

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 Strojní inženýrství
Studijní specializace: Strojírenská technologie - technologie
obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza procesu měření pro 3D měřicí stroj

Autor: Jan Schwarz
Vedoucí práce: Ing. Kubátová Dana, Ph.D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan SCHWARZ**
Osobní číslo: **S19B0647P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Analýza procesu měření pro 3D měřicí stroj**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod a definice cílů
2. Rešerše současného stavu
3. Návrh experimentů a jejich vyhodnocení
4. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1209-6.
- Moderní plánování kvality produktu (APQP) a plán kontroly a řízení: referenční příručka. 2.vyd. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009. ISBN 978-80-02-02142-1.
- Analýza systémů měření (MSA): příručka. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003. ISBN 80-02-01562-2.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dana Kubátová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Dana Kubátová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Daně Kubátové, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a odborné vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za veškerou podporu během studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Schwarz	Jméno Jan	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubátová, Ph.D.	Jméno Dana	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Analýza procesu měření pro 3D měřicí stroj		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	53	TEXTOVÁ ČÁST	38	GRAFICKÁ ČÁST	15
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zaměřuje na analýzu procesu měření pro 3D měřicí stroj za využití nástrojů kvality pro řízení jakosti. V rámci práce se určuje přesnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost a další vlastnosti 3D měřidla.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Kvalita, 3D měřicí stroj, nástroje řízení jakosti, strannost, přesnost, stabilita, linearita, opakovatelnost, reprodukovatelnost měření.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Schwarz	Name Jan	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubátová, Ph.D.	Name Dana	
INSTITUTION	ZČU – FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Measurement process analysis for 3D measuring machine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	53	TEXT PART	38	GRAPHICAL PART	15
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis focuses on the analysis of the measurement process for a 3D measuring machine with using quality tools for quality control. The accuracy, repeatability, reproducibility and other properties of the 3D measuring machine are determined within the work.
KEY WORDS	Quality, 3D measuring machine, quality tools, bias, accuracy, stability, linearity, repeatability, reproducibility of measuring

Obsah

Zadání BP	2
Přehled použitých zkratk	10
Seznam obrázků	11
Seznam grafů.....	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod a definice cílů	13
1.1 Historický vývoj kvality	13
1.2 Cíl práce.....	14
2 Rešerše současného stavu.....	15
2.1 Kvalita	15
2.2 Metrologie	16
2.2.1 Souřadnicový měřicí stroj	17
2.3 Chyby a nejistoty měření.....	18
2.3.1 Chyby měření	18
2.3.1.1 Hrubé chyby	19
2.3.1.2 Systematické chyby	20
2.3.1.3 Náhodné chyby	21
2.3.2 Nejistoty měření	22
2.3.2.1 Standardní nejistota A - u_A	22
2.3.2.2 Standardní nejistota B - u_B	22
2.3.2.3 Kombinovaná standardní nejistota - u_C	22
2.3.2.4 Rozšířená standardní nejistota U	22
2.3.3 Statistické informace	23
2.4 7 základních nástrojů řízení jakosti	24
2.5 Způsobilost procesu.....	25
2.5.1 Indexy způsobilosti	26
2.5.2 Index způsobilosti C_p	26
2.5.3 Index způsobilosti C_{pk}	27
2.6 Způsobilost měřidla.....	27
2.7 Statistická regulace procesu	28
3 Návrh experimentů a jejich vyhodnocení.....	30
3.1 Popis měřidla.....	30
3.2 Měřicí dotyk	30
3.3 Měřené součásti.....	32

3.4	Upínání součástí	32
3.5	Průběh měření	33
3.5.1	Měření koncových měrek.....	34
3.5.2	Měření kroužků	35
3.5.3	Naměřené hodnoty	35
3.6	Zpracování naměřených hodnot	36
3.6.1	Ukázkové zpracování měrky 125 mm v ose X.....	36
3.6.2	Ukázkové zpracování kroužku 26 mm.....	41
3.6.3	Úplné zpracování naměřených hodnot.....	45
3.6.3.1	Nejistoty měření	45
3.6.3.2	Strannost a stabilita	47
3.6.3.3	Opakovatelnost.....	48
3.6.3.4	Způsobilst měřidla.....	51
4	Závěr.....	52
	Citovaná literatura	53
	Přílohy	I
	Příloha č.1 – Tabulkové hodnoty	I
	Příloha č. 2 – Měrka 125 mm v ose X.....	III
	Příloha č.3 – Měrka 125 mm v ose Y.....	VII
	Příloha č.4 – Měrka 400 mm v ose X.....	XI
	Příloha č.5 – Měrka 400 mm v ose Y.....	XV
	Příloha č.6 – Kroužek 26 mm.....	XIX
	Příloha č.7 – Kroužek 90 mm.....	XXI
	Příloha č.8 – Protokoly o způsobilsti měřidla	XXIII
	Příloha č. 9 – Expertní ověření hodnot v čase.....	XXX

Přehled použitých zkratk

AQAP – Rozšiřující norma pro ISO 9001

NATO – Severo-atlantická aliance

ISO – Mezinárodní organizace pro normalizaci

TQM – Komplexní řízení kvality

ČSN – Československá státní norma

EN – Evropská norma

CMM – Souřadnicové měřicí systémy

BIAS – Strannost

R&R – Opakovatelnost a reprodukovatelnost

MS – Microsoft

ČIA – český institut pro akreditaci

Seznam obrázků

Obr. 1 Vývoj systémů zabezpečování jakosti ve 20. století [1]	14
Obr. 2 Možné ztráty vlivem nedokonalosti systému kvality ve firmě [1].....	15
Obr. 3 Schéma portálového měřicího stroje [6]	17
Obr. 4 Popis základních částí souřadnicového měřicího stroje [4]	18
Obr. 5 Zobrazení strannosti [7]	23
Obr. 6 Zobrazení stability [7].....	23
Obr. 7 Zobrazení opakovatelnosti [7].....	24
Obr. 8 Zobrazení reprodukovatelnosti [7].....	24
Obr. 9 Kontrolovaný měřicí stroj	30
Obr. 10 Měřicí doteky	31
Obr. 11 Měřené součásti.....	32
Obr. 12 Upnutí kroužku	33
Obr. 13 Upnutí koncové měřky	33
Obr. 14 Manuální řízení	34
Obr. 15 Protokol z měření	35
Obr. 16 Výpočet nejistot měření	37
Obr. 17 Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla pro měrku 125 mm	38
Obr. 18 Nejistoty měření kroužku 26 mm.....	41
Obr. 19 Protokol o způsobilosti měřidla pro kroužek o průměru 26 mm	43

Seznam grafů

Graf 1 Záznam hodnot z měření pro měrku 125 mm v ose X.....	39
Graf 2 Expertní ověření hodnot v čase měřky 125 mm v ose X	39
Graf 3 Opakovatelnost pro měrku 125 mm v ose x	40
Graf 4 Záznam hodnot z měření kroužku s průměrem 26 mm	44
Graf 5 Expertní ověření hodnot v čase pro kroužek 26 mm	44
Graf 6 Opakovatelnost pro kroužek 26 mm	45
Graf 7 Opakovatelnost měřky 125 mm v ose X.....	48
Graf 8 Opakovatelnost měřky 125 mm v ose Y	49
Graf 9 Opakovatelnost měřky 400 mm v ose X.....	49
Graf 10 Opakovatelnost měřky 400 mm v ose Y	50
Graf 11 Opakovatelnost kroužku 26 mm	50
Graf 12 Opakovatelnost kroužku 90 mm	51

Seznam tabulek

Tab. 1 Tabulka mezních hodnot H pro zvolenou pravděpodobnost p a rozsah výběru n [4]...	20
Tab. 2 Přehled sedmi nástrojů řízení kvality [8]	25
Tab. 3 Naměřené hodnoty měrky 125 mm v ose X v mm	36
Tab. 4 Naměřené hodnoty u kroužku 26 mm	41
Tab. 5 Nejistoty měření pro měrky 125 mm a 400 mm	46
Tab. 6 Nejistoty měření pro kroužky 26 mm a 90 mm	46
Tab. 7 Strannost měrek 125 mm a 400 mm	47
Tab. 8 Strannost kroužků 26 mm a 90 mm	48
Tab. 9 Rozdíl ve stranností v mm	48
Tab. 10 Meze způsobilosti měřidla	51

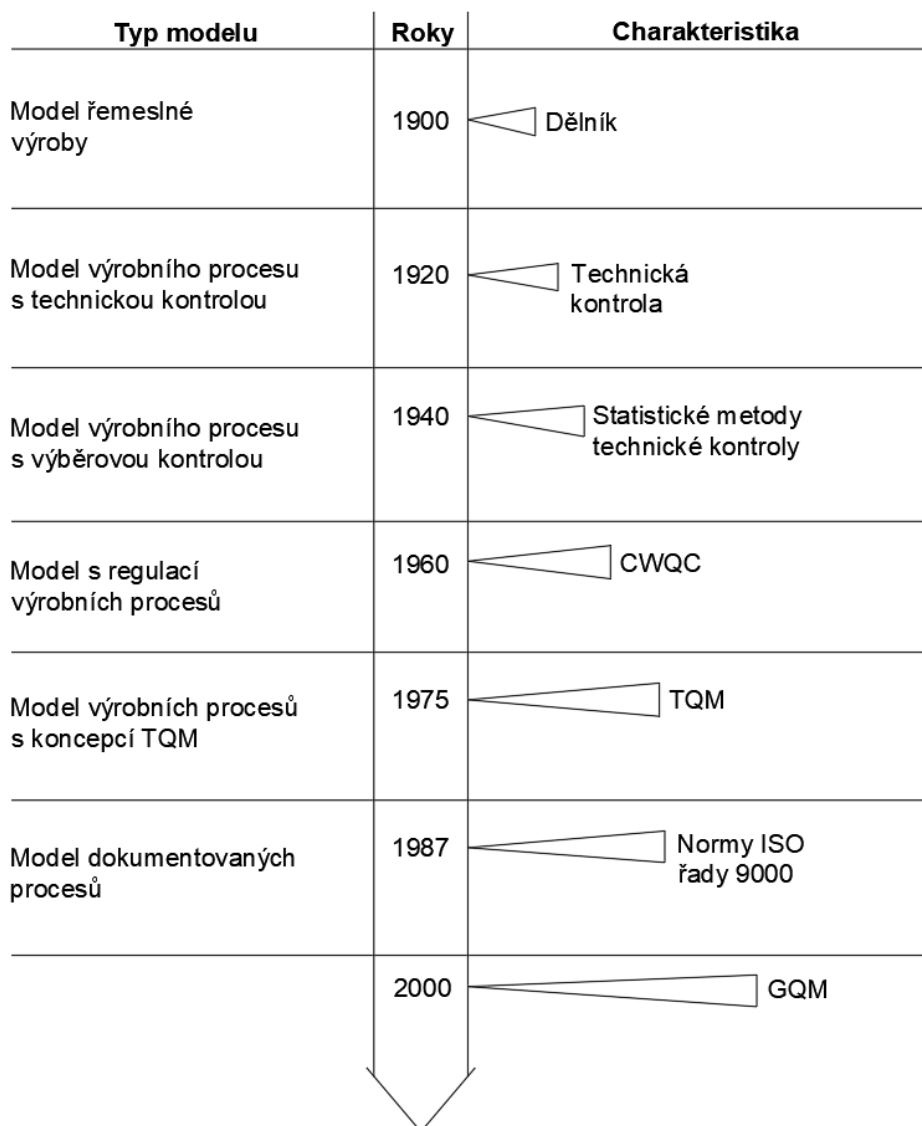
1 Úvod a definice cílů

1.1 Historický vývoj kvality

Kvalita se řeší od nepaměti, nejprve si lidé začali hodnotit své nástroje pro lov nebo svá obydlí. Už jen porovnáním věcí určujeme jejich kvalitu nebo konkrétní vlastnost. Z počátku si pravidla kvality určovali řemeslnické cechy, později manufaktury, nebo sami dělníci. Poté však začal do rozvoje výroby a obchodu zasahovat i stát. Následovalo označení „MADE IN“, které funguje dodnes a určuje zemi, ze které daný výrobek pochází. [1]

Největší rozvoj systémů zabezpečování jakosti se uskutečnil v minulém století. To můžeme vidět na obrázku číslo 1. Přelom 18. a 19. století se vyznačoval řemeslnou výrobou, kdy dělník byl v přímém kontaktu se zákazníkem, a tak si mohl vyslechnout jeho veškeré připomínky a požadavky. Díky tomu věděl, na jaké věci se soustředit a mohl je zdokonalit tak, aby zlepšil kvalitu daného výrobku. Velkou nevýhodou doby řemeslníků byla malá produktivita práce, takže začaly vznikat výrobní linky. V těchto letech začíná vznikat technická kontrola. Ve 30. letech 20. století Američan Walter Andrew Shewhart objevil první statistické metody kontroly. Velký průlom v kvalitě udělala druhá světová válka, kdy bylo potřeba vyrobit obrovské množství válečného materiálu. Začal se sledovat průběh výroby, prováděly se kontroly a měření výrobků a vznikly požadavky na technické vlastnosti určené normami. Po druhé světové válce se přidaly i další faktory jako jsou vzhled a spolehlivost výrobku. V této době se stává Japonsko společně s Amerikou hlavními zeměmi zaměřenými na kvalitu. Japonci na doporučení Williama Edwardse Deminga a Josepha Mosese Jurana zavedli všechny užitečné poznatky týkající se kvality pro podniky. Tyto poznatky se zakládaly na vysoké kvalitě výrobků a služeb. Aby byly ostatní země konkurenceschopné, byly pro ně určeny normy. Jako první vznikla norma AQAP pro NATO neboli severoatlantickou alianci. Norma AQAP čili Allied Quality Assurance Publications zpřesňuje požadavky ISO 9001 na systém jakosti, konkrétně definuje standardy pro zajišťování kvality obranných produktů. V roce 1987 byly přijaty normy ISO 9000 pro řízení jakosti. Tato norma má dopad na úplně všechny činnosti, které mají vliv na kvalitu. Mezi tyto činnosti se řadí návrh, nákup, vývoj, výroba, skladování, doprava, prodej, instalace, technická pomoc, likvidace, a i třeba zpětná vazba. [1] [2]

V dnešní době už je obrovské množství norem, především v odvětvích jako jsou letectví, kosmonautika, potraviny, léky nebo automobilový průmysl. K tomu všemu společnosti začínají využívat filozofii TQM (Total Quality Management) a snaží se získat různá ocenění za kvalitu. Využívají různé značky jako třeba Ekologicky šetrný výrobek, BIO PRODUKT, a tím se zviditelňují u spotřebitelů. A pro celkové zlepšení v jakosti používají účinné techniky a metody, které budou v práci následně v ukázkách aplikovány. [2] [1]



Obr. 1 Vývoj systémů zabezpečování jakosti ve 20. století [1]

1.2 Cíl práce

Do prostoru metrologické laboratoře Regionálního technologického institutu v Západočeské univerzitě v Plzni byl v loňském roce nainstalován repasovaný CMM stroj, který bude sloužit pro výuku a zaškolení studentů a nových zaměstnanců metrologické laboratoře. Stroj byl před ustavením v prostoru metrologické laboratoře zrepasován výrobcem. S ohledem na vykonanou repasi stroje je proto nutné provést ověření správnosti funkce tohoto měřidla.

Z výše uvedených důvodů si tato předkládaná bakalářská práce bere za cíl zmapování a následné použití vhodných nástrojů kvality pro oblast vyhodnocování statistických vlastností procese měření na 3D měřicím stroji. Práce se zaměřuje jak na nalezení informací o procesu měření na CMM, tak hledá i informace o vlastním měřidle za použití vhodných nástrojů kvality.

2 Rešerše současného stavu

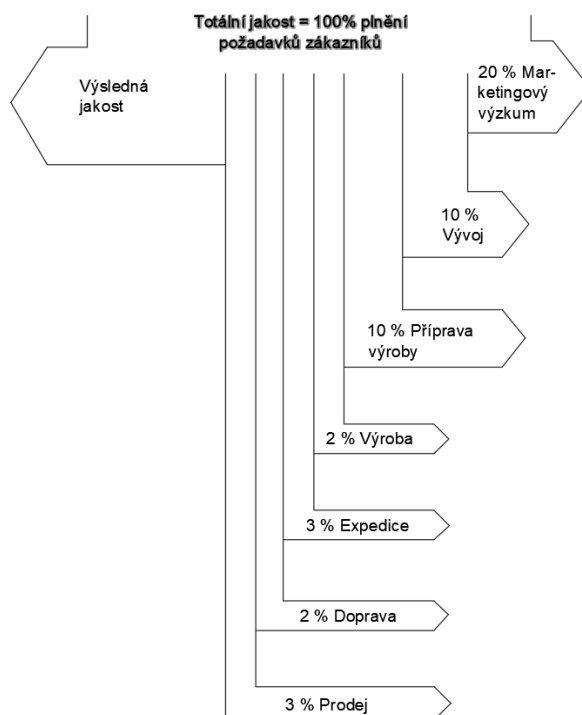
2.1 Kvalita

Pokud člověk zhodnotí cokoliv reálného nebo i hypotetického, nějaký objekt nebo vztah, a může o tom říci, zda to je dobré nebo špatné, tak v tu chvíli mluví o kvalitě. Hodnocené věci se obvykle říká **entita**. Abychom o ni mohli prohlásit, jestli je dobrá nebo ne, musí pro nás mít nějaký účel nebo význam. Tím se určují různá kritéria pro závěrečné hodnocení. K pojmům kvalita a entita se přidává ještě **hodnocení** a **kritérium**. Kvalita nám totiž určuje vlastnosti entity a podle určitých kritérií se dále vyhodnocuje, o jak kvalitní entitu vlastně jde. [3]

Obecný význam uvádí norma ČSN EN ISO 9000:2016, která říká, že jakost „je stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků.“ Do inherentních znaků spadají vnitřní vlastnosti objektu kvality, které mu patří. Jako příklad si můžeme uvést, že pro chléb je to chuť a pro auto například výkon motoru. [1]

Znaky můžeme dělit do dvou skupin. První skupina obsahuje znaky **kvantitativní**, což jsou znaky měřitelné. V této skupině je možno najít rozměr, obsah, výkon apod. Druhou skupinu tvoří atributy, které nemohou být popsány číselnou hodnotou, ale pro zákazníka mohou mít rozhodující vliv. Může to být například chuť, vůně, vzhled. Znakům v druhé skupině se říká **kvalitativní**. [1]

Velice podstatné jsou požadavky zákazníků, kterým daný výrobek odevzdáváme. Určují nám daná kritéria, která se budou hodnotit. Nesmíme ale zapomenout na požadavky, které se nachází v různých předpisech, kam spadají zákony, vyhlášky a normy. Tyto požadavky se vztahují nejen na hmotné výrobky, ale i na služby, zpracování informací i samotné procesy atd. Během výroby dochází ke ztrátám jakosti v určitých sektorech. [1]



Obr. 2 Možné ztráty vlivem nedokonalosti systému kvality ve firmě [1]

Z obrázku číslo 2 je vidět, že dělníci mohou ovlivnit pouze 20 % výroby, protože se pohybují pouze u přípravy výroby (10 %), samotné výroby (2 %), expedice (3 %), dopravy (2 %) a prodeje (3 %), takže hlavní výsledek neurčují až tolik dělníci, jako samotní konstruktéři, manažeři a technici. Firmy se proto logicky soustředí primárně na tyto pozice, které předcházejí samotné výrobě. Ovšem naprostá většina podniků má největší problémy právě ve vývoji, organizační a technické přípravě výroby. [1]

Proces je soubor navzájem souvisejících nebo ovlivňujících se činností během přeměňování vstupu na výstup. Až když víme výsledek určité operace, celého procesu nebo sledu činností, tak zjistíme řadu nedostatků a problémů s produkty. Proto je těžké následně určit, kdy daná vada vznikla. Těžko se na tyto chyby přichází. Z toho důvodu je základem filozofie moderního managementu sledovat procesy průběžně a nečekat až na konec procesu. Pokud vše probíhá dokonale, tedy i výsledný produkt musí být dokonalý. Do jakosti procesu zasahuje několik proměnných. Mezi ně patří lidé, materiál, metody, prostředí, měření a stroje a nástroje. (viz. obr. 2) [2]

Klíčovým a nejproblematictějším prvkem jsou lidé. Záleží na jejich odborné znalosti, rozhodovací kompetenci a chuti se angažovat. Určujeme osobní kvalitu každého člena firmy, ať už mluvíme o vrcholovém vedení, řadových zaměstnancích, tak samozřejmě i o externích partnerech, kam patří dodavatelé a zákazníci. Osobní kvalita se určuje z aplikační schopnosti a praktické dovednosti, komunikativnosti, pružnosti, schopnosti pracovat v kolektivu, charisma, samostatnosti, disciplinovanosti a odborných poznatků. [2]

Dalším zmiňovaným prvkem jsou stroje a nástroje. Zde se určuje způsobilost pro výrobní zařízení, nástroje a pomůcky pro konkrétní proces. Způsobilost vyhodnocujeme statistickými metodami a způsobilostí určujeme schopnost dosahovat v opakovaných případech cílové hodnoty znaků jakosti. [2]

U prostředí máme dvě skupiny požadavků. První skupina bere ohled na samotné produkty výroby. Je důležitá zejména u farmaceutických nebo potravinářských oborů, kde je zásadní, aby produkty byly v naprosté čistotě a určitých klimatických podmínkách. Druhá skupina požadavků přihlíží na pracovníky a jejich pracovní prostředí. V optimálním pracovním prostředí se klade důraz na pořádek, vhodnou teplotu a vlhkost vzduchu, dostatečné osvětlení, ochranu před nadměrným hlukem a na uspořádané a označené pomůcky, které pomáhají v zajištění bezpečného pracoviště. [2]

Postupy jsou jasně a přehledně sepsané v dokumentech (instrukce, předpisy), podle kterých se pracovník orientuje. Přesně určují, v jakém pořadí mají být činnosti konány. [2]

Na tyto všechny kategorie dohlíží měření a kontrola. Metrologie zjišťuje, zda výrobek dosahuje požadovaných hodnot a vlastností. Především se zaměřuje na přesnost měřidel, jejich dobré používání a údržbu. U měřidel se musí pravidelně ověřovat celá řada parametrů, které nám ovlivňují dosahované výsledky. [2]

2.2 Metrologie

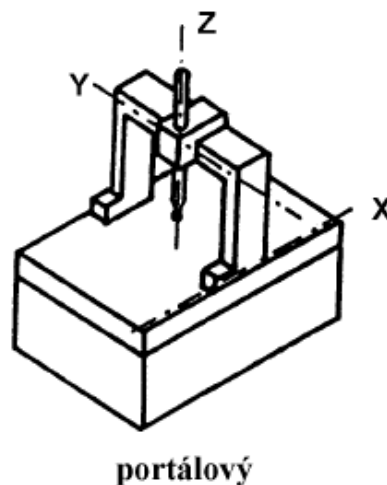
Metrologie je věda o měření. Slovo metrologie pochází z řeckého slova „metron“, což je v překladu měřidlo. Metrologie je to souhrn všech činností a znalostí týkajících se měření

a zahrnuje praktické a teoretické aspekty bez ohledu na oblast techniky a vědy. Tento vědní obor má pro lidstvo důležitý význam hned v několika oborech. Lze se s ní setkat téměř každý den, příkladem může být měření času, délky, teploty a tak dále. [4]

Úkolem je zabezpečit jednotnost a přesnost měření. Měřidla se dělí na etalony, kontrolní měřidla, pracovní měřidla stanovená a nestanovená a jako poslední jsou orientační nebo také informativní měřidla, která zákon č. 505/1990 nezná, ale v běžné technické praxi se často používají. Mezi těmito měřidly je určitá návaznost, která se musí dodržovat. Dalo by se to chápat jako zařazení měřidel do nepřerušované řady, kde prvním měřidlem je etalon, který má nejvyšší metrologickou kvalitu. [5]

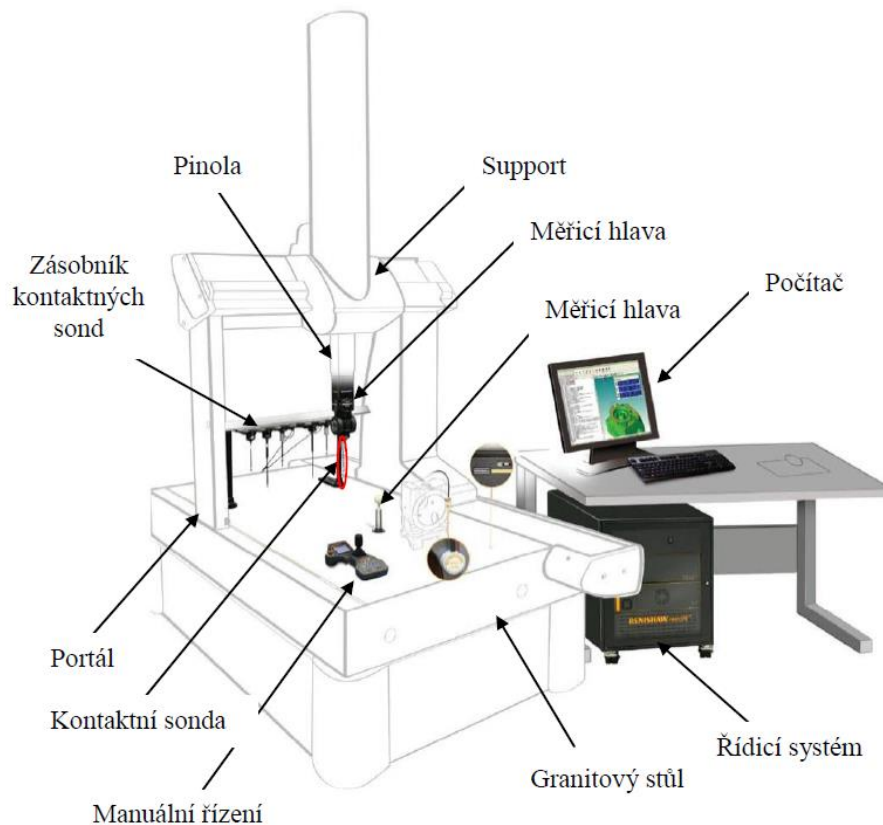
2.2.1 Souřadnicový měřicí stroj

Jednou z největších inovací v metrologii je souřadnicový měřicí stroj. Důvodem, proč bylo potřeba začít používat tento stroj, je větší složitost součástí, které je potřeba zkontrolovat. Tyto složité součásti jsou zejména v automobilovém nebo leteckém průmyslu. Stroj pracuje na principu měření v souřadném systému X, Y a Z. Díky těmto souřadnicím můžeme zjistit polohu, kde se nám měřicí dotyk nachází. Souřadnice se berou vůči základnímu bodu, který se na začátku každého měření stanoví. To je právě velkou výhodou této metody, protože každé měření je jiné a vždy kontrolujeme jinou součást. [6]



Obr. 3 Schéma portálového měřicího stroje [6]

Máme hned 4 základní typy souřadnicových strojů. Jsou to stojanový, výložníkový, portálový a mostový. Pro tuto práci je důležitý právě model portálový. Tento typ vidíme na obrázku číslo 3. Je zde vidět, že portál se pohybuje po ose X. Pohyb v ose Y zajišťuje suport, který se posouvá po portále. A poslední složku Z posouváme pomocí pohybu pinoly, která se nachází v suportu. Tyto pohyby ovládá pracovník a řídí je pomocí manuálního řízení, které je součástí každého stroje. [6]



Obr. 4 Popis základních částí souřadnicového měřicího stroje [4]

Jak lze vidět na obrázku číslo 4, tak souřadnicový stroj se skládá z několika částí. Základem je granitová deska, na které je měření prováděno. Další základní součástí je pinola s měřicí hlavou. Pinola se pohybuje v suportu a ten jezdí po portálu. Samotné ovládání celého stroje je pomocí manuálního řízení a poté se dá ovládat pohyb počítačem. Kontaktní sonda je část stroje, která se dá vyměnit podle toho, jaká součást je právě měřena. Sonda se nachází v měřicí hlavě a jedná se o kuličku, která má konkrétní průměr. Kulička je na různě dlouhém držáku, který při měření může hrát také svojí roli. [4]

2.3 Chyby a nejistoty měření

V praxi nejsou žádná měření, žádná měřicí metoda ani žádný přístroj absolutně přesný, a to ani měření na CMM. Nejrůznější negativní vlivy, které se v reálném měřicím procesu vyskytují, se projevují odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou sledované veličiny. Tyto odchylky se nazývají chyby měření. [4]

2.3.1 Chyby měření

Při opakovaném provádění měření za stejných podmínek se zjistí, že se hodnoty od sebe více či méně liší. Tato odchylka může být způsobena špatným provedením měření, chybou měřicího systému nebo nedodržením konstantních podmínek prostředí. U každého prováděného měření je však pouze jediná správná hodnota, tudíž každá odchylka se nazývá

chybou měření. Chyby měření se dělí do dvou skupin, a to na chyby absolutní a chyby relativní. S absolutní chybou měření se setkáme u každého měření. Je to rozdíl mezi pravou hodnotou a hodnotou naměřenou. Udává se v jednotkách měřené veličiny a vzorec je:

$$\varepsilon = y - x_0 \text{ [mm]}, \quad (1)$$

kde ε je absolutní chyba,

y je naměřená hodnota,

x_0 je pravá neboli skutečná či referenční hodnota. [4]

Aby se tedy mohla zjistit skutečná hodnota, což je cílem měření, musí se nejprve určit chyba měření. K odhadu chyby měření nestačí pouze jedna hodnota, protože není s čím tuto hodnotu porovnat, ale je potřeba provádět měření několikrát. Ještě častěji se kvalita měření hodnotí pomocí chyby relativní, která se určí jako poměr chyby absolutní a referenční hodnoty měřené veličiny.

