje vyhodnotenie zložiek neistoty inak ako štatistickými metódami. Zložky neistoty typu B sú stanovené z funkcie hustoty pravdepodobnosti priradené meranej veličine na základe skúseností a dostupných informácií (napr. výsledky získané z predchádzajúcich meraniach, špecifikácie od výrobcu meracieho prístroja, údaje z certifikátov, kalibračných listov, neistoty referenčných údajov a pod.). [5] [8] [40]

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{B_i}^2}, \quad (5.1.2)$$

kde u_{B_i} sú jednotlivé zložky štandardnej neistoty typu B

Treba zdôrazniť, že sa nečlenia neistoty ale metódy vyhodnocovania na metódu A a metódu B. Neistoty určené oboma metódami sú rovnocenné, pokiaľ boli určené správne.

Vhodným zlúčením štandardných neistôt zo všetkých zdrojov získame *celkovú (kombinovanú)* štandardnú neistotu. [10] [39]

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (5.1.3)$$

Kde u_A je štandardná neistota typu A a u_B je štandardná neistota typu B.

5.1.1 Kombinovaná štandardná neistota meracieho systému a procesu merania

Na základe matematického modelu sa kombinovaná štandardná neistota systému merania u_{MS} stanoví vzťahom 5.1.4.

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + \max\{u_{EVR}^2, u_{RE}^2\} + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2}, \quad (5.1.4)$$

potom kombinovaná štandardná neistota procesu merania u_{MP} sa vyhodnocuje nasledovným vzťahom:

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{LIN}^2 + u_{BI}^2 + u_{EV}^2 + u_{MS-REST}^2 + u_{AV}^2 + u_{GV}^2 + u_{STAB}^2 + u_{OBJ}^2 + u_T^2 + u_{REST}^2 + \sum_i u_{IAi}^2},$$

kde $u_{EV} = \max\{u_{EVR}, u_{EVO}, u_{RE}\}$ (5.1.5)

Pričom jednotlivé zložky neistôt zo vzťahu 5.1.4 a 5.1.5 sú v tabuľke 2. [38] [41]

Tabuľka 2 Zdroje neistôt kombinovanej štandardnej neistoty procesu merania [38]

	Vplyv (zdroj neistoty)	Symbol	Typ neistoty
Meračísystém	Najväčšia dovolená chyba merania	u_{MPE}	B
	Kalibrácia	u_{CAL}	B
	Opakovateľnosť na etalóne	u_{EVR}	A
	Linearita	u_{LIN}	B
	Bias (vychýlenie)	u_{BI}	A
	Ďalšie vplyvy meracieho systému (napr. snímač/snímanie)	$u_{MS-REST}$	B
Meračísproces	Opakovateľnosť na objekte merania	u_{EVO}	A
	Reprodukovateľnosť operátorov	u_A	A
	Reprodukovateľnosť meracích miest	u_{GV}	A
	Interakcia	u_{IA}	A
	Nehomogenita objektu kontroly	u_{OBJ}	A
	Rozlíšenie	u_{RE}	B
	Teplota	u_T	B
	Ďalšie vplyvy meracieho procesu (napr. rozdiel z teplotnej korekcie)	u_{REST}	B
	Reprodukovateľnosť v rôznych časových bodoch	u_{STAB}	A

5.1.2 Rozšírená neistota merania

Tam kde si nevystačíme so štandardnými neistotami je nutné aplikovať ich rozšírenie pomocou koeficienta rozšírenia k . Pôvodne stanovená štandardná neistota (smerodajná odchýlka) predstavuje, napr. pri najčastejšie používanom normálnom rozdelení interval s pravdepodobnosťou asi 68%. Podobne je to aj pri iných zákonoch rozdelenia pravdepodobnosti. Aby sme dosiahli väčší

interval pokrytia, blížiaci sa k 100% je potrebné rozšíriť štandardnú neistotu merania koeficientom rozšírenia k . Jeho význam je v podstate zhodný s významom kvantilov pri normálnom rozdelení, kde $k=2$ pre rozšírenie na 95% pravdepodobnosť a $k=3$ pre rozšírenie na 99,7% pravdepodobnosť rozdelenia. [38] [41]

Potom pre rozšírenú neistotu systému merania U_{MS} a pre rozšírenú neistotu procesu merania U_{MP} platia nasledujúce vzťahy:

$$U_{MS} = k \cdot u_{MS} \quad (5.1.6)$$

$$U_{MP} = k \cdot u_{MP} \quad (5.1.7)$$

5.2 Výkonnostné pomery meracieho systému a procesu merania

U skúšok meraním sa predpokladá poskytnutie dôkazov o vhodnosti procesu merania na základe doloženej rozšírenej neistoty merania špecifickej pre danú úlohu merania s ohľadom na všetky dominantné vplyv. Na posúdenie metrologických požiadaviek na merací systém a proces merania sú zavedené ukazatele vhodnosti – výkonnostné pomery Q_{MS} (merací systém) a Q_{MP} (proces merania). Sú udávané v percentách a získavajú sa podľa vzťahov:

$$Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{TOL} \cdot 100 \text{ (%) } \quad (5.2.1)$$

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{TOL} \cdot 100 \text{ (%) } \quad (5.2.2)$$

Kde TOL je šírka tolerančného pásma (USL-LSL). [41] [42]

Výkonnostným pomerom sú priradené odpovedajúce limitné hodnoty Q_{MS_MAX} a Q_{MP_MAX} . Pričom keď platí, že $Q_{MS} \leq Q_{MS_MAX}$ resp. $Q_{MP} \leq Q_{MP_MAX}$, merací systém a proces merania sú považované vhodné.

Limitná hodnota podľa VDA 5 je pre merací systém $Q_{MS_MAX}=15 \%$ a pre proces merania $Q_{MP_MAX}=30 \%$. Limitné hodnoty by sa mali však brať len orientačne, pretože v praxi sa limitné hodnoty stanovujú medzi zákazníkmi a dodávateľmi vo vzťahu k meranej veličine a jej špecifikácii. Je nutné brať do úvahy predovšetkým ekonomické a technické možnosti. Limitná hodnota by mala byť nastavená tak veľká, ako to je len možné, a zároveň tak malá, ako je potrebné.

Stanovenie zložiek neistoty systému merania môže odpadnúť v prípade, že je doložená a dokumentovaná najväčšia prípustná chyba MPE. Potom sa kombinovaná neistota merania U_{MS} stanoví podľa vzťahu:

$$U_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}} ; \quad (5.2.3)$$

Resp. ak existuje viac než jedna hodnota MPE, vzťah na výpočet kombinovanej neistoty merania je

nasledovný:

$$U_{MS} = \sqrt{\frac{MPE_1^2}{3} + \frac{MPE_2^2}{3} + \dots}; \quad (5.2.4)$$

[41] [42] [38] [43]

5.3 Minimálna možná tolerancia pre meracie systémy a procesy merania

Na klasifikáciu meracích systémov a procesov merania je nutné spočítať toleranciu, pre ktorú je ako merací systém, tak aj proces merania vhodný. Použijú sa vzorce na výpočet Q_{MS} a Q_{MP} (5.2.1 a 5.2.2), použité už v predchádzajúcej kapitole, iba sa do nich dosadia limitné hodnoty Q_{MS_MAX} a Q_{MP_MAX} . Tým sa získa minimálna možná tolerancia pre merací systém TOL_{MIN_UMS} a proces merania

$$TOL_{MIN_UMS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{Q_{MS_MAX}}; \quad (5.3.1)$$

$$TOL_{MIN_UMP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{Q_{MP_MAX}}; \quad (5.3.2)$$

Na základe získania týchto minimálnych tolerancií, je možné vyhodnotiť vyšetrovaný merací systém a proces merania. Daný proces merania môže byť použitý pre tolerancie presahujúce minimálnu toleranciu TOL_{MIN_UMP} . V prípade, že leží minimálna tolerancia meracieho systému TOL_{MIN_UMS} v rozmedzí zadanej tolerancie TOL , už nemusí byť vykonané vyšetrenie štandardných neistôt procesu merania, pretože by to viedlo k prekročeniu limitnej hodnoty Q_{MP_MAX} [38] [42]

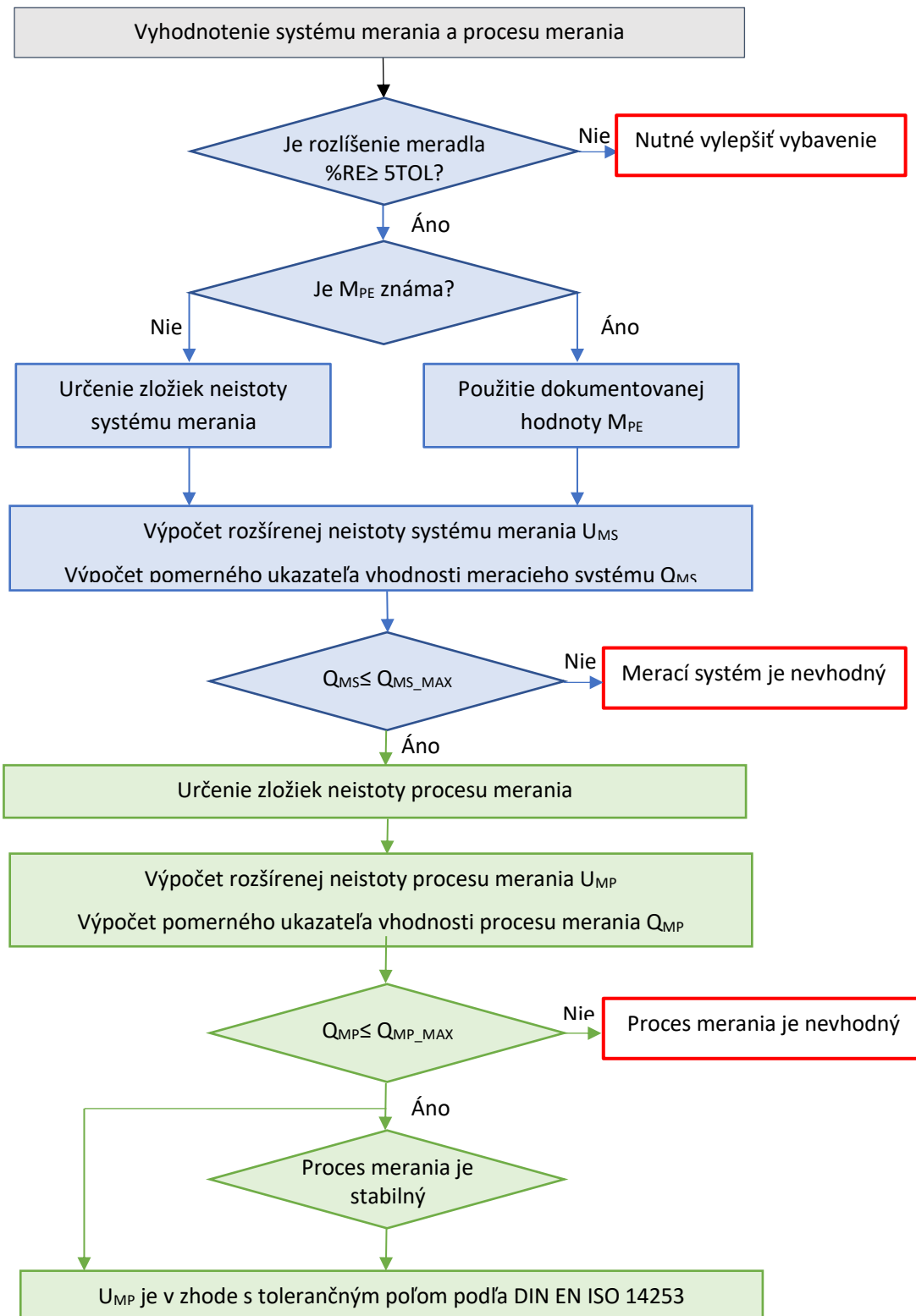
V metodike VDA-5 je definovaný jasný proces, ktorým sa má vyhodnotiť, či merací prístroj a merací postup sú schopné preukázať zhodu časti so špecifikáciou. Začína sa vyhodnotením nástroja a potom sa pokračuje v posudzovaní procesu. Tento postup sa dá zhruba zhrnúť do týchto bodov:

- Kontrola, či je rozlíšenie (%RE) prístroja menšie ako 5 percent z tolerančného poľa súčiastky. %RE sa stanoví podľa vzťahu 5.3.3
- Posúdenie neistoty meracieho systému (nástroja) a ubezpečiť sa, že je merací systém vhodný
- Posúdenie neistoty procesu merania a zabezpečiť, aby bol proces merania vhodný
- Zabezpečenie stabilného procesu merania

$$U_{RE} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{RE}{2}; \quad (5.3.3)$$

Kde RE je rozlíšenie meracieho prístroja. [38] [42]

Podrobne je potom postup posudzovania vhodnosti procesu merania podľa VDA 5 znázornený v schéme na obr. 23.



Obr. 23 Postup posudzovania vhodnosti meriaceho systému a procesu merania podľa VDA 5 [38]

6 Norma ISO 22514-7

Siedma časť normy ISO 22514 definuje postup validácie meracieho systému a procesu merania, aby sa potvrdilo, či daný proces merania vyhovuje požiadavkám pre stanovenú meraciu úlohu s doporučením preberacích kritérií. Kritériá prijatia sú definované ako ukazateľ spôsobilosti C_{MS} alebo ako recipročná hodnota ukazateľa spôsobilosti procesu Q_{MS} . Hodnotenie spôsobilosti meracieho procesu podľa normy ISO 22514-7 spočíva v zistení zložiek neistoty merania a výpočete preberacích ukazateľov obdobne, ako je tomu v metodike VDA 5. Výhodou tejto medzinárodnej normy je návaznosť a použiteľnosť na ďalšie normy ISO. Nevýhodou je však jej zameranie iba na odhad vhodnosti systému. Metóda tejto normy sa zaoberá iba neistotou zavedenia a preto je použiteľná iba v prípade, kedy sa vie, že neistota metódy a neistota špecifikácie sú v porovnaní s neistotou zavedenia malé. [41] [43] [44]

ISO 22514-7 využíva prístup použitý v ISO/IEC Guide 98-3, Guide to the expression of the uncertainty in measurement (GUM), a predstavuje základný, zjednodušený postup na vyjadrovanie a kombinovanie zložiek neistoty, ktoré sú používané pri odhade ukazateľa spôsobilosti procesu merania.

Norma rozlišuje vyhodnotenie štatistickými postupmi opakovaných meraní ako vyhodnotenie nieistoty typu A. A vyhodnotenie inými neštatistickými spôsobmi (skúsenosti z predchádzajúcich meraní, špecifikácie meracích prístrojov od výrobcu, z kalibračných listov atď.), vyhodnotenie neistoty typu B. Kombináciou týchto dvoch štandardných neistôt získame kombinovanú štandardnú neistotu C. Ďalej použitím vhodného faktora rozšírenia získame rozšírené neistoty merania. Tieto neistoty ich zložky a vzťahy na ich výpočet sú rovnaké ako v metodike VDA 5 a boli už popísané v kapitole 5.1. [44]

Taktiež recipročné hodnoty ukazateľov výkonnosti meracieho systému Q_{MS} a procesu merania Q_{MP} sú vyhodnocované rovnako, ako v metodike VDA 5. Tieto výkonnostné pomery a ich hraničné hodnoty prípustnosti boli už spomenuté v kapitole 5.1. Preto ich už znova neuvádzam.

6.1 Ukazatele spôsobilosti

Ukazateľ spôsobilosti meracieho systému (C_{MS}) aj ukazateľ spôsobilosti procesu merania (C_{MP}) môžu byť vypočítané podľa všeobecnej definície ukazateľa spôsobilosti uvedenej v norme ISO 3534-2:2006.

Ukazatel' spôsobilosti meracieho systému sa potom stanoví podľa vzťahu 6.1.1 a ukazateľ spôsobilosti procesu merania podľa vzťahu 6.1.2.

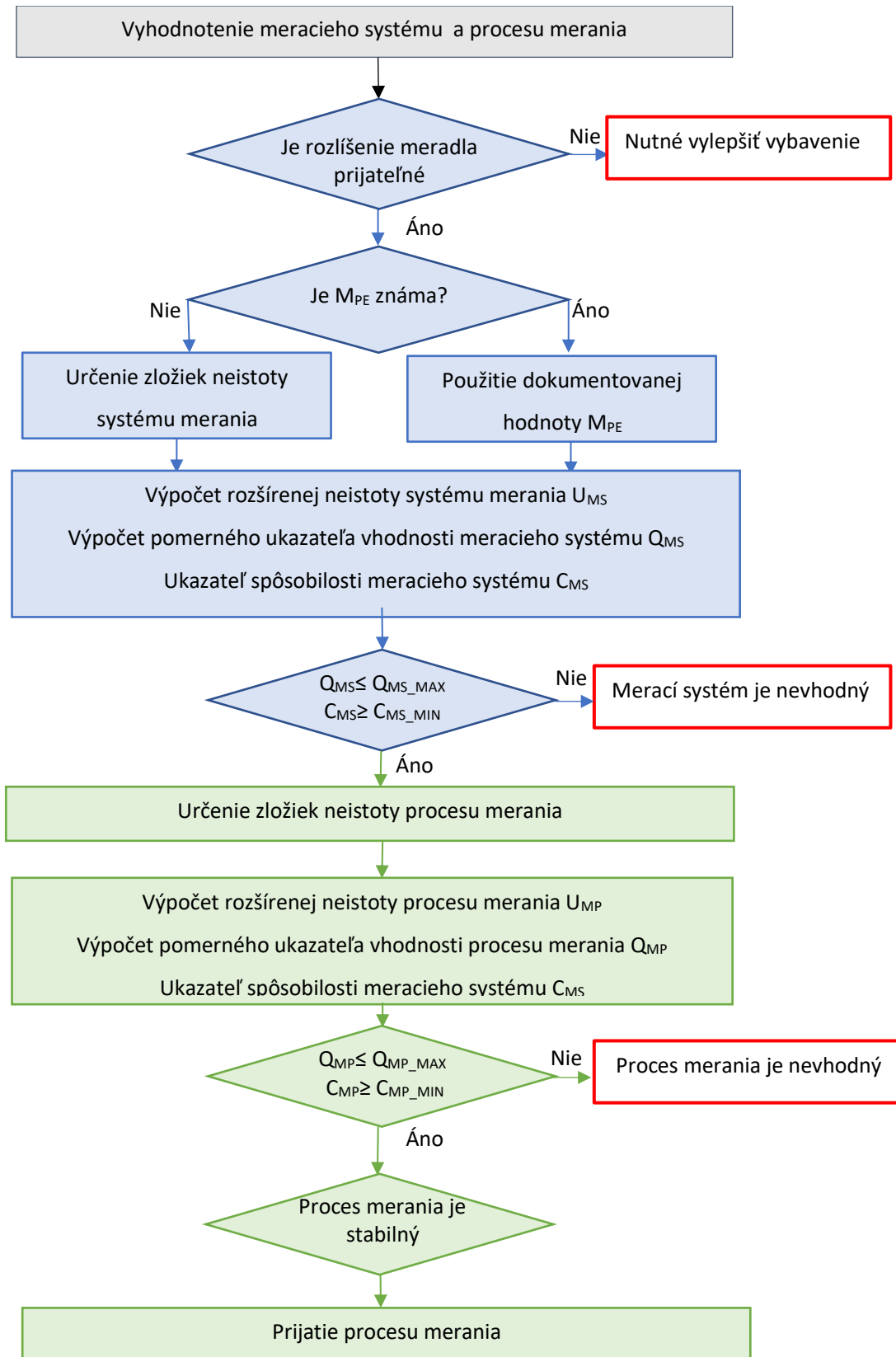
$$C_{MS} = \frac{0,3 (U-L)}{6 * u_{MS}} \quad (6.1.1)$$

$$C_{MP} = \frac{0,3 (U-L)}{3 * u_{MP}} \quad (6.1.2)$$

Kde u_{MS} je kombinovaná štandardná neistota meracieho systému, u_{MP} je kombinovaná štandardná neistota procesu merania, U je horná tolerančná medza a L je dolná tolerančná medza.

Podľa normy ISO 22514-7 sú systém a proces merania považované za spôsobilé ak ich hodnoty sú väčšie alebo rovné 1,33. [41] [42] [44]

Na obr. 24 je zobrazená schéma postupu validácie systému a procesu merania podľa normy ISO 22514-7. Hodnoty rozlíšenia RE , maximálnej prípustnej chyby M_{PE} , ukazateľa vhodnosti systému merania Q_{MS} a procesu merania Q_{MP} sa získavajú rovnako ako v metóde VDA 5. Vzťahy na výpočet týchto hodnôt sú zaznamenané v predchádzajúcich kapitolách.