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_0} * 100 \text{ [%]}, \quad (2)$$

kde δ je relativní chyba měření.

Dále lze chyby rozdělit na:

- hrubé chyby
- systematické chyby
- náhodné chyby [4]

2.3.1.1 Hrubé chyby

Hrubé chyby většinou bývají viditelné na první pohled, protože se výrazně liší od ostatních výsledků. Jedná se o chybu způsobenou nějakým omylem, nesprávným odečtením ze stupnice, poruchou stroje, nesprávným postupem atd. V měření se nesmí pokračovat, dokud nejsou příčiny těchto chyb odstraněny. Někdy se také může stát, že není jisté, zda je podezřelá hodnota opravdu hrubou chybou. V takovém případě se provádí testování podezřelých hodnot za předpokladu, že jsou naměřené hodnoty v normálním rozdělení pravděpodobnosti. Tento jev nastává v drtivé většině případů právě při měření. [4] [6]

Jako první se musí určit hodnota výběrového průměru:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \text{ [mm]}, \quad (3)$$

kde \bar{x} je výběrový průměr,

x_i jsou výsledky jednotlivých měření,

n je počet měření.

Poté je nutné vypočítat směrodatnou odchylku $s(x)$. Ta se zjistí pomocí vzorečku:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ [mm]}, \quad (4)$$

kde $s(x)$ je směrodatná odchylka. [4]

Dále se musí zjistit odlehlost extrémních hodnot daného souboru. Vypočítá se hodnota H_n pomocí vzorce:

$$H_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s(x)} [-], \quad (5)$$

kde H_n je normovaná hodnota,

x_n je hodnota podezřelá z extrému [4]

Mezní hodnota H se získá z tabulky číslo 1 pro předem určenou pravděpodobnost p a rozsah výběru n .

Rozsah výběru n	Mezní hodnoty H pro pravděpodobnost p			
	0,90	0,925	0,95	0,975
3	1,15	1,15	1,15	1,15
4	1,12	1,44	1,46	1,48
5	1,60	1,64	1,67	1,72
6	1,73	1,77	1,82	1,89
7	1,83	1,88	1,94	2,02
8	1,91	1,96	2,03	2,13
9	1,98	2,04	2,11	2,21
10	2,03	2,10	2,18	2,29
11	2,09	2,14	2,23	2,36
12	2,13	2,20	2,29	2,41
13	2,17	2,24	2,33	2,47
14	2,21	2,28	2,37	2,50
15	2,25	2,32	2,41	2,55
16	2,28	2,35	2,44	2,58
17	2,31	2,38	2,48	2,62
18	2,34	2,41	2,50	2,66
19	2,36	2,44	2,53	2,68
20	2,38	2,46	2,56	2,71
25	2,635	2,87	3,351	3,944
30	2,696	2,928	3,402	3,988
40	2,792	3,015	3,48	4,054
50	2,86	3,082	3,541	4,108
100	3,076	3,285	3,723	4,263

Tab. 1 Tabulka mezních hodnot H pro zvolenou pravděpodobnost p a rozsah výběru n [4]

Jako poslední se porovná vypočítaná H_n a tabulková hodnota. Když není hodnota zatížena hrubou chybou, tak hodnota $H_n < H$. Jestliže je H_n větší, tak je zatížena hrubou chybou a musí se ze souboru hodnot vyloučit. [4]

2.3.1.2 Systematické chyby

Systematické chyby se projevují až porovnáním daného měření s jiným měřením. Jiné měření je získáno buď jinou metodou, jinou osobou, nebo jiným přístrojem. Do těchto chyb může spadat i chyba teplotní, což je způsobeno rozdílem teplot součásti a měřidla.

Systematické chyby jsou při stálých podmínkách také stálé co do velikosti i znaménka a svým působením systematicky ovlivňují výsledek měření. Ke stanovení jejich velikosti postačí znát vztah:

$$\Delta y = y_m - x_s \text{ [mm]}, \quad (6)$$

kde Δy je systematická chyba,

y_m je výběrový průměr,

x_s je konvenčně správná hodnota. [4]

Z hlediska uživatele měřicí techniky jsou systematické chyby dobré v tom, že je lze z velké části určit a jejich vliv je možné zmenšit pomocí kompenzací nebo korekcí. Takto se většinou podaří odstranit podstatnou část jejich negativního vlivu na měření, ale zůstane ještě zbytek, který lze označit jako nevyhloučené systematické chyby. [4]

2.3.1.3 Náhodné chyby

Náhodné chyby se objevují náhodně a je těžko předvídatelné, kdy se objeví. Vznikají z několika důvodů. Může to být měřicí metoda, samotné měřidlo, obsluha, ale i podmínky měření.

Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko, jak odpovídá předpokládanému zákonu rozdělení. Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaných měření s použitím statistických metod, odpovídajících patřičnému modelu reprezentovanému zákonem o rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi jde velmi často o rozdělení normální neboli Gaussovo, které se používá ve většině aplikací. Výsledek měření, stanovený ze souboru opakovaných měření realizovaných za stejných podmínek, je reprezentován aritmetickým průměrem získaných při n opakovaných měřeních. Náhodnou chybu v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru s , méně často směrodatná odchylka aritmetického průměru $s_{\bar{x}}$, které se získávají ze vztahů:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \text{ [mm]}, \quad (7)$$

kde s je odhad směrodatné odchylky,

Δy_i je absolutní odchylka i -tého členu od průměru.

$$s_{\bar{y}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n \cdot (n-1)}} \text{ [mm]}, \quad (8)$$

kde $s_{\bar{y}}$ je odhad směrodatné odchylky výběrového průměru.

Obě odchylky blíže charakterizují chování náhodných chyb. Pro práci s chybou měření při procesu vyhodnocení měření se chyby zahrnují do nejistot měření. [4] [6]

2.3.2 Nejistoty měření

Nejistota měření je rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření. Na nejistotě měření závisí jak výsledky měření, tak i hodnoty použitých konstant, korekce a jiných. Počítá se s tím, že skutečná hodnota s předpokládanou pravděpodobností bude pokryta nejistotou měření. Základní nejistotou je standardní nejistota. Značí se u a vyjadřuje hodnotu směrodatné odchylky a 68,27 % pravděpodobnosti při normálním rozdělení. Standardní nejistota obsahuje všechny hodnoty okolo hodnoty naměřené. Rozděluje se na dva typy nejistot, a to A a B. [6]

2.3.2.1 Standardní nejistota A - u_A

Standardní nejistota A je způsobena náhodnými chybami a není jisté, z jaké příčiny vzniká. Dá se určit pomocí opakovaných měření stejné hodnoty za stejných podmínek. Čím více měření je provedeno, tím se nejistoty zmenšují.

Výpočet nejistoty typu A:

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n*(n-1)}} [mm], \quad (9)$$

kde $s(\bar{x})$ je odhad směrodatné odchylky aritmetického průměru.

2.3.2.2 Standardní nejistota B – u_B

U standardní nejistoty B není výsledná hodnota vůbec ovlivněna počtem měření. Určuje se za použití odhadu na základě zkušeností a dostupných informací. Nejčastěji to může být předčasné měření, údaje výrobce, údaje získané při kalibraci a z certifikátů. Pokud jsou známé obě dvě nejistoty, určuje se i kombinovaná standardní nejistota. [4]

2.3.2.3 Kombinovaná standardní nejistota – u_C

Kombinovaná standardní nejistota je sumací nejistot typu A a B. Hodnotí-li se výsledek měření touto nejistotou, není třeba rozlišovat nejistoty typu A a B. Kombinovaná standardní nejistota udává interval, ve kterém se s poměrně velkou pravděpodobností může vyskytovat skutečná hodnota měřené veličiny. V praxi se dává této nejistotě přednost. Vypočítá se následujícím vzorcem:

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

kde u_C je kombinovaná standardní nejistota měření. [4] [5] [6]

2.3.2.4 Rozšířená standardní nejistota U

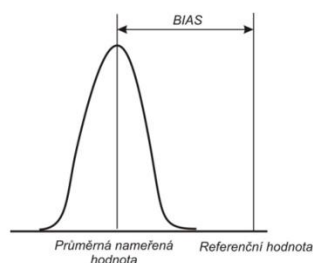
Rozšířená standardní nejistota se zavádí v případě, že je třeba zajistit ještě větší pravděpodobnost správného výsledku měření. Získá se tak, že se kombinovaná standardní nejistota u_C vynásobí součinitelem $k_u = 2$.

Při zjišťování jednotlivých standardních nejistot se postupuje podle toho, zda se jedná o přímé nebo nepřímé měření jedné nebo více veličin. Při výpočtech se hodnoty koeficientů a nejistot zaokrouhlují na tři platné číslice. Udávaná výsledná nejistota se zaokrouhluje na dvě platné číslice. [4]

2.3.3 Statistické informace

Přesnost měření je dle nové metrologické terminologie těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou měřené veličiny. Popisuje, jak blízko je jeden výsledek měření k pravé hodnotě veličiny. Přesnost je definována dle následujícího vztahu: $PŘESNOST = PRECIZNOST + PRAVDIVOST$ [7]

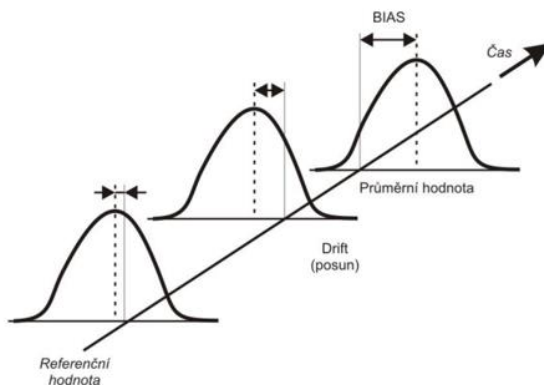
Strannost (bias) – rozdíl mezi pozorovaným průměrem měření a referenční hodnotou měření provedených na jednom jakostním znaku stejného dílu. Bias je definován následujícím vztahem: $BIAS = POZOROVANÝ PRŮMĚR - REFERENČNÍ HODNOTA$. To je zobrazeno na obrázku číslo 5. [7]



Obr. 5 Zobrazení strannosti [7]

Pravdivost měření je definována jako těsnost shody mezi aritmetickým průměrem nekonečného počtu opakovaných naměřených hodnot veličiny a referenční hodnotou veličiny. Pravdivost je nepřímo úměrná systematické chybě měření, která může být odhadnuta vychýlením měření (bias). [7]

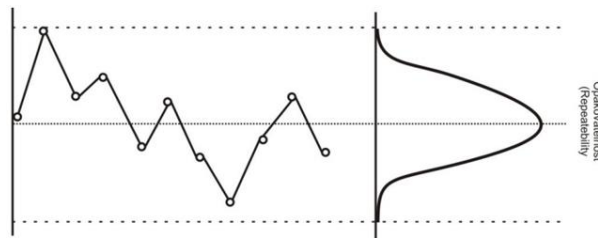
Stabilita – míra, jak dobře je vykonáván měřicí systém v průběhu času. Rozdíl mezi stabilitou a linearitou spočívá v tom, že při stabilitě je měřen pouze jeden díl, jehož referenční hodnota je známa anebo předpokládána. To určuje, jestli se měřicí systém změnil v průběhu času a po mnoha použití. Zobrazení stability je patrné na obrázku číslo 6. [7]



Obr. 6 Zobrazení stability [7]

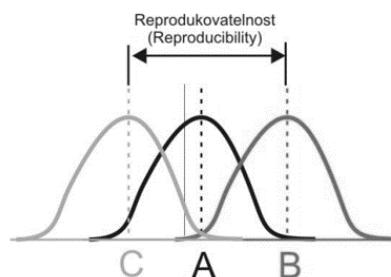
Linearita měří, jak se mění velikost měřicího systému bias přes předpokládaný měřicí procesní rozsah. Test může být vykonán za účelem určení, jestli nelinearita měřicího systému existuje a jestli je významná. [7]

Opakovatelnost je druh preciznosti, u které se očekává, že bude představovat nejmenší rozdíly ve výsledcích. Jedná se o míru variability výsledků, pokud jsou měření provedena na stejném materiálu jedním analytikem, který používá stejnou metodu a zařízení v krátkém časovém rozmezí. Opakovatelnost je vyznačena na obrázku číslo 7. [7]



Obr. 7 Zobrazení opakovatelnosti [7]

Reprodukovatelnost značí variabilitu průměrů měření při měření jednotlivých operátorů. Měření je prováděno za stejných podmínek. Operátoři měří na jednom měřicím přístroji stejnou charakteristiku na jednom a tomtéž dílu. Reprodukovatelnost zobrazuje obrázek číslo 8. [7]



Obr. 8 Zobrazení reprodukovatelnosti [7]

2.4 7 základních nástrojů řízení jakosti

Mimo výše zmíněná statistická data je možné pro hodnocení použít vybrané nástroje řízení jakosti, které slouží k shromažďování, uspořádání a následné analýze dat pro další zlepšování. Průkopníkem těchto nástrojů byl K. Ishikawa. Využívá se u nich grafická metoda, proto jsou snadno pochopitelné. Jejich účinnost je velmi vysoká, protože pomáhají nalézt příčiny problémů s kvalitou. Občas i naznačí možná řešení. Základních nástrojů je sedm. Všechny tyto základní nástroje jsou vypsány v tabulce číslo 2 a je k nim uveden i stručný popis, k jakému účelu se může každý nástroj použít. [1] [8]

Nástroj	Aplikace
Formulář pro sběr dat	Shromažďuje údaje o dané situaci, třídí je a zpřehledňuje.
Vývojový diagram	Pomáhá rozumět tomu, jak proces probíhá (nebo by měl probíhat), a to tím, že jej člení do jednotlivých kroků
Diagram příčin a následků	Zobrazuje a třídí v souvislostech všechny možné příčiny, které ovlivňují daný výsledek
Paretův diagram	Zobrazuje podíl každé položky na celkovém účinku, a tím naznačuje priority při řešení
Bodový diagram	Znázorňuje a potvrzuje/nepotvrzuje závislost mezi dvěma souvisejícími soubory dat
Histogram	Zpřístupňuje a zprůhledňuje ve formě sloupkového diagramu nepřehledné záznamy rozsáhlých číselných údajů o jednom jevu, který vykazuje variabilitu a zobrazuje momentální stav
Regulační diagram	Zobrazuje vývoj sledované veličiny v čase, a tím poskytuje informace o stabilitě či nestabilitě procesů

Tab. 2 Přehled sedmi nástrojů řízení kvality [8]

Dále se v práci budou používat nástroje, které na těchto sedm základních nástrojů navazují a rozšiřují jejich využití, a tím i informace o procesu měření či samotném měřidle.

2.5 Způsobnost procesu

Index způsobnosti procesu nebo také **Koeficient způsobnosti procesu** je statistický parametr používaný v oboru stálého zlepšování kvality. Jeho smyslem je jednoznačně určit způsobnost procesu, tedy schopnost procesu dodávat výstup v rámci tolerovaného rozmezí hodnot a specifikovaného technického standardu – tedy zejména ve výrobě a v měření se zpětnou vazbou na výrobu. Tato informace má největší význam hlavně pro zákazníka, protože ví, jakou přesnost potřebuje pro svou výrobu. U procesu s určitou přesností nejde posoudit, zda se jedná o přesnost dostatečnou, malou nebo velkou. Hodnota se musí porovnat s požadavky nebo technickými specifikacemi. Tyto požadavky určuje zákazník. Technické specifikace se objevují nejčastěji ve formě tolerančního pole např. $6\pm 0,06$ mm. Pokud není technická specifikace určena prostřednictvím tolerančního pole, může být definována pomocí horní či dolní meze. Příkladem horní meze je velikost šumu u mikrofonu. Stanovení tloušťky vrstvy povrchové úpravy je ukázkou přípustné dolní meze. [8]

2.5.1 Indexy způsobilosti

K určení způsobilosti se využívají indexy neboli ukazatele, které se porovnávají s předepsanou hodnotou danou tolerančními mezemi. Tato předepsaná hodnota je dosahovaná u statisticky zvládnutého procesu. Pro hodnocení způsobilosti se doporučuje následující postup.

- 1) Volba znaku jakosti
- 2) Analýza systému měření
- 3) Shromažďování údajů
- 4) Posouzení statistické zvládnutelnosti procesu
- 5) Ověření normality sledovaného znaku jakosti
- 6) Výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami [1]

Nejpoužívanější jsou indexy C_p a C_{pk} , které jsou vysvětleny níže. Ještě se můžeme setkat s indexy C_{pm} , C_{pm}^* a C_{pmk} . Index C_{pm} porovnává maximální přípustnou variabilitu s jeho skutečnou variabilitou sledovaného prvku. Index C_{pm}^* se využívá v případě, že cílová hodnota není ve středu tolerančního pole. C_{pmk} je specifický tím, že je kombinací uvedených indexů. Kromě míry dosažení cílové hodnoty ještě posuzuje dodržení tolerančních mezí. [1]

2.5.2 Index způsobilosti C_p

Index způsobilosti C_p vyjadřuje míru schopnosti procesu zaručit, aby se znak jakosti pohyboval v mezích tolerance. Jestliže jsou specifikovány oboustranné toleranční meze, tak lze index spočítat. Jeho hodnota je poměrem skutečné a přípustné variability hodnot, aniž by se bral zřetel na jejich pozici v tolerančním poli. Nic se ale díky tomuto indexu nedozvíme o tom, jak jsou jeho schopnosti využity. Vypočítáme ho ze vztahu:

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} [-], \quad (11)$$

kde USL je horní toleranční mez,

LSL je spodní toleranční mez,

σ je směrodatná odchylka. [1] [9]

Ze vzorečku vyjadřuje skutečnou variabilitu hodnota 6σ , která za normálního rozdělení vymezí oblast, ve které se nacházejí všechny hodnoty. Určuje to až s 99,37% pravděpodobností. Problém je v tom, že právě směrodatnou odchylku většinou zadanou nemáme, a tak ji musíme získat nějakým vhodným odhadem. Pomoci si tedy můžeme následujícími vzorečky:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} [mm], \quad (12)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4} [mm], \quad (13)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k s_j^2}{k}} \text{ [mm]}, \quad (14)$$

kde $\hat{\sigma}$ je odhadovaná směrodatná odchylka,

\bar{R} je průměrné variační rozpětí v podskupinách,

\bar{s} je průměrná hodnota výběrových směrodatných odchylek v podskupinách,

d_2 , C_4 jsou konstanty závislé na rozsahu podskupin viz. Příloha,

s_j je výběrová směrodatná odchylka hodnot v j -té podskupině,

k je počet podskupin. [1] [9]

2.5.3 Index způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} už naopak bere ohled jak na variabilitu, tak i na umístění hodnot znaku jakosti v tolerančním poli. Určuje tedy skutečnou způsobilost procesu. Další výhodou tohoto indexu je, že se dá spočítat jak s oboustrannou, tak i s jednostrannou toleranční mezí. Jestliže je předepsaná jen dolní toleranční mez, využije se vzoreček:

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} [-]. \quad (15)$$

Při předepsané horní toleranční mezí se použije:

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} [-]. \quad (16)$$

Když je předepsaná horní i dolní toleranční mez:

$$C_{pk} = \min\{C_{pL}; C_{pU}\} [-], \quad (17)$$

kde μ je střední hodnota sledovaného znaku jakosti. [1]

2.6 Způsobilost měřidla

Správnost systému měření, také se dá říci měřidel, se určuje na základě řady statistických vlastností. Mezi tyto vlastnosti patří shodnost, opakovatelnost, strannost, reprodukovatelnost, linearita a stabilita. Používají se různé postupy ke zhodnocení způsobilosti systému měření. Jeden z nich využívá indexů způsobilosti, které vypovídají o strannosti a shodnosti měření v podmínkách opakovatelnosti. Tato metoda nám pomůže posoudit vhodnost systému měření pro kontrolu jakosti v určitém tolerančním poli nebo výrobním rozpětí. Údaje získáme opakovaným měřením etalonu o jmenovité hodnotě. Hodnota by se měla pohybovat ve středu odpovídajícímu tolerančnímu poli. Měření se provádí v místě, kde se měřidlo používá běžně a provádí ho jen jeden pracovník. Aby bylo získáno dostatečné množství naměřených hodnot,

je potřeba provést řadu opakovaných měření. Doporučuje se okolo 50 měření. Systém měření je způsobilý, vychází-li index C_{gk} vyšší než 1,33. [1] [9]

Indexy se vypočítávají podle vztahů:

$$C_g = \frac{0,2*(USL-LSL)}{6*\sigma_g} [-]; \quad (18)$$

$$C_{gk} = \frac{0,1*(USL-LSL)-|x_r-\bar{x}|}{3\sigma_g} [-]; \quad (19)$$

σ_g je směrodatná odchylka naměřených hodnot,

x_r je jmenovitá hodnota etalonu,

\bar{x} je aritmetický průměr naměřených hodnot. [1] [9]

Před samotným výpočtem indexů je však potřeba graficky znázornit průběh hodnot pro analýzu případných trendů. Díky grafickým metodám lze zjistit i různé periodicity či jiné nenáhodné jevy působící na měření. Jako další metoda může být použita R&R analýza, která analyzuje reprodukovatelnost a opakovatelnost, jestliže měření provádí různí pracovníci. Opakovatelnost je vlastnost měřidla, zda dokáže měřit stále stejně. Reprodukovatelnost určuje to stejně, ale nezávisí na měřidle, ale na osobě, která měření provádí. [1] [8] [9]

2.7 Statistická regulace procesu

Metoda statistické regulace procesu je efektivní tam, kde význam sledovaného znaku potřebuje dohled nad vývojem v čase. Nejen, že kontroluje dané procesy, ale dokonce je i dokáže ovlivňovat. Díky včasnému odhalení změn v procesu může být provedena náprava dříve, než dojde k ohrožení cílů zákazníka. Nejvíce tuto metodu využívá sériová a hromadná výroba. Je totiž zapotřebí, aby byla zajištěna shodnost výrobků se specifickými požadavky. Proto se musí nastavit a udržet výrobní proces na dané úrovni. Naprosto u každého procesu se vyskytují odchylky od požadované hodnoty. Díky této metodě jsou odchylky kontrolovány. Tím zabraňujeme komplikacím jak u zákazníků, tak dodavatelů, neboť to vždy přináší růst nákladů. Proto hlavním přínosem využití této metody je lépe vyhovět požadavkům zákazníka a zároveň snížit náklady z procesu. [8]

Existují dva typy příčin kolísání. Prvním typem jsou náhodné příčiny. Jde o velmi malý účinek, i když jich je v procesu velké množství. Způsobují jen krátkodobé rozdíly mezi jednotlivými prvky. Je to tedy soubor drobných, neidentifikovatelných příčin, které společně tvoří odchylku od požadované hodnoty. Pokud působí na proces jen náhodné příčiny, tak výstup se vyjadřuje normálním rozdělením. Z toho důvodu jsou pro nás mnohem závažnější příčiny vymezitelné. Ty představují identifikovatelnou a reálnou změnu faktorů procesu. Příčiny tohoto kolísání se dají odhalit a odstranit. Může se ale stát, že nemusí být nalezeny a eliminovány, tudíž ovlivňují výstupy procesu. Proces tedy nelze brát jako statisticky stabilní, protože není stabilní v čase a nemá normální rozdělení. Zdrojem těchto příčin jsou pracovníci, materiál,

stroje a zařízení, měření, metoda a prostředí. Každá tato položka má vlastní vliv a může tedy vést k vymezeným příčinám kolísání. [8]

Etapy statistické regulace

- Analýza procesu
- Udržování procesu
- Zlepšování procesu

Abychom mohli provést analýzu, je zapotřebí, aby proces byl stabilizován a seřízen na požadovanou hodnotu. Po seřízení se zjišťuje, zda jsou výrobní parametry stroje nebo výrobního zařízení kolem požadované hodnoty. Hodnoty také mohou kolísat v rozsahu, který má náhodné příčiny. Základním nástrojem analýzy je histogram. Ten nám pomůže určit četnost sledovaného znaku. Dalším používaným je diagram stability. Díky němu zjistíme tendence růstu či poklesu střední hodnoty nebo přesnosti. Zde je důležité, aby diagram ukazoval, jak se veličiny mění v čase. Proto pořadí v diagramu odpovídá pořadí při vzniku. Hlavním nástrojem je již zmiňovaný regulační diagram. Je to záznam o procesu a ukazuje, kdy proces běží v toleranci a kdy naopak ne. Diagram stability funguje na podobném principu, z něj však nejde zjistit, kdy jsme ještě v mezích a kdy už jsme mimo ně. [8]

3 Návrh experimentů a jejich vyhodnocení

3.1 Popis měřidla

Měřidlo, na kterém byla prováděna tato bakalářská práce, je od firmy Carl Zeiss spol. s r.o. Jedná se o model Eclipse. Tento souřadnicový měřicí stroj se nachází v metrologické laboratoři na Západočeské univerzitě v Plzni a využívá se pouze k výuce, kde jsou na něm ukazovány praktiky měření. V metrologické laboratoři je zajištěna potřebná metrologická teplota a vlhkost vzduchu. Teplota se během měření pohybovala mezi 20,3-21 °C a vlhkost vzduchu mezi 40-50 %. Měřicí rozsah tohoto stroje je v ose X 700 mm, v ose Y je to 1000 mm a v ose Z 600 mm. Těmito rozměry se omezuje velikost měřené součásti, protože součást nesmí být větší než dané parametry.



Obr. 9 Kontrolovaný měřicí stroj

Na obrázku číslo 9 je fotografie hodnoceného měřicího stroje. Z obrázku je patrné, že se jedná o portálový měřicí stroj.

3.2 Měřicí dotyk

Toto zařízení měří pomocí dotyku, který je upnutý ve spínací hlavě. Dotyky mohou mít velké množství podob. Výběr závisí primárně na měřené součásti, podle složitosti měřených prvků a při měření průměrů. U tohoto stroje se využívají primárně dotyky rubínové, které jsou

o něco přesnější než dotyky ocelové. Je to díky tomu, že mají větší tvrdost. Jejich případným negativem je skutečnost, že jsou velmi křehké, takže manipulace s nimi musí být velice opatrná. Důležitým parametrem u těchto dotyků je průměr měřicí kuličky. V metrologické laboratoři se řídí pomocí vzorečku, který určuje maximální rádius doteku, aby bylo možné měření provést:

$$R = \frac{\pi d}{24} [mm], \quad (20)$$

R je maximální možný poloměr dotyku,

d je průměr měřené součásti.

Tento vzoreček je v průvodci měřením kruhovitosti a válcovitosti od společnosti imeco. Jelikož jsou v práci využity jako kontrolní prvky dvě koncové měrky o velikostech 125 mm a 400 mm a dva kroužky o průměrech 26 mm a 90 mm, tak byl zvolen jako nejlepší variantou měřicí dotyk o průměru 2 mm a pracovní délce 20 mm. Tento dotyk je ještě prodloužený o 50 mm. Toto prodloužení je zde proto, aby byl dotyk zřetelně vidět a nestínila v měření spínací hlava. Daný měřicí dotyk byl zvolen jak z hlediska daného výpočtu, tak vzhledem k tomu, že se tento dotek využívá při výuce nejvíce.

$$R = \frac{\pi * 26}{24} = 3,4033 \text{ mm} \quad (21)$$

$$R = \frac{\pi * 90}{24} = 11,78 \text{ mm} \quad (22)$$

Jak je patrné ze vzorečků číslo 21 a 22, tak největší možný měřicí dotyk pro práci může být o poloměru 3,4 mm u kroužku 26 mm a 11,78 mm u kroužku 90 mm. Tyto podmínky dotyk o průměru 2 mm splňuje, a proto je možno ho zvolit. Na obrázku číslo 10 jsou veškeré možné měřicí dotoky, které k tomuto stroji jsou k dispozici.



Obr. 10 Měřicí dotoky

Doteky se upínají do spínací hlavy pomocí silného magnetu. Z tohoto důvodu je výměna velice rychlá a jednoduchá. Jediný problém výměny je, že je vždy potřeba nový dotyk zkalibrovat. Kalibrace doteku se provádí pomocí kalibrační koule, která je dodaná výrobcem stroje. Tato koule má přesně dané rozměry a uživatel stroje se jen musí dotknout této koule v ose Z co nejvíce na střed koule a stroj už sám tuto kouli změří a zkalibruje dotyk.

3.3 Měřené součásti

Již v předchozí kapitole bylo zmíněno, že jako měřené součásti byly použity dvě koncové měrky a dva kroužky. Výběr součástí je zvolen tak, aby odpovídal výuce, kdy se nejvíce probírá měření délky a měření průměru. Z toho důvodu tyto součásti perfektně splňují volbu, protože na koncové měrce se kontroluje délka měrky a u kroužku se měří průměr. Rozměry jsou voleny u koncových měrek 125 mm a 400 mm. U kroužků to jsou průměry 26 mm a 90 mm. Všechny tyto měřené součásti jsou na obrázku číslo 11. Dalším důvodem, proč se na kontrolu měřidla používají tyto součásti, je fakt, že jak u měrek, tak u kroužků známe úplně přesný rozměr na tisícinu milimetru, tudíž je možné provést vyhodnocení výsledku vzhledem k těmto skutečným rozměrům součástí.

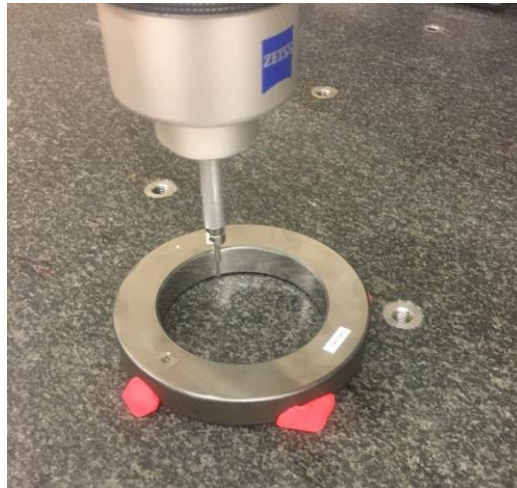


Obr. 11 Měřené součásti

Na obrázku číslo 11 je vlevo menší měrka, která je dlouhá 125 mm. Uprostřed je kroužek o průměru 90 mm a vpravo je kroužek s průměrem 26 mm. Ve spodní části obrázku se nachází větší měrka o délce 400 mm. Na pořadí, v jakém byly součásti měřeny, nezáleží, protože se vyhodnocují jednotlivě.

3.4 Upínání součástí

Součásti se upínají na granitový stůl. U souřadnicových měřicích strojů se jako upínací prvek využívá celá řada komponentů od lepidla, upínek až po modelínu, která byla v této práci využita. Vzhledem k tomu, že měřicí stroj měří tak, že v momentě, co je dotyk a součást v kontaktu, tak se ozve zvuk a stroj si zapíše danou pozici dotyku, tak z toho důvodu stačí součást chytit jen pomocí modelíny, protože síla kontaktu je minimální. Na obrázcích číslo 12 a 13 je ukázka možností upnutí součástí. U těžkých součástí by ani součást upnutá být nemusela, protože dotyk by s ní nebyl schopen nijak pohnout.



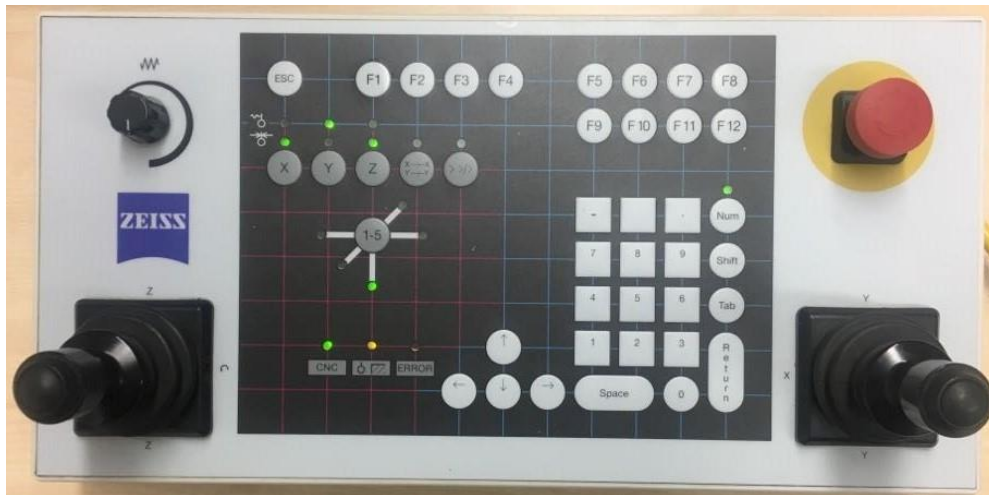
Obr. 12 Upnutí kroužku



Obr. 13 Upnutí koncové měrky

3.5 Průběh měření

Měření bylo prováděno v programu Calypso 2021. Jedná se o měřicí software od firmy Carl Zeiss spol. s r.o. Tento program je vytvořen pro měření na 3D měřicím stroji. Po spuštění programu se postupuje v určitých krocích. Nejprve se v první záložce vybere stroj. V této záložce jsou 2 možnosti, a to nastavení stroje a snímacího systému. Ve snímacím systému se volí, jaký dotyk je použit, takže v tomto kroku probíhá kalibrace dotyku. Tím máme stroj připravený k provozu. Další záložkou je plán měření. Zde se jako první určuje souřadný systém stroje. Souřadnicový systém se nastaví tak, že se pomocí dotyku najede na dané plochy a vytvoří se jednotlivé elementy. Dotyk se ovládá prostřednictvím manuálního řízení.



Obr. 14 Manuální řízení

Manuální řízení je zobrazeno na obrázku číslo 14. Pohyb dotyku se ovládá skrze pravou páčku do směrů os X a Y. Pomocí levé páčky se dotyk pohybuje v ose Z. Tímto způsobem se daná součást vymezí na jednotlivé elementy. Tyto elementy dále určují nulové body v osách, a tím i celkový nulový bod stroje pro dané měření. Dále se definuje bezpečnostní kvádr. Tento kvádr slouží k vymezení prostoru, kde se dotyk může pohybovat bez nárazů. V tomto kvádru se tedy nesmí nacházet jiné předměty kromě měřené součásti. Rychlost měření byla po většinu času 40 mm/s. Podle dosavadních zkušeností s tímto měřicím přístrojem jsou naměřené hodnoty za této rychlosti nejvíce konstantní. Pro urychlení času měření bylo u měření měřky délky 400 mm použita rychlost 70 mm/s.

3.5.1 Měření koncových měrek

U měření koncových měrek byly vytvořeny elementy rovina, přímka a bod. Element rovina se vytvořil pomocí čtyř bodů a sloužil k vytvoření nulového bodu v ose Z. Následně se získaly dva body na libovolné straně měřky, a tím vznikla přímka. Ta se využila při nulování osy X nebo Y. Poslední se vytvořil bod, který se získá z plochy kolmé na rovinu a přímku a slouží k vynulování poslední osy, tudíž X nebo Y. Po těchto krocích byl souřadnicový systém vynulován a mohlo se přejít na měření. Měření vzdálenosti bylo prováděno dvěma metodami. První metoda je pomocí dvou bodů, které byly získány kontaktem dotyku na měřených plochách. Program potom vyhodnotil vzdálenost těchto dvou bodů v dané ose. Druhá varianta získání dvou bodů byla přeměřením celé měřené plochy prostřednictvím čtrnácti bodů. Funkcí polylinie se čtrnáct bodů stane rovinou a na této rovině se vytvoří bod v jejím těžišti. Tento krok se provedl na obou plochách, a tím vznikly dva potřebné body pro zjištění vzdálenosti.

Měření byla provedena tři. První bylo spuštěno jednotlivě a s najetím soustavy. Najetí soustavy je proces, kdy si stroj před každým měřením znovu zkontroluje rovinu, přímku a bod, a tím vždy zajistí před každým měřením, že je nulový bod ve stejném bodě. Celkem se touto metodou zrealizovalo 30 měření.

Druhou metodou bylo použití funkce smyčky, kde se nastaví, kolikrát bude měření opakováno. V této práci byla smyčka nastavena na 60 opakování, takže se automaticky spustí

program a výsledkem je tolik naměřených hodnot, kolik se ve smyčce nastaví. Smyčka byla spuštěna hned dvakrát, a to z toho důvodu, že u první se opět najížděla soustava a u druhé se soustava nenajížděla, takže už se jen měřily kontrolované plochy.




3.5.2 Měření kroužků

U měření kroužků se definovaly elementy rovina a kružnice, kdy tyto elementy byly následně využity k nulování stroje. Rovina se získala ze čtyř bodů na horní ploše kroužku a opět sloužila pro nulování stroje v ose Z. Poté se určovala osa X a Y za využití středu kružnice. Ta je určena čtyřmi body z vnitřního průměru kroužku. Tím je stroj vynulován pro měření kroužku. Průměr kroužku se měřil dvanácti body po vnitřním obvodu kroužku, a tím se definovala kružnice.

Měření byla opět provedena tři, ale výsledek už byl vždy pouze jeden, protože se vyjadřoval průměr z nabraných bodů. Metody spuštění byly úplně totožné jako u koncových měrek, takže ručně pouštěný program s najetím soustavy a poté dvě smyčky o 60 měřeních s najetím soustavy a bez najetí soustavy.

3.5.3 Naměřené hodnoty

Po každém provedeném měření je výsledkem hodnota daného prvku. U koncových měrek je to vzdálenost dvou bodů nebo vzdálenost těžišť. U kroužku je to hodnota průměru. Při měření byly hodnoty zaznamenány do protokolu, který je možno vidět na obrázku číslo 15, a zároveň se průběžně zapisovaly do poznámkového bloku, takže se s nimi dalo přehledně pracovat. Dále byly hodnoty převedeny do programu MS Excel, kde probíhalo jejich následné zpracování.

ZEISS Calypso					
Plán měření merka125_X		Datum 11. března 2022			
Číslo výkresu * drawingno *		Čas 9:18:34	Zakázka		
Operátor Dana Kubátová		Stroj C32Bit	Č.dílu inkrementálně 3		
Mer	Jmen	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka	
	vzdálenost rucni naber_X 125.0045	125.0000	0.2000	-0.2000	- 0.0045
	vzdálenost teziste_X 124.9985	125.0000	0.2000	-0.2000	- -0.0015

Obr. 15 Protokol z měření

3.6 Zpracování naměřených hodnot

Jak je již zmíněno v předchozí kapitole, tak hlavní zpracování naměřených hodnot proběhlo v programu MS Excel, kde se dají hodnoty zpracovat do různých grafů a schémat, které zpřehlední naměřené hodnoty. První byl proveden regulační diagram pro naměřené hodnoty. Regulační diagram ukazuje vývoj hodnot v čase, také je zde vidět, zda je hodnota stála či stoupá nebo klesá. Všechny provedené regulační diagramy jsou v přílohách číslo 2 až 7 této bakalářské práce. V další části práce je detailně uvedeno ukázkové zpracování měřky 125 mm v ose X a kroužku o průměru 26 mm.

3.6.1 Ukázkové zpracování měřky 125 mm v ose X

V této části práce je představeno ukázkové zpracování měřky. Jedná se o vyhodnocení pro měřku 125 mm v ose X, kde byla spuštěna smyčka bez najetí soustavy o počtu 60 měření. V tomto případě byly brány v úvahu pouze hodnoty vzdálenosti těžišť měřených ploch. Naměřené hodnoty v tabulce číslo 3 jsou uvedeny v mm.

Číslo měření [-]	Naměřená hodnota [mm]	Číslo měření [-]	Naměřená hodnota [mm]	Číslo měření [-]	Naměřená hodnota [mm]	Číslo měření [-]	Naměřená hodnota [mm]
1	124,9981	16	124,9982	31	124,9981	46	124,9982
2	124,9981	17	124,9981	32	124,9980	47	124,9984
3	124,9980	18	124,9983	33	124,9981	48	124,9983
4	124,9980	19	124,9983	34	124,9982	49	124,9983
5	124,9981	20	124,9981	35	124,9981	50	124,9982
6	124,9979	21	124,9979	36	124,9981	51	124,9982
7	124,9980	22	124,9982	37	124,9982	52	124,9983
8	124,9982	23	124,9983	38	124,9982	53	124,9983
9	124,9980	24	124,9982	39	124,9983	54	124,9983
10	124,9979	25	124,9982	40	124,9982	55	124,9983
11	124,9981	26	124,9981	41	124,9984	56	124,9983
12	124,9981	27	124,9981	42	124,9982	57	124,9982
13	124,9981	28	124,9981	43	124,9983	58	124,9982
14	124,9980	29	124,9982	44	124,9983	59	124,9982
15	124,9981	30	124,9979	45	124,9981	60	124,9983

Tab. 3 Naměřené hodnoty měřky 125 mm v ose X v mm

a) Test hrubé chyby

Nejprve bylo provedeno hledání hrubých chyb. Hrubé chyby mají odchylku třikrát větší, než je odchylka směodatná. Proto se jako první vypočítá směodatná odchylka a trojnásobek výsledku je hrubá chyba. Také všechny hodnoty, které jsou vzdálenější od průměrné hodnoty musí být z dalšího zpracování vyloučeny.

Výpočet směrodatné odchytky:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,00012 \text{ mm} \quad (23)$$

Střední naměřená hodnota pro měрку 125 mm v ose X je 124,99814 mm. Z toho vyplývá, že hrubá chyba je v oblasti nad 124,9985 mm a pod hodnotou 124,99778 mm. Z naměřených hodnot tedy nemusí být vyřazena ani jedna hodnota, protože všechny hodnoty se nachází ve zmíněném intervalu.

b) Výpočet nejistoty měření

Díky předchozímu výpočtu lze všechny hodnoty použít k dalšímu zpracování. Jako následující bylo určení nejistot měření. Za využití programu, který slouží k výpočtu nejistot. Tento program je využíván v metrologické laboratoři a opírá se o operační postup OP1-RTI-LDM-OP-1. Tento postup je interní dokument, který je k dispozici při auditech k normě 17025:2018, podle které je laboratoř akreditovaná. V laboratoři probíhají pravidelné kontroly, které provádí státní orgán ČIA (Český institut pro akreditaci), jenž se na tuto oblast specializuje. Program je vytvořen v MS Excel a funguje tak, že všechny naměřené hodnoty se vloží do prvního listu. V dalších listech je poté graf na opakovatelnost, výpočet nejistot a další hodnoty pro vyhodnocení. V tomto programu byly vypočítané nejistoty A i B a poté i celková nejistota měření.

u_a	u_b	u - standardní	U - rozšířená	U rozšířená zaokrouhlená	Značka	pravděpodobnost
6,378E-05	0,0015407	0,001542045	0,00308409	0,0031	pr ± mm	P=95%
					pr 125,0014 ± 0,0031 mm P=95%	
		nejistota měření	zaokrouhlení na 2 platná místa a to směrem nahoru			

Obr. 16 Výpočet nejistot měření

Na obrázku je vidět, že pro naměřené hodnoty měřky 125 mm v ose X nejistota U_a vyšla 0,00001516 mm. Nejistota U_b měla hodnotu 0,00154073 mm. Poté se standardní nejistota vypočítala ze součtu těchto dvou hodnot. Následně se tato nejistota rozšířila dvakrát z toho důvodu, aby nejistota byla s 95% pravděpodobností. Pravděpodobnosti 99,7 % by se dosáhlo, kdyby byla nejistota rozšířena třikrát. Výslednou nejistotou tedy je vzdálenost $(124,9982 \pm 0,0031)$ mm.

c) Určení způsobilost měřidla

Třetím krokem bylo určení způsobilosti měřidla. K tomu byla využita webová stránka Třeštík [10], jedná se o volně přístupnou internetovou stránku, na které se zjišťuje způsobilost měřidla. Jako první se určí varianta, jakou bude vyhodnocování provedeno. V případě práce je to opakovatelnost, tudíž měření provádí jeden člověk. Dále se vloží do zadání skutečná hodnota etalonu, počet opakování, který je v rozmezí od 1 do 50 měření. Vzhledem k počtu naměřených hodnot je zvolen počet 50. Do následujícího okna se vloží všechny naměřené hodnoty a výsledkem je protokol, který je na obrázku číslo 16. Na protokolu je jasně ukázáno, v jakých

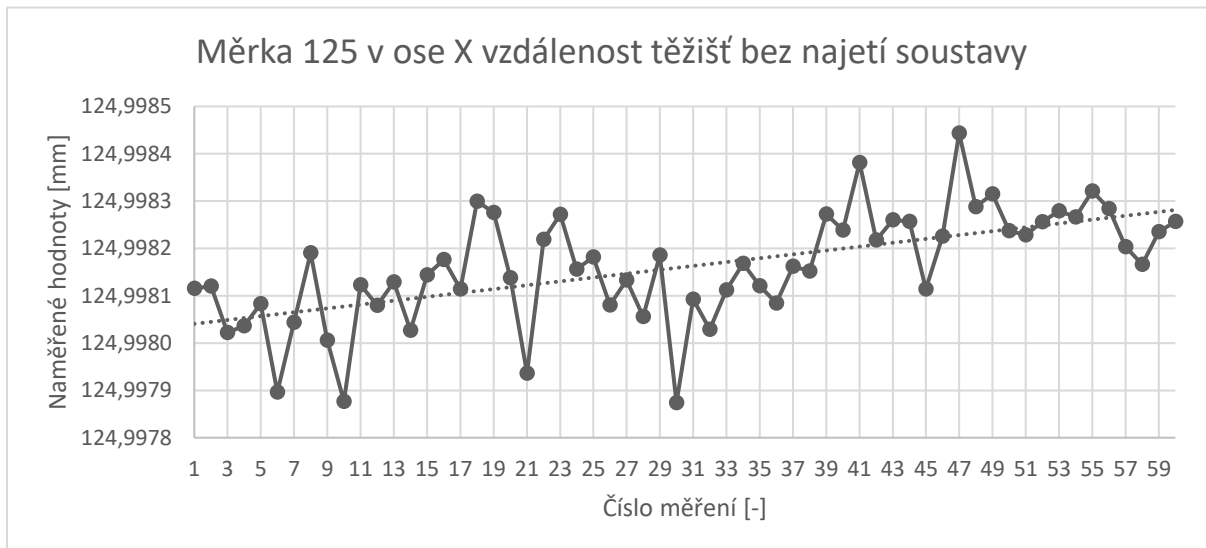
mezích je měřidlo způsobilé, dále zde je možno zjistit střední hodnota měření a směrodatná odchylka. Nesmí se také zapomenout na indexy způsobilosti C_g a C_{gk} . Hodnota C_g je 20,38889 a C_{gk} má hodnotu 1,33889. Oba indexy splňují podmínku, protože jsou větší než 1,33. Měřidlo je tedy způsobilé.