Obr. 24 Postup posudzovania vhodnosti meriaceho systému a procesu merania podľa ISO 22514-7 [41]

7 Porovnanie MSA, VDA 5 a ISO 22514-7

Analýza systému merania (MSA) sa využíva, ako pre hodnotenie samotného meradla tak aj pre posúdenie celého meracieho systému. Akceptuje aj vplyvy iných faktorov, nie len vplyv samotného meradla. MSA premýšľa o procese ako celku, ktorý bude zostavený z mnohých prvkov (operátor, meracie zariadenie, prípravky, upnutie, teplota, atď.). MSA teda vymedzuje, či je systém merania pre daný účel v daných podmienkach vyhovujúci alebo nie. Analýza systému merania sa snaží pochopiť celý proces merania a stanoviť jeho chybu. Toto je hlavný rozdiel medzi chybou stanovenou MSA a neistotou merania. Pretože neistota merania celého procesu sa viaže len na jeho konečný výsledok

Samotný proces odhadu spôsobilosti systému merania podľa metodiky MSA je o niečo jednoduchší než podľa metodiky VDA 5 alebo normy ISO 22514-7. Namiesto určovania množstva zložiek neistoty merania, čo je časovo náročné a vyžaduje radu experimentov, pomocou metodiky MSA možno vykonať len jeden základný experiment na zistenie %GRR, na ktorého základe možno rozhodnúť o spôsobilosti procesu. Nevýhodou jednoduchšej metódy je, že nezískame prehľad o rozložení vplyvov neistoty, tak ako u VDA 5 a normy ISO 22514-7. V prípade, že %GRR nespĺní požadované medze, nie je teda jednoduché určiť príčiny, ktoré mali na systém merania najväčšie negatívne vplyvy a kdeje teda nutné systéme merania zlepšiť.

Ako už bolo spomenuté podľa metodiky VDA 5 je postup hodnotenia založený na určovaní a kvantifikácii zložiek neistoty. Tento postup je dlhší a náročnejší, ale v prípade nespôsobilosti meracieho systému resp. procesu merania, možno ľahko odhaliť, ktoré čiastkové zložky neistoty majú majoritný vplyv na celý systém resp. proces merania a pracovať na ich eliminácii. Ďalej metodika VDA 5 navyše vychádza z noriem ISO, čo je výhoda oproti MSA, hlavne z dôvodu rozšírenia noriem ISO v celom svete.

Norma ISO 22514-7 je podobná metodike VDA 5, nakoľko metodika VDA 5 vychádza, okrem iných, aj z tejto normy. Napriek tomu existujú medzi normou a metodikou menšie odlišnosti. Ide hlavne o odlišné značenie niektorých parametrov alebo rôzne indexy spôsobilosti systému merania. Najväčší rozdiel medzi týmito metodikami je v ich rozsahu a podrobnosti riešenia problematiky. Keďže VDA 5 vychádza aj z iných noriem rozsah informácií bude v metodike VDA 5 oveľa širší. Možno povedať, že norma ISO 22514-7 sa zaoberá predovšetkým tým najdôležitejším z VDA 5- zistením neistôt merania a výpočtami spôsobilosti. V norme ISO 22514-7 tiež chyba popis ako postupovať v prípade, že sa meracie systémy a procesy merania javia ako nespôsobilé. Teda ako zmenšiť jednotlivé zložky ovplyvňujúce neistotu merania. [9] [42] [42] [41] [43]

8 Predstavenie spoločnosti Bobcat Doosan EMEA, s.r.o.

História spoločnosti Bobcat sa datuje až od roku 1947, kedy bol v Americkom meste Gwiner založený jej predchodca, spoločnosť Melroe Manufacturing Company. Táto firma sa primárne zaoberala výrobou poľnohospodárskych zariadení, no o pár rokov neskôr predstavila prvý trojkolesový prototyp nakladača. V roku 1962 bola svetu predstavená vylepšená verzia nakladaču M440 (obr.25) a stala sa prvým strojom nosiacim siluetu rýsa s označením Bobcat.

Postupom času nastal v spoločnosti Bobcat rozmach a stal sa hlavným hráčom na trhu výroby nakladačov a rýpadiel. Výsledkom toho je že dnes takmer každý druhý nakladač nesie logo Bobcat. Od roku 2007 sídli spoločnosť aj v Českej republike, kde sa vyrobí 80% strojov určených pre trhy v Európe, Afrike a na Strednom Východe. V súčasnosti spoločnosť Bobcat spadá pod nadnárodnú korporáciu Doosan. [45]

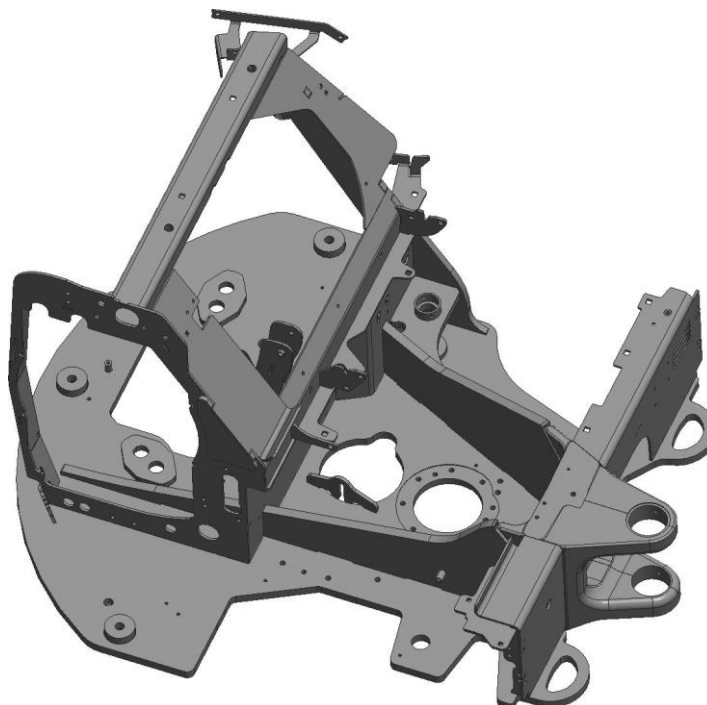


Obr. 25 Melroe 440 (M440)- Prvý stroj s nápisom Bobcat a siluetou rýsa [46]

9 Problematika merania kontrolovanej súčiastky

9.1 Kontrolovaná súčiastka

Objekt merania, pre ktorý je kontrolný prípravok navrhovaný sa nazýva „Upperstructure“ (jeho 3D model je zobrazený na obr 26.) . Ide o zvarenec rámu kompaktného rýpadla Bobcat typu E50 a E55 (obr.27), ktoré patria do hmotnostnej kategórie 5,1 t a viac. Pre lepšiu predstavu, tento oceľový rám má orientačné rozmery 1516 x 993 x 1845 mm (š x v x h) a jeho hmotnosť je 595 kg.



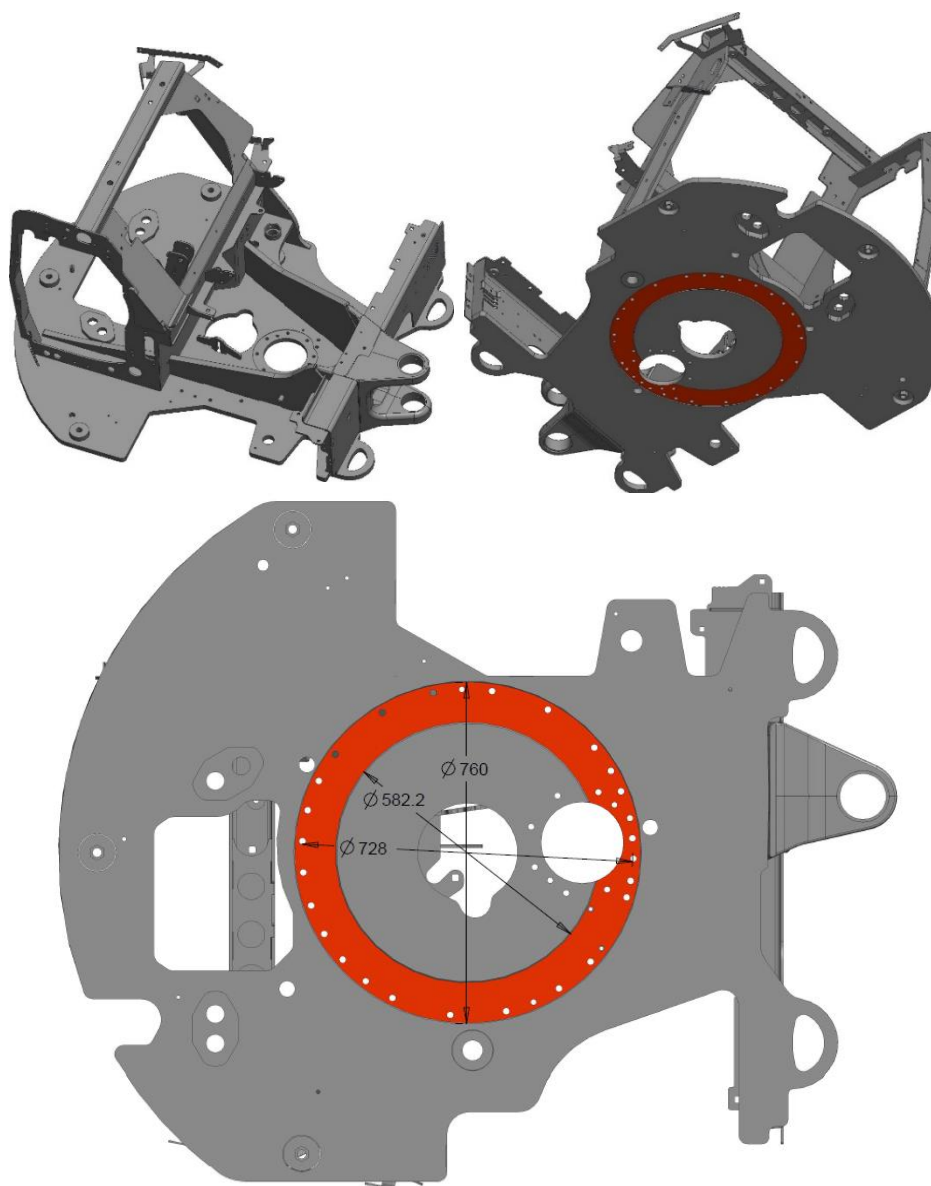
Obr. 26 Upperstructure - Rám kompaktného rýpadla



Obr. 27 Kompaktné rýpadlo Bobcat typu E50 a E55. Červené šípky nazačujú umiestenie kontrolovanej rámu v rýpadle. [47]

9.2 Požadavky na kontrolu

Hlavnou požiadavkou od zadávateľa diplomovej práce je nasnímanie ložiskovej plochy, ktorá je umiestnená na spodnej strane rámu. Táto plocha, zvýraznená na obr. 28 červenou farbou, sa nachádza na diele s názvom „Frame mach turning“ a je medzikružím dvoch kruhov o priemere 760 a 582.2 mm, pričom hĺbka osadenia tejto plochy 2.8 mm. Požiadavka na meranie tejto plochy vznikla na základe toho, že ide o nosnú plochu celého rýpadla a vzhľadom k nej by mali byť vyhodnocované ďalšie prvky na ráme. No v aktuálnych podmienkach snímania je táto plocha pre snímacie zariadenie neprístupná.



Obr. 28 Kontrolovaný rám rýpadla so zvýraznenou ložiskovou pochou, ktorá má byť nasnímaná

9.3 Aktuálna kontrola

Aktuálna kontrola rámu rýpadla prebieha bez snímania spodnej ložiskovej plochy, nakoľko podľa aktuálnej výkresovej dokumentácie jej snímanie nie je potrebné k vyhodnoteniu požadovaných rozmerových a geometrických vlastností meranej zostavy zvarenca. Avšak vrámci kontroly rámu sa vyhodnocujú aj prvky na základnej doske rámu Frame mach turning, na ktorej je umiestná ložisková plocha. Na tomto diele je základňou a vzhľadom k nej majú byť určené polohy dier a tiež rovnobežnosť a vzdialenosť plochy pre upevnenie motoru rýpadla. Tento diel sa kontroluje až vrámci celej zostavy rámu rýpadla, z dôvodu možného tepelného ovplyvnenia a deformácie spôsobenej navarovaním zvyšných dielov rámu rýpadla. Všetky vyhodnocované prvky, okrem ložiskovej plochy, sú ľahko dostupné sondou meracieho zariadenia pri jednoduchom ustavení na 3 prizmatických podložkách, vid' obr. 29.



Obr. 29 Aktuálne ustavenie kontrolovanej súčasti na CMM

9.4 Meracie zariadenie

Kontrola rámu rýpadla je uskutočňovaná na portálovom súradnicovom stroji Dea Alpha 2.0., talianskej spoločnosti DEA. Ide o všestranný flexibilný CMM na 3D kontrolu rozmerov u veľkých súčiastok.



Obr. 30 CMM DEA Alpha 2.0 [48]

Špecifickou vlastnosťou tejto masívnej konštrukcie je veľká tuhosť, a tiež väčší pracovný priestor stroja, než je to u ostatných typov CMM. Tento veľký pracovný priestor umožňuje voľný prístup operátora ku všetkým častiam stroja. Svojími rozmermi je tento typ CMM predurčený na merania rozmerných súčiastok, napr. meranie celých karosérii automobilov, leteckých konštrukcií, rozmerných odliatkov atď. Hlavnou nevýhodou portálového typu CMM je nižšia dosahovaná presnosť v porovnaní s menšími strojmi portálovej či výložníkovej konštrukcie. [48]

Tabuľka 3 Merací rozsah a presnosť CMM DEA Alpha v spoločnosti Bobcat Doosan

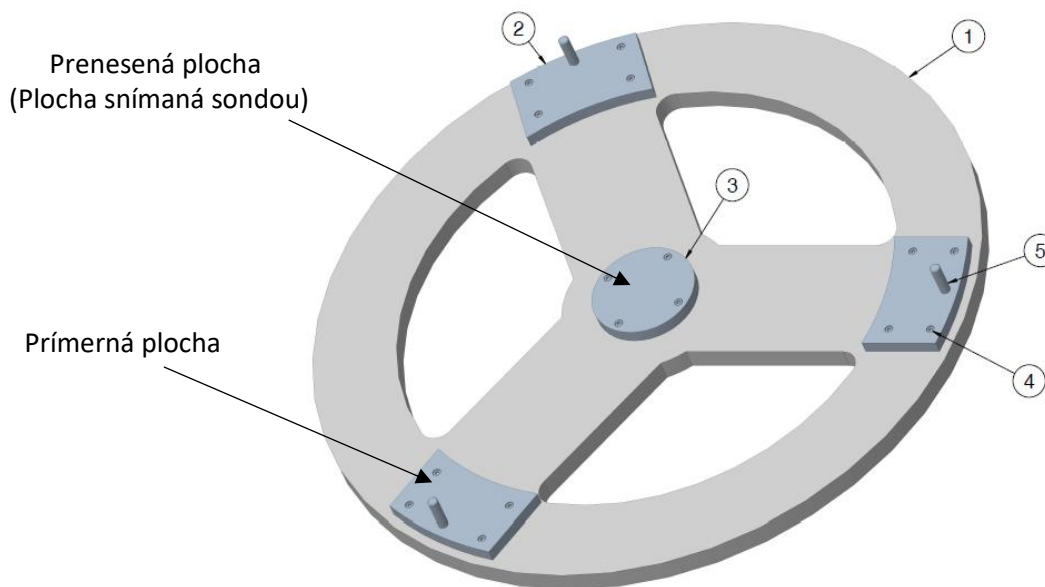
Merací rozsah (mm)		
X	Y	Z
2000	3300	1500
Presnosť $MPE_E = 4,5 + 4,2L / 1000 \mu\text{m}$		

10 Návrh konštrukčného riešenia kontrolného prípravku

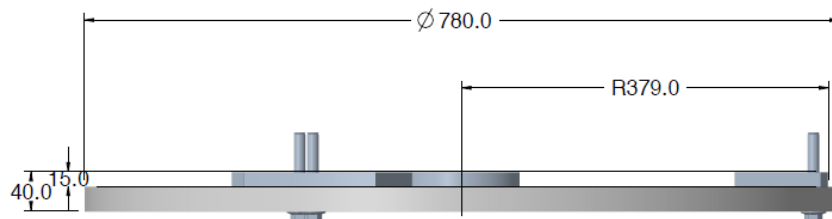
Požiadavka od zadávateľa bola, aby riešenie kontrolného prípravku na snímanie ložiskovej plochy rámu rýpadla bolo čo najjednoduchšie na manipuláciu a použitie. Zadávatel' teda vylúčil možnosť zmeny upnutia rámu, tak aby bola meraná plocha prístupná sondou CMM. Zadávatel' očakáva „jednoduchšie a sofistikovanejšie“ riešenie problému formou prímerného prípravku. Úlohou prímerného prípravku je „prenesenie“ požadovanej kontrolovanej ložiskovej plochy do miesta ľahko prístupného pre snímajúcu sondu.

10.1 Varianta 1

Prvý návrh prímerného prípravku je riešený tak, aby svojím tvarom aspoň z časti predstavoval ložisko, ktoré bude na kontrolovnú plochu v skutočnosti dosadať. Model tohoto prímerného prípravku je zobrazený na obr. 31 a skladá sa zo základnej dosky (1), na ktorú sú pomocou skrutiek so zápusťou hlavou (3) pripevnené prímerné doštičky (2). Práve tieto prímerné doštičky budú priamo dosadať na ložiskovú plochu kontrolovaného rámu rýpadla, a pomocou nich bude táto plocha prenesená na meraciu doštičku (3) uprostred prímerného prípravku. Meracia doštička, na ktorej sa má snímať prenesená plocha, tak bude ľahko prístupná pre sondu použitého CMM. Rozmery prípravku sú zobrazené na obr. 32.

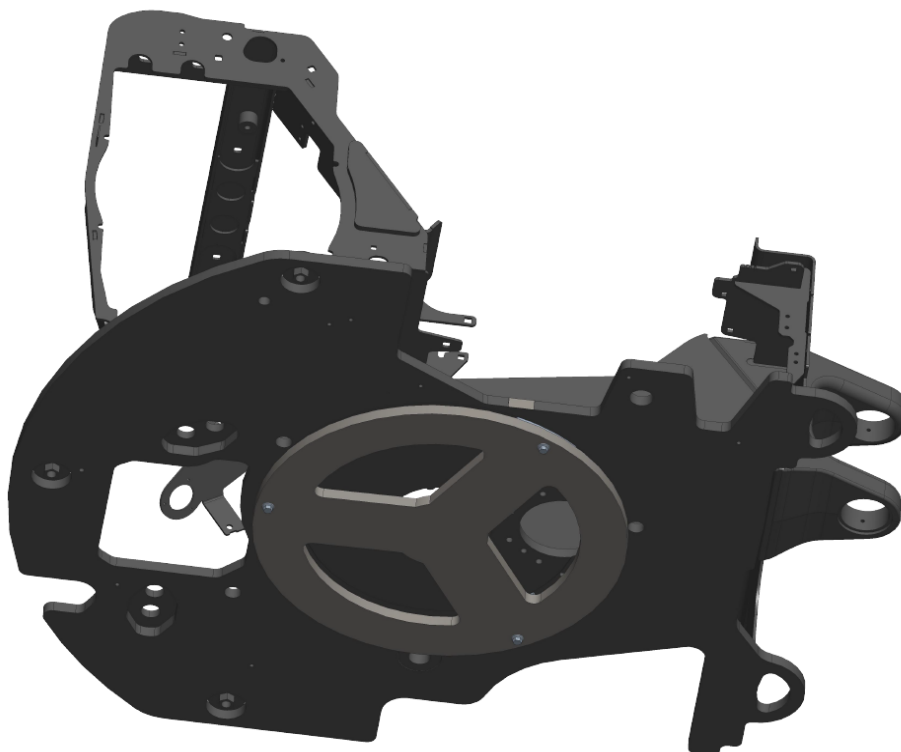


Obr. 31 Varianta 1- model prímerného prípravku. 1- Základná doska, 2- Prímerné doštičky (celkom 3), 3- Meracia doštička, 4- Skrutky so zápusťou hlavou M5-20 (celkom 12), 5- Šestihraná skrutka s prírubou M12-75 (celkom 3)

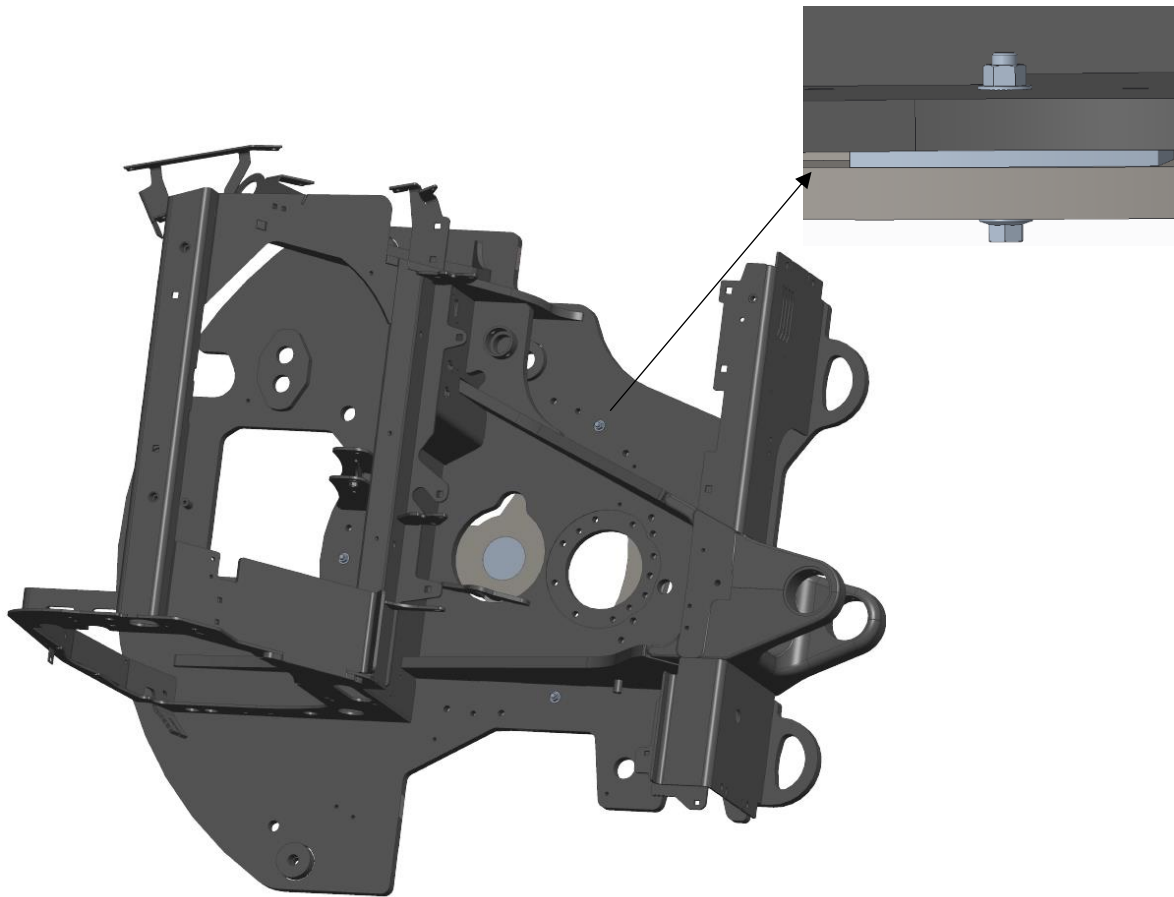


Obr. 32 Varianta 1- Rozměry průměrného přípravku

Umiestnenie průměrného přípravku na kontrolovanom ráme zobrazujú obr. 33 a 34. Prímerný prípravok je na rám pripevenený prostredníctvom troch skrutkových spojov - šesťhranných skrutiek s prírubou (3) a matic s nákrúžkom.