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla	
Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)	
Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Eclipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	125.0367
Dolní toleranční mez:	124.9633
S skutečná hodnota etalonu:	125.005
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	124.9981
2	124.9981
3	124.9980
4	124.9980
5	124.9981
6	124.9979
7	124.9980
8	124.9982
9	124.9980
10	124.9979
11	124.9981
12	124.9981
13	124.9981
14	124.9980
15	124.9981
16	124.9982
17	124.9981
18	124.9983
19	124.9983
20	124.9981
21	124.9979
22	124.9982
23	124.9983
24	124.9982
25	124.9982
26	124.9981
27	124.9981
28	124.9981
29	124.9982
30	124.9979
31	124.9981
32	124.9980
33	124.9981
34	124.9982
35	124.9981
36	124.9981
37	124.9982
38	124.9982
39	124.9983
40	124.9982
41	124.9984
42	124.9982
43	124.9983
44	124.9983
45	124.9981
46	124.9982
47	124.9984
48	124.9983
49	124.9983
50	124.9982
Sřední naměřená hodnota:	124.99814
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00012
Index způsobilosti C_g :	20.38889
Index způsobilosti C_{gk} :	1.33889
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	14.05.2022

Obr. 17 Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla pro měrku 125 mm

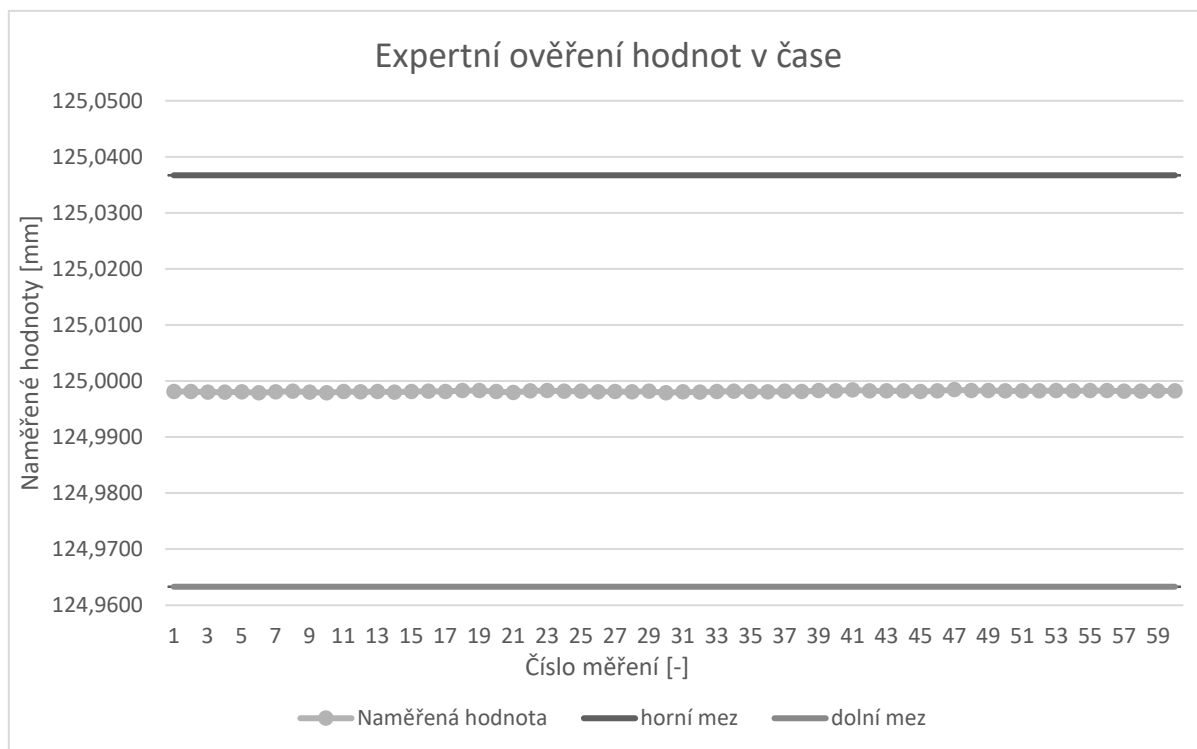
d) Expertní ověření hodnot v čase

Následně byl proveden záznam z měření měrky 125 mm v ose X, kde na svislé ose jsou naměřené hodnoty a na vodorovné ose je číslo měření. Záznam z měření lze vidět v následujícím grafu číslo 1.



Graf 1 Záznam hodnot z měření pro měrku 125 mm v ose X

Z grafu číslo 1 je patrné, že vývoj hodnot je mírně rostoucí. Tato informace je vidět z trendu hodnot, který je k naměřeným hodnotám přidán. Může to být způsobeno růstem teploty v místnosti.

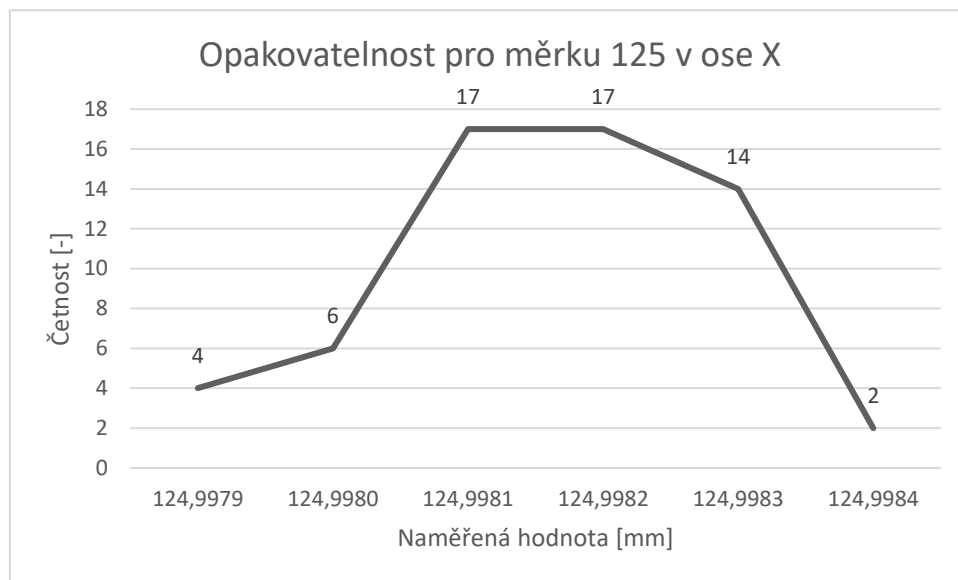


Graf 2 Expertní ověření hodnot v čase měrky 125 mm v ose X

Horní a dolní mez byla získána z protokolu o vyšetřování způsobilosti měřidla na obrázku číslo 17. Horní mez se značí jako UCL a dolní je LCL. Tyto meze jsou zakresleny v grafu číslo 2. Je patrné, že všechny naměřené hodnoty leží ve vnitřní části mezi mezemi. Díky tomuto faktu je měřidlo způsobilé, což dokládá právě i tento graf.

e) Určení opakovatelnosti měření

Na měrce o rozměrech 125 mm bylo následně provedeno spočítání opakovatelnosti. Z grafu číslo 3 je zřejmé, kolikrát byla naměřena konkrétní hodnota. Hodnota 124,9981 mm a 124,9982 mm byla shodně naměřena sedmnáctkrát. U měřidel se předpokládá, že tvar křivky opakovatelnosti s vyznačenou četností hodnot bude odpovídat normálovému neboli Gaussovu rozložení. V měření měřky 125 mm na ose X byla tato hypotéza potvrzena, což splňuje podmínky pro další výpočty.



Graf 3 Opakovatelnost pro měrku 125 mm v ose x

3.6.2 Ukázkové zpracování kroužku 26 mm

V této kapitole je znázorněno ukázkové zpracování kroužku o průměru 26 mm. Hodnoty byly naměřeny smyčkou s najetím soustavy, která byla spuštěna šedesátkrát. Těchto 60 hodnot je uvedeno v tabulce číslo 4.

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]
1	25,9954	16	25,9953	31	25,9955	46	25,9956
2	25,9957	17	25,9953	32	25,9956	47	25,9955
3	25,9954	18	25,9952	33	25,9952	48	25,9955
4	25,9952	19	25,9957	34	25,9953	49	25,9954
5	25,9952	20	25,9955	35	25,9952	50	25,9952
6	25,9953	21	25,9954	36	25,9954	51	25,9955
7	25,9953	22	25,9955	37	25,9955	52	25,9956
8	25,9952	23	25,9952	38	25,9955	53	25,9952
9	25,9954	24	25,9953	39	25,9956	54	25,9954
10	25,9956	25	25,9954	40	25,9955	55	25,9956
11	25,9957	26	25,9951	41	25,9953	56	25,9954
12	25,9955	27	25,9955	42	25,9954	57	25,9954
13	25,9955	28	25,9957	43	25,9953	58	25,9952
14	25,9955	29	25,9954	44	25,9954	59	25,9952
15	25,9954	30	25,9955	45	25,9953	60	25,9955

Tab. 4 Naměřené hodnoty u kroužku 26 mm

a) Test hrubé chyby

Stejně jako u měřky uvedené výše, byla i u kroužku potřeba určit nejprve možnost hrubých chyb. Proto byla opět vypočítána směrodatná odchylka a trojnásobek směrodatné odchylky určující hranici hrubé chyby. Směrodatná odchylka vyšla:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,00015 \text{ mm} \quad (24)$$

Hranice hrubé chyby tedy leží mezi 25,99496 mm a 25,99586 mm. Všechny hodnoty se opět nacházejí mezi těmito dvěma hodnotami, tudíž všechny se používají pro další zpracování.

b) Výpočet nejistoty měření

Dále následoval výpočet nejistoty měření, stejně jako u měřky. Opět to bylo provedeno v programu MS Excel. Výsledné nejistoty měření jsou viděny na obrázku číslo 18.

u_a	u_b	u - standardní	U - rozšířená	U rozšířená zaokrouhlená	Značka	pravděpodobnost
1,964E-05	0,0015407	0,001540851	0,003081701	0,0031	pr ± mm	P=95%
				pr 25,9955 ± 0,0031 mm P=95%		
				nejistota měření zaokrouhlení na 2 platná místa a to směrem nahoru		

Obr. 18 Nejistoty měření kroužku 26 mm

Z obrázku číslo 18 je patrné, že nejistota u_a vyšla 0,00001924 mm. U_b měla hodnotu 0,00154073 mm, takže výsledná nejistota je opět součtem již zmíněných nejistot. Její velikost 0,001540846 mm se opět zdvojnásobí a zaokrouhlí a výsledná nejistota měření je opět $\pm 0,0031$ mm. Střední hodnota naměřených hodnot vyšla 25,9955 mm. Výsledek je opět s 95% pravděpodobností, jelikož je rozšířen dvakrát.

c) Určení způsobilost měřidla

Dalším krokem bylo opět určení způsobilosti měřidla pro dané měření. To je vyhodnoceno v protokolu o způsobilosti měřidla, který je uveden na obrázku číslo 19. Do výpočtu bylo také započítáno 50 hodnot a výsledkem je střední hodnota, směrodatná odchylka a indexy způsobilosti C_g a C_{gk} . Ty mají v tomto případě hodnoty následující, C_g 2,66667 a C_{gk} má hodnotu 1,36306. Jelikož jsou obě hodnoty větší než 1,33, je měřidlo způsobilé.

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

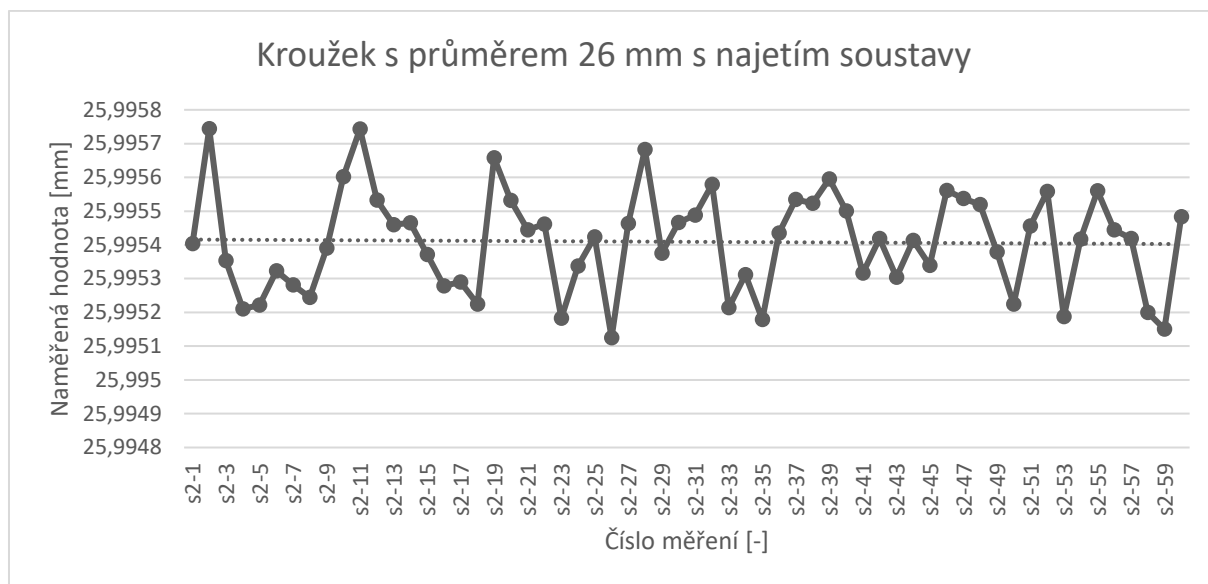
Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Ecllipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	26.006
Dolní toleranční mez:	25.994
Skutečná hodnota etalonu:	25.996
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1
Č. Pracovník 1	
1	25.9954036
2	25.9957437
3	25.9953531
4	25.9952105
5	25.9952221
6	25.9953228
7	25.9952813
8	25.9952448
9	25.9953905
10	25.9956021
11	25.9957434
12	25.9955325
13	25.9954595
14	25.9954654
15	25.9953719
16	25.9952788
17	25.9952898
18	25.9952251
19	25.9956581
20	25.9955316
21	25.9954445
22	25.9954616
23	25.9951832
24	25.9953374
25	25.9954235
26	25.9951254
27	25.9954638
28	25.9956823
29	25.9953754
30	25.995466
31	25.9954878
32	25.9955793
33	25.9952138
34	25.9953119
35	25.9951787
36	25.9954351
37	25.9955346
38	25.9955228
39	25.9955953
40	25.9955008
41	25.9953163
42	25.9954189
43	25.9953046
44	25.9954135
45	25.9953394
46	25.9955609
47	25.9955379
48	25.9955195
49	25.9953792
50	25.9952248
Střední naměřená hodnota:	25.99541
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00015
Index způsobilosti Cg:	2.66667
Index způsobilosti Cgk:	1.36306
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	13.05.2022

Obr. 19 Protokol o způsobilosti měřidla pro kroužek o průměru 26 mm

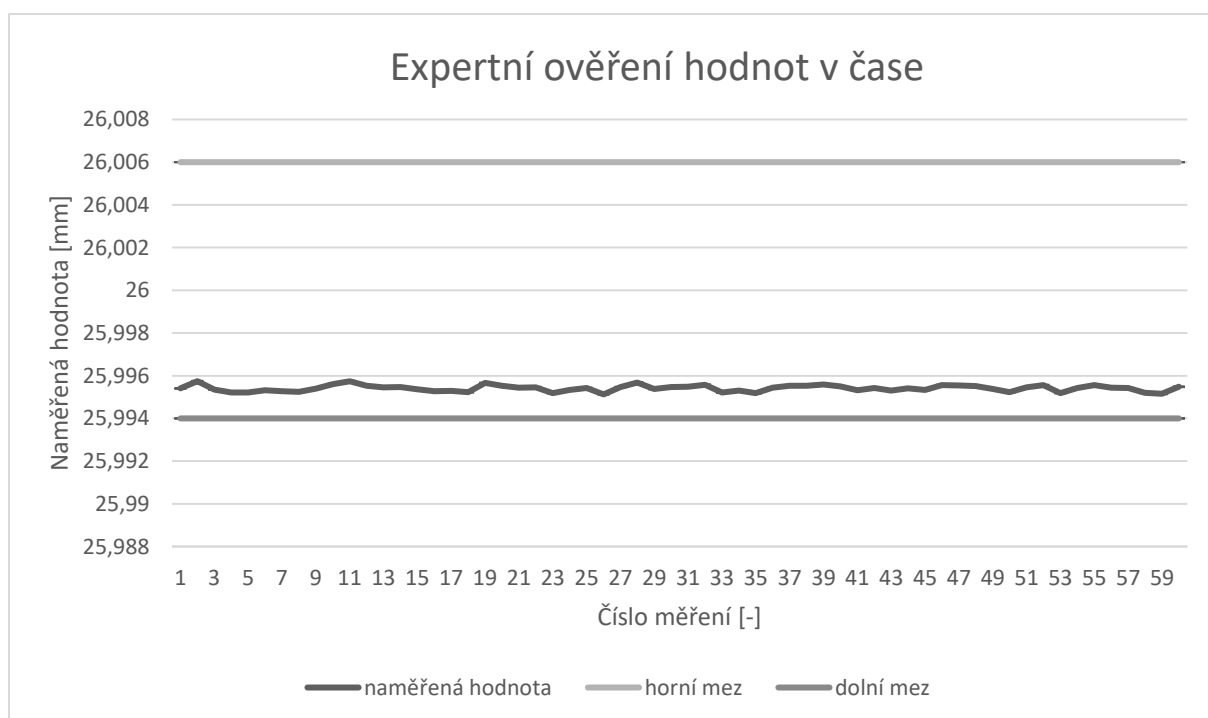
d) Expertní ověření hodnot v čase

Na grafu číslo 4 je záznam naměřených hodnot v čase. Také se zde nachází spojnice trendu, která ukazuje trend hodnot. V tomto případě je vývoj hodnot o mnoho stabilnější, než tomu bylo u měřky 125 mm v ose X.



Graf 4 Záznam hodnot z měření kroužku s průměrem 26 mm

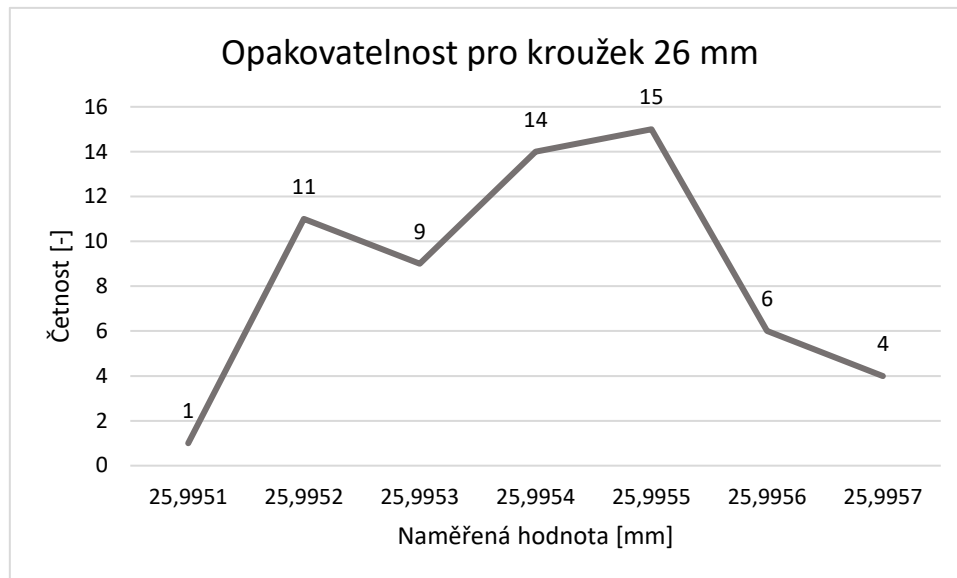
Měřidlo bylo posouzeno jako způsobilé, tudíž bylo možné přejít k samotnému vyhodnocení. Zároveň z tohoto protokolu je známa horní a dolní mez, které se využívají u expertního ověření hodnot v čase. Toto ověření je znázorněno na grafu číslo 5.



Graf 5 Expertní ověření hodnot v čase pro kroužek 26 mm

e) Určení opakovatelnosti měření

Na kroužku o průměru 26 mm byla zjištěna opakovatelnost. Z grafu číslo 6 je zřejmá četnost naměřených hodnot. Nejčetnější hodnota byla 25,9955 mm, která byla naměřena celkem patnáctkrát. Rovněž u kroužku měla křivka opakovatelnosti přibližný tvar normálového rozložení. Z toho důvodu i měření kroužku 26 mm splňuje podmínky pro další výpočty.



Graf 6 Opakovatelnost pro kroužek 26 mm

3.6.3 Úplné zpracování naměřených hodnot

3.6.3.1 Nejistoty měření

V této poslední kapitole je přehledně shrnuto, jaké vyhodnocení přinesla kontrola 3D měřidla. Nejprve byla u hodnot zjištěna nejistota měření. Tato nejistota byla vypočítávána jednotlivě a je přehledně sepsána do následujících tabulek číslo 5 a 6. V tabulce číslo 6 jsou nejistoty měření pro kroužky 26 mm a 90 mm. V tabulce číslo 5 je měrka 125 mm a měrka 400 mm a jejich nejistoty měření. Zároveň jsou v tabulce i hodnoty pro ruční spuštění a smyčky s najetím soustavy a bez najetí soustavy. U měrky 125 mm v ose X při ručním spuštění vyšla nejistota pro 2 body $\pm 0,0032$ mm. Je zřejmé, že kromě jedné hodnoty v obou tabulkách mají všechny nejistoty velikost $\pm 0,0031$ mm. Proto lze tuto hodnotu brát jako směrodatná a určuje tedy celkovou nejistotu měření 3D měřidla.

Měřená součást	Způsob měření	2 body		Těžiště	
		Průměrná naměřená hodnota [mm]	Nejistota měření [mm]	Průměrná naměřená hodnota [mm]	Nejistota měření [mm]
Měrka 125 mm v ose X	spuštění ruční 30 měření	125,0031	±0,0032	124,9980	±0,0031
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	125,0041	±0,0031	124,9982	±0,0031
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	125,0017	±0,0031	124,9962	±0,0031
Měrka 125 mm v ose Y	spuštění ruční 30 měření	125,0015	±0,0031	125,0033	±0,0031
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	125,0024	±0,0031	125,0035	±0,0031
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	125,0014	±0,0031	125,0035	±0,0031
Měrka 400 mm v ose X	spuštění ruční 30 měření	400,0055	±0,0031	400,0022	±0,0031
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	400,0053	±0,0031	400,0021	±0,0031
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	400,0061	±0,0031	400,0029	±0,0031
Měrka 400 mm v ose Y	spuštění ruční 30 měření	400,0092	±0,0031	400,0078	±0,0031
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	400,0091	±0,0031	400,0078	±0,0031
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	400,0083	±0,0031	400,0067	±0,0031

Tab. 5 Nejistoty měření pro měrky 125 mm a 400 mm

Měřená součást	Způsob měření	Průměrná naměřená hodnota [mm]	Nejistota měření [mm]
Kroužek 26 mm	spuštění ruční 30 měření	25,9954	±0,0031
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	25,9954	±0,0031
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	25,9955	±0,0031
Kroužek 90 mm	spuštění ruční 30 měření	89,9993	±0,0031
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	89,9991	±0,0031
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	89,9990	±0,0031

Tab. 6 Nejistoty měření pro kroužky 26 mm a 90 mm

3.6.3.2 Strannost a stabilita

Strannost určuje rozdíl mezi skutečnou hodnotou kalibru a naměřenou hodnotou. Této hodnotě se také říká BIAS. Výpočet všech stranností byl proveden a sepsán do tabulek číslo 7 a 8. V tabulce číslo 7 jsou uvedeny obě měřky a také se zde bral ohled na to, jakým způsobem byly hodnoty získány. Tudíž je to rozděleno do ručního spuštění a dvou smyček. Ty jsou „s“ a „bez“ najetí soustavy. Stabilita poté určuje vývoj strannosti neboli BIASu v čase. U měřky je jen velký výkyv u měřky 125 mm v ose X. Zde je skok o 0,005 mm, což je vidět v tabulce číslo 9. U 3D měřidla není toto číslo úplně zanedbatelné. Strannosti u ostatních kalibrů se pohybují v rozmezí 0,002 mm. V tabulce číslo 8 jsou zobrazeny strannosti obou kroužků. Tabulka je také rozdělena dle způsobu měření. U průměrů vyšla strannost ještě lépe než u měrek. Zde je největší rozdíl pouze 0,0003 mm, viz tabulka číslo 9. Proto se dá říci, že stabilita u 3D měřidla dopadla velmi dobře, jelikož všechny hodnoty mají podobnou strannost.

Měřená součást	Způsob měření	Referenční hodnota [mm]	Průměrná naměřená hodnota [mm]		Strannost [mm]	
			2 body	Těžiště	2 body	Těžiště
Měrka 125 mm v ose X	spuštění ruční 30 měření	125,005	125,0031	124,9979	-0,0019	-0,0071
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	125,005	124,9990	124,9962	-0,0060	-0,0088
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	125,005	125,0040	124,9982	-0,0010	-0,0068
Měrka 125 mm v ose Y	spuštění ruční 30 měření	125,005	125,0015	125,0033	-0,0035	-0,0017
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	125,005	125,0014	125,0034	-0,0036	-0,0016
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	125,005	125,0023	125,0034	-0,0027	-0,0016
Měrka 400 mm v ose X	spuštění ruční 30 měření	400,005	400,0055	400,0021	0,0005	-0,0029
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	400,005	400,0060	400,0029	0,0010	-0,0021
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	400,005	400,0052	400,0021	0,0002	-0,0029
Měrka 400 mm v ose Y	spuštění ruční 30 měření	400,005	400,0092	400,0078	0,0042	0,0028
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	400,005	400,0082	400,0067	0,0032	0,0017
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	400,005	400,0091	400,0078	0,0041	0,0028

Tab. 7 Strannost měrek 125 mm a 400 mm

Měřená součást	Způsob měření	Referenční hodnota [mm]	Průměrná naměřená hodnota [mm]	Strannost [mm]
			Průměr	Průměr
Kroužek 26 mm	spuštění ruční 30 měření	25,996	25,9954	-0,0006
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	25,996	25,9954	-0,0006
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	25,996	25,9954	-0,0006
Kroužek 90 mm	spuštění ruční 30 měření	90,000	89,9993	-0,0007
	smyčka s najetím soustavy 60 měření	90,000	89,9990	-0,0010
	smyčka bez najetí soustavy 60 měření	90,000	89,9991	-0,0009

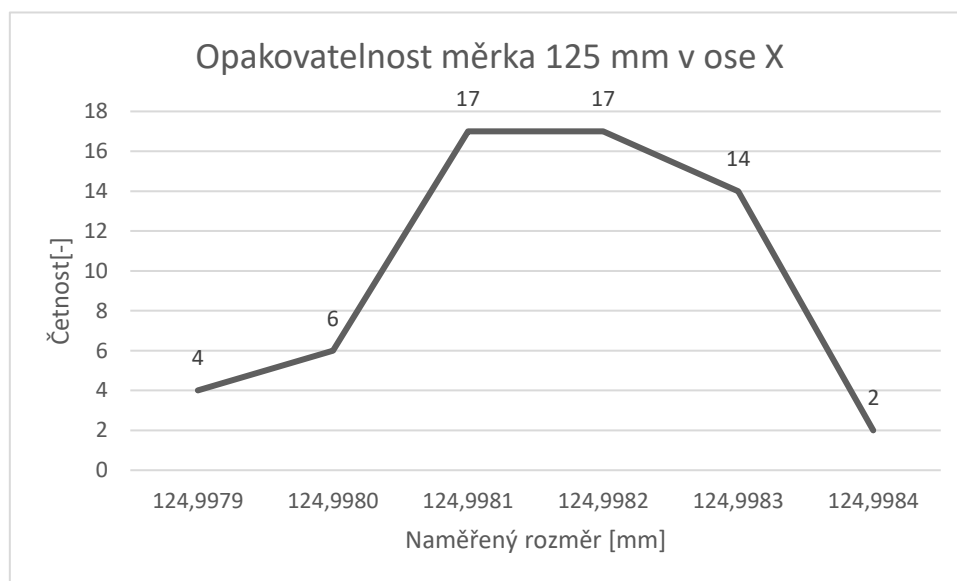
Tab. 8 Strannost kroužků 26 mm a 90 mm

		Měrka 125 mm v ose X	Měrka 125 mm v ose Y	Měrka 400 mm v ose X	Měrka 400 mm v ose Y	Kroužek 26 mm	Kroužek 90 mm
Rozdíl ve strannosti [mm]	2 body	0,0050	0,0009	0,0008	0,0010	/	/
	Těžiště	0,0020	0,0001	0,0008	0,0011	/	/
	Průměr	/	/	/	/	0,0000	0,0003

Tab. 9 Rozdíl ve strannosti v mm

3.6.3.3 Opakovatelnost

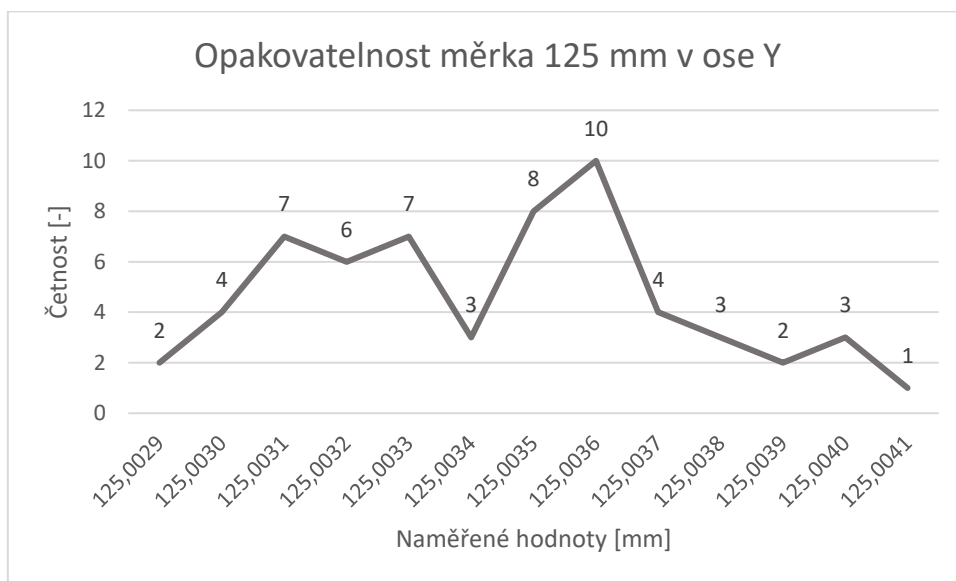
U naměřených hodnot byla provedena kontrola opakovatelnosti. Jedná se o grafické zobrazení četnosti, tudíž graf znázorňuje, kolikrát byla daná hodnota zaznamenána. Nejprve se naměřené hodnoty zaokrouhlily na 4 desetinná místa a poté se zjistilo, kolikrát daná hodnota byla naměřena.



Graf 7 Opakovatelnost měřky 125 mm v ose X

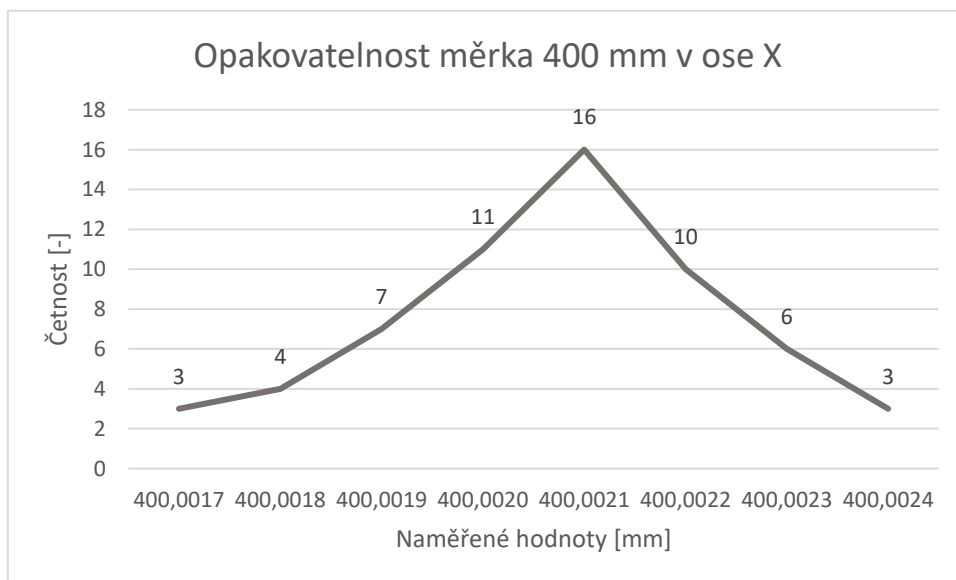
Jak je patrné z grafu číslo 7, tak nejčastěji byly u měřky 125 mm v ose X naměřeny hodnoty 124,9981 mm a 124,9982 mm. Obě hodnoty byly zaznamenány shodně 17krát. Také

se z toho grafu dá vyčíst, že se jedná o normálové rozložení, což potvrzuje předpoklad u souřadnicových měřicích strojů.



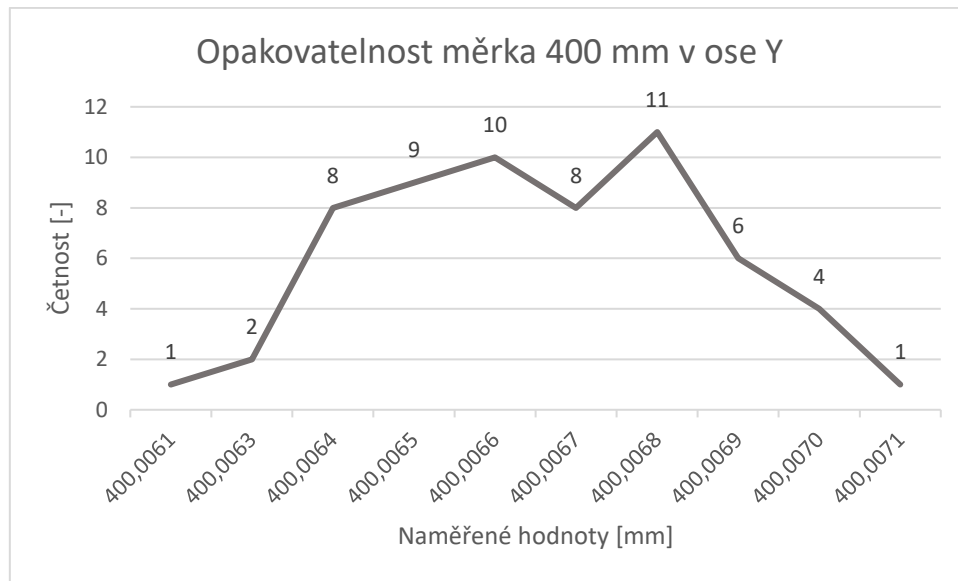
Graf 8 Opakovatelnost měřky 125 mm v ose Y

Na grafu číslo 8 je zobrazená opakovatelnost měřky 125 mm v ose Y. Zde normálové rozložení není už na první pohled tak zjevné. Pět hodnot bylo naměřeno více než 6krát. Tyto hodnoty však neleží vedle sebe, tudíž jde spíše o dvouvrcholové rozložení. Hodnota 125,0036 mm byla naměřena 10krát. Na základě výsledků by bylo vhodné doporučit opětovné měření a znovu vyhodnocení tohoto experimentu.



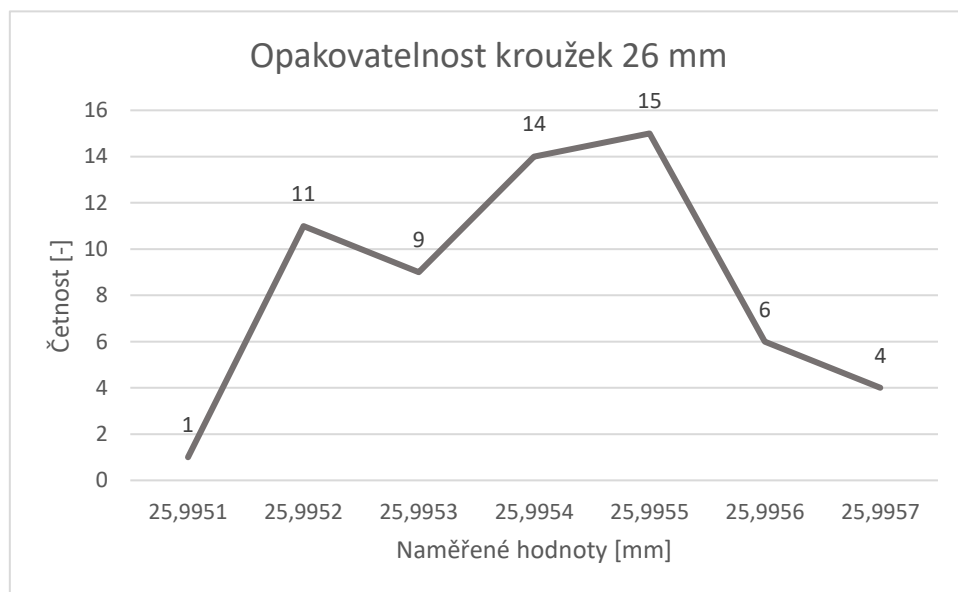
Graf 9 Opakovatelnost měřky 400 mm v ose X

U opakovatelnosti měřky 400 mm v ose X už je opět vidět, že se jedná o normálové rozložení. Nejvíce se naměřené hodnoty pohybovali od 400,0020 mm do 400,0022 mm. Zde byla naměřena hodnota 400,0021 mm 16krát, což je největší počet. Vše je přehledně ukázáno v grafu číslo 9.



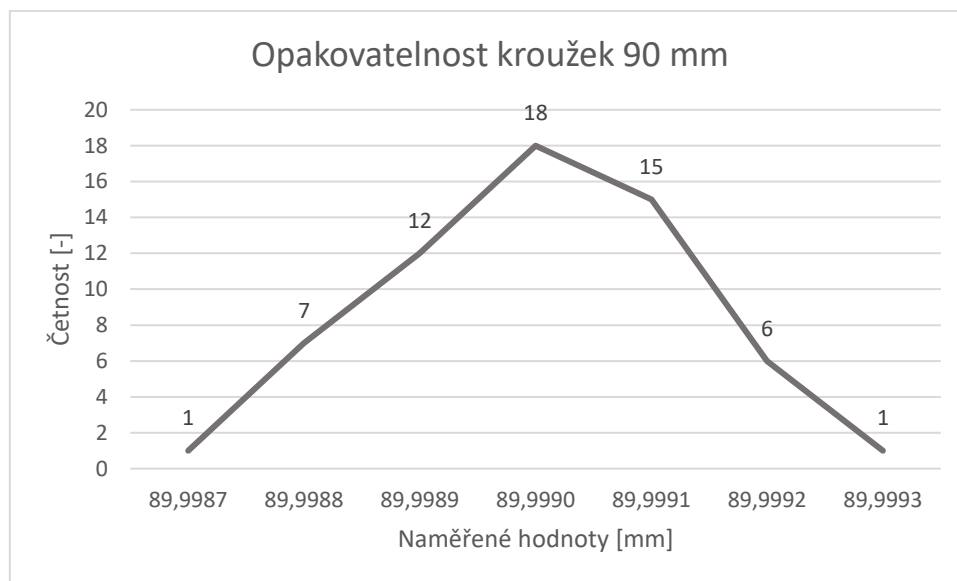
Graf 10 Opakovatelnost měrky 400 mm v ose Y

U měrky 400 mm v ose Y je opakovatelnost ve tvaru normálového rozložení. V grafu číslo 10 je vidět, že většina naměřených hodnot leží mezi hodnotami 400,0064 mm a 400,0069 mm. Hodnota číslo 400,0068 mm byla naměřena 11krát.



Graf 11 Opakovatelnost kroužku 26 mm

V grafu číslo 11 je zřetelně vidět, že se jedná o normálové rozložení. Rozmezí hodnot je od 25,9951 mm až po 25,9957 mm. Nejvíce se ale objevovala hodnota 25,9955 mm, a to hned 15krát.



Graf 12 Opakovatelnost kroužku 90 mm

Jako poslední byla provedena opakovatelnost pro kroužek o průměru 90 mm. Na grafu číslo 12 je asi nejlépe ukázáno normálové rozložení ze všech předchozích grafů. Hned 18krát byla zaznamenána hodnota 89,9990 mm.

3.6.3.4 Způsobilost měřidla

Na konci analýzy vyhodnocení byla provedena způsobilost měřidla. Ta byla určena za využití internetové stránky Třeštík [10], jenž je již v kapitole číslo 3.6.1 uvedena. Výsledkem vyhodnocení jsou protokoly s indexy C_g a C_{gk} . Dále je v protokolech zřejmé, pro jaké rozmezí hodnot je měřidlo způsobilé, jaká je střední naměřená hodnota a směrodatná odchylka. Všechny protokoly jsou součástí bakalářské práce a nachází se v příloze číslo 8. Pro všechna provedená měření bylo měřidlo způsobilé. U měřky 125 mm v ose X je měřidlo způsobilé od 124,9767 mm až po 125,0233 mm. Pro měřku 125 mm v ose Y vyšly meze způsobilosti 124,9864 mm a 125,0136 mm. Dolní mez u měřky 400 mm v ose X vyšla 399,9821 mm a horní mez 400,0179 mm. Pro měřku 400 mm v ose Y jsou meze naměřených hodnot v rozmezí 399,9878 mm a 400,0122 mm. U kroužku 26 mm vyšla dolní mez 25,994 mm a horní mez 26,006 mm. Meze u kroužku 90 mm poté vyšly 89,9923 mm a 90,0077 mm. Meze způsobilosti měřidla jsou přehledně v tabulce číslo 10.

Meze způsobilosti měřidla		
Měřená součást	Horní mez [mm]	Dolní mez [mm]
Měřka 125 mm v ose X	125,0233	124,9767
Měřka 125 mm v ose Y	125,0136	124,9864
Měřka 400 mm v ose X	400,0179	399,9821
Měřka 400 mm v ose Y	400,0122	399,9878
Kroužek 26 mm	25,994	26,006
Kroužek 90 mm	90,0077	89,9923

Tab. 10 Meze způsobilosti měřidla

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo určit parametry souřadnicového měřicího stroje, který se nachází v metrologické laboratoři fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni. Měřidlo bylo kontrolováno pomocí čtyř kalibrů, u kterých je známý jejich přesný rozměr. Konkrétně se jednalo o dvě měřky o velikostech **125 mm** a **400 mm**. Dále to byly dva **kroužky** o průměrech **26 mm** a **90 mm**. Měření bylo prováděno třemi metodami. První bylo ruční spuštění. Touto metodou bylo provedeno 30 měření. Dále za využití smyčky bylo provedeno 120 měření. Nejprve byla spuštěna smyčka bez najetí soustavy a poté s najetím soustavy. Obě tyto metody byly tedy zrealizovány po 60 měřeních. Zároveň se u měrek bralo v úvahu, zda se jedná o měření vzdálenosti dvou bodů, anebo vzdálenost těžišť měřených ploch. U kroužků byla výsledkem pouze jedna hodnota, a to průměr. Všechny naměřené hodnoty jsou zpracovány v grafech, které jsou uvedeny v přílohách této bakalářské práce.

Zpracování naměřených hodnot bylo vypracováno za využití nástrojů kvality, a to histogramu a regulačního diagramu. Histogram byl využit při zjišťování opakovatelnosti stroje a regulační diagram ke grafickému zobrazení naměřených hodnot v čase.

První se u naměřených hodnot vypočítávala směrodatná odchylka. Díky trojnásobku velikosti směrodatné odchylky se následně hledaly hrubé chyby. U naměřených hodnot žádné hrubé chyby nalezeny nebyly.

Dalším krokem byl výpočet **nejistoty měření**, což byl jeden z hlavních úkolů bakalářské práce. Zde bylo zjištěno, že souřadnicový měřicí stroj měří s nejistotou **$\pm 0,0031$ mm**. Tato hodnota vyšla u všech provedených měření, kromě měřky 125 mm v ose X u vzdálenosti dvou bodů při ručním spuštění. Zde byla nejistota $\pm 0,0032$ mm.

Navazujícím neméně důležitým údajem o stroji je **strannost**. Strannost říká, o kolik měřidlo měří mimo skutečnou hodnotu. Zde vyšla jedna hodnota poměrně dost vysoká, a to 0,005 mm. Bylo to u měřky 125 mm v ose X a na vzdálenosti dvou bodů. Kromě této hodnoty se strannost pohybovala v rozdílu **0,002 mm**. Díky této informaci lze říci, že stabilita stroje je dobrá. Stabilita totiž porovnává strannost v čase a strannost byla téměř pokaždé stejná.

Následujícím procesem zpracování bylo zjištění **opakovatelnosti**. Zde se naměřené hodnoty zaokrouhlily na čtyři desetinná místa a zjistilo se, kolikrát se daná hodnota opakovala v náměrech. Až na měrku 125 mm v ose Y, měly všechny grafy jednoznačně **normálové rozložení**, což odpovídá předpokladu u souřadnicového měřicího stroje.

Poslední byla zjištěna **způsobilost** měřidla. Ta se prováděla pomocí internetové stránky, kde po vložení naměřených hodnot byl získán protokol, který ukazoval, zda je měřidlo způsobilé, jaké jsou horní a dolní meze, směrodatná odchylka naměřených hodnot a střední naměřená hodnota. Také se v protokolech daly získat indexy C_g a C_{gk} , které slouží právě k určování způsobilosti měřidla. **Měřidlo bylo způsobilé** pro všechna provedená měření. Všechny tyto protokoly jsou součástí přílohy této bakalářské práce.

Ověření způsobilosti měřidla bylo provedeno na expertních ověřeních hodnot, které se nachází v příloze číslo 9 této práce. Je zde vidět, že všechny naměřené hodnoty leží v mezích. Tím je potvrzeno, že měřidlo je způsobilé pro všechna provedená měření.

Citovaná literatura

1. **NENADÁL, Jaroslav.** *Moderní systémy řízení jakosti: quality management. 2. dopl. vyd.* . Praha : Management Press, 2002. ISBN 80-7261-071-6.
2. **VEBER, Jaromír.** *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele.* Praha : Grada, 2002. ISBN 80-247-0194-4.
3. **JANEČEK, Zdeněk.** *Zajišťování jakosti.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-7082-807-2.
4. **PETŘÍKOVÁ Lenka, ČEPOVÁ Lenka.** *Metrologie a řízení kvality.* Ostrava : Fakulta strojní VŠB - TUO, 2012. ISBN 978-80-248-2771-1.
5. **CÉZOVÁ, Eliška.** Metrie. [Online] Metrie. [Citace: 18. 4 2022.] <https://www.metrie.cz/metrologie/cz>.
6. **TICHÁ, Šárka.** *Strojírenská metrologie; část 1.* Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2004.
7. **BAŽANT, Martin.** Bažant. *Analýza měřicího systému (MSA).* [Online] 4. červen 2015. [Citace: 13. 5 2022.] <https://bazant.wordpress.com/2015/07/04/analza-mericho-systmu-msa/>.
8. **VEBER, Jaromír, Marie HŮLOVÁ a Alena PLÁŠKOVÁ.** *Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce: legislativa, systémy, metody, praxe. 2., aktualiz. vyd.* . Praha : Management Press, 2010. ISBN 978-80-7261-210-9.
9. **NENADÁL, Jaroslav.** *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody.* Praha : Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
10. **Třeštík.** [trestik.cz](http://www.trestik.cz). [Online] Firma Třeštík. [Citace: 23. 05 2022.] <http://www.trestik.cz/>.

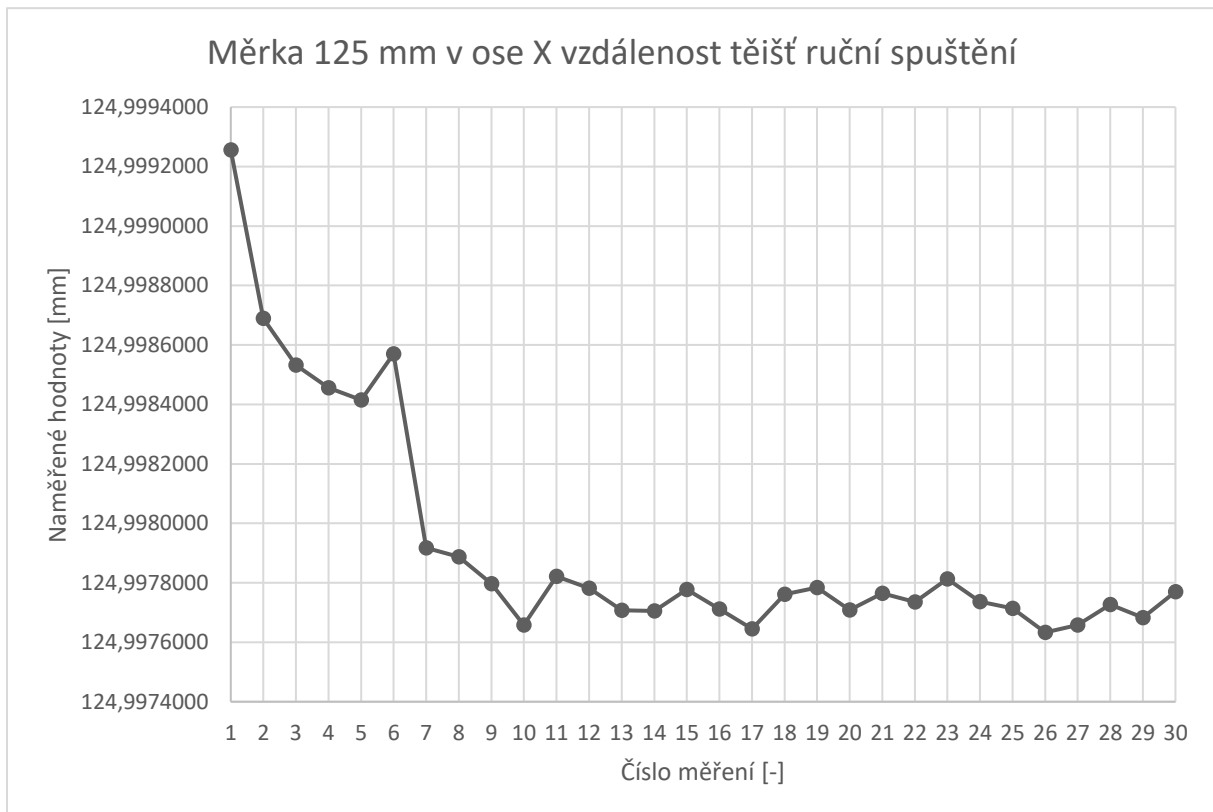
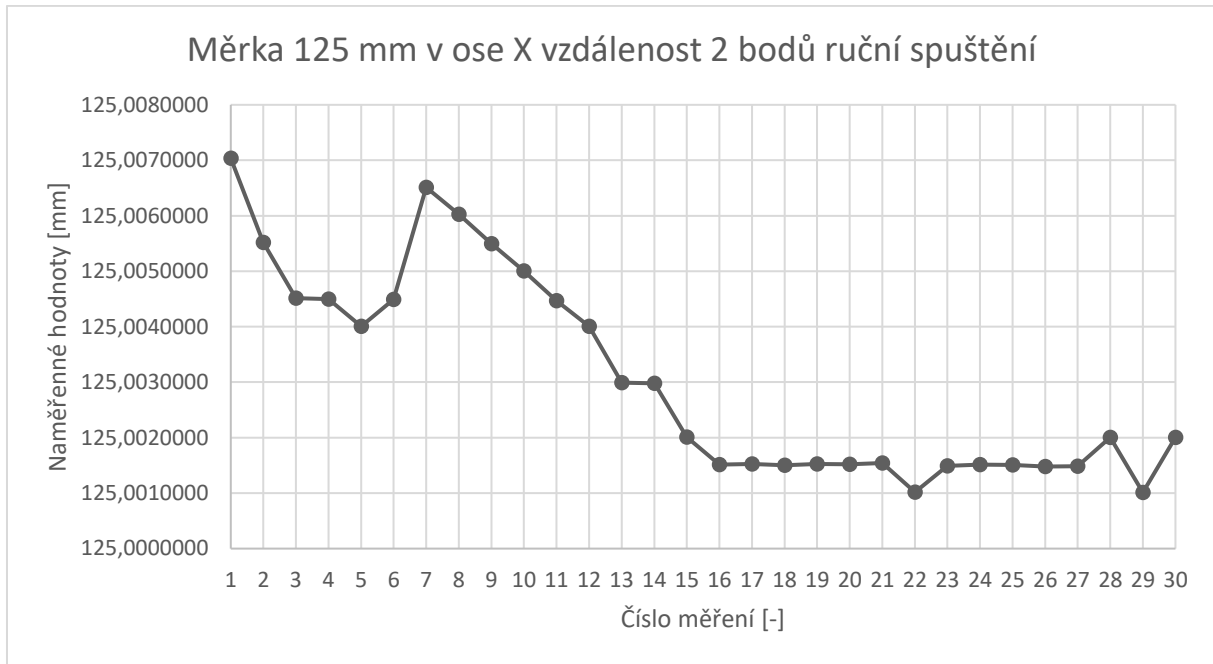
Přílohy