Obr. 33 Varianta 1 - Prímerný prípravok pripevený na kontrolovanom ráme (pohľad zdola)



Obr. 34 Varianta 1- Prímerný prípravok pripevnený na kontrolovanom ráme (pohľad zhora)

10.1.1 Varianta 1- Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku

Výroba prímerného prípravku by prebiehala tak, že by sa z hliníkového plechu buď vypálila pomocou lasera alebo vyfrézovala základná doska (1). Do nej by sa následne vyfrézovali ako závitové diery pre skrutky M5, tak aj otvory pre skrutky M12. Ďalej by nasledovalo brúsenie plôch základnej dosky v okolí týchto dier, teda v miestach kde budú následne priskrutkované ako meracia tak aj prímerné doštičky. Doštičky budú vyfrézované z nástrojovej ocele. Zahĺbenia pre zápusťné skrutky budú vyfrézované o 1 mm hlbšie, aby bolo zaručené, že sa tieto skrutky v žiadnom prípade nebudú dotýkať kontrolovanej plochy a teda aby nevniesli nepresnosti do výsledkov merania. Ďalej sa predpokladá, že budú plochy týchto doštičiek vyfrézované na čo najmenšiu možnú dosiahnuteľnú drsnosť. Na doštičkách bude ešte nechaný prídavok na dokončovacie brúsenie, ktoré bude nasledovať po priskrutkovaní doštičiek na základnú dosku. Tým by mala byť zaručená čo najvyššia presnosť prímerného prípravku.

Materiálová kombinácia hliníku a nástrojovej ocele bola zvolená z dôvodu optimalizácie celkovej hmotnosti prípravného prípravku pri zachovaní tvrdosti, oteruvzdornosti meranej a prírodných plôch prípravku.

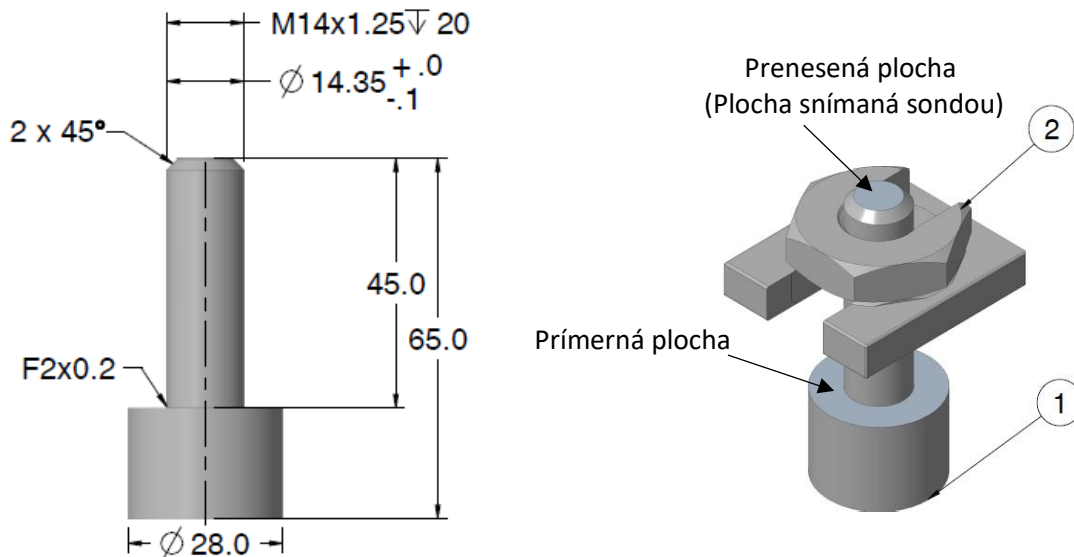
10.1.2 Zhodnotenie varianty 1

V tejto variante bol zvolený prírodný prípravok tak aby reprezentoval plochu ložiska, ktorá bude na kontrolovanú plochu dosadať. Nakoľko ide o pomerne veľký prípravok bolo nutné jeho tvar kvôli hmotnosti optimalizovať. Z toho dôvodu bola zvolená kombinácia základnej dosky z hliníku a doštičiek z nástrojovej ocele. Tiež boli namiesto jednej veľkej kruhovej prímernej dosky, ktorá by kopírovala tvar meranej plochy, zvolené tri menšie prírodné doštičky. Aj napriek materiálovým a tvarovým optimalizáciám by tento prípravok vážil 30 kg, a jeho pripevnenie ná rám by vyžadoval aspoň 2 operátorov alebo zdvihák. Ďalej použitie skrutkového spoja na pripevnenie prípravku na kontrolovaný rám spôsobuje určité montážne a meracie komplikácie. Prípravok by bolo nutné v priebehu merania z rámu zložiť alebo naň upnúť, tak aby bolo umožnené nasnímanie dier cez ktoré by bol prípravok k rámu upnutý. Tieto komplikácie by bolo možné odstrániť použitím upnutia formou vypínateľných magnetov. Ďalší problém, ktorý môže nastať pri použití tohoto prípravku je, že v prípade nerovnosti povrchu kontrolovanej plochy alebo prítomnosti nečistoty medzi kontrolovanou plochou a prírodnou doštičkou môže dôjsť k vychýleniu prípravku a druhá prírodná doštička tak nemusí dosadnúť na kontrolovanú plochu. A ak zase bude táto vychýlená prírodná doštička nasilu dotiahnutá k rámu, môže dôjsť k prehnutiu celého prípravku a teda aj k znepresneniu výsledkov merania. Ďalej snímaná plocha uprostred prípravku by celkovo nemusela reprezentovať kontrolovanú plochu. Tým, že by bola sústredená do jedného miesta by tiež mohla eliminovať prípadne tvarové odchýlky kontrolovanej plochy.

10.2 Varianta 2

Varianta číslo dva je značne zjednodušená oproti variante jedna. V tomto návrhu je na prenesenie kontrolovanej ložiskovej plochy rámu rýpadla použitý prípravok v tvare skrutky (obr.35). Aby bola reprezentovaná čo najväčšia plocha, bolo uvažovaných až 8 takýchto prípravkov. Upevnenie prípravkov je znova volené formou skrutkového spoja. Princíp je taký, že prírodný prípravok so závitom M14 (1) sa prestrčí cez dieru ($\varnothing 15$ mm) v ložiskovej ploche a z druhej strany sa zaistí maticou (2). Prenesená plocha sa tak bude snímať na konci skrutky. Ako prenesená plocha tak aj prírodná plocha budú brúsené, tak aby sa odstránil vplyv nerovnosti povrchu, a teda bola zaručená čo najvyššia presnosť prípravného prípravku. Zároveň dôležitú úlohu zohráva vzdialenosť

týchto 2 plôch (prímernej a prenesenej), ktorá sa musí zohľadniť pri vyhodnocovaní prvkov k meranej rovine.

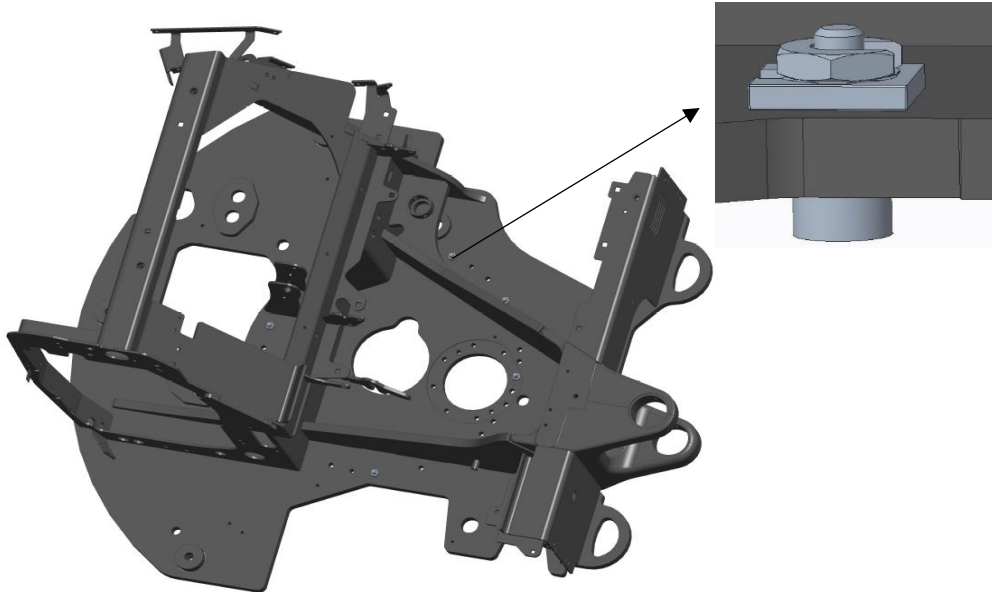


Obr. 35 Varianta 2- Rozmery a komponenty prímerneho prípravku varianty 2, 1- Prímerný prípravok,

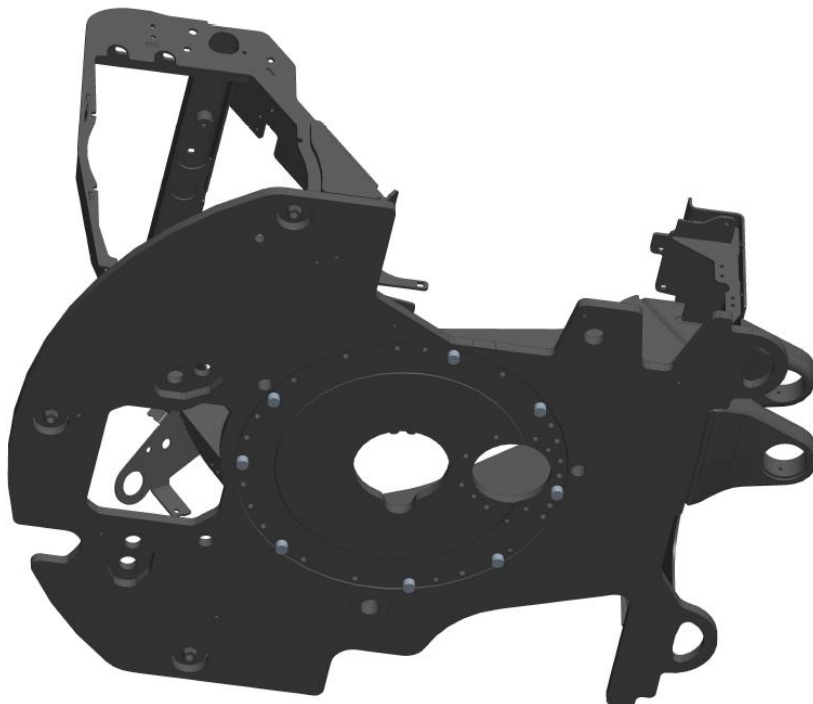
2 –Matica Buzz-nut M14

Snímaná plocha na konci prípravku sa môže zdať na prvý pohľad príliš malá, no na nasnímanie aspoň jedného požadovaného bodu je dostačujúca. Pri tvorbe CMM programu sa pri tomto prípravku nemusí brať ohľad na pootočenie prípravku, ale len na jeho posunutie, ktoré podľa priemeru prímerneho prípravku a výkresu rámu môže byť maximálne 0,45 mm. V prípade, že sa v CMM programe zvolí snímaný bod uprostred plochy, tak tento bod by mal byť vždy jednoznačne nasnímaný.

V návrhu bola zvolená matica tzv. Buzz-nut, ktorá fuguje na princípe nasunutia na skrutku z boku a následného zaistenia polohy pootočením tejto matice. Teda jej použitím by operátor nemusel skrútkovať maticu od konca skrutky a tak by bola montáž prímerneho prípravku na kontrolovaný rám výrazne zjednodušená a uľahčená. Pripevnený prípravok na ráme zobrazujú obr. 36 a obr. 37.



Obr. 36 Varianta 2- Upevnenie prírodných prípravkov na kontrolovaný rám (pohľad zhora)



Obr. 37 Varianta 2- Upevnenie prírodných prípravkov na kontrolovaný rám (pohľad zdola)

10.2.1 Varianta 2 -Technológia výroby a voľba materiálu prírodného prípravku

V návrhu je síce použitých až osem prírodných prípravkov, avšak výroba týchto prípravkov je značne jednoduchšia oproti variante 1. Technologický postup by bol taký, že by sa z tyčového polotovaru, upnutého do skľučovadla v sústruhu, vysústružil prírodný prípravok. Upnutie obrobku do skľučovadla namiesto upnutia medzi hroty bolo zvolené z dôvodu, že na konci prípravku v oblasti

prenesenej plochy nesmie byť strediacia diera. A teda kvôli upnutiu obrobku do skľučovadla bola zvolená výška hlavy prípravku až 20 mm. Na prímernom prípravku by bol vysústružený vonkajší závit M14 v dĺžke 20 mm od konca prípravku. Tento závit bude následne slúžiť na upnutie prípravku na kontrolovaný rám spolu s „otáčacou“ buzz-nut maticou, ktorá by bola nakupovaným dielom. Ďalej by bol na prímernom prípravku vysústružený zápich F pri hlave prímerneho prípravku, a vďaka nemu by malo byť umožnené finálne brúsenie prímernej plochy. Po obrobení obrobku do požadovaného tvaru s prídavkami na brúsenie by sa tento prípravok z nástrojovej ocele zakalil. Po zakalení by nasledovalo dokončovacie brúsenie prímernej a prenesenej plochy prípravku.

Materiálom prímerneho prípravku bola zvolená nástrojová ocel. Dôvodom je zaručenie tvrdosti a oteruvzdornosti prenesenej a prímernej plochy prípravku a celkovej pevnosti a korozivzdornosti prímerneho prípravku.

10.2.2 Zhodnotenie varianty 2

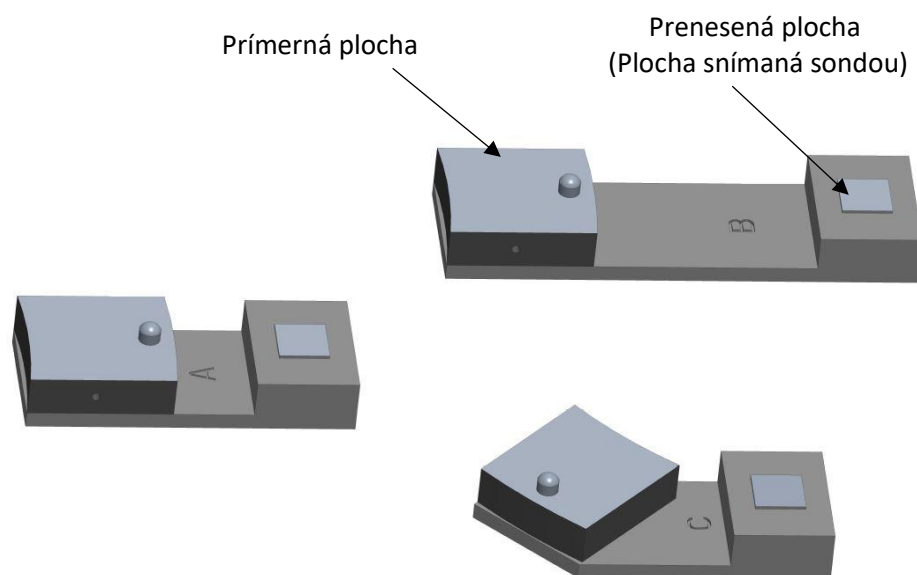
V tejto variante je prímerný prípravok riešený, jednoducho povedané, formou skrutkového spoja, teda skrutky a matice. Prímerná plocha sa nachádza na hlave tejto skrutky a prenesená plocha na konci skrutky. Presnosť prímerneho prípravku má byť zaručená brúsením oboch plôch – prímernej a prenesenej. Zároveň aj napriek vôli, ktorú tento prípravok má, by mala byť zaručená opakovateľnosť a reprodukovateľnosť merania.

Problém s použitím tohoto prípravku môže nastať pri uťahovaní skrutky maticou, ak nebude prímerný prípravok dostatočne utiahnutý na ráme môže vzniknúť medzera medzi kontrolovanou plochou a prímernou plochou, a teda výsledky merania by boli nepresné. Iným nedostatkom je, že operátor by mohol pripevniť prímerný prípravok cez inú dieru na kontrolovanom ráme a teda musí byť pozorný pri pripevňovaní prípravkov tak ako to má stanovené v CMM programe. Ďalej pri meraní dier, cez ktoré je prípravok upnutý je nutné pri tvorbe CMM programu brať ohľad na tieto prípravky. To znamená, zahrnúť v ňom napr. komentár, kedy sa meranie zastaví a operátor pripevní alebo odloží z rámu prímerné prípravky. Teda je nutný zásah do merania, avšak pri pripevňovaní alebo odkladaní prímerých prípravkov by nemalo dôjsť k posunutiu 600kg rámu rýpadla.

Najväčším nedostatkom tohoto prípravku je jeho montáž na kontrolovaný rám. Pri upínaní, prestčovaní prípravku cez dieru, môže dôjsť k poškodeniu prenesenej plochy, a tým k znepresneniu výsledkov merania. Ďalej montáž 8 prípravkov na rám, spolu s nutným prerušením programu kvôli ich pripevneniu alebo odloženiu, výrazne predĺži celkovú dobu merania. V prípade použitia menšieho počtu prímerých prípravkov by nemusela byť reprezentovaná dostatočne veľká plocha, preto bol zvolený počet na 8 prímerých prípravkov.

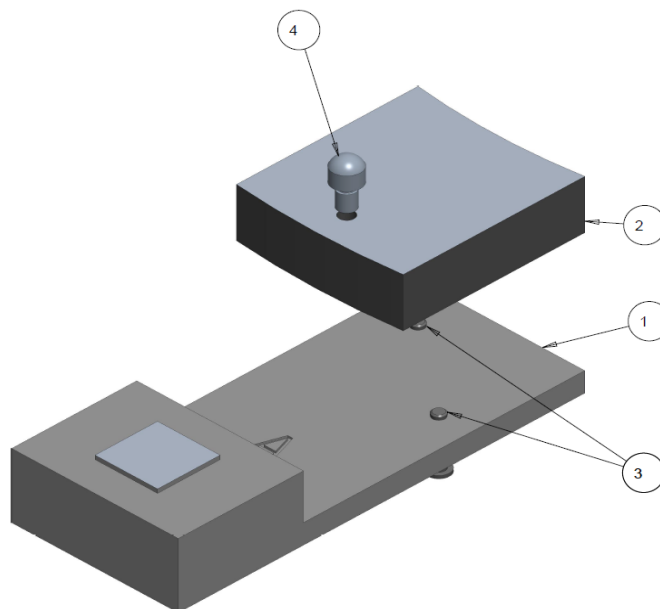
10.3 Varianta 3

V treťom návrhu boli zvolené 4 prímerné prípravky (viď obr. 38 2x Prípravok A, 1x Prípravok B a 1x Prípravok C), prostredníctvom ktorých bude „prenesená“ kontrolovaná plocha. Ich rozmery a tvar boli navrhnuté tak, aby boli ľahko aplikovateľné na meranú plochu a zároveň aby prenášaná plocha bola prístupná meracej sonde CMM. Ďalej bol kladený dôraz na to, aby prenesená plocha bola v čo najmenšej vzdialenosti od skutočnej plochy, samozrejme s ohľadom na rozmery kontrolovaného rámu. V tomto koncepte je na upnutie prímerného prípravku k ložiskovej ploche použitý vypínateľný magnet.