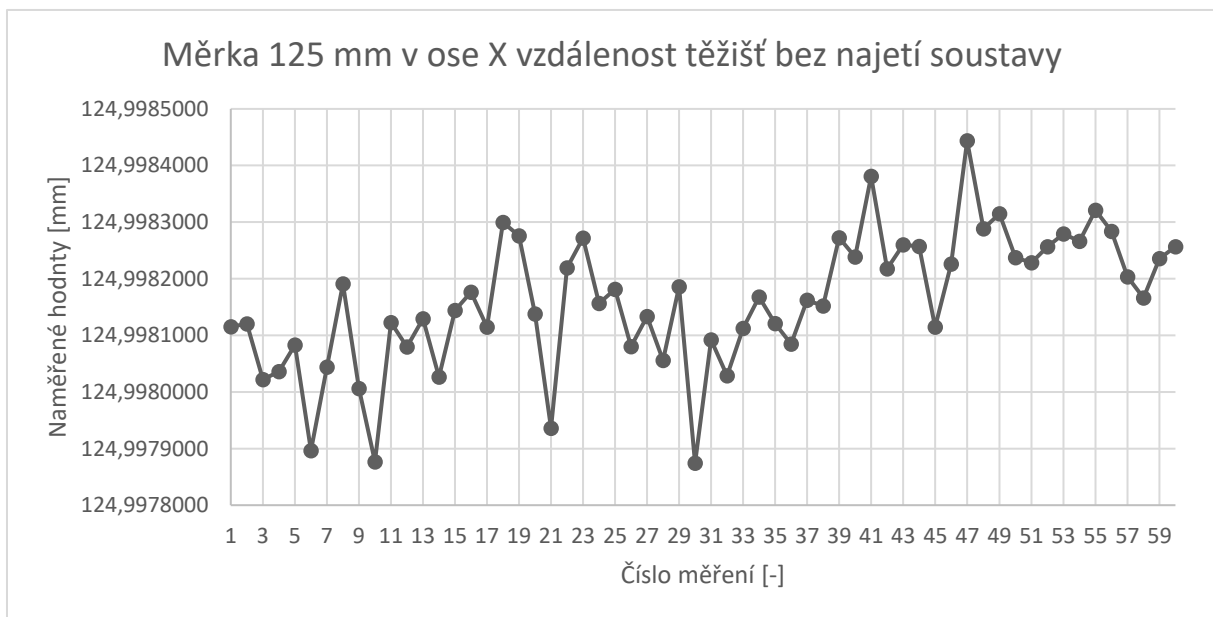
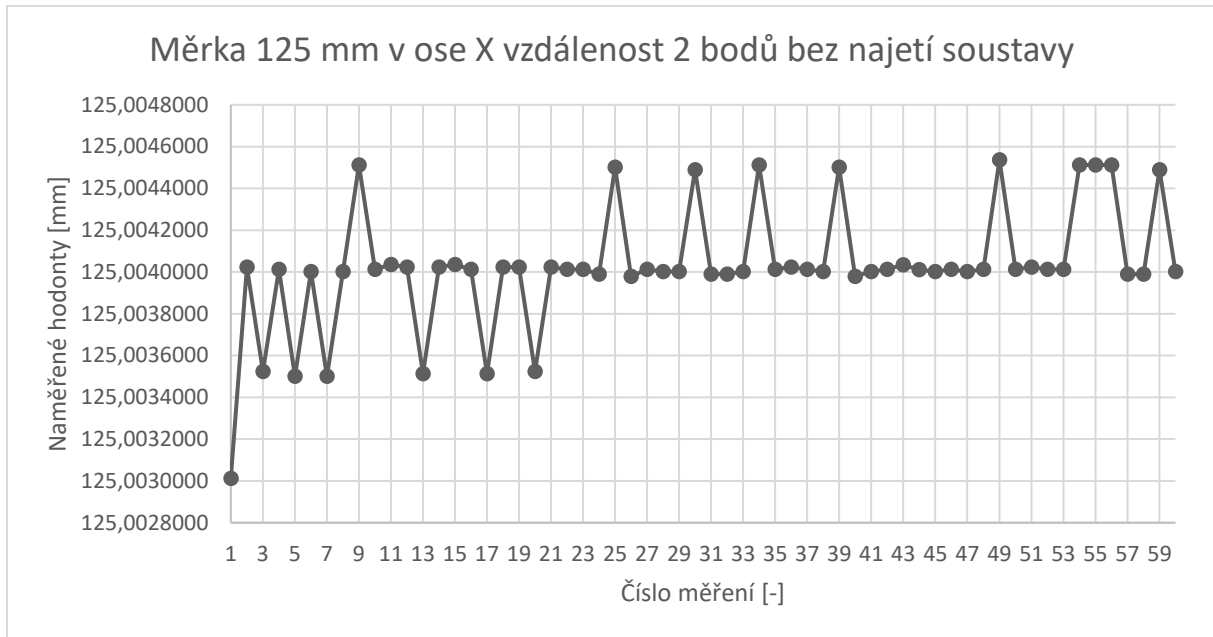
Příloha č.1 – Tabulkové hodnoty

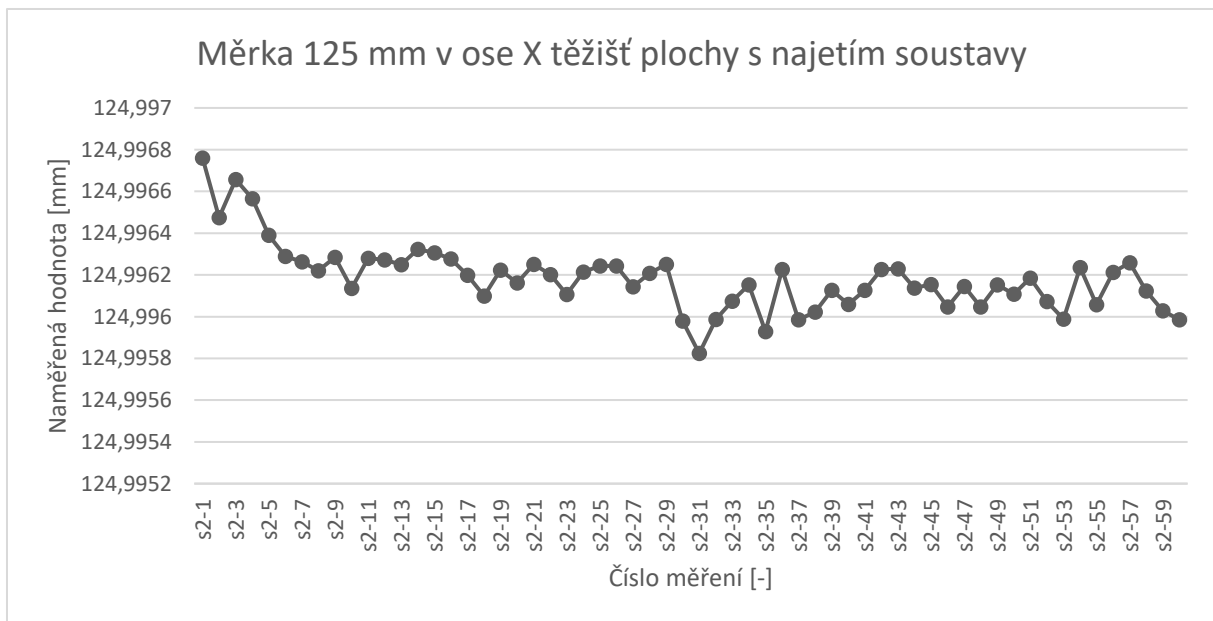
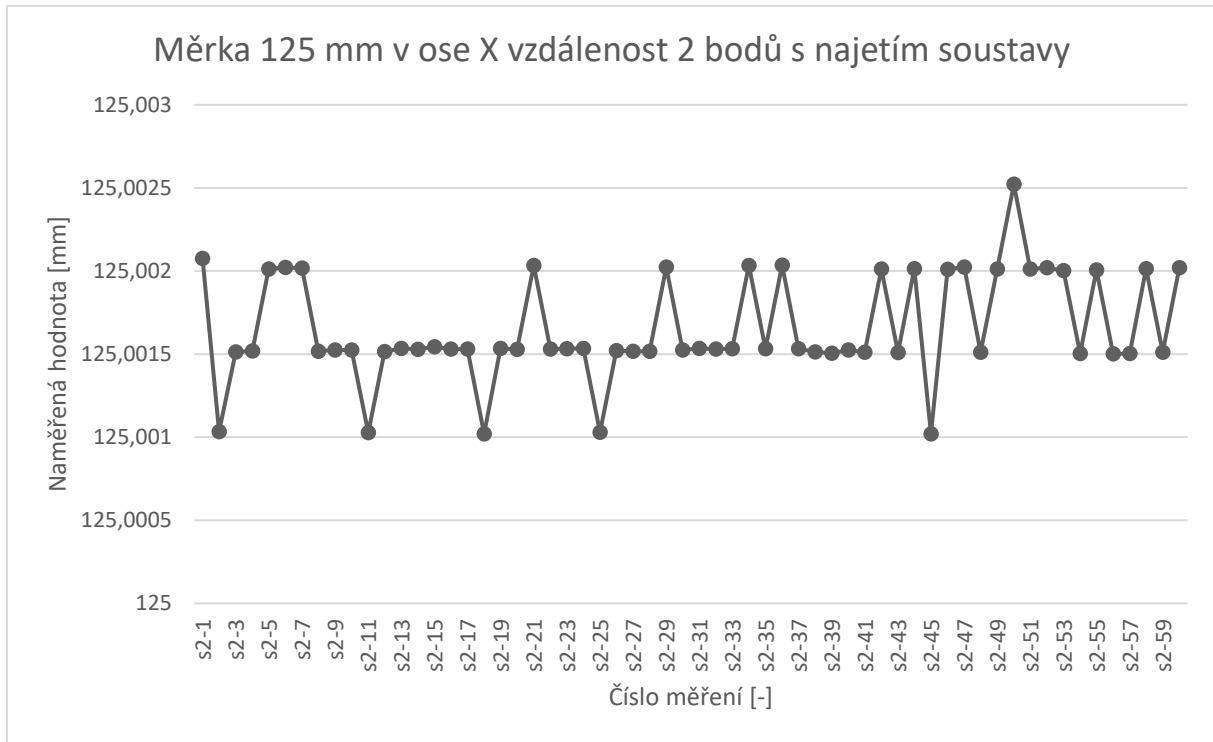
Tabulkové hodnoty

n	A	B_5	B_6	D_1	D_2	C_4	d_2
2	2,121	0,000	2,606	0,000	3,686	0,7979	1,128
3	1,732	0,000	2,276	0,000	4,358	0,8862	1,693
4	1,500	0,000	2,088	0,000	4,698	0,9213	2,059
5	1,342	0,000	1,964	0,000	4,918	0,9400	2,326
6	1,225	0,029	1,874	0,000	5,078	0,9515	2,534
7	1,134	0,113	1,806	0,204	5,204	0,9594	2,704
8	1,061	0,179	1,751	0,388	5,306	0,9650	2,847
9	1,000	0,232	1,707	0,547	5,393	0,9693	2,970
10	0,949	0,276	1,669	0,687	5,469	0,9727	3,078

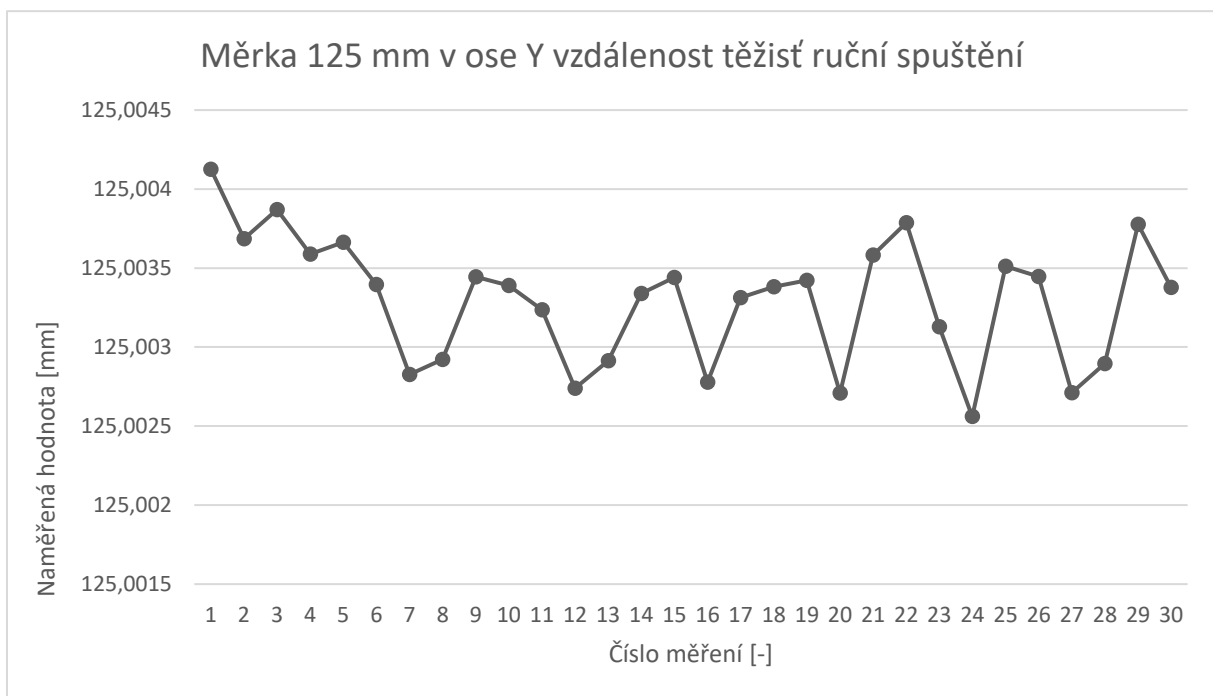
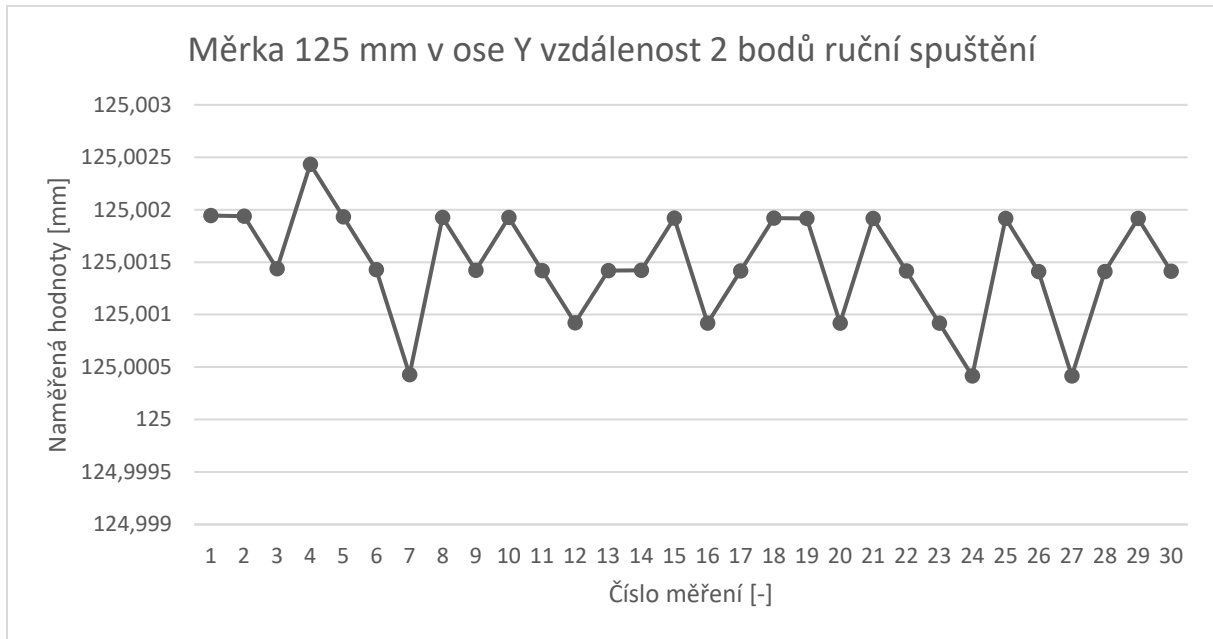
Příloha č. 2 – Měrka 125 mm v ose X

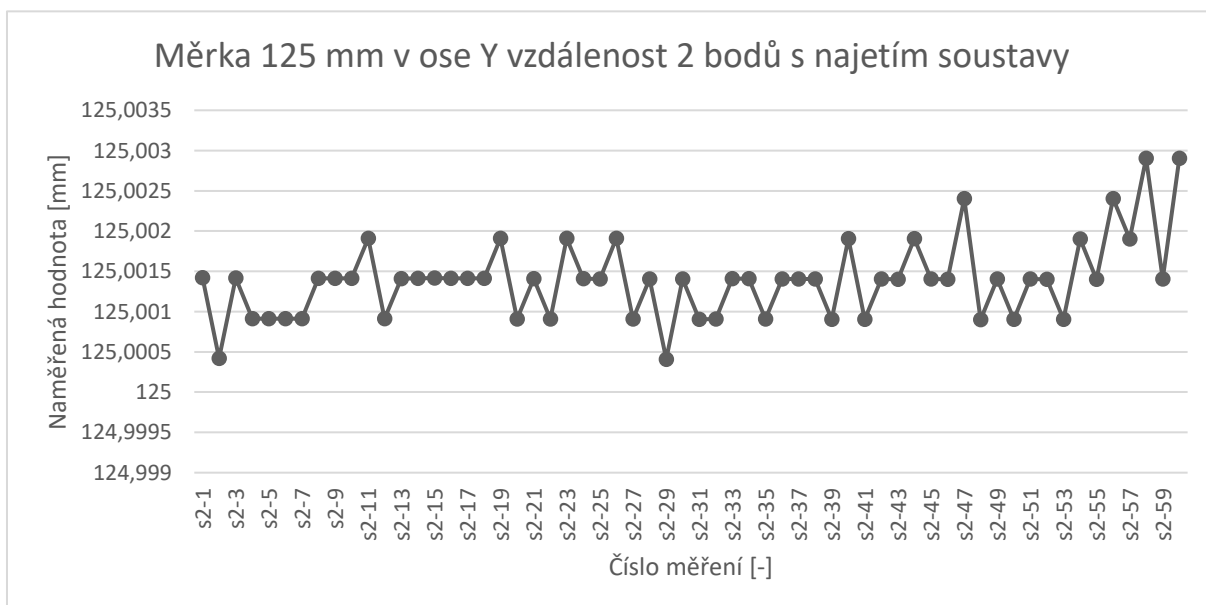
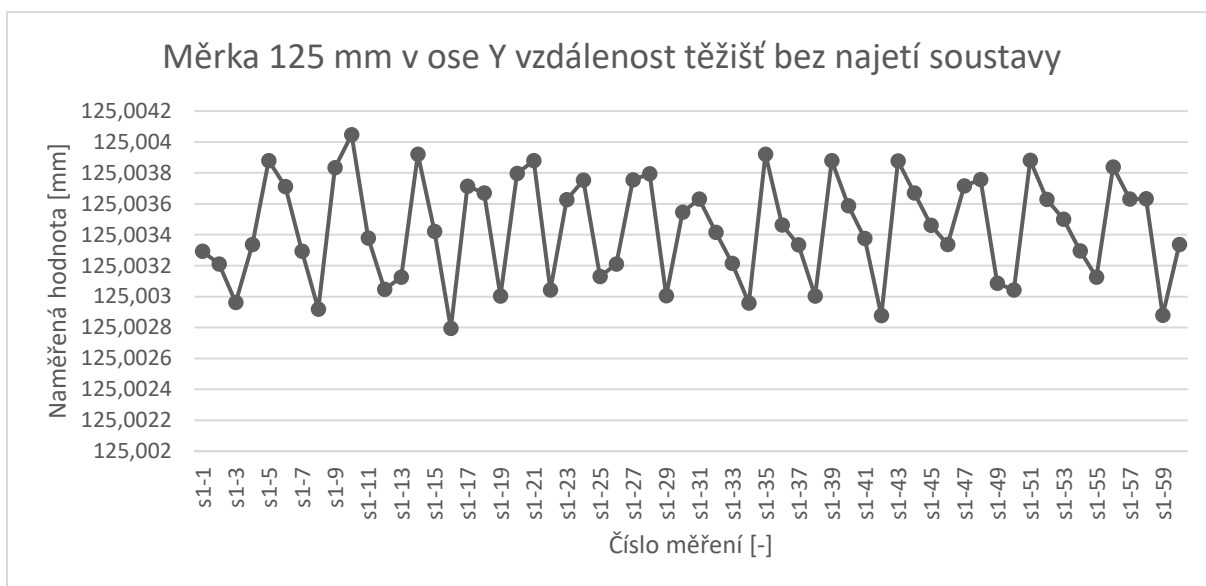
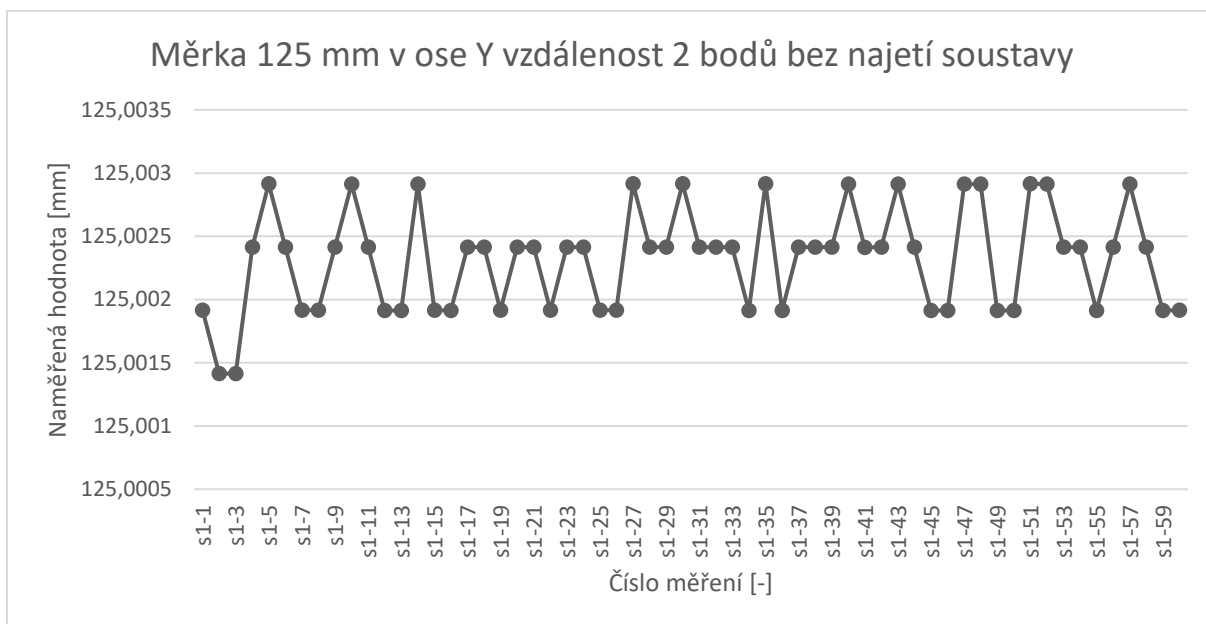