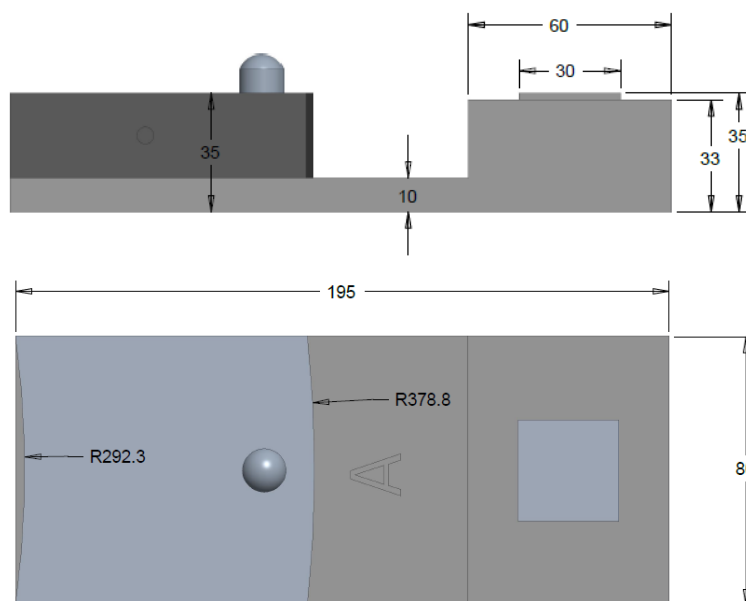


Obr. 38 Varianta 3 - 3D modely prímerných prípravkov

Každý z týchto prípravkov sa skladá z rovnakých komponent, ktoré su zobrazené na obr. 39. Jednotlivé prípravky a líšia len rozmerom konzoly prípravku (1) vzhľadom na optimálne umiestnenie na kontrolovanom ráme, avšak len čo sa týka dĺžky (B) alebo tvaru (C), výškové rozmery sú rovnaké u všetkých prípravkov. Rozmery prípravku sú zobrazené na obr. 40.



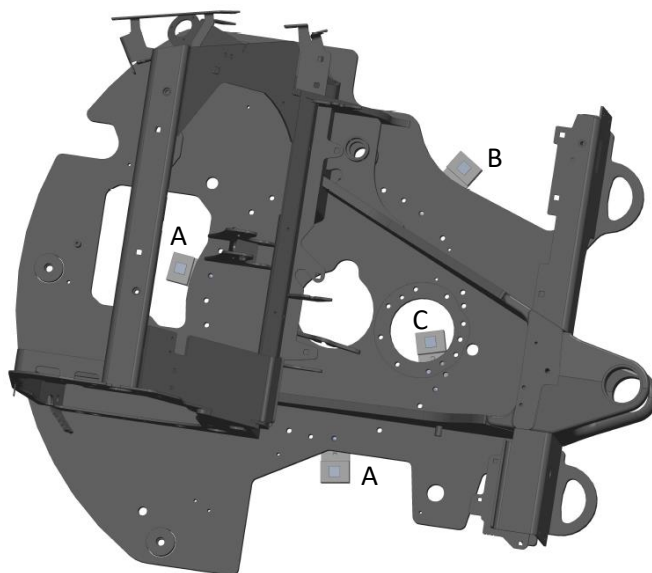
Obr. 39 Varianta 3- Komponenty průměrného přípravku A: 1- Konzola přípravku, 2- Vypínatelný magnet, 3- Skrutka so zápustnou hlavou M6-25 (2 ks), 4- Kolík Ø14.35 mm



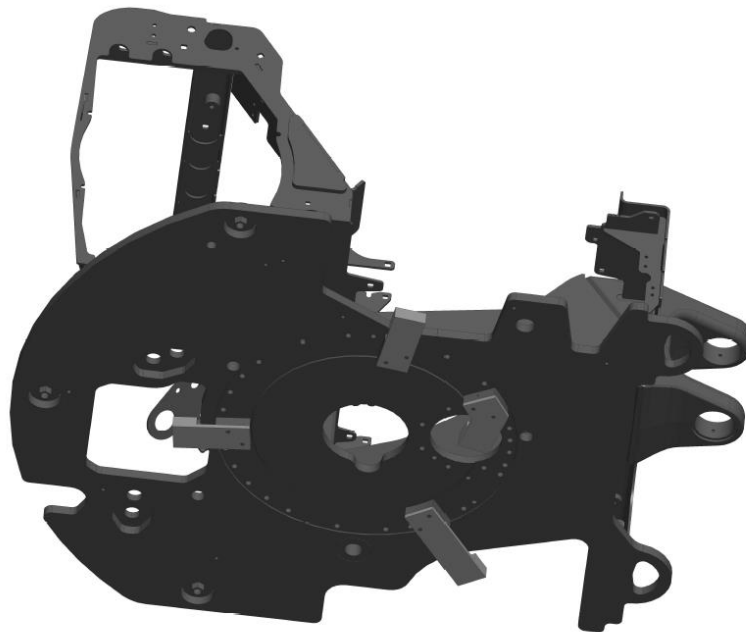
Obr. 40 Varianta 3- Rozměry přípravku A

Snímanú, prenesenú plochu predstavuje na konzole prípravku vyfrézovaný štvorec o rozmeroch 30x30 mm. Táto plocha je v úrovni s prímernou plochou na magnetu (2), pričom obe tieto plochy sú brúsené. Zároveň aj spodná podstava magnetu a plocha pod magnetom na konzole je brúsená, aby bola zaručená čo najvyššia presnosť průměrného přípravku, bez vplyvu drsnosti povrchu jednotlivých komponent. Magnet (2) je ku konzole pripevnený dvomi skrutkami so

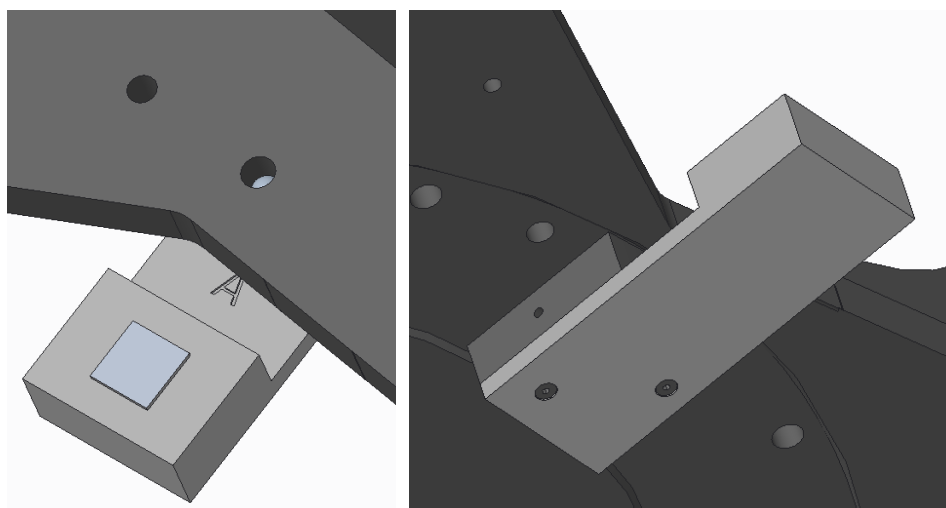
zápustnou hlavou M6x0,75. Ďalej je do magnetu pripevnený nerezový kolík $\varnothing 14.35$ (4). Úlohou tohoto kolíka je určenie umiestnenia prípravku na kontrolovanom ráme rýpadla. Rozmery kolíka boli zvolené tak aby sa s určitou vôľou zmestil do diery na ložiskovej ploche o priemere 15 mm, ďalej celková výška hlavy kolíka 10 mm umožňuje ešte pre snímaciu sondu prístup na meranie tejto diery. Materiál kolíka bol zvolený tak aby bol nemagnetický a teda aby nedošlo vplyvom magnetu o primagnetizovanie k stene diery. Zastavenie pootočenia prípravku na meranej ploche majú zaistiť vyfrézované bočné steny magnetu, podľa tvaru ložiskovej plochy. Polomery týchto stien boli volené z ohľadom na vôľu podľa výkresovej dokumentácie rámu rýpadla. Celková možná vôľa pootočenia resp. posunutia prípravku je 2,15 mm. Na túto hodnotu bude nutné brať ohľad pri tvorbe CMM programu, aby neboli volené snímané body na okrajoch snímanej prenesenej plochy ale viac v strede. Každopádne veľkosť snímanej plochy je 30x30 mm a teda táto plocha by mala byť dostačujúca na to aby bola aj po opakovanom upnutí prípravku jednoznačne nasnímaná dotykovou sondou. Umiestnenie jednotlivých prípravkov zobrazuje obr. 41 a 42 a detail upnutia prípravku je zachytený na obr. 43.



Obr. 41 Varianta 3-Umiestenie prírodných prípravkov na kontrolovanom ráme rýpadla (pohľad zhora)



Obr. 42 Varianta 3- Umiestenie prímerých prípravkov na kontrolovanom ráme rýpadla (pohľad zdola)



Obr. 43 Varianta 3 - Upnutý prímerý prípravok A

10.3.1 Varianta 3 -Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku

Vo variante 3 je na upnutie prímerného prípravku zvolený vypínateľný magnet. Tento magnet má navrhnuté špecifické rozmery, ktoré je pre funkčnosť prípravku nutné dodržať. Podľa návrhu je potrebné vyfrézovať bočné steny magnetu podľa rozmerov ložiskovej plochy rámu, následne do neho urobiť 2 závitové otvory a jednu dieru pre kolík. Potom je nutné brúsenie spodnej

plochy magnetu, ktorou bude magnet ležať na konzole prímerného prípravku, a zároveň treba ponechať prídavok na dokončovacie brúsenie prímernej plochy magnetu.

Okrem toho je treba vyrobiť samotnú konzolu prímerného prípravku. Tá by sa vyfrézovala z oceľovej dosky do požadovaného tvaru a rozmerov so zanechaním prídavku na brúsenie ako na prenesenej ploche tak na ploche pod magnet. Potom by nasledovalo práve brúsenie tejto plochy pod magnet. Ďalej by sa sa na konzolu priskrutkoval vypínateľný magnet dvomi skrutkami so zápusťou hlavou a nasledovalo by dokončovacie brúsenie. Pri tomto brúsení sa naraz obrúsi ako prímeraná plocha na magnetu tak aj prenesená plocha na konzole prímerného prípravku. Tým sa zaistí, že tieto dve plochy budú v jedenej rovine a teda aj presnosť prímerného prípravku. Po finálnom brúsení ostáva ešte vloženie kolíka do príslušnej diery v magnetu a to je posledný krok k zhotoveniu prímerného prípravku varianty 3.

Z materiálového hľadiska by bolo vhodné použiť na výrobu konzoly prímerného prípravku nástrojovú ocel. Materiál kolíka by mal byť zvolený s ohľadom na vplyv magnetickej sily ktorá naň bude pôsobiť. Adekvátne by bola austenitická koróziivzdorná oceľ, tým by sa zaručilo to, že by nedošlo k primagnetovaniu kolíka na stenu diery v kontrolovanej ploche, kde bude umiestený.

Vypínateľný magnet sa skladá z 2 častí a to je jeho jadro, ktoré obvykle býva z neodymu a z oceľového obalu. Práve tento oceľový obal by sa obrábal, nakoľko obrábanie krehkého materiálu ako je neodým by skomplikovalo celkovú výrobu prímerného prípravku.

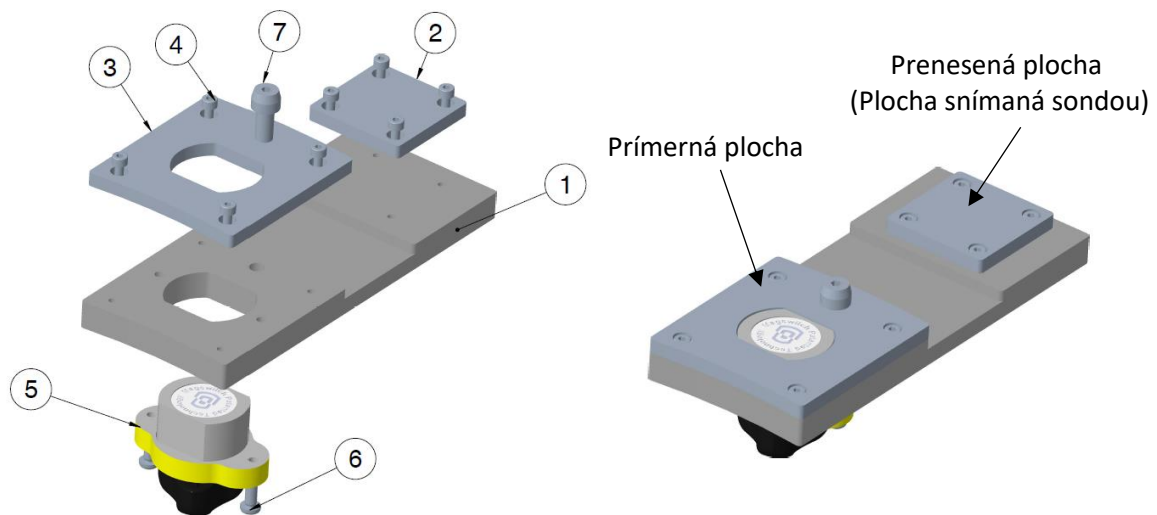
10.3.2 Zhodnotenie varianty 3

Vo tomto návrhu je upnutie prímerného prípravku volené formou vypínateľného magnetu vyrobeného na mieru. Práve výroba magnetov na mieru je celkom náročná a jednoznačne by výrazne zvýšila celkové náklady na výrobu prímerných prípravkov.

Ďalej narážame na problém voľby materiálu konzoly prímerného prípravku. Najväčšia konzola prímerného prípravku (konzola B) vyrobená z nástrojovej ocele by vážila 4,6 kg a teda celková váha prímerného prípravku by bola okolo 5,2 kg. A teda by bolo vhodné tento prípravok odľahčiť. Ako prvá možnosť sa naskytá vyrobenie konzoly z hliníka, je nemagnetický, ľahký, koróziivzdorný, dobre obrobiteľný, avšak je veľmi mäkký, a výrazne sa opotrebuje. Teda by moholo dôjsť k poškodeniu a znehodnoteniu prenesenej plochy, a tým aj k znepresneniu výsledkov merania. Ďalej pri snímaní hliníku dotyk, je lepšie voliť iný materiál guličky než je rubín. Pri skenovaní hliníku rubínovou guličkou sa v dôsledku adhézneho oteru môže na povrchu guličky usadzovať hliník, čo môže byť zdrojom variability merania.

Riešním by mohlo byť použitie hliníkovej konzoly, na ktorú bude v mieste prenesenej plochy priskrutkovaná meracia doštička obdobne ako to bolo vo variante 1. Táto doštička by bola z nástrojovej ocele a teda by sa odstránili problémy spojené ako s nevhodnosťou použitia hliníku na samotné snímanie tak aj problémy s vyššou hmotnosťou prímerných prípravkov. No na druhej strane by sa zase čiastočne skomplikovala výroba prímerných prípravkov. Tiež by bolo vhodné použiť vypínateľný magnet, ktorý by nebol vyrobený na mieru, ale nakupovaný. Teda tvar prímerného prípravku prispôbiť magnetu.

Možné optimálne riešenie zobrazuje obr. 44, kde je použitá hliníková konzola (1) a na ňu priskrutkovaná meracia (2) a prímerná (3) doštička z nástrojovej ocele. Ďalej je zo spodu konzoly priskrutkovaný vypínateľný magnet MagJig 150 (5) spoločnosti Magswitch. Tento magnet by bol osadený o 0,5 mm hlbšie od prímernej plochy, tak aby nedošlo k jeho kontaktu s kontrolovanou plochou. Z toho istého dôvodu by boli aj zahĺbenia pre skrutky so zápusťou hlavou volené o 0,5 mm hlbšie.



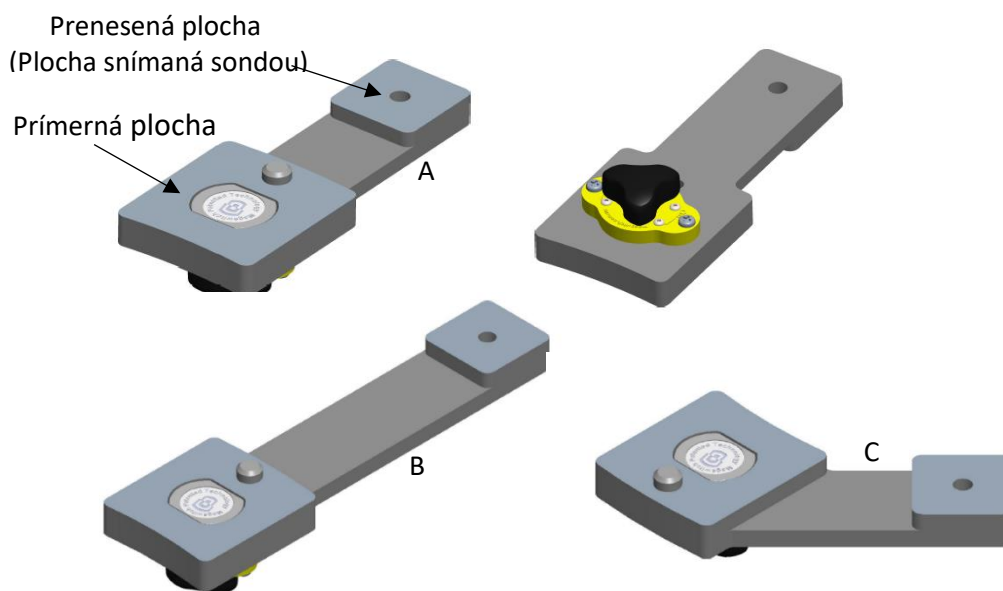
Obr. 44 Varianta 3 - Optimalizácia návrhu prímerného prípravku. 1 - Konzola prípravku z hliníku, 2- Meracia doštička, 3- Prímerná doštička, 4- Skrutka M4 so zápusťou hlavou (8 ks), 5- Vypínateľný magnet MagJig 150, 6- Skrutka M4 (2 ks), 7- Kolík Ø14.35

Toto na prvý pohľad komplikované riešenie prípravku má zaručiť z materiálového hľadiska nízku hmotnosť, koróziivzdornosť prímerného prípravku a zároveň oteruvzdornosť a tvrdosť snímanej a prímernej plochy prípravku.

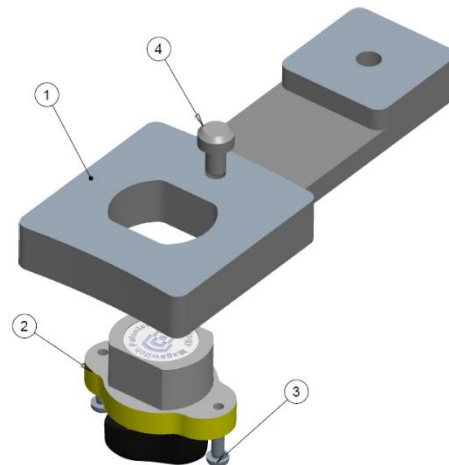
Zhľadiska presnosti prípravku je nutné brať ohľad na možný vznik chyby merania spôsobený pákovým efektom prípravku. Ide o to, že v prípade prítomnosti nečistoty alebo inej nerovnosti na kontrolovanej ploche môže dôjsť k vychýleniu prípravku a teda aj snímanej prenesenej plochy. Pákový efekt prímerného prípravku je podrobnejšie rozobraný v kapitole 10.4.3.

10.4 Varianta 4

Variantu číslo 4 možno považovať za modifikáciu varianty 3. V tomto návrhu sú použité 4 prímerné prípravky obr. 45 (2x prípravok A, prípravok B a prípravok C), ktorých upnutie na kontrolovaný rám je obdobné ako vo variante 3 - pomocou vypínateľného magnetu. Model týchto prípravkov zobrazuje obr. 45 a jednotlivé komponenty prípravku zobrazuje obr. 46. Optimalizácia spočíva v tom, že nie je nutná výroba magnetu na mieru, ale použije sa kúpený magnet (6) od spoločnosti Magswitch. Tento magnet však nedosadá na kontrolovanú plochu ale je od nej vzdialený 0.5 mm. Bol zvolený konkrétny magnet MagJig 150, ktorý rozmerovo a silovo vyhovuje tejto aplikácii, a aj napriek vzduchovej medzere je schopný spoľahlivo prímerný prípravok na meranej ploche udržať. Ďalej je v tomto návrhu optimalizovaná váha prípravku prispôbením rozmerov jednotlivých prípravkov.