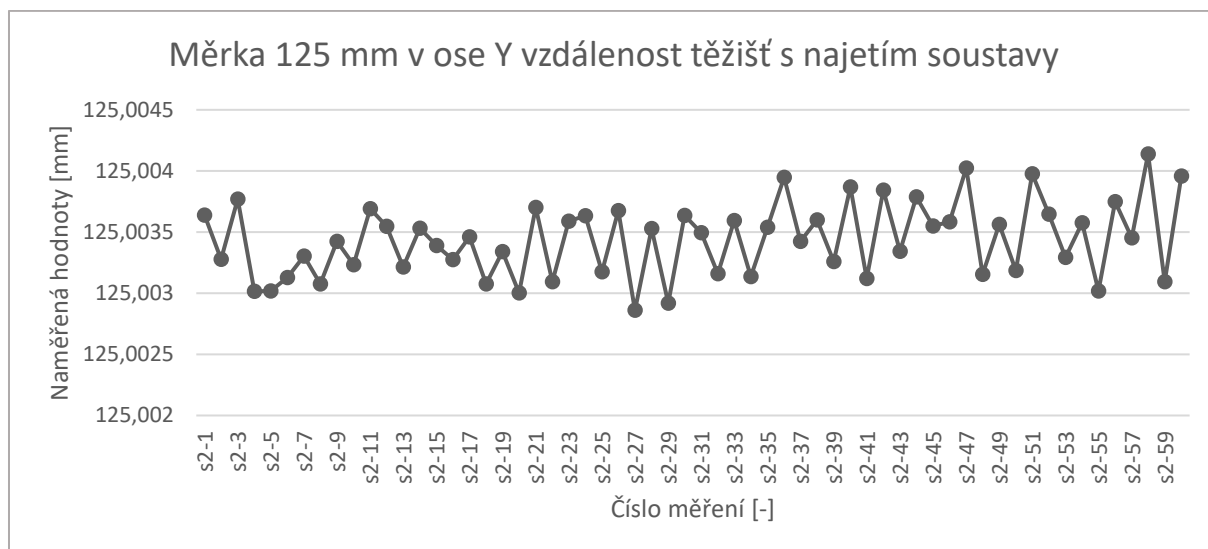




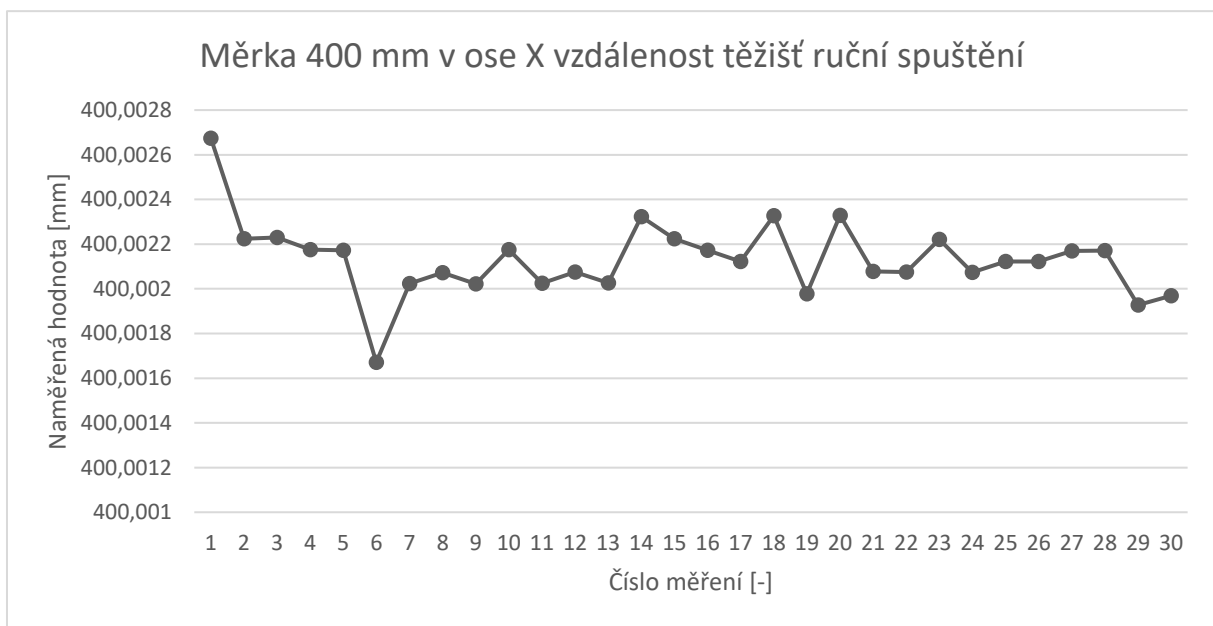
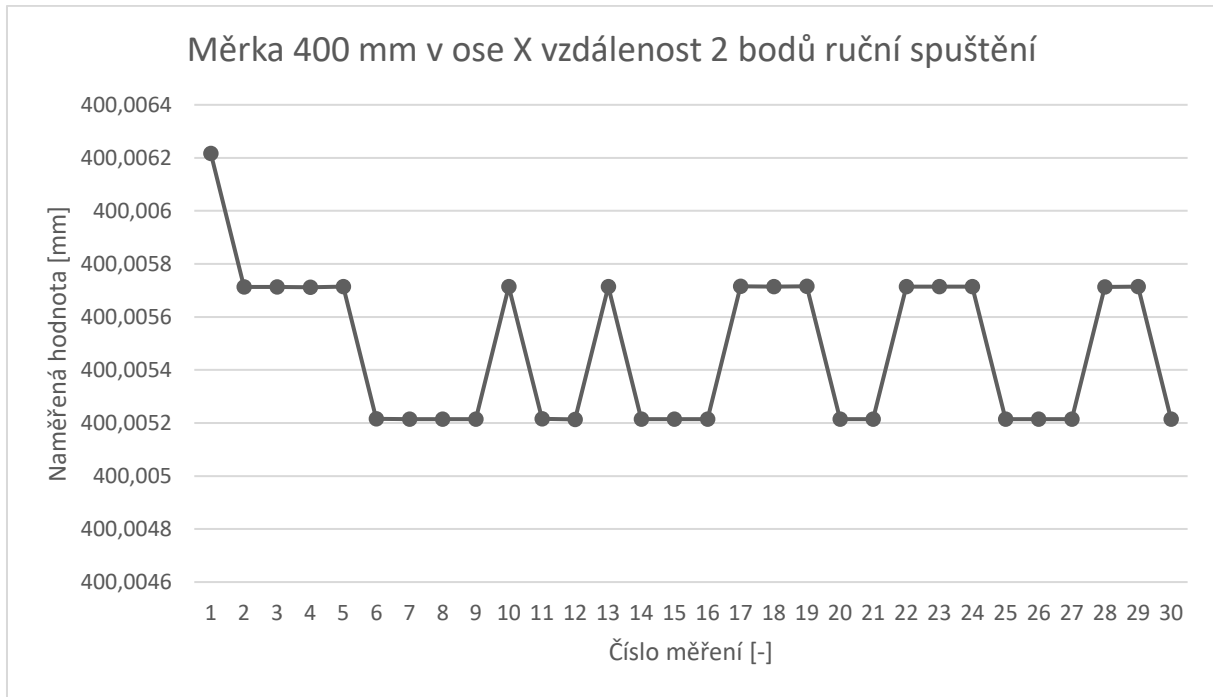
Příloha č.3 – Měrka 125 mm v ose Y

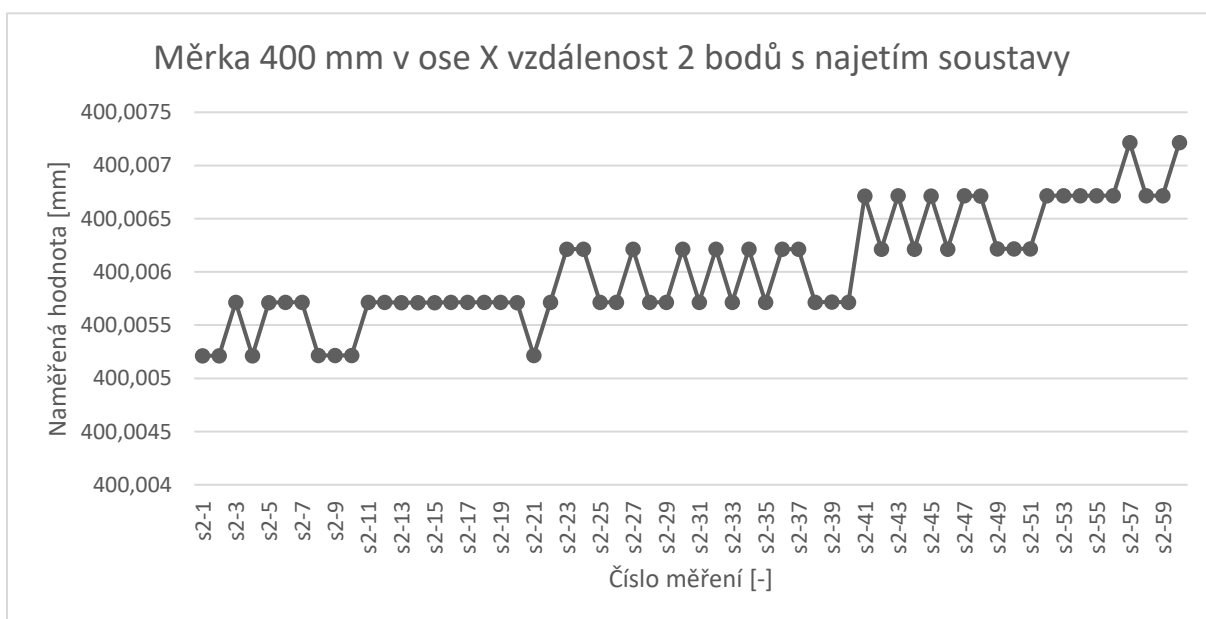
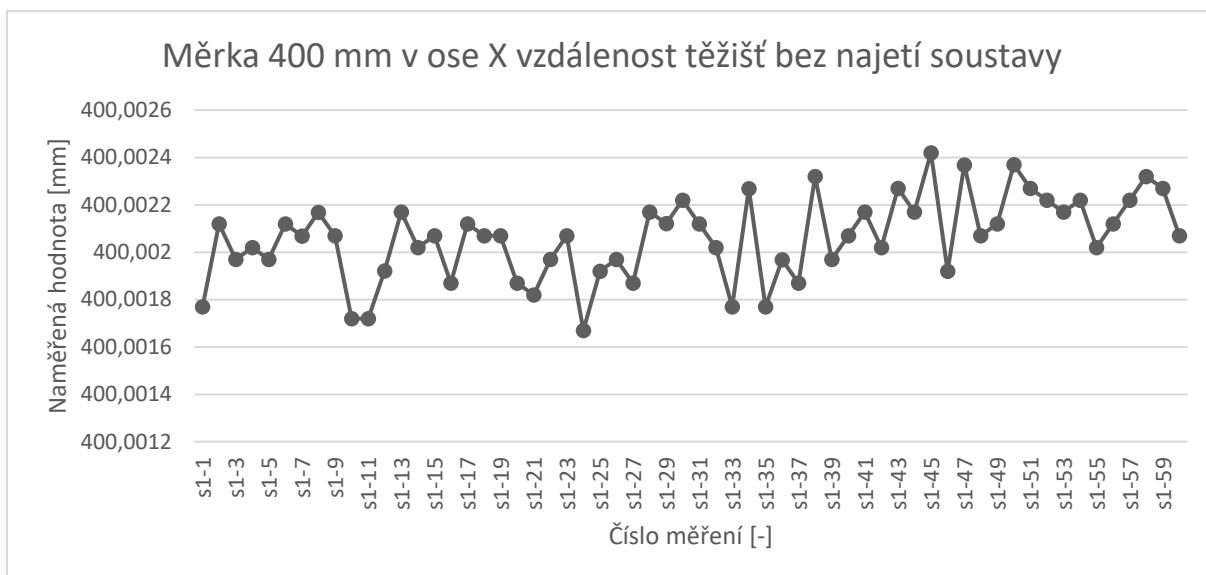
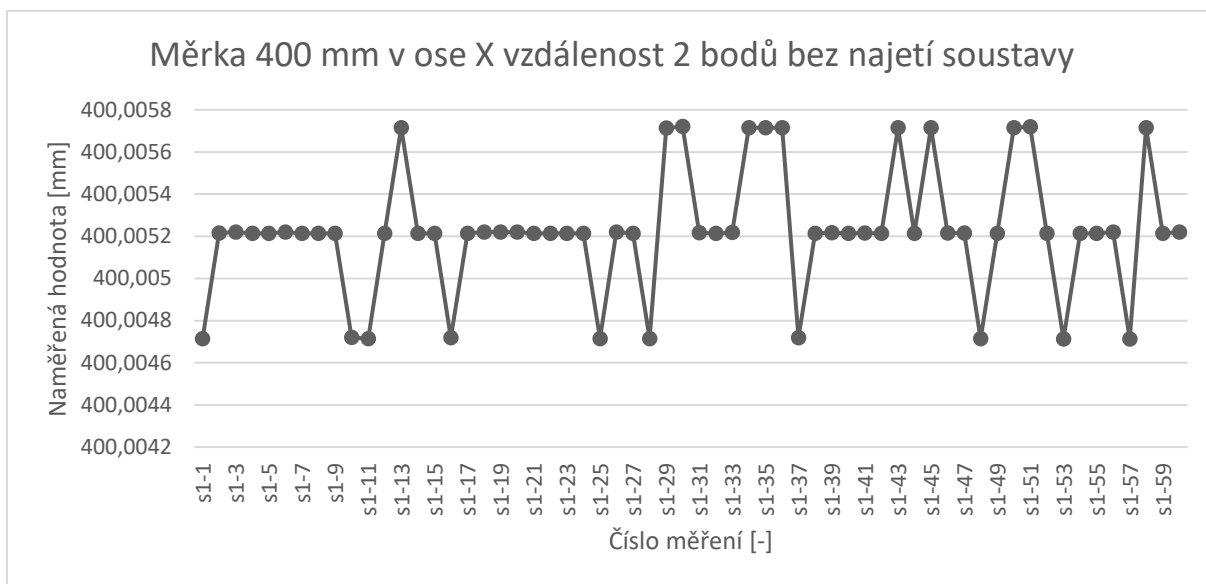


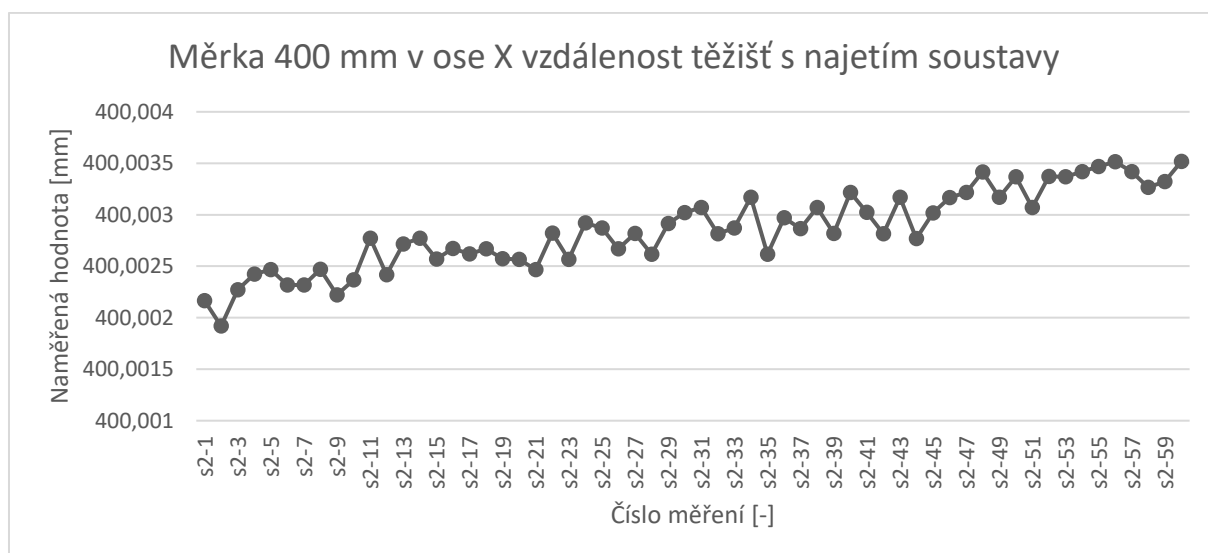




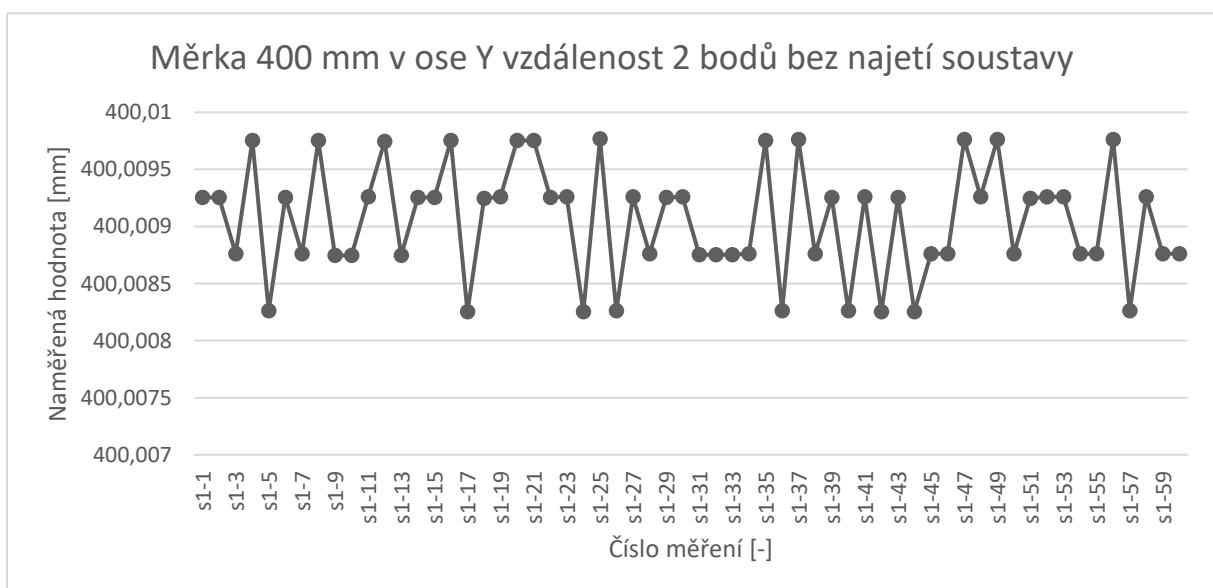
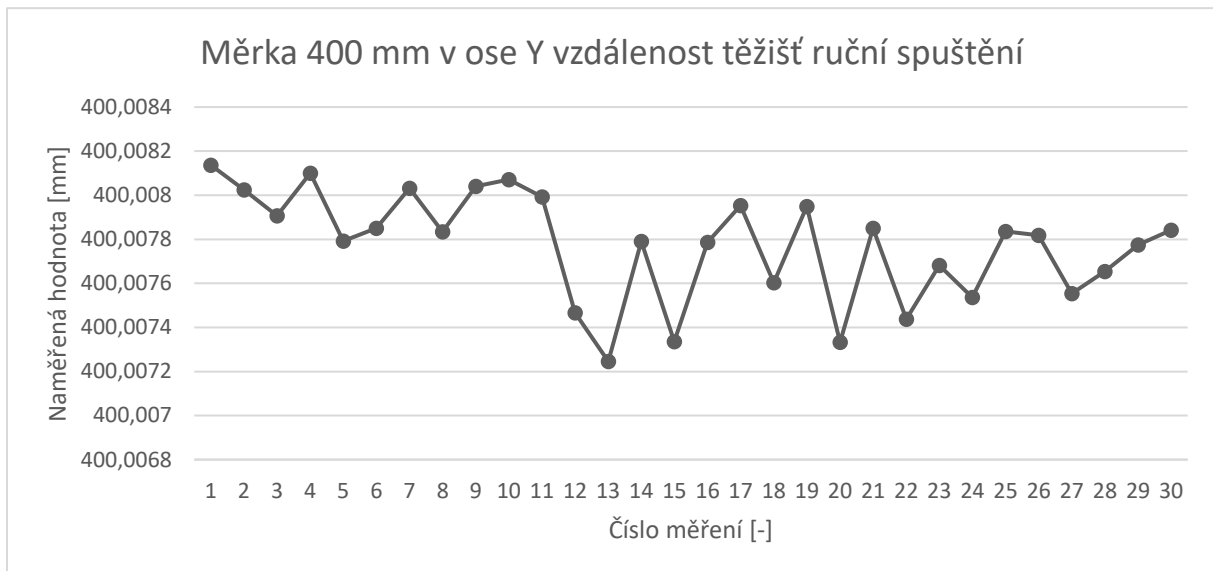
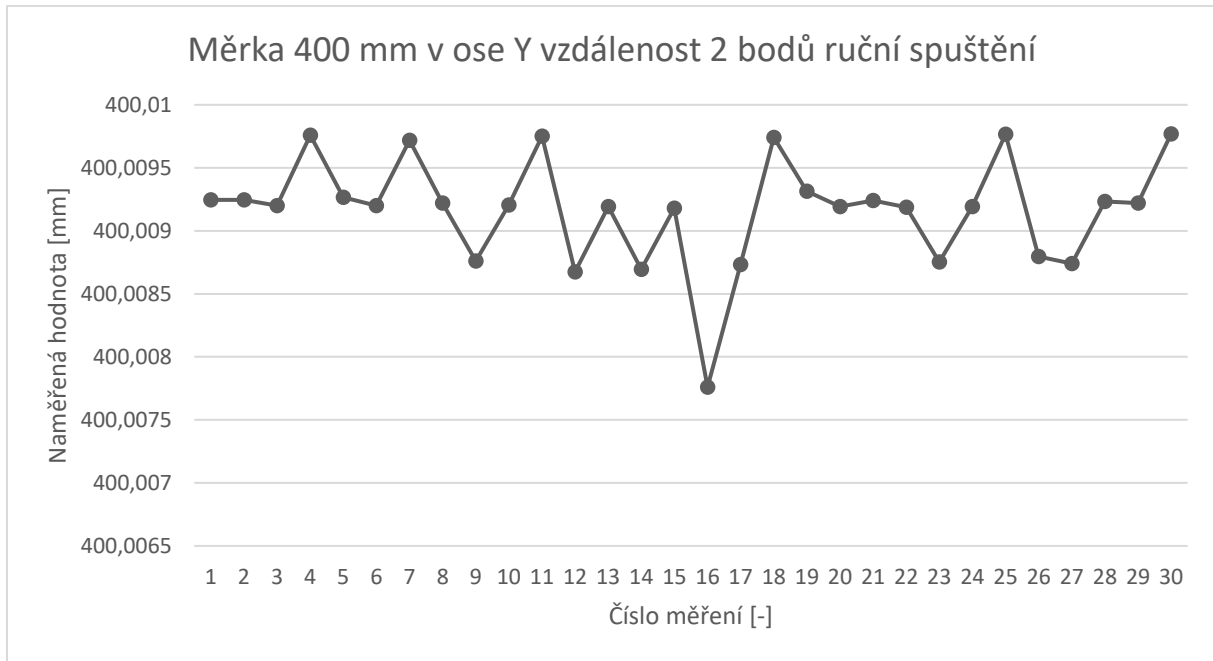
Příloha č.4 – Měrka 400 mm v ose X

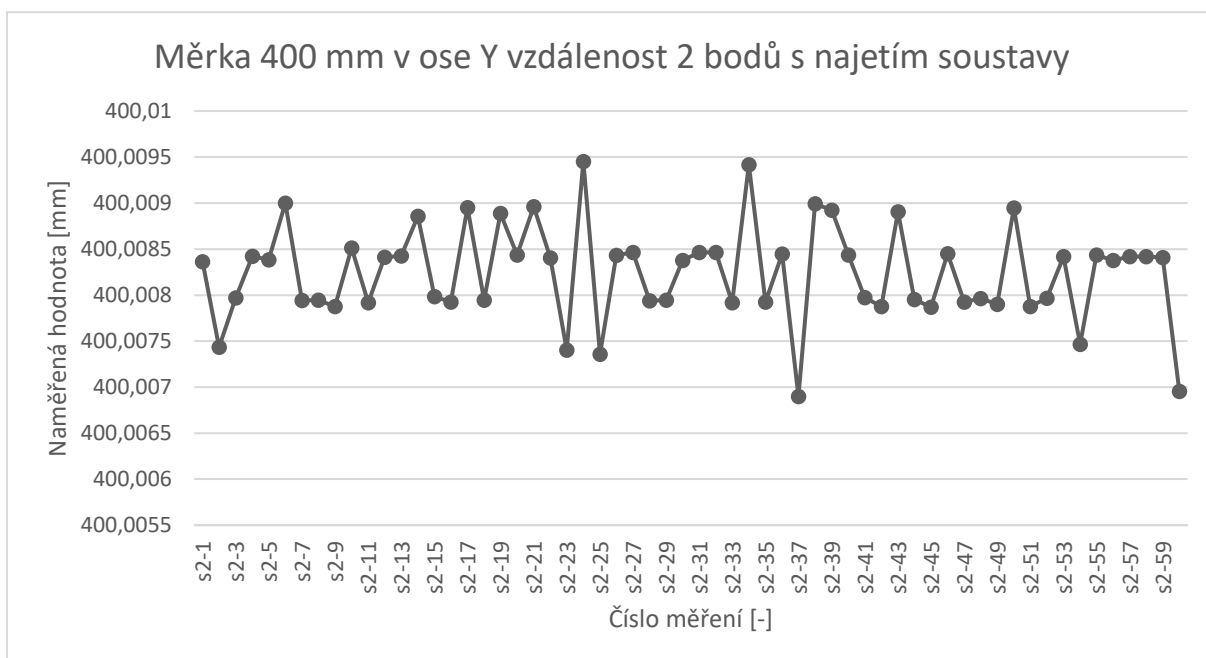
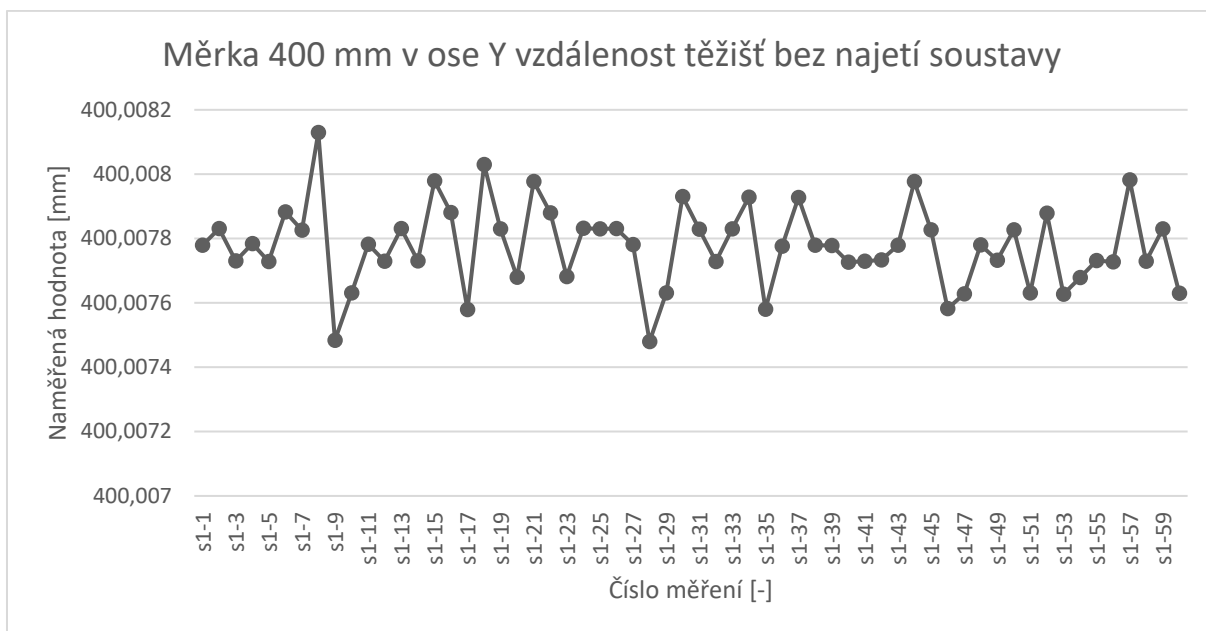