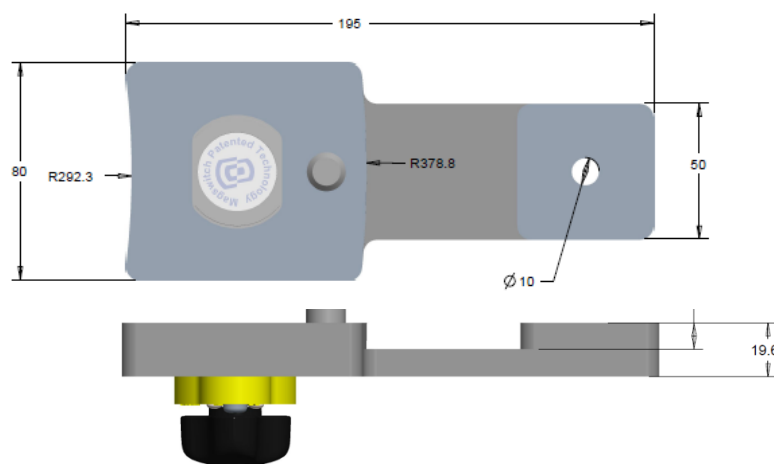


Obr. 45 Varianta 4 - Modely prímerných prípravkov A, B a C



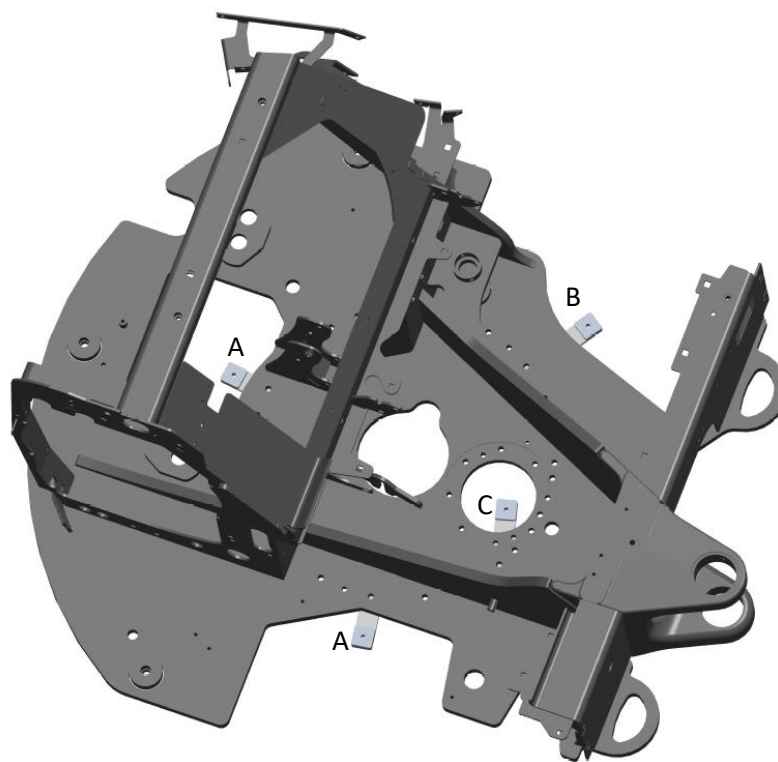
Obr. 46 Varianta 4- Zostava prímerného prípravku A, 1- Konzola prímerného prípravku, 2- Magnet Migjig 150, 3- Skrutka M4-20 (2 ks), 4 – Kolík $\varnothing 14.35$

V tomto návrhu je do ocelevej konzoly je zo spodnej strany pripevnený magnet (2) pomocou dvoch skrutiek M4-20 (3). Umiestnenie prímerného prípravku na kontrolnom ráme má opäť, ako to bolo vo variante 3, zaručiť kolík P14,35 (4). Tento kolík je zvolený z nástrojovej ocele, nakoľko je dostatočne vzdialený od magnetu nemalo by dôjsť primagnetizovaniu kolíka k stene diery. Zastavenie pootočenia majú zase zaručiť vyfrézované bočné steny prípravku podľa tvaru osadenia kontrolovanej ložiskovej plochy rýpadla. Takže znova s ohľadom na výkresovú toleranciu rámu je maximálny možný posun alebo pootočenie prípravku 2,15 mm. Snímaná plocha sondou bola zväčšená na 50x50 mm a uprostred nej bola navrhnutá diera, ktorá sa bude snímať. Teda stred kružnice tejto diery je jeden opakovateľný bod. Tým pádom by mala byť zaručená opakovateľnosť a reprodukovateľnosť merania. Rozmery prímerného prípravku A sú zobrazené na obr. 47. Výkresová dokumentácia jednotlivých prípravkov varianty 4 sa nachádzajú v prílohe 1-3.

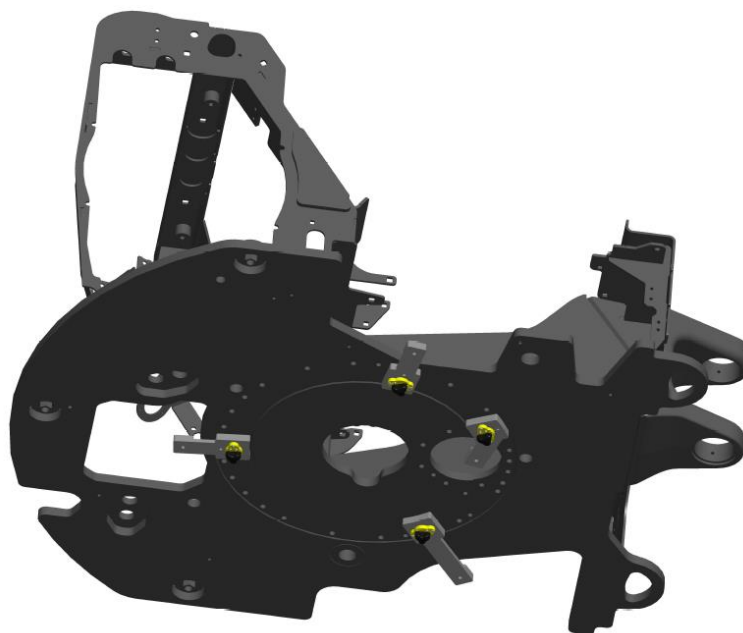


Obr. 47 Varianta 4- Rozmery prímerného prípravku A

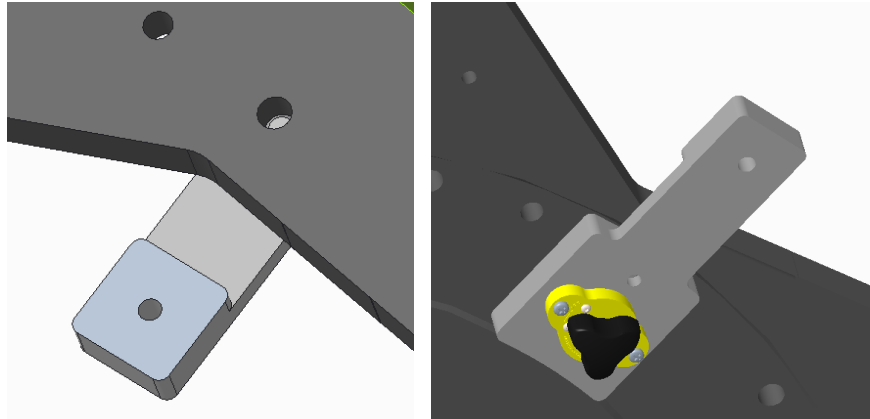
Upnutie prípravkov na kontrolovanom ráme rýpadla zobrazuje obr. 48 a obr. 49. Detail upnutia je zachytený na obr. 50.



Obr. 48 Varianta 4 - Umiestnenie prírodných prípravkov na kontrolovanom ráme rýpadla (pohľad zhora)



Obr. 49 Varianta 4 - Umiestnenie prírodných prípravkov na kontrolovanom ráme rýpadla (pohľad zdola)



Obr. 50 Varianta 4- Detail upnutia prímerného prípravku A

10.4.1 Varianta 4 -Technológia výroby a voľba materiálu prímerného prípravku

Výroba týchto prípravkov by prebehla tak, že sa z ocelej dosky vyfrézuje požadovaný tvar prímerných prípravkov. Dôležité je ponechať prídavok na konečné brúsenie ako na prímernej ploche tak na prenesenej ploche prípravku. Ďalej sa do prípravku vyfrézujú dve závitové diery M4, diera pre kolík a diera na snímníe uprostred prenesenej plochy. Po obrobení prípravku do požadovaného tvaru nasleduje jeho zakalenie. Ďalším krokom po zakalení je konečné brúsenie prenesenej aj prímernej plochy prípravku zároveň. Tým sa zaručí rovinnosť a rovnobežnosť týchto dvoch plôch a teda aj presnosť celého prípravku. Potom sa do príslušnej diery vloží kolík a posledným krokom je montáž magnetu na prípravok.

Materiál prímerného prípravku bola zvolená nástrojová oceľ ČSN 19 433. Táto oceľ má vynikajúcu lešiteľnosť, odolnosť proti opotrebovaniu, odolnosť proti korózii, obrobiteľnosť a rozmerovú stálosť. Vo všeobecnosti sa táto oceľ pužíva na výrobu meradiel a koncových meriek, preto je adekvátna aj na výrobu prímerného prípravku.

10.4.2 Zhodnotenie varianty 4

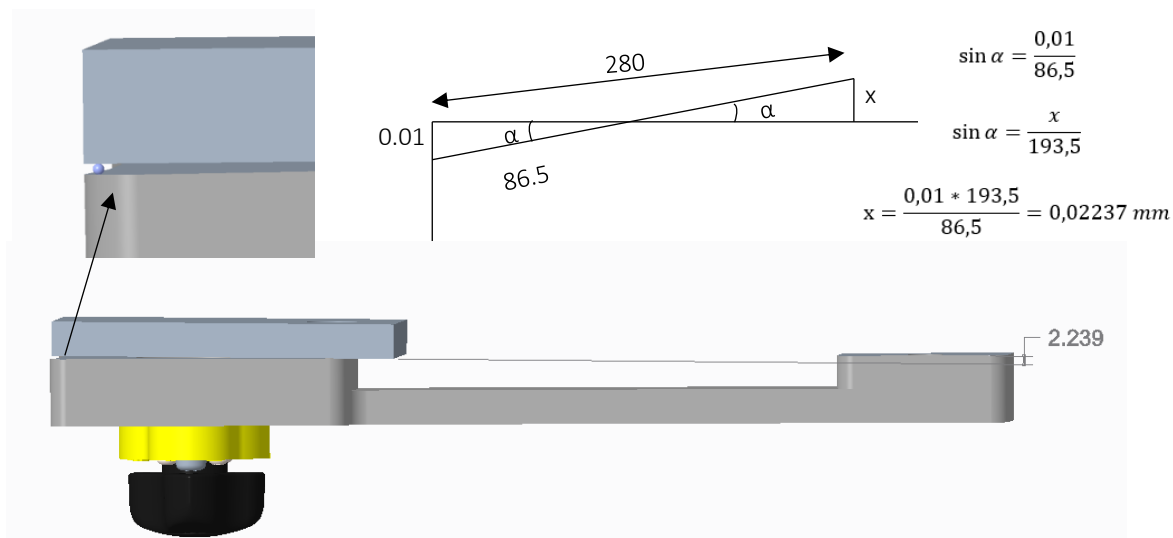
V návrhu 4 je na pripevnenie prímerných prípravkov použitý vypínateľný magnet Magjig 150, takže oproti variante 3 odpadá nutnosť výroby vypínateľného magnetu na mieru. V tomto koncepte prípravkov boli optimalizované ich rozmery a tvar, tým sa dosiahlo, že aj pri výrobe prípravku z ocele bude najväčší prípravok (prípravok B) vážiť 2 kg. Vďaka tomu nie je nutné vyrábať prímerný prípravok z rôznych materiálov a tiež sa tým zjednodušila celková výroba prímerných prípravkov oproti variante 1 a 3.

Ďalej bola uprostred prenesenej plochy navrhnutá diera, ktorá sa bude snímať. Táto diera bude premientutá do prenesenej plochy ako kružnica a stred tejto kružnice bude jeden

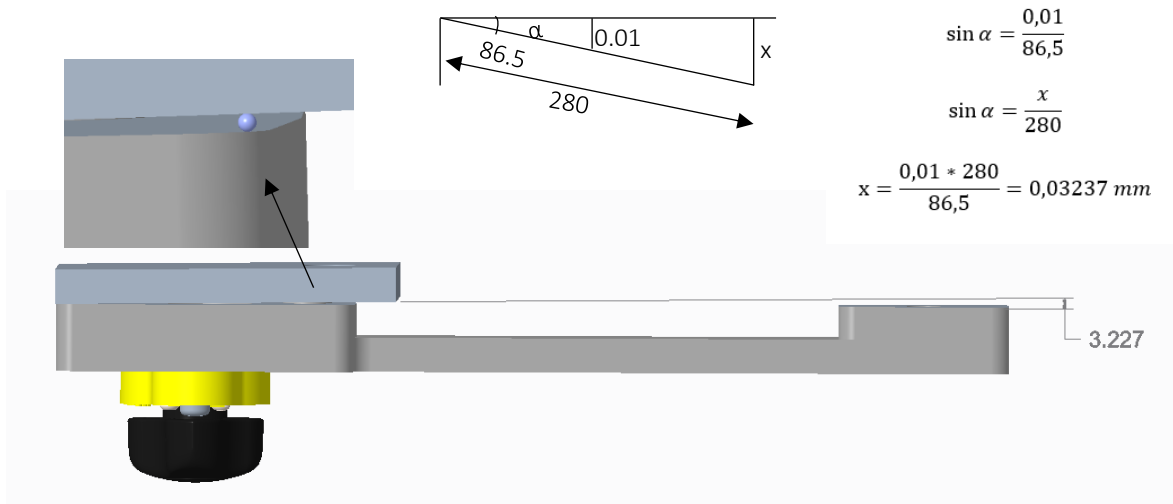
opakovačelný bod. Tak má byť zaistená opakovačelnosť a reprodukovateľnosť merania prírodných prípravkov. Maximálne možné posunutie alebo potočenie prípravku bolo na základe výkresu rámu rýpadla rozmerov prípravku vypočítané na 2,15 mm. Túto hodnotu je treba zohľadniť pri tvorbe CMM programu. Ďalej v tomto prípade nie je do úvahy brané ešte možné vychýlenie celého prípravku spôsobené prítomnosťou nečistoty alebo inej nerovnosti na kontrolovanej ploche. A teda môže dôjsť k vychýleniu prenesenej plochy a tým k znepresneniu výsledkov merania. Modelová situácia možného vychýlenia je rozoberaná viac v nasledujúcej kapitole.

10.4.3 Modelová situácia – pákové vychýlenie prírodného prípravku

Ako bolo v predchádzajúcej kapitole spomenuté, s použitím prírodného prípravku varianty 3 alebo varianty 4, vzniká riziko pákového vychýlenia celého prípravku. Teda v prípade prítomnosti nečistoty alebo inej nerovnosti na povrchu kontrolovanej ložiskovej plochy rámu môže dôjsť k vychýleniu prípravku ako vo vertikálnom tak aj v horizontálnom smere. Na zistenie týchto možných vychýlení bola navrhnutá nasledujúca modelová situácia. V tomto príklade sa bral do úvahy najdlhší prípravok – prípravok B z varianty 4.



Obr. 51 Modelová situácia- Vplyv prítomnosti nečistoty na vnútornom okraji kontrolovanej plochy na celkové vychýlenie prípravku B. 3D model pre lepšie znázorenie zobrazuje vychýlenie prípravku s časticou o veľkosti 1 mm, a trigonometrický výpočet vychýlenia s časticou o veľkosti 0,01 mm



Obr. 52 Modelová situácia- Vplyv prítomnosti nečistoty na vonkajšom okraji kontrolovanej plochy na celkové vychýlenie prípravku B. 3D model pre lepšie znázorenenie zobrazuje vychýlenie prípravku s časticou o veľkosti 1 mm, a trigonometrický výpočet vychýlenia s časticou o veľkosti 0,01 mm

V tejto modelovej situácii (obr. 51 a 52) bola zvolená nečistota o veľkosti 1mm pre lepšie znázorenenie. V skutočnosti sa nepočíta s tým že by mohla byť nečistota na povrchu až 1 mm. Reálne sa počíta s tým, že nečistota bude mať veľkosť rádovo menšiu od 10 μm a teda aj možné maximálne vychýlenia sa rádovo zmenšia. S týmito hodnotami sa počítalo pri trigonometrickom výpočte možného vychýlenia. V prípade, že sa táto nečistota nachádza na bočnom okraji prímerného prípravku, horizontálne vychýlenie prípravku odpovedá veľkosti nečistoty.

11 Riešenie použitím iného zariadenia

11.1 Varianta 5

Problematiku merania požadovanej ložiskovej plochy rámu rýpadla by bolo možné riešiť špeciálnou dotykovou sondou, ktorá by sa do požadovaných miest dostala. Teda by bolo možné priamo nasnímať kontrolovanú plochu sondou. Toto riešenie by eliminovalo všetky neistoty spojené s prímerným prípravkom a prenášaním plochy. Na druhej strane by mohli vzniknúť neistoty spôsobené predĺžením a zahnutím sondy.

CMM Alpha DEA, ktorý je na meranie rámu v spoločnosti Bobcat používaný, má automaticky indexovateľnú skenovaciu hlavu HH-A-T5 spoločnosti Hexagon (obr. 53). Táto snímacia hlava je schopná indexácie v 5° prírastkoch a dosahujú tak 3024 jedinečných polôh. Na nej je pripevnená skenovacia sonda HP-S-X1H. Táto sonda zaručuje presnosť merania pri meraní v horizontálnom

smere s dotykom do dĺžky 100 mm a vo vertikálnom smere 225 mm. Táto dĺžka by postačovala na kontrolu ložiskovej plochy v krajných oblastiach, avšak nie na celú ložiskovú plochu. [49] [50]



HP-S-X1H	
Typ snímací hlavy	Analogová
Rozhraní sondy	TKJ (kinematická rychlospojka)
Rozměry	Ø 30 x 109 mm
Hmotnost	100 g
Rozlišení	< 0,1 µm
Měřicí rozsah	± 2 mm ve všech osách
Lineární tuhost	1,2N/mm
Spoj doteku	M3
Max. hmotnost doteku	33 g (včetně upevnění doteku)
Max. délka doteku	Vertikální: Až 225 mm Horizontální: Až 100 mm

Obr. 53 Snímací hlava HH-A-T5 so skenovací sondou HP-S-X1H [50]

V prípade kontroly celej ložiskovej plochy by bolo vhodné použiť CMM, ktoré majú pevné snímacie hlavy so skenovacími sondami umožňujúcimi použitie dlhších dotykov. Príklady týchto vysokopresných skenovacích sond sa nachádzajú v nasledujúcom prehľade (obr. 54, 55 a 56)



Sonda SP80 umožňuje používať veľmi dlhé dotyky do dĺžky až 1000mm a hmotnosti až 500g.

Rozlíšenie 0,02 µm

Presnosť merania s dotykom 50 mm < 1 µm

Presnosť merania s dotykom 1000 mm < 2 µm

Obr. 54 Snímací hlava so skenovací sondou SP80 spoločnosti Renishaw [51]



Sonda LSP-S2 umožňuje snímať s predĺžením v horizontálnom smere až o dĺžke 800 mm s hmotnosťou do 1000 g.

Rozlíšenie 0,02 µm

Presnosť merania s dotykom 800 mm < 2 µm

Obr. 55 Snímací hlava so skenovací sondou LSP-S2 spoločnosti Leitz [52]

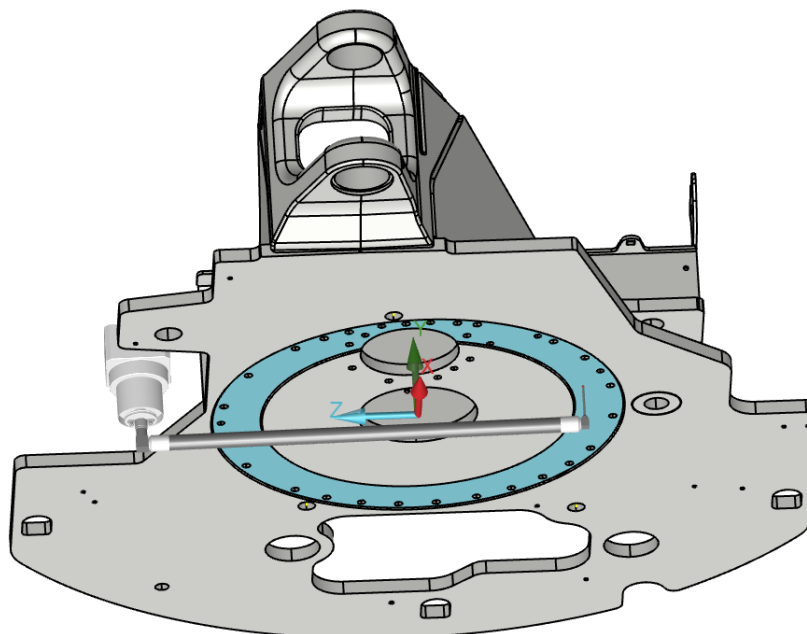


Vast Gold je vysokorychlostný skenovací systém, na ktorý môžeme upevniť dotyky dlhé až 800 mm o hmotnosti 800g.

Rozlíšenie 0,05 μm

Obr. 56 Skenovací systém Vast Gold spoločnosti Zeiss [53]

Modelový príklad priameho snímania ložiskovej plochy rámu, použitím dotykovej sondy s predĺžením 800 mm je zobrazený na obr. 57.



Obr. 57 Priama kontrola ložiskovej plochy dotykovou sondou

11.1.1 Zhodnotenie varinaty 5

Priama kontrola ložiskovej plochy rámu rýpadla by bola jednoznačne najlepším riešením. Avšak nákup nového zariadenia len kvôli snímaniu tejto plochy je ekonomicky nevýhodný. Navyše, aktuálne používaná snímacia hlava so skenovacou sondou HP-S-X1H, je viac než vyhovujúca pre kontrolu iných dielov, ktoré sa na tomto zariadení snímajú. Totižto všetky vyššie uvedené hlavy sú

síce vysokopresné a umožnili by nasnímanie kontrolovanej plochy pomocou predĺžených dotýkov, avšak ide o pevné hlavy. Teda pri meraní týmito hlavami by bolo komplikované nasnímať iné prvky, ktoré sa na tomto a iných dieloch vo firme kontrolujú. Teda by bolo nutné použiť špeciálne dotyky a tiež prípadná častá výmena snímacích sond v priebehu jedného merania.

11.2 Varianta 6

Ďalším riešením problematiky snímania ložiskovej plochy by mohlo byť použitie iného súradnicového meracieho stroja. V tomto prípade by bolo vhodné použiť CMM stojanového typu s horizontálnym ramenom. Príklad takéhoto CMM je na obr. 58. Tento typ CMM nachádza uplatnenie hlavne pri kontrole automobilových karosérii. Otvorená konštrukcia týchto CMM umožňuje maximálny prístup k meraným dielom a teda zjednodušujú operáciu zakladania a vykladania dielov. Tento typ CMM môže byť tiež v prevedení aj s dvoma horizontálnymi ramenami, a teda umožňuje efektívnejšiu a rýchlejšiu kontrolu meraných dielov. [54]

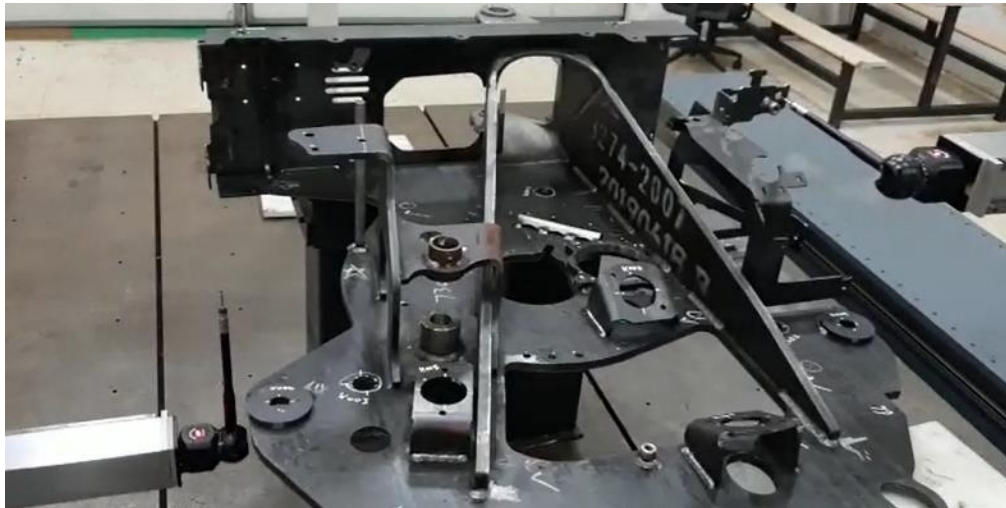


Obr. 58 CMM s dvomi horizontálnymi ramenami BRAVO HP spoločnosti DEA [54]

Tabuľka 4 Merací rozsah a presnosť CMM BRAVO HP spoločnosti DEA [54]

Měřicí rozsah (mm)		
X	Y	Z
4000 - 6000 - 7000 - 9000	1600	2100 - 2500 - 3000
Přesnost: $MPE_E = \text{od } 15 + 10 L/1000 < 40$		

Práve stojanový typ CMM je používaný na kontrolu rámov rýpadiel v spoločnosti Bobcat Doosan v Číne. Kontrola rámu a ložiskovej plochy rýpadla na CMM stojanového typu s dvomi horizontálnymi ramenami je zobrazená na obr. 59 a 60.



Obr. 59 Kontrola rámu rýpadla na CMM s dvomi horizontálnymi ramenami



Obr. 60 Kontrola ložiskovej plochy rámu rýpadla na CMM s dvomi horizontálnymi ramenami

11.2.1 Zhodnotenie varianty 6

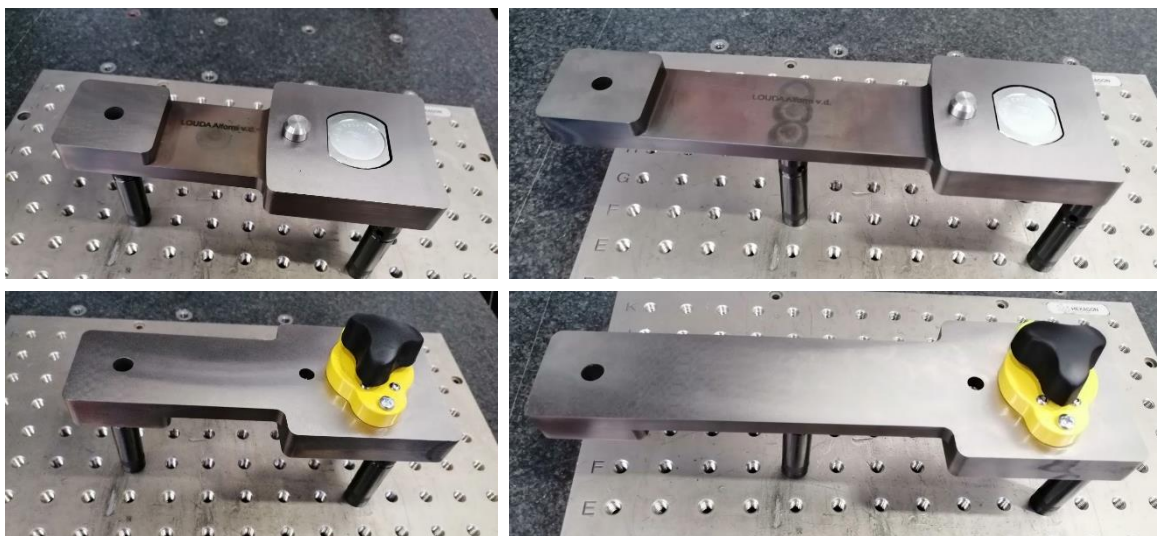
Zo všetkých navrhovaných variant je táto možnosť kontroly ložiskovej plochy z hľadiska presnosti a využiteľnosti zariadenia najvýhodnejšia. CMM stojanového typu s dvomi horizontálnymi ramenami má síce menšiu presnosť, no by umožnil, ako nasnímanie ložiskovej plochy zo spodu rámu tak aj nasnímanie všetkých ostatných prvkov na kontrolovanom diele. Z ekonomického hľadiska je síce táto varianta najmenej výhodná, ale v prípade rozšírenia portfólia výroby v spoločnosti Bobcat Doosan, by CMM stojanového typu určite našiel využitie.

12 Návrh experimentu na overenie spôsobilosti kontrolného prípravku pre sériové meranie

Zadávateľ diplomovej práce, spoločnosť Bobcat Doosan, si z navrhovaných možných variánt zvolila variantu prírodných prípravkov číslo 4. Ide o celooceľové prevedenie prírodného prípravku s upnutím pomocou vypínateľného magnetu. Na začiatok sa nechali prototypizovať 2 prírodné prípravky - A a B varianty 4. Na týchto prípravkoch bude v ďalších kapitolách overovaná ich spôsobilosť na meranie ložiskovej plochy rámu rýpadla. V prípade, že sa tieto prípravky osvedčia nechajú sa vyrobiť aj zvyšné 2 prírodné prípravky.

12.1 Kontrola prírodných prípravkov

Prírodné prípravky boli vyrobené externou firmou. Pred overovaním ich spôsobilosti je nutné skontrolovať samotné prírodné prípravky. Skontroluje sa teleso prípravku a všetky diely príslušenstva. Prekontroluje sa funkcia meracieho prípravku, upínací magnet musí byť funkčný a ľahko ovládateľný, zalisované kolíky pevne spojené.



Obr. 61 Vzhľadová a funkčná kontrola prípravku A (vľavo) a prípravku B (vpravo)

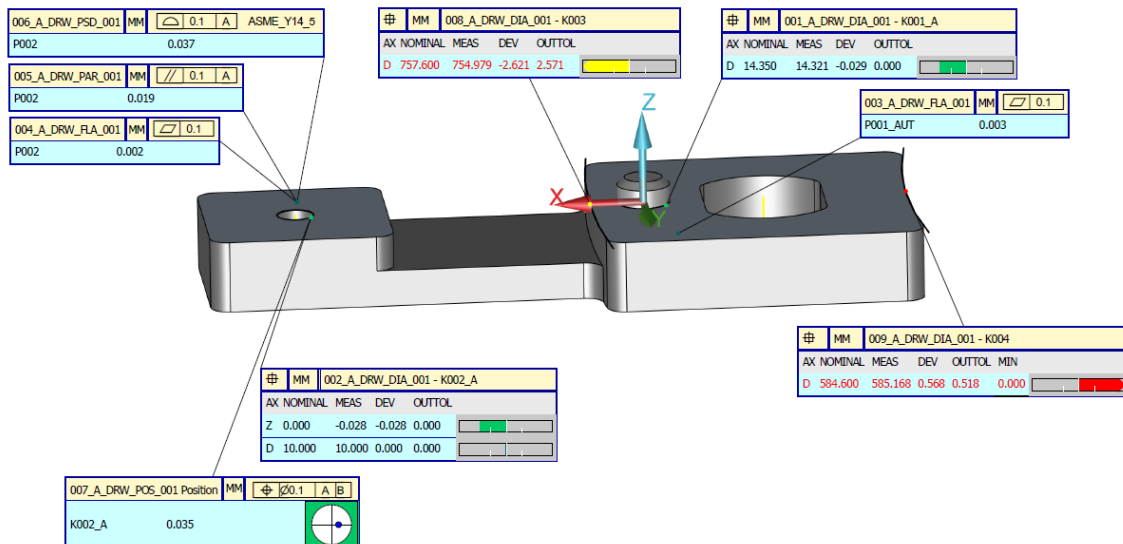
Nasleduje meranie kontrolného prípravku. Zmerajú sa všetky tolerované geometrické rozmery a ďalšie rozmery ovplyvňujúce presnosť a funkciu prípravku. Ďalej sa zmeria drsnosť, poprípade textúra povrchu podľa výkresových údajov.



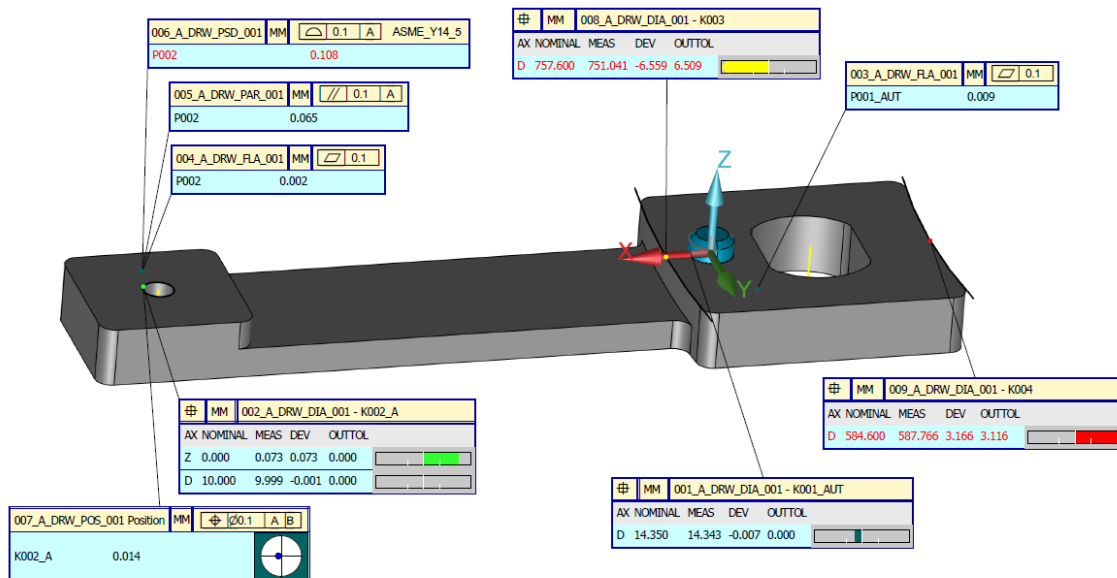
Obr. 62 Meranie metrologických parametrov. Vľavo meranie geometrických rozmetov na CMM Tigo SF. Vpravo meranie drsnosti príložných a meracích pôch drsnomerom Surftest SJ-210 Mitutoyo.

12.1.1 Vyhodnotenie merania

Z výsledkov merania prírodných prípravkov (obr.63 a 64) je zjavné, že neboli vyrobené podľa predpisov stanovených výkresom. Konkrétne u oboch prírodných prípravkov boli namerané priemery krajných plôch menšie, resp. väčšie. Toto nedodržanie výkresových rozmerov bude mať z následok oveľa väčšie možné pootočenie prípravku na ložiskovej ploche rámu. Ďalej bolo namerané posunutie stredu kružnice uprostred prenesenej plochy, ktorá má byť snímaná oproti prímernej ploche. Posunutie stredov týchto dier v ose Z bude zohľadnené pri vyhodnocovaní merania ložiskovej plochy rámu rýpadla.



Obr. 63 Vyhodnotenie merania prírodného prípravku A



Obr. 64 Vyhodnotenie merania prímerneho prípravku B

Tiež nebola dodržaná požadovaná výkresová drsnosť Ra 0,1 μm na prímernej a prenesenej ploche. Priemerne bola na oboch prípravkoch nameraná drsnosť Ra 0,6 μm . Nedodržanie drsnosti môže takisto vnieť nepresnosť do výsledkov merania prímernými prípravkami.

Protokol z merania spolu s vyznačenými jednotlivými vyhodnocovanými geometrickými toleranciami a rozmermi sa nachádza v prílohe 4 a 5.

Pred zavedením meracieho prípravku do používania sa okrem vstupnej kontroly vykoná skúška spôsobilosti meradla. Táto skúška sa vykonáva v mieste používania meracieho prípravku.

12.2 Overenie spôsobilosti prímerých prípravkov a procesu merania

Overenie spôsobilosti prímerých prípravkov na kontrolu ložiskovej plochy rámu rýpadla v sériovej výrobe bude vyhodnotené na základe metodík MSA, VDA 5 a ISO 22514-7. Postupy vyhodnotenia spôsobilosti pomocou týchto metodík sú popísané v kapitolách 4, 5 a 6

Všetky tieto metodiky vyhodnocovania spôsobilosti systému merania a procesu merania zhrňa dokopy software Yarovyn od spoločnosti Diribet. Ide o cloudový nástroj na analýzu meracích procesov. Pomocou tohoto softwaru je možné vyhodnotiť výkonostné pomery Q_{MS} a Q_{MP} , tiež ukazatele spôsobilosti C_g a C_{gk} , alebo GRR pre spojité aj atributívne hodnoty.

Samotné meranie prebiehalo na súradnicovom meracom stroji Alpha Dea so snímacou hlavou HH-A-T5 a skenovacou sondou HP-S-X1H (viď kapitola 9.4 a 11). Na snímanie bol použitý dotyk o dĺžke 50 mm a s priemerom rubínovej guľičky 5 mm (obr. 65). Kvôli umožneniu prístupu

meracieho zariadenia ku všetkým vyhodnocovanými elementom, bolo zvolené ešte predĺženie dotyku 50 mm. Pred meraním prebehla kalibrácia sondy s dotykom. Išlo o nový, nepoužívaný dotyk, takže možno vylúčiť neistoty spôsobené opotrebením snímacieho dotyku.

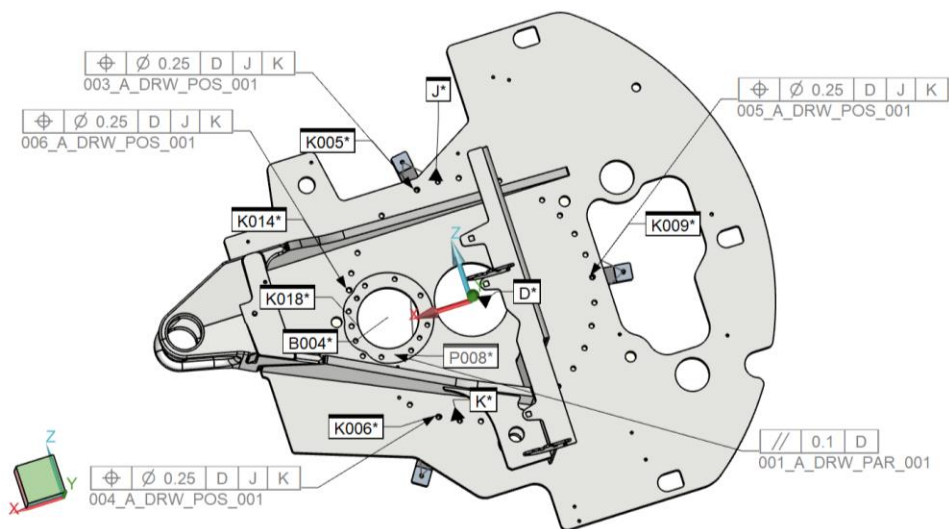


HH-A-T5
Joint: b angle
Joint: a angle
Connect: HP-S-X1H_T
Connect: HP-S-X1H_0_SH
Connect: EXTEN50MM
Tip #1: TIP5BY50MM

Obr. 65 Snímacia hlava, sonda a dotyk použitý pri meraní

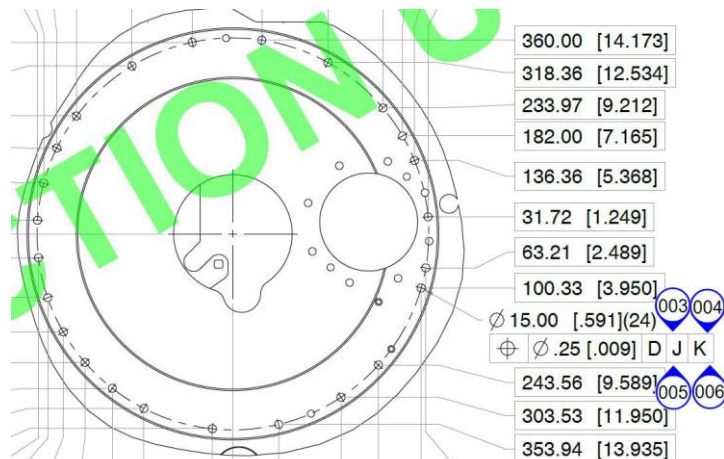
12.3 CMM program na overenie spôsobilosti systému a procesu merania

CMM program je zameraný na snímanie všetkých elementov, na ktorých vyhodnotenie sa vzťahuje ložisková plocha rámu – základňa D. Teda konkrétne ide o polohu dier v tejto ložiskovej ploche (boli zvolené 4 z 24 dier, obr.66 :K005, K006, K009 a K0014), ďalej o rovnobežnosť plochy na upevnenie motoru v rýpadle (obr. 66: P008) a vzdialenosť tejto plochy od základne D. Vzdialenosť týchto dvoch plôch bude vyhodnocovaná prostredníctvom bodu (obr. 66: B004 – konštrukčný bod z prieniku kružnice K018 a plochy P008). Tým by malo byť zaručené, že sa vždy bude vyhodnocovať práve jedena a tá istá vzdialenosť medzi týmito dvoma plochami.

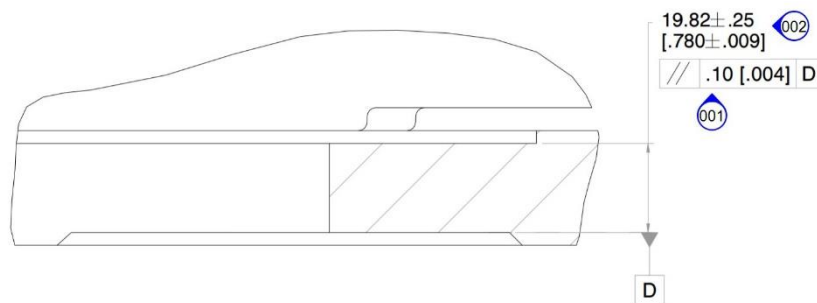


Obr. 66 Vyhodnocované prvky a ich geometrické tolerancie

Rozmerové a geometrické tolerancie týchto prvkov sú z detailov výkresovej dokumentácie zobrazené na obr. 67 a obr. 68. Tieto vyhodnocované tolerancie boli číselne označené 001- 006 (obr. 66, 67, 68). V následných kapitolách sa bude používať toto označenie pre lepšiu prehľadnosť.

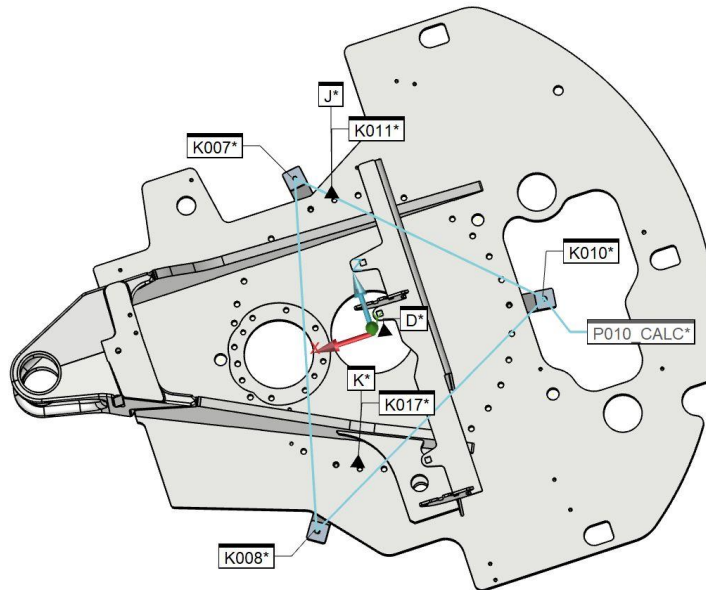


Obr. 67 Geometrická tolerancia polohy dier K005, K006, K009 a K014 z detailu výkresu rámu rýpadla



Obr. 68 Rozmerová tolerancia a tolerancia rovnobežnosti plochy P008 k základni D z detailu výkresu rámu rýpadla

Prenesená ložisková plocha – základňa D (obr. 69 P019_CALC), je vytvorená zo stredov kružníc na prímerných prípravkoch (obr. 69: K007, K008 a K010). Stredy vzniknutých kružníc boli v CMM programe posunuté v smere osy Y podľa nameraného posunutia týchto dier oproti prímernej ploche v kapitole 12.1.1 (posunutie u prípravku A : 0,028 mm, u prípravku B 0,073 mm). Tým sa má dosiahnuť, že stredy týchto kružníc budú v jednej rovine s prímernou plochou. Ďalšími základňami potrebnými na vyhodnotenie sú kružnica K011- základňa J a kružnica K017- základňa K (obr.69)



Obr. 69 Prvky predstavujúce základne potrebné k vyhodnoteniu merania

12.4 Postup overenia spôsobilosti meracieho systému

Spôsobilosť meracieho systému by mala byť normálne overená pomocou presnej oceleovej dosky. A to tak že sa na túto dosku magnetom zospodu upevnia prímerné prípravky. Potom sa nasníma plocha tejto presnej oceleovej dosky v okolí upnutých prímerných prípravkov a následne sa nasníma prenesená plocha na prímernom prípravku. Tak by bolo možné priamo porovnať kontrolovanú a prenesenú plochu. Okrem spôsobilosti prímerných prípravkov by bolo možné zistiť aj prípadné neistoty spôsobené ohnutím prípravku v dôsledku gravitácie.

V tomto experimente však overenie spôsobilosti meracieho systému prebehlo priamo na základom ráme „Frame mach turning“, na ktorom sa kontrolovaná ložisková plocha nachádza. Celý zvarenec rámu rýpadla „Upperstructure“ nemohol byť použitý z dôvodu absencie týchto zvarencov.

Postup merania prebiehal tak, že bol použitý 1 diel- rám „Frame mach turning“, na ktorý boli jedným operátorom upevnené prímerné prípravky. Z dôvodu prototypizácie len 2 prímerných prípravkov bol v priebehu merania program zastavený na preupnutie prímerného prípravku A. A to z toho dôvodu, aby sa následne z nasnímaných bodov mohla vytvoriť plocha – prenesená ložisková plocha. Neistoty spôsobené týmto preupínaním by nemali byť významné, nakoľko ide o 600 kg rám a teda k jeho posunutiu by nemalo dôjsť. Po nasnímaní všetkých vyhodnocovaných prvkov boli prímerné prípravky odopnuté a znova upnuté na kontrovanú ložiskovú plochu. Takto bolo meranie zopakované ešte 9x kvôli overeniu spôsobilosti. Priebeh snímania je zobrazený na obr. 70 a 71.

Parametre postupu overenia spôsobilosti meracieho systému:

Zariadenie	CMM Alpha DEA
Počet operátorov:	1
Počet kontrolovaných dielov:	1
Počet opakovaných meraní:	10



Obr. 70 Priebeh merania rámu na CMM Alpha DEA



Obr. 71 Snímanie diery v prímernom prípravku A (Kružnica K007)

12.4.1 Vyhodnotenie spôsobilosti meracieho systému

Vyhodnotenie spôsobilosti meracieho systému bolo uskutočnené prostredníctvom softwaru Yarovyn spoločnosti Diribet. Tento software umožňuje vyhodnotenie spôsobilosti meracieho systému i procesu merania na základne metodík MSA, VDA 5 a ISO 22514-7 zároveň. Do tohoto softwaru je možné nahráť jednotlivé vyhodnocované znaky s toleranciami a namerané hodnoty priamo z CMM softwaru vo formáte DFQ tak, ako je to aj u iných štatistických softwarov (obr. 62).

Experiment? : Ano Ne

MPE Nejistoty typu B

1

1 Reference ▼

Znaky

Spojité	001_A_DRW_PAR_001.P008	001	//	Rovnoběžnost	MM	Absolutní	<input type="button" value="Rozbalit"/>
Spojité	002_A_DRW_DIS_001.M.P010_CALC.B004	002	┌┐	Vzdálenost	MM	Absolutní	<input type="button" value="Rozbalit"/>
Spojité	003_A_DRW_POS_001.K005	003	⊕	Poloha (hodnota)	MM	Absolutní	<input type="button" value="Rozbalit"/>
Spojité	004_A_DRW_POS_001.K006	004	⊕	Poloha (hodnota)	MM	Absolutní	<input type="button" value="Rozbalit"/>
Spojité	005_A_DRW_POS_001.K009	005	⊕	Poloha (hodnota)	MM	Absolutní	<input type="button" value="Rozbalit"/>
Spojité	006_A_DRW_POS_001.K014	006	⊕	Poloha (hodnota)	MM	Absolutní	<input type="button" value="Rozbalit"/>

Obr. 72 Zoznam vyhodnocovaných znakov (001-006)

Vložené namerané hodnoty sa automaticky vyhodnotia, a v tabuľke sa odľahlé hodnoty zvýraznia červenou farbou (obr. 73). V ďalšom krkou software umožňuje uviesť prípadné neistoty merania typu B. V našom prípade tieto hodnoty nie sú známe a ani si ich netrúfame odhadnúť, preto pokračujeme vo vyhodnocovaní bez nich.

Znak	001_A_DRW_PAR_001.P008	002_A_DRW_DIS_001.M.P010_CALC.B004	003_A_DRW_POS_001.K005	004_A_DRW_POS_001.K006	005_A_DRW_POS_001.K009	006_A_DRW_POS_001.K014	
Reference	Nerměřený díl - reference výkres	Nerměřený díl - reference výkres	Nerměřený díl - reference výkres	Nerměřený díl - reference výkres	Nerměřený díl - reference výkres	Nerměřený díl - reference výkres	
Rozměr	----	----	----	----	----	----	
1	0.03223	19.83663	0.06752	0.05535	0.14101	0.06688	×
2	0.02969	19.82655	0.06083	0.05998	0.15749	0.08418	×
3	0.03373	19.80701	0.06146	0.06265	0.15591	0.0823	×
4	0.03207	19.81244	0.07144	0.06134	0.1523	0.08356	×
5	0.03158	19.81156	0.06321	0.06582	0.13765	0.08585	×
6	0.03139	19.82739	0.07491	0.06708	0.15646	0.08678	×
7	0.02931	19.81579	0.06914	0.06705	0.15192	0.08953	×
8	0.04141	19.8622	0.07457	0.07334	0.14933	0.09173	×
9	0.02845	19.83884	0.06928	0.06713	0.14548	0.08502	×
10	0.03219	19.80126	0.07353	0.07267	0.14471	0.07054	×

Obr. 73 Overenie spôsobilosti meracieho systému- namerané hodnoty

Software na základe zadaných hodnôt a vzťahov uvedených v kapitolách 4, 5 a 6 vyhodnotí spôsobilosť meracieho systému. Konkrétne vyhodnocuje parametre spôsobilosti Q_{MS} , C_{MS} , a rozšírenú neistotu merania U_{MS} podľa VDA 5/ ISO 22154-7 a tiež koeficient spôsobilosti C_g . Výsledky merania spôsobilosti meracieho systému sú zobrazené na obr. 74. Podrobné vyhodnotenie jednotlivých znakov spolu s grafmi sa nachádza v prílohe 6.

Znaky

	Název ↑	Kód	Q_{MS}	U_{MS}	C_g	Odlehle hodnoty
//	001_A_DRW_PAR_001.P008	001	14.418	0.00721	0.925	1
††	002_A_DRW_DIS_001.M.P010_CALC.B004	002	14.651	0.0366	0.91	0
⊕	003_A_DRW_POS_001.K005	003	8.435	0.0105	1.581	0
⊕	004_A_DRW_POS_001.K006	004	8.905	0.0111	1.497	0
⊕	005_A_DRW_POS_001.K009	005	10.903	0.0136	1.223	0
⊕	006_A_DRW_POS_001.K014	006	12.647	0.0158	1.054	2

Obr. 74 Výsledky vyhodnotenia spôsobilosti meracieho systému

U znaku 001 a 002 je spôsobilosť systému takmer na hranici, nakoľko hranica Q_{MS} podľa VDA 5 / ISO 22154-7 je 15%. Avšak tieto hodnoty sú ešte stále v norme. Software Yarovyn vyhodnotil merací systém sa spôsobilý a teda vyhovujúci na vyhodnocovanie daných meraných znakov.

12.5 Postup overenia spôsobilosti procesu merania

Po tom, čo bola overená spôsobilosť meracieho systému nasleduje overenie spôsobilosti procesu merania. Overenie spôsobilosti procesu merania prebiehalo obdobne ako to bolo v prípade overenia spôsobilosti meracieho systému. Teda bol použitý rovnaký CMM program a rovnaké vyhodnocované znaky. Avšak v tomto prípade boli použité až 3 kusy rámu „Frame mach turning“, ktoré boli merané 3 operátormi.

Postup merania prebiehal obdobne, ako tomu bolo kapitole 12.4. Operátor A upol na kontrolovanú ložiskovú plochu prímerné prípravky, nasnímal všetky požadované elementy a následne odopol prímerné prípravky. Potom prišiel na radu operátor B, ktorý celý proces rovnako zopakoval. Po ňom nasledoval operátor C, ktorý rovnakým postupom vykonal meranie kontrolovaného rámu. Toto meranie oprátori v rovnakom poradí zopakovali ešte 3krát. Potom nasledovala výmena meraného dielu – rámu rýpadla, a jeho opakované meranie. Takýmto spôsobom bolo 3 operátormi, na 3 meraných dieloch vykonaných celkom 36 meraní. Samozrejme správny postup merania podľa GRR by mal byť taký, že operátori merajú jednotlivé diely náhodne a v náhodnom poradí, avšak v našom prípade pre komplikovanú manipuláciu s meraným dielom bolo zvolené postupné meranie.

Parametre postupu overenia spôsobilosti procesu merania:

Zariadenie	CMM Alpha DEA
Počet operátorov:	3
Počet kontrolovaných dielov:	3
Počet opakovaných meraní:	4

12.5.1 Vyhodnotenie spôsobilosti procesu merania

Spôsobilosť procesu merania bola vyhodnotená takisto prostredníctvom softwaru Yarovyn. V tomto prípade boli znova vložené namerané hodnoty jednotlivých operátorov a software na základe týchto dát určil spôsobilosť procesu merania. Z nameraných hodnôt boli vylúčené odľahlé hodnoty. Namerané hodnoty z prvého opakovania sa nachádzajú na obr. 75. Namerané hodnoty z ďalších opakovaní sa nachádzajú v prílohe 7.

Operátor	Díl	001_A_DRW_ PAR_001.P008	002_A_DRW_ DIS_001.M.P0 10_CALC.B004	003_A_DRW_ POS_001.K005	004_A_DRW_ POS_001.K006	005_A_DRW_ POS_001.K009	006_A_DRW_ POS_001.K014
Opakování 1							
1 A	1	0.07613	-0.09431	0.05222	0.09642	0.07544	0.09038
	2	0.03622	0.01222	0.07122	0.06321	0.15621	0.06725
	3	0.02114	0.0571	0.06322	0.07832	0.15102	0.08233
2 B	1	0.07342	-0.08321	0.06021	0.09821	0.08802	0.09212
	2	0.04025	0.0142	0.07002	0.06712	0.15722	0.06414
	3	0.02217	0.05921	0.06521	0.07231	0.15033	0.08433
3 C	1	0.06821	-0.08231	0.06131	0.09512	0.0743	0.09401
	2	0.03271	0.01323	0.07433	0.0611	0.1523	0.06417
	3	0.02311	0.05788	0.06421	0.07422	0.15021	0.08531
Opakování 2							
Opakování 3							
Opakování 4							

Obr. 75 Namerané hodnoty operátormi A, B, C v prvom opakovaní

Z vložených nameraných dát boli vyhodnotené jednotlivé parametre spôsobilosti procesu merania. Konkrétne ukazatele spôsobilosti Q_{MP} , C_{MP} a rozšírenú neistotu procesu merania U_{MP} podľa metodiky VDA 5 / ISO 22514-7 a ukazatele %GRR a ndc podľa metodiky MSA (obr. 76). Podrobné vyhodnotenie spôsobilosti procesu merania jednotlivých znakov sa nachádza v prílohe 7.

Znaky

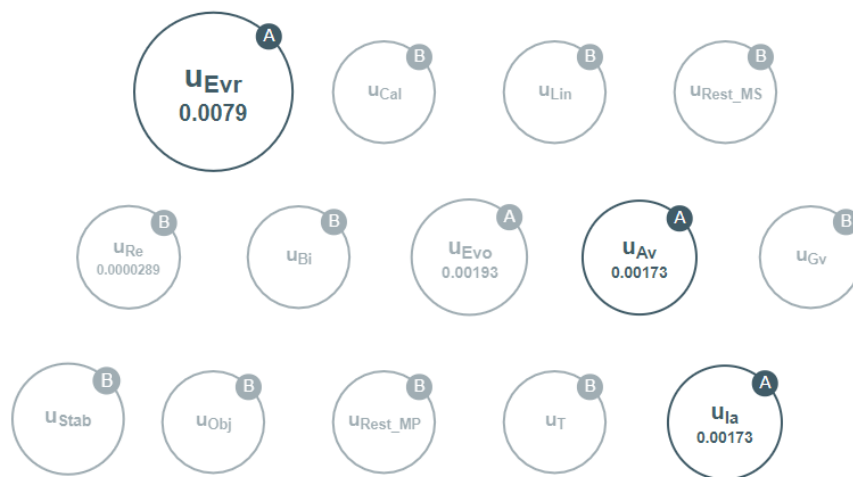
Název ↑	Kód	Q_{MS}	Q_{MP}	U_{MS}	U_{MP}	%GRR	ndc
// 001_A_DRW_PAR_001.P008	001	14.418	20.199	0.00721	0.0101	30.299	6
⌈ 002_A_DRW_DIS_001.M.P010_CALC.B004	002	14.651	14.746	0.0366	0.0369	12.941	9
⊕ 003_A_DRW_POS_001.K005	003	8.435	9.002	0.0105	0.0113	5.078	5
⊕ 004_A_DRW_POS_001.K006	004	8.905	10.618	0.0111	0.0133	9.491	5
⊕ 005_A_DRW_POS_001.K009	005	10.903	11.67	0.0136	0.0146	16.489	9
⊕ 006_A_DRW_POS_001.K014	006	12.647	13.24	0.0158	0.0166	6.222	7

Obr. 76 Výsledky vyhodnotenia spôsobilosti procesu merania

Z výsledkov vyhodnotenia spôsobilosti procesu merania možno konštatovať, že variabilita dielov bola dostatočná nakoľko u všetkých vyhodnocovaných znakov vyšlo kritérium $ndc \geq 5$. Tiež ukazateľ opakovateľnosti a reprodukovateľnosti merania vyšiel u všetkých znakov v MSA norme, teda $\%GRR \leq 30\%$. Hraničný je znak 001, kde %GRR vyšlo 30,299%. Avšak aj napriek tomu software vyhodnotil tento proces merania za spôsobilý a vyhovujúci na vyhodnocovanie tohoto znaku.

Okrem vyššie spomenutých ukazateľov spôsobilosti meracieho systému a procesu merania software dokáže z nameraných hodnôt vypočítať aj neistoty merania (obr. 77). A teda v prípade nespôsobilosti alebo podmienenej spôsobilosti meracieho systému a procesu merania, sa dá jasne určiť, ktoré faktory sú za to zodpovedné. A teda na základe týchto čiastkových neistôt merania možno upraviť merací systém a proces merania.

Nejistoty měřicího systému a procesu



Obr. 77 Stanovené neistoty merania typu A a typu B u znaku 006. u_{Evr} - opakovateľnosť na referencii, u_{Re} - rozlíšenie, u_{Evo} - opakovateľnosť na objekte merania, u_{Av} - reprodukovateľnosť operátorov, u_{Ia} - vplyv interakcií

12.6 Vyhodnotenie experimentu

Na základe vyhodnotenia nameraných dát možno považovať celý merací systém a proces merania za štatisticky zvládnutý a spôsobilý. To znamená, že použitie navrhnutých prímerných prípravkov je vhodné v prípade vyhodnocovania požadovaných znakov na kontrolovanom ráme rýpadla.

Přehled výsledků

Kód	Název	Referenční interval	%Q _{MS}	C _g	C _{gk}	%Q _{MP}	%GRR	ndc
001	001_A_DRW_PAR_001.P008	0	0.1 14.815	0.9		20.199	30.299	6
002	002_A_DRW_DIS_001.M.P010_CALC.B004	19.57	20.07 13.945	0.956		14.045	12.941	9
003	003_A_DRW_POS_001.K005	0	0.25 8.132	1.64		8.719	5.078	5
004	004_A_DRW_POS_001.K006	0	0.25 9.196	1.45		10.863	9.491	5
005	005_A_DRW_POS_001.K009	0	0.25 10.57	1.261		11.359	16.489	9
006	006_A_DRW_POS_001.K014	0	0.25 13.333	1		13.897	6.222	7

Obr. 78 Celkové vyhodnotenie meracieho systému a procesu merania

Celý protokol vyhodnotenia meracieho systému a procesu merania sa nachádza v prílohe 8.

13 Závěr

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnúť vhodnú metódu na meranie ložiskovej plochy rámu rýpadla na súradnicovom meracom stroji a následne overiť spôsobilosť tohoto návrhu pri sériovom meraní. Na základe tejto témy sa odvíjali aj jednotlivé teoretické kapitoly, v ktorých boli rozobraté možné zdroje variability merania na CMM. Taktiež boli popísané metodiky overovania spôsobilosti meracieho systému a procesu merania MSA, VDA 5 a ISO 22145-7.

Ďalej bolo vypracovaných 6 návrhov na vyriešenie problematiky snímania v aktuálnych podmienkach merania neprístupnej plochy. Štyri z týchto návrhov sú riešené formou prímerných prípravkov, pričom každý z týchto návrhov sa líši tvarom a spôsobom upnutia. Pomocou týchto prípravkov by mala byť kontrolovaná plocha prenesená do miest prístupných pre meracie zariadenie. Ďalším návrhom bolo priame snímanie kontrolovanej plochy skenovacou sondou. V tomto návrhu boli prezentované snímacie hlavy so skenovacími sondami, ktoré by meranie s dostatočne dlhými dotykmi umožnili. Posledným, šiestym návrhom bolo použitie CMM stojanového typu s dvomi horizontálnymi ramenami, ktoré by umožnili nasnímanie ložiskovej plochy a tiež zefektívniť celý proces merania.

Jednotlivé návrhy boli priebežne konzultované so zadávateľom práce, zamestnancami spoločnosti Bobcat, ktorí počas vypracovávanía návrhov postupne zužovali podmienky a spresňovali požiadavky. Nakoniec bola zvolená varianta číslo 4 – celooceľové prevedenie prímerných prípravkov s upínaním pomocou vypínateľného magnetu. Z tohoto návrhu boli prototypizované 2 prímerné prípravky, na ktorých bolo následne vykonané testovanie spôsobilosti meracieho systému a procesu merania opakovaným meraním.

Vyhodnotenie celkovej spôsobilosti meracieho systému a procesu merania pomocou prímerných prípravkov bolo uskutočnené prostredníctvom softwaru Yarovyn. Tento software okrem ukazateľov opakovateľnosti a reprodukovateľnosti merania na základe metodiky MSA umožňuje zároveň vyhodnotiť aj ukazateľov spôsobilosti C_{MS} a C_{MP} , ukazateľov vhodnosti Q_{MS} a Q_{MP} podľa metodík VDA 5 a ISO 22145-7. Jeho nespornou výhodou je aj to, že dokáže odhaliť jednotlivé čiastkové neistoty, ktoré na merací systém alebo proces merania vplývajú. Teda je možné následne s týmito informáciami pracovať a tieto nepriaznivé faktory eliminovať.

Merací systém aj proces merania pomocou prímerných prípravkov bol vyhodnotený ako štatisticky zvládnutý a teda vyhovujúci pre kontrolu daných znakov na meranom ráme rýpadla. Po overení spôsobilosti týchto prototypov možno doporučiť výrobu ďalších dvoch prímerných prípravkov.

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Rozdelenie CMM podľa snímacieho systému [1]	10
Obr. 2 Absolute Arm 6-osé rameno a QuantumS FaroArm [2] [3]	11
Obr. 3 Popis základných častí kartézskoho súradnicového meracieho stroja [4].....	12
Obr. 4 Typy súradnicových meracích strojov [4]	12
Obr. 5 Schématické znázornenie procesu merania [7].....	13
Obr. 6 Zdroje variability merania na CMM [12].....	15
Obr. 7 Faktory pôsobiace na výsledky merania na súradnicových meracích strojoch [15].....	15
Obr. 8 Geometrické chyby trojosého CMM [16]	16
Obr. 9 Chyba dotyku sondy [20]	17
Obr. 10 Adhézny oter rubínovej guličky pri skenovaní hliníku. [22].....	18
Obr. 11 Abrázivny oter rubínovej guličky pri skenovaní liatiny. [22].....	18
Obr. 12 a) Deformácia súčiastok [20]	19
Obr. 13 Znázornenie vplyvu výberu meraných bodov na celkové vyhodnotenie elementu. [27]	20
Obr. 14 Metódy vyhodnotenia kružnice [27].....	21
Obr. 15 Strannosť a zhodnosť merania [9]	23
Obr. 16 Stabilita merania [9]	24
Obr. 17 Linearita merania [9]	24
Obr. 18 Opakovateľnosť merania [9].....	25
Obr. 19 Reprodukovateľnosť merania [9].....	25
Obr. 20 Rozdelenie celkovej variability. [32]	26
Obr. 21 Regulačný diagram variačných rozpätí [35]	28
Obr. 22 Vplyvy pôsobiace na výsledok merania [5].....	33
Obr. 23 Postup posudzovania meriaceho systému a procesu merania podľa VDA 5 [38]	38
Obr. 24 Postup posudzovania meriaceho systému a procesu merania podľa ISO 22514-7 [41]	41
Obr. 25 Melroe 440 (M440)- Prvý stroj s nápisom Bobcat a siluetou rysa [46]	43
Obr. 26 Upperstructure - Rám kompaktného rýpadla.....	44
Obr. 27 Kompaktné rýpadlo Bobcat typu E50 a E55. [47]	44
Obr. 28 Kontrolovaný rám rýpadla so zvýraznenou ložiskovou pochou,	45
Obr. 29 Aktuálne ustavenie kontrolovanej súčasti na CMM	46
Obr. 30 CMM DEA Alpha 2.0 [48]	47
Obr. 31 Varianta 1- model prímerného prípravku.....	48
Obr. 32 Varianta 1- Rozmery prímerného prípravku.....	49

Obr. 33 Varianta 1 - Prímerný prípravok pripevnený na kontrolovanom ráme (pohľad zdola)	49
Obr. 34 Varianta 1- Prímerný prípravok pripevnený na kontrolovanom ráme (pohľad zhora).....	50
Obr. 35 Varianta 2- Rozmery a komponenty prímerného prípravku varianty 2.....	52
Obr. 36 Varianta 2- Upevnenie prímerných prípravkov na kontrolovaný rám (pohľad zhora)	53
Obr. 37 Varianta 2- Upevnenie prímerných prípravkov na kontrolovaný rám (pohľad zdola).....	53
Obr. 38 Varianta 3 - 3D modely prímerných prípravkov	55
Obr. 39 Varianta 3- Komponenty prímerného prípravku A	56
Obr. 40 Varianta 3- Rozmery prípravku A.....	56
Obr. 41 Varianta 3-Umiestnenie prímerných prípravkov na ráme rýpadla (pohľad zhora)	57
Obr. 42 Varianta 3- Umiestnenie prímerných prípravkov na ráme rýpadla (pohľad zdola)	58
Obr. 43 Varianta 3 - Upnutý prímerný prípravok A.....	58
Obr. 44 Varianta 3 - Optimalizácia návrhu prímerného prípravku	60
Obr. 45 Varianta 4 - Modely prímerných prípravkov A, B a C.....	61
Obr. 46 Varianta 4- Zostava prímerného prípravku A,	62
Obr. 47 Varianta 4- Rozmery prímerného prípravku A.....	62
Obr. 48 Varianta 4 - Umiestnenie prímerných prípravkov na ráme rýpadla (pohľad zhora)	63
Obr. 49 Varianta 4 - Umiestnenie prímerných prípravkov na ráme rýpadla (pohľad zdola)	63
Obr. 50 Varianta 4- Detail upnutia prímerného prípravku A.....	64
Obr. 51 Modelová situácia- Vplyv prítomnosti nečistoty na vnútornom okraji prípravku	65
Obr. 52 Modelová situácia- Vplyv prítomnosti nečistoty na vonkajšom okraji k prípravku	66
Obr. 53 Snímacia hlava HH-A-T5 so skenovacou sondou HP-S-X1H [50].....	67
Obr. 54 Snímacia hlava so skenovacou sondou SP80 spoločnosti Renishaw [51].....	67
Obr. 55 Snímacia hlava so skenovacou sondou LSP-S2 spoločnosti Leitz [52]	67
Obr. 56 Skenovací systém Vast Gold spoločnosti Zeiss [53].....	68
Obr. 57 Priama kontrola ložiskovej plochy dotykovou sondou	68
Obr. 58 CMM s dvomi horizontálnymi ramenami BRAVO HP spoločnosti DEA	69
Obr. 59 Kontrola rámu rýpadla na CMM s dvomi horizontálnymi ramenami	70
Obr. 60 Kontrola ložiskovej plochy rámu rýpadla na CMM s dvomi horizontálnymi ramenami.....	70
Obr. 61 Vzhľadová a funkčná kontrola prípravku A (vľavo) a prípravku B (vpravo)	71
Obr. 62 Meranie metrologických parametrov.	72
Obr. 63 Vyhodnotenie merania prímerného prípravku A	72
Obr. 64 Vyhodnotenie merania prímerného prípravku B.....	73
Obr. 65 Snímacia hlava, sonda a dotyk použitý pri meraní	74

Obr. 66 Vyhodnocované prvky a ich geometrické tolerancie.....	74
Obr. 67 Geometrická tolerancia polohy dier K005, K006, K009 a K014 z detailu výkresu rámu rýpadla.	75
Obr. 68 Rozmerová tolerancia a tolerancia rovnobežnosti plochy P008 k základni D	75
Obr. 69 Prvky predstavujúce základne potrebné k vyhodnoteniu merania	76
Obr. 70 Priebeh merania rámu na CMM Alpha DEA	77
Obr. 71 Snímanie diery v prímernom prípravku A (Kružnica K007).....	77
Obr. 72 Zoznam vyhodnocovaných znakov (001-006).....	78
Obr. 73 Overenie spôsobilosti meracieho systému- namerané hodnoty.....	79
Obr. 74 Výsledky vyhodnotenia spôsobilosti meracieho systému	79
Obr. 75 Namerané hodnoty operátormi A, B, C v prvom opakovaní	81
Obr. 76 Výsledky vyhodnotenia spôsobilosti procesu merania.....	81
Obr. 77 Stanovené neistoty merania typu A a typu B u znaku 006	82
Obr. 78 Celkové vyhodnotenie meracieho systému a procesu merania.....	82

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Kritéria prijateľnosti systému merania na základe analýzy GRR [9].....	31
Tabuľka 2 Zdroje neistôt kombinovanej štandardnej neistoty procesu merania [38]	35
Tabuľka 3 Merací rozsah a presnosť CMM DEA Alpha v spoločnosti Bobcat Doosan	47
Tabuľka 4 Merací rozsah a presnosť CMM BRAVO HP spoločnosti DEA [54]	69

Zoznam príloh

Príloha 1	Výkres: prímerný prípravok A
Príloha 2	Výkres: prímerný prípravok B
Príloha 3	Výkres: prímerný prípravok C
Príloha 4	Protokol z merania prímerného prípravku A
Príloha 5	Protokol z merania prímerného prípravku B
Príloha 6	Experiment 1: Vyhodnotenie spôsobilosti meracieho systému
Príloha 7	Experiment 2: Vyhodnotenie spôsobilosti procesu merania
Príloha 8	Protokol z vyhodnotenia spôsobilosti meracieho systému a procesu merania

Zoznam skratiek a symbolov

Skratka/ symbol	Jednotka	
AIAG	[-]	Automotive Industry Action Group
ANOVA	[-]	Analysis of variance
APQP	[-]	Advanced product quality planning
ARM	[-]	Average and range method
AV	[%]	Appraiser variability reprodukovenost
CL	[-]	Centrálna priamka regulačného diagramu
CMM	[-]	Coordinate measuring machine
C_{MS}	[-]	Ukazateľ spôsobilosti meracieho systému
C_{PM}	[-]	Ukazateľ spôsobilosti procesu merania
$D2^*$ (AV)	[-]	Tabuľkový koeficient
EV	[%]	Equipment variability opakovenost
FMEA	[-]	Failure Mode and Effects Analysis
GRR	[%]	Gauge repeatability and reproducibility
GUM	[-]	Guide to the expression of the uncertainty in measurement
INT	[%]	Interakcia medzi operátormi a vzorkami
k	[-]	Koeficient rozšírenia neistoty merania
LCL	[-]	Dolná regulačná medza (MSA)
LSL	[-]	Dolná tolerančná medza (ISO 22514-7)
MPE	[μm]	Maximum permissible error
MSA	[-]	Measuring system analysis
n	[-]	Celkový počet meraných dielov
Ndc	[-]	Number of distinct categories
PPAP	[-]	Production Part Approval Process
PV	[%]	Part variation
Q_{MP}	[%]	Výkonosný pomer procesu merania
Q_{MP_MIN}	[%]	Limitná hodnota výkonosného pomeru procesu merania
Q_{MS}	[%]	Výkonosný pomer meracieho systému
Q_{MS_MAX}	[%]	Limitná hodnota výkonosného pomeru meracieho systému
r	[-]	Počet opakovaných meraní
RE	[mm]	Rozlíšenie prístroja

RM	[-]	Range method
Rp	[-]	Variačné rozpätie
SPC	[-]	Statistical process control
TOL	[mm]	Šírka tolerančného poľa
TOL_MIN_UMP	[mm]	Minimálna možná tolerancia pre merací systém
TOL_MIN_UMs	[mm]	Minimálna možná tolerancia pre proces merania
TV	[%]	Total variation
u _A	[mm]	Neistota typu A
u _B	[mm]	Neistota typu B
u _C	[mm]	Kombinovaná neisota
UCL	[-]	Horná regulačná medza (MSA)
u _{MP}	[mm]	Kombinovaná štandardná neistota meracieho procesu
u _{MS}	[mm]	Kombinovaná štandardná neistota systému merania
USL	[-]	Horná tolerančná medza (ISO 22514-7)
VDA 5	[-]	Verband der Automobilindustrie 5
\bar{X}	[mm]	Aritmetický priemer
X _R	[mm]	Referenčná hodnota
u _{MPE}	[mm]	Najväčšia dovolená chyba merania
u _{CAL}	[mm]	Neistota kalibrácie
u _{EVR}	[mm]	Neistota opakovateľnosti na etalóne
u _{LIN}	[mm]	Neistota linearity
u _{BI}	[mm]	Neistota biasu (vychýlenia)
u _{MS-REST}	[mm]	Ďalšie vplyvy meracieho systému (napr. Snímač/snímanie)
u _{EVO}	[mm]	Neistota opakovateľnosti na objekte merania
u _A	[mm]	Neistota reprodukovateľnosti operátorov
u _{GV}	[mm]	Neistota reprodukovateľnosti meracích miest
u _{IA}	[mm]	Neistota interakcie
u _{OBJ}	[mm]	Neistota nehomogenity objektu kontroly
u _{RE}	[mm]	Neistota rozlíšenia
u _T	[mm]	Neistota teploty
u _{REST}	[mm]	Ďalšie vplyvy meracieho procesu (napr. Rozdiel z teplotnej
u _{STAB}	[mm]	Neistota reprodukovateľnosti v rôznych časových bodoch

Použitá literatura

- [1] KOPTIŠ, Michal. *Využití snímacího systému laser scanneru pro aplikace reverzního inženýrství*. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT.
- [2] Absolute Arm 6osé: Specializované mobilní dotykové měření. *HEXAGON* [online]. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/portable-measuring-arms/absolute-arm-6-axis>
- [3] FARO® QuantumS FaroArm. *PRIMA BILAVČÍK* [online]. 2014 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/merici-rameno/>
- [4] KENDER, Štefan. SÚRADNICOVÉ MERACIE STROJE. *Transfer inovácií* [online]. 2013, 26 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/26-2013/pdf/233-235.pdf>
- [5] BREZNICKÁ, Alena. Metrológia ako základný nástroj získavania objektívnych informácií o meranej veličine. *AT&P journal* [online]. (5), 101-102 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/online58.pdf>
- [6] JCGM. *Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement* [online]. 2008 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- [7] PAVLÍČKOVÁ, Marcela a Gabriela BOGDANOVSKÁ. POZÍCIA METROLÓGIE A MERANIA PRE PODPORU KVALITY VÝROBKOV. *Manažment v teórii a praxi* [online]. 2007, 3(4) [cit. 2020-07-29]. ISSN 1336-7137. Dostupné z: <http://casopisy.euke.sk/mtp/clanky/4-2007/8.pavlickova-bogdanovska.pdf>
- [8] PALENČÁK, R. Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot. *AUTOMA: Řízení jakosti* [online]. 2001, (7-8) [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10960.pdf
- [9] *MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS*. Fourth Edition. 2010. ISBN 978-1-60-534211-5.
- [10] BUCHER, Jay L. *Metrology Handbook*. ASQ Quality Press, 2004. ISBN 9780873896207.
- [11] BERÁNEK, Libor. PŘEJÍMACÍ A PERIODICKÉ ZKOUŠKY SOUŘADNICOVÝCH MĚŘICÍCH STROJŮ. In: *Strojírenská technologie Plzeň 2011* [online]. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní. Katedra technologie obrábění, 2011 [cit. 2020-07-29]. ISBN 978-80-7043-934-0. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16361/1/Beranek.pdf>
- [12] *Measurement uncertainty of CMM* [online]. In: . [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.mitutoyo.co.jp/eng/useful/E11003/pdf/71.pdf>
- [13] AL-AHMARI, Abdulrahma a Syed Hammad MIAN. New developments in coordinate measuring machines for manufacturing industries. *International Journal of Metrology and Quality Engineering* [online]. 2014, 5(1) [cit. 2020-07-29].

- [14] KRÁLIK, Marián. MERANIE NA SÚRADNICOVÝCH MERACÍCH STROJOCH AKO SÚČASŤ KVALITNEJ ÚDRŽBY STROJOVÝCH SÚČIASTOK. *Engineering* [online]. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/3574-meranie-na-suradnicovych-meracich-strojoch-ako-sucast-kvalitnej-udrzby-strojovych-suciastok>
- [15] DRBÚL, Mário. *STROJÁRSKA METROLÓGIA A KVALITA POVRCHOV VYTVORENÝCH TECHNOLOGIAMI OBRÁBANIA*. Prvé. Žilina: ŽU v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra obrábania a výrobnéj techniky, 2014.
- [16] GąSKA, Adam a Maciej GRUZA. IDENTIFICATION AND CORRECTION OF COORDINATE MEASURING MACHINE GEOMETRICAL ERRORS USING LASERTRACER SYSTEMS. *Advances in Science and Technology – Research Journal* [online]. 2013, **7**(20) [cit. 2020-07-29]. DOI: 10.5604/20804075.1073047.
- [17] PHILLIPS, S. D., B. BORCHARDT a G. CASKEY. *Measurement Uncertainty Considerations for Coordinate Measuring Machines*. Gaithersburg,: U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE Technology Administration National Institute of Standards and Technology Precision Engineering Division.
- [18] *Errors in Measurement Process by CMM* [online]. s. 27-46 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/198012/13/12_chapter5.pdf
- [19] Úvod do souřadnicového měření: Princip SMS: Souřadnicový systém. *HEXAGON* [online]. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-cz/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology>
- [20] KRCH, Václav. *Návrh metodiky měření tvarových ploch turbínových kol turbodmychadel* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/10245>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.
- [21] ALI, Salah H. R. Probing System Characteristics in Coordinate Metrology. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW* [online]. 2010, **10**(4) [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <http://www.measurement.sk/2010/S1/Salah.pdf>
- [22] Na špičce – průvodce výběrem doteku pro CMM. *RENISHAW* [online]. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/na-spicce-pruvodce-vyberem-doteku-pro-cmm--10927>
- [23] MARWAHA, Nikita a Keith BEVAN. *Strategic Planning for Coordinate Metrology*. United Kingdom: NPL Management Limited, 2016. ISSN 1368–6550.
- [24] TOOLE, Ryan. Controlling the Accuracy of a Shop Floor CMM: Understanding the influence of temperature on your CMM. *Qualite MAGAZINE* [online]. 2017 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/94199-controlling-the-accuracy-of-a-shop-floor-cmm>
- [25] Lineární a strukturální kompenzace teploty. *PC-DMIS Centrum nápovědy* [online]. [cit. 2020-07-29].

- [26] CHENG, Yinbao. Evaluation and Optimization of Task-oriented Measurement Uncertainty for Coordinate Measuring Machines Based on Geometrical Product Specifications. *Applied Sciences* [online]. 2018, 9(1) [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/329821519_Evaluation_and_Optimization_of_Task-oriented_Measurement_Uncertainty_for_Coordinate_Measuring_Machines_Based_on_Geometrical_Product_Specifications
- [27] HOCKEN, Robert J. a Paulo H. PEREIRA. *Coordinate Measuring Machines and Systems: Manufacturing Engineering and Materials Processing*. Second Edition. Taylor & Francis, 2011. ISBN 1574446524.
- [28] CONCAS, Fabio. *Desing of optimal measurement strategies for geometric tolerances control on coordinate measuring machines*. 2006. Disertace. Universita Degli Studi Di Cagliari.
- [29] ŠUTOR, Karol. *Konštrukčné cvičenia z prípravkov*. Bratislava: STU v Bratislave, 1989.
- [30] MONKA, Peter a Ján GOČ. *Základy konštrukcie a výroby prípravkov*. Prvé. Prešov: Fakulta výrobných technológií TU Košice, 1999. ISBN 80-7099-470-3.
- [31] PALÁN, Jaromír. *Analýza systému měření MSA: Implementační směrnice ME - IMS 110* [online]. In: . 2005 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2604_PALAN_1.pdf
- [32] KOVÁČIKOVÁ, Andrea. *Určovanie vhodnosti procesov a systémov merania* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/127390/KOV0079_FS_P2346_2303V002_2017_autoreferat.pdf?sequence=2. Autoreferát disertační práce. Technická univerzita Ostrava.
- [33] MIKULOVÁ, Pavlína. Repeatability and Reproducibility Studies for Non-Replicable Tests. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment* [online]. 2020, 2(1), 275-284 [cit. 2020-07-29].
- [34] PLURA, Jiří a Pavlína MIKULOVÁ. Detailed Analysis of GRR Study Results and their Visualization. *QPI* [online]. 2019, 1(1), 478-486 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://content.sciendo.com/view/journals/cqpi/1/1/article-p479.xml?product=sciendo>
- [35] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN isbn80-7226-543-1.
- [36] FABIÁN, František. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01897-1.
- [37] CABROL, František. *Hodnocení kvality systému měření u dodavatele automobilového průmyslu* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/browse?order=ASC&rpp=20&sort_by=1&etal=-1&offset=24740&type=title. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava.
- [38] *VDA Band 5 Prüfprozesseignung*. 2. Berlín, 2010. ISSN 0943-9412.

- [39] ŠEVČOVIČ, Ladislav. *Neistoty: Základné pojmy a definície z oblasti neistôt meraní* [online]. In: . Košiče, 2007 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <http://sevcovic.extel.sk/neistoty.pdf>
- [40] HOWARTH, Preben a Fiona REDGRAVE. *Metrology – in short*. 3rd edition. Denmark: Schultz Grafisk, 2008. ISBN 978-87-988154-5-7.
- [41] JAROŠOVÁ, Eva. Způsobilost systému měření podle normy ČSN ISO 22514-7. In: *Csq* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticka_e_metody/sborniky/Zpusobilost_systemu_mereni_6_2014.pdf
- [42] PALÁN, Jaromír. *Analýza systému měření VDA5/MSA: Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení z pohledu analýzy měřicího systému a jeho hodnocení dle metodik VDA 5, QS 9000 - MSA* [online]. In: . Vrchlábi, 2003, s. 1-23 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2604_PALAN_2.pdf
- [43] DIETRICH, Edgar. Limits in Measurement Process Capability Analyses. *PIQ International* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.q-das.com/fileadmin/mediamanager/PIQ-Artikel/Limits_Capability-Analyses.pdf
- [44] Statistical methods in process management — Capability and performance — Part 7: Capability of measurement processes. *ISO* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/54077.html>
- [45] *Historie Doosan Bobcat Dobříš* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.bobcatdobris.cz/bobcat>
- [46] BOBCAT TEAM. Throwback Thursday: M440 was First “Bobcat” Loader in 1962. In: *Bobcat* [online]. 2016 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://blog.bobcat.com/2016/03/m440-was-first-bobcat-loader-in-1962/>
- [47] *Kompaktní rýpadla* [online]. In: . [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.bobcat.cz/kompaktni-rypadla>
- [48] *DEA ALPHA* [online]. In: . [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/gantry-cmms/dea-alpha>
- [49] *HH-A / HH-AS Automatické 5° snímací hlavy* [online]. In: . [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/cmm-sensors/probe-heads/hha--hhas-automatic-5deg-probe-heads>
- [50] *HP-S-X1 Skenovací sondy* [online]. In: . [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/cmm-sensors/scanning-probes/hpsx1-scanning-probes>
- [51] *SP80 and SP80H* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/en/sp80-and-sp80h--6686>
- [52] *LSP-S2* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/cmm-sensors/scanning-probes/lsp2>

- [53] *Peak scanning performance guaranteed: ZEISS VAST gold* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/sensors/on-cmm/tactile-scanning-probe/vast-gold.html>
- [54] *DEA BRAVO HP* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-cz/products/coordinate-measuring-machines/horizontal-arm-cmms/dea-bravo-hp>