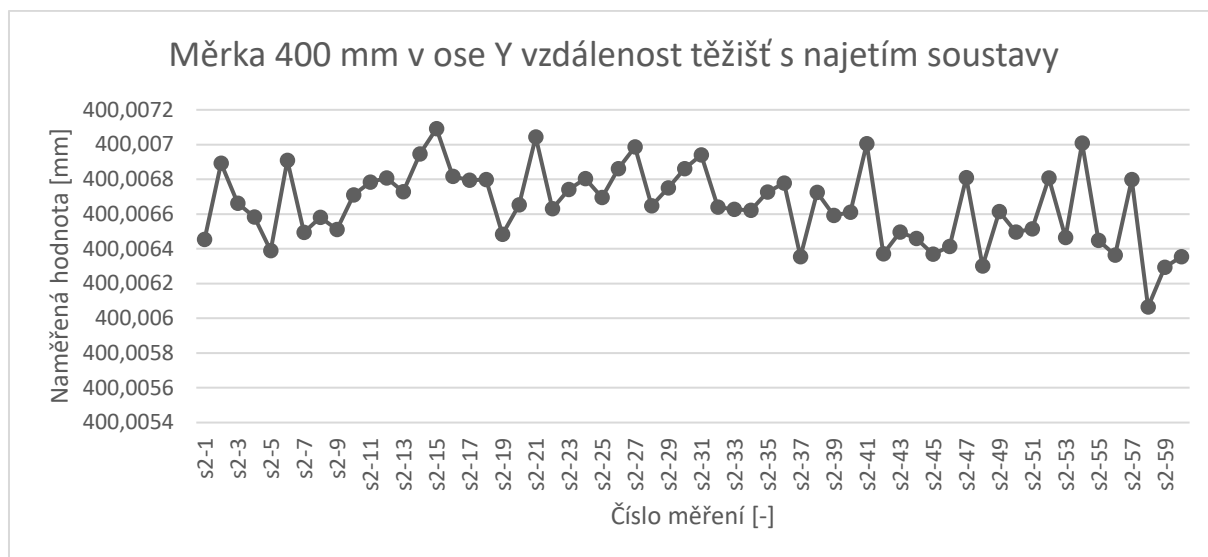




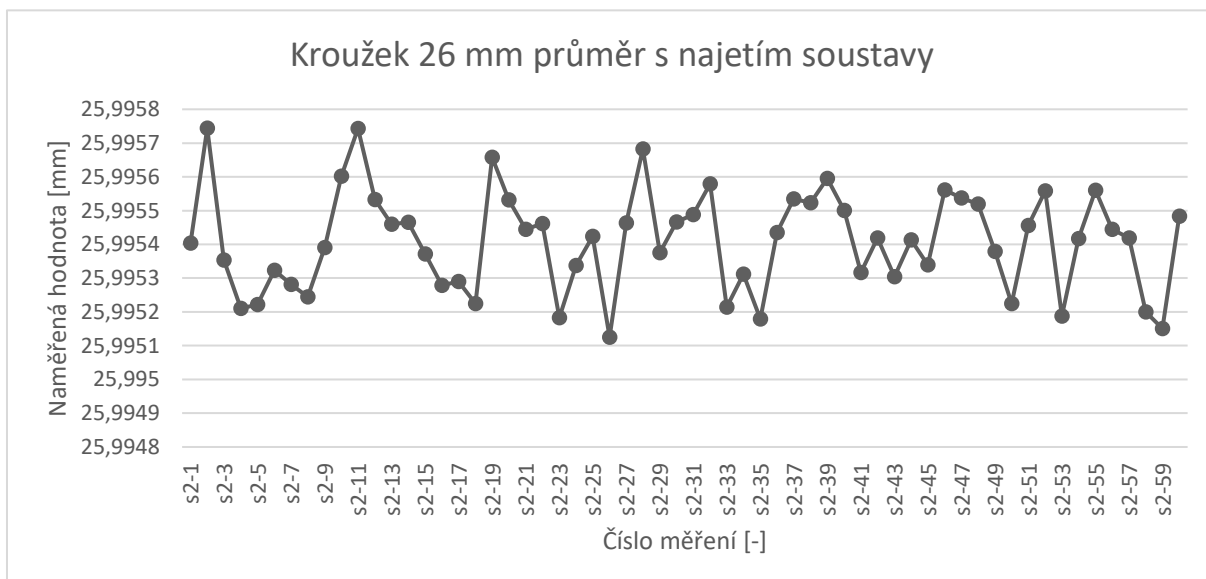
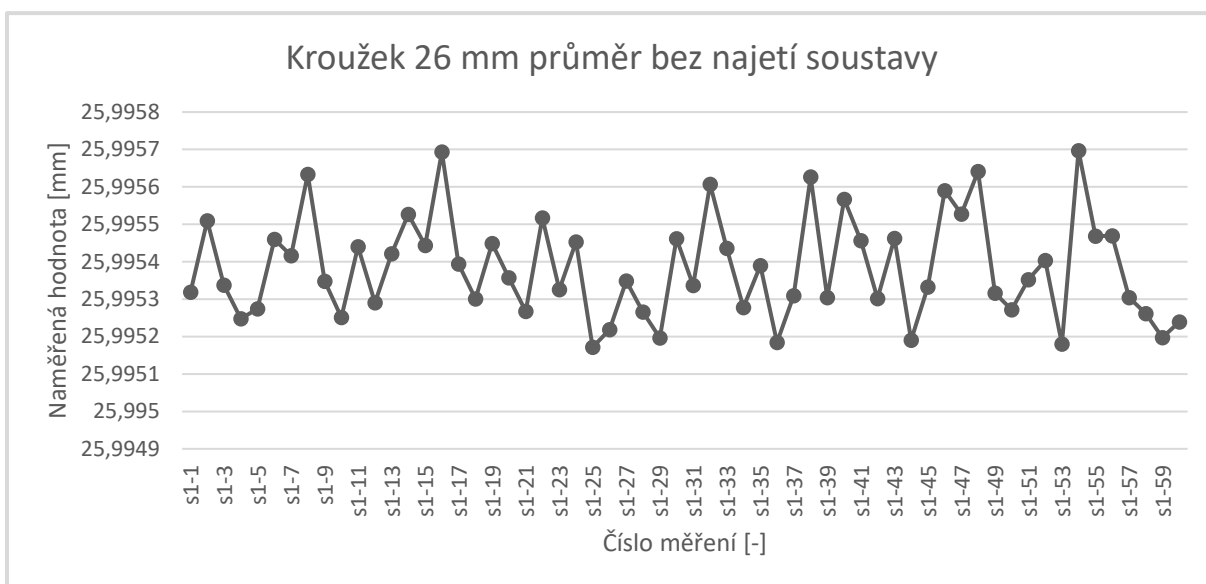
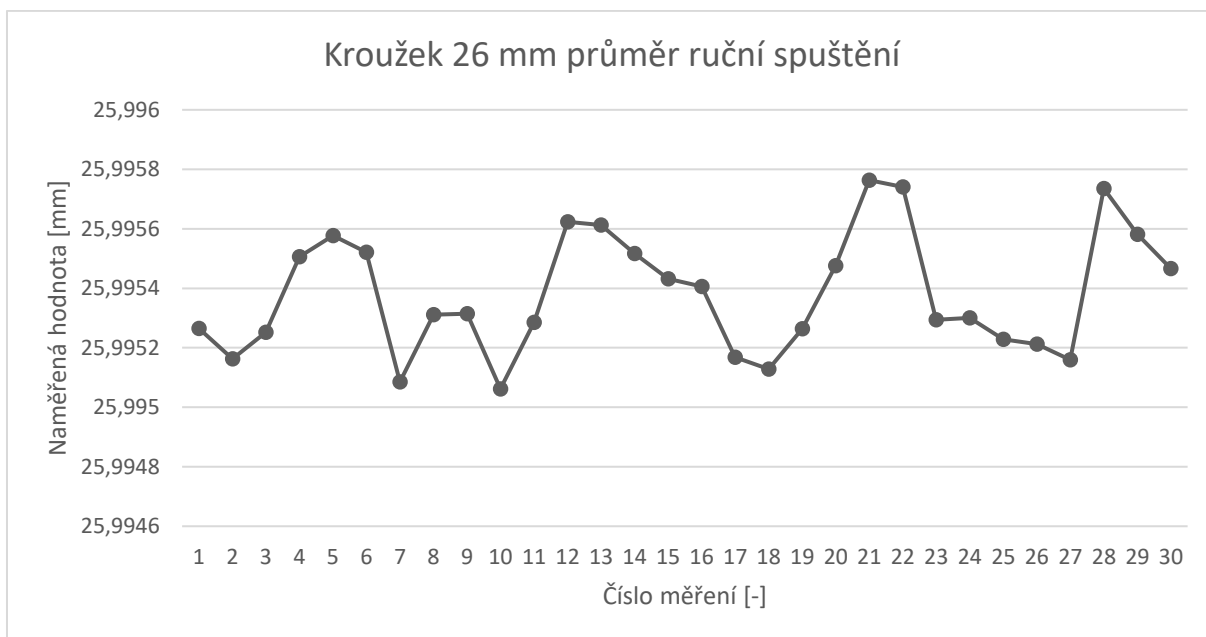
Příloha č.5 – Měrka 400 mm v ose Y



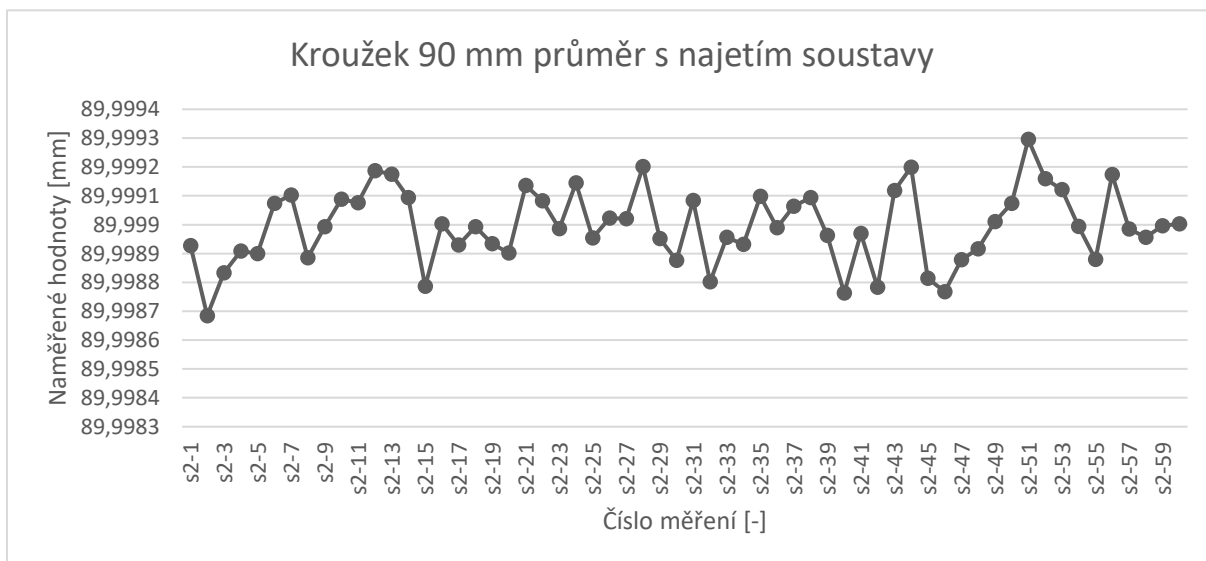
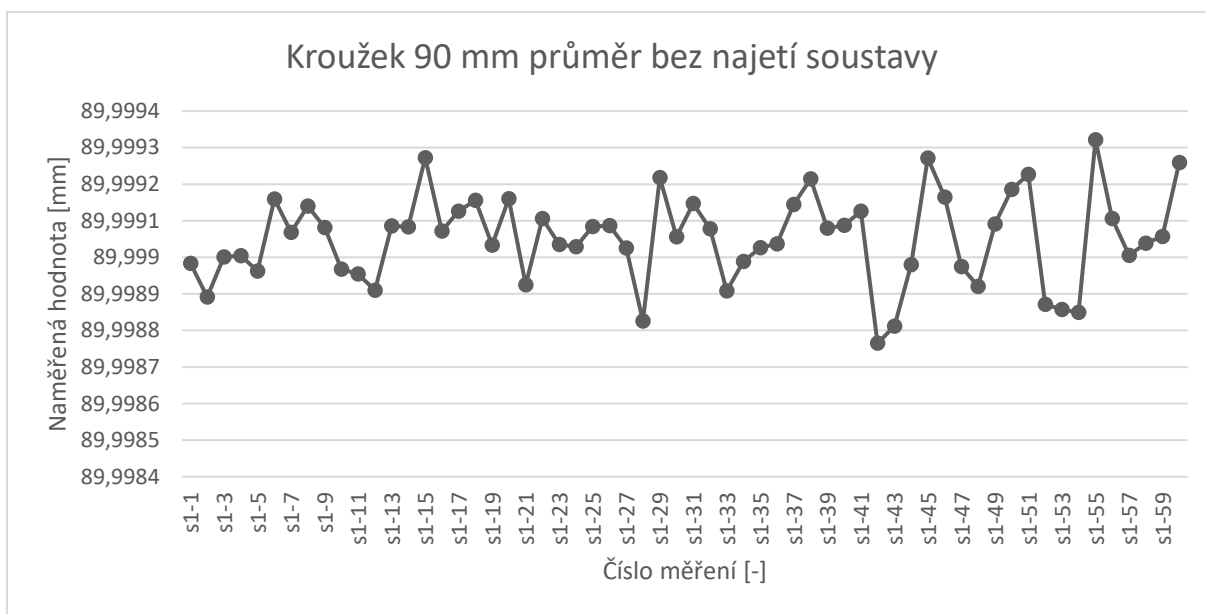
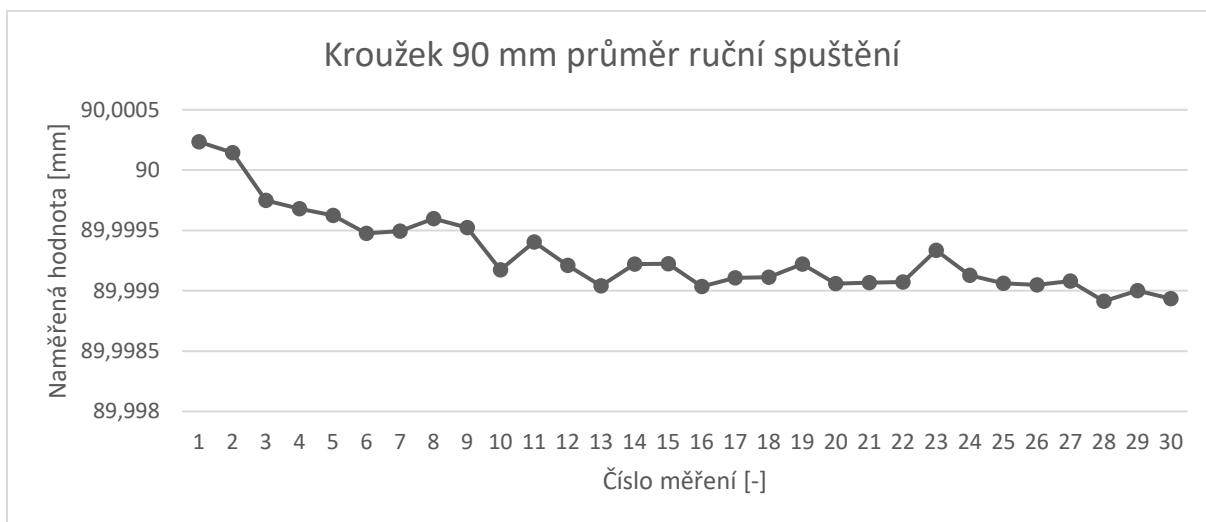




Příloha č.6 – Kroužek 26 mm



Příloha č.7 – Kroužek 90 mm



Příloha č.8 – Protokoly o způsobilosti měřidla

Měrka 125 mm v ose X

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Eclipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	125.0233
Dolní toleranční mez:	124.9767
Skutečná hodnota etalonu:	125.005
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	125.0020749
2	125.0010336
3	125.0015138
4	125.0015193
5	125.0020125
6	125.0020208
7	125.0020177
8	125.0015178
9	125.0015245
10	125.0015247
11	125.0010281
12	125.0015152
13	125.0015351
14	125.0015285
15	125.0015438
16	125.0015299
17	125.0015296
18	125.00102
19	125.0015348
20	125.0015276
21	125.0020334
22	125.0015308
23	125.0015324
24	125.0015337
25	125.0010288
26	125.0015213
27	125.0015161
28	125.0015168
29	125.0020227
30	125.0015253
31	125.0015339
32	125.0015302
33	125.0015331
34	125.0020325
35	125.0015325
36	125.0020357
37	125.0015329
38	125.001513
39	125.0015059
40	125.0015249
41	125.001512
42	125.0020125
43	125.0015088
44	125.0020147
45	125.00102
46	125.0020096
47	125.0020234
48	125.0015118
49	125.0020126
50	125.0025217
Střední naměřená hodnota:	125.00162
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00032
Index způsobilosti Cg:	4.85417
Index způsobilosti Cgk:	1.33823
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!

Vypracoval:
Dne: 13.05.2022

Měrka 125 mm v ose Y

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Eclipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	125.0136
Dolní toleranční mez:	124.9864
Skutečná hodnota etalonu:	125.005
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	125.0036393
2	125.0032769
3	125.0037693
4	125.0030167
5	125.0030185
6	125.0031295
7	125.0033046
8	125.0030751
9	125.0034243
10	125.0032334
11	125.0036905
12	125.0035484
13	125.0032143
14	125.0035304
15	125.0033899
16	125.0032742
17	125.0034597
18	125.0030768
19	125.0033411
20	125.0030038
21	125.0037007
22	125.0030948
23	125.0035891
24	125.0036335
25	125.0031758
26	125.0036748
27	125.00286
28	125.003528
29	125.0029175
30	125.003637
31	125.0034959
32	125.0031609
33	125.003595
34	125.003135
35	125.0035402
36	125.003949
37	125.003425
38	125.0036008
39	125.0032604
40	125.0038684
41	125.0031213
42	125.0038418
43	125.0033425
44	125.0037877
45	125.0035499
46	125.0035829
47	125.0040248
48	125.003155
49	125.0035631
50	125.0031869

Střední naměřená hodnota:	125.00341
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00028
Index způsobilosti Cg:	3.23810
Index způsobilosti Cgk:	1.34320

Závěrečné hodnocení: **Měřidlo je způsobilé!**

Vypracoval:
Dne: 13.05.2022

Měrka 400 mm v ose X

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Eclipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	400.0179
Dolní toleranční mez:	399.9821
Skutečná hodnota etalonu:	400.005
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	400.0021671
2	400.0019188
3	400.0022712
4	400.0024226
5	400.0024687
6	400.0023169
7	400.0023171
8	400.0024709
9	400.0022214
10	400.0023672
11	400.0027707
12	400.0024178
13	400.0027171
14	400.0027707
15	400.0025695
16	400.0026716
17	400.0026206
18	400.0026708
19	400.0025729
20	400.0025669
21	400.0024663
22	400.0028209
23	400.0025656
24	400.0029226
25	400.0028719
26	400.0026703
27	400.0028182
28	400.0026169
29	400.0029166
30	400.0030215
31	400.0030717
32	400.0028158
33	400.0028712
34	400.0031706
35	400.002616
36	400.0029709
37	400.0028653
38	400.0030707
39	400.0028202
40	400.0032175
41	400.0030245
42	400.0028171
43	400.0031701
44	400.0027678
45	400.0030171
46	400.0031675
47	400.0032156
48	400.0034165
49	400.0031685
50	400.0033704

Střední naměřená hodnota:	400.00275
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00033
Index způsobilosti Cg:	3.61616
Index způsobilosti Cgk:	1.34558
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!

Vypracoval:
Dne: 13.05.2022

Měrka 400 mm v ose Y

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Eclipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	400.0122
Dolní toleranční mez:	399.9878
Skutečná hodnota etalonu:	400.005
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	400.0064533
2	400.0068918
3	400.006662
4	400.0065825
5	400.0063889
6	400.0069082
7	400.0064941
8	400.0065803
9	400.0065114
10	400.0067092
11	400.0067828
12	400.0068079
13	400.0067286
14	400.0069465
15	400.0070921
16	400.0068166
17	400.0067944
18	400.0067993
19	400.0064837
20	400.0066534
21	400.0070438
22	400.0066312
23	400.0067421
24	400.0068044
25	400.006695
26	400.0068615
27	400.0069872
28	400.0066476
29	400.0067511
30	400.0068604
31	400.006941
32	400.0066397
33	400.0066278
34	400.0066219
35	400.0067262
36	400.0067786
37	400.0063548
38	400.0067246
39	400.0065913
40	400.0066103
41	400.0070041
42	400.0063701
43	400.0064954
44	400.0064601
45	400.006369
46	400.0064126
47	400.0068098
48	400.0063015
49	400.0066148
50	400.0064971
Střední naměřená hodnota:	400.00668
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00019
Index způsobilosti Cg:	4.28070
Index způsobilosti Cgk:	1.33116
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	13.05.2022

Kroužek 26 mm

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Ecllipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	26.006
Dolní toleranční mez:	25.994
Skutečná hodnota etalonu:	25.996
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	25.9954036
2	25.9957437
3	25.9953531
4	25.9952105
5	25.9952221
6	25.9953228
7	25.9952813
8	25.9952448
9	25.9953905
10	25.9956021
11	25.9957434
12	25.9955325
13	25.9954995
14	25.9954654
15	25.9953719
16	25.9952788
17	25.9952898
18	25.9952251
19	25.9956581
20	25.9955316
21	25.9954445
22	25.9954616
23	25.9951832
24	25.9953374
25	25.9954235
26	25.9951254
27	25.9954638
28	25.9956823
29	25.9953754
30	25.9954666
31	25.9954878
32	25.9955793
33	25.9952138
34	25.9953119
35	25.9951787
36	25.9954351
37	25.9955346
38	25.9955228
39	25.9955953
40	25.9955008
41	25.9953163
42	25.9954189
43	25.9953046
44	25.9954135
45	25.9953394
46	25.9955609
47	25.9955379
48	25.9955195
49	25.9953792
50	25.9952248

Střední naměřená hodnota:	25.99541
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00015
Index způsobilosti Cg:	2.66667
Index způsobilosti Cgk:	1.36306
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!

Vypracoval:
Dne: 13.05.2022

Kroužek 90 mm

Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Jan Schwarz
Název měřidla:	Souřadnicový měřicí systém Zeiss Eclipse
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	90.0077
Dolní toleranční mez:	89.9923
Skutečná hodnota etalonu:	90.000
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

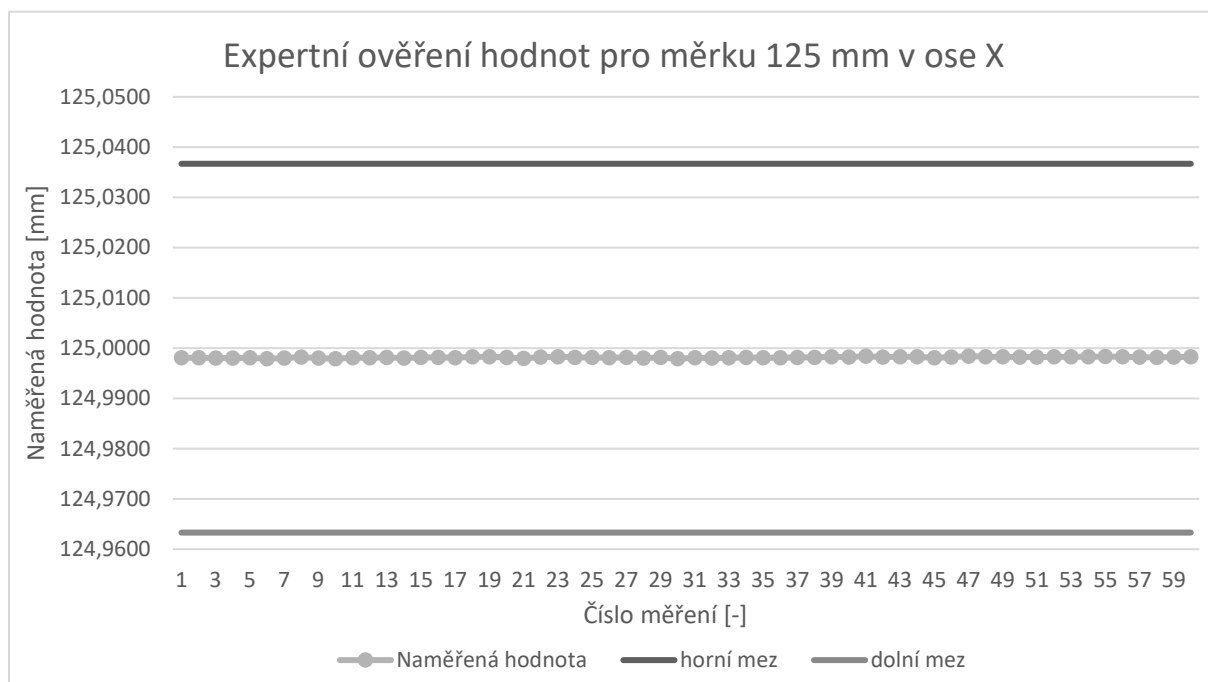
Č.	Pracovník 1
1	89.9989277
2	89.9986849
3	89.9988337
4	89.9989091
5	89.9988996
6	89.9990737
7	89.9991026
8	89.9988885
9	89.9989926
10	89.9990885
11	89.9990756
12	89.9991871
13	89.9991752
14	89.9990937
15	89.9987867
16	89.9990024
17	89.9989296
18	89.9989928
19	89.9989346
20	89.9989025
21	89.9991359
22	89.9990832
23	89.9989859
24	89.999145
25	89.9989543
26	89.9990226
27	89.9990202
28	89.9992015
29	89.9989514
30	89.9988769
31	89.9990834
32	89.9988022
33	89.998956
34	89.9989323
35	89.9990983
36	89.9989895
37	89.9990644
38	89.9990934
39	89.9989632
40	89.9987629
41	89.9989693
42	89.9987838
43	89.9991184
44	89.9991998
45	89.9988139
46	89.9987672
47	89.9988783
48	89.9989169
49	89.9990106
50	89.9990736

Střední naměřená hodnota:	89.99898
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00013
Index způsobilosti Cg:	3.94872
Index způsobilosti Cgk:	1.34010
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!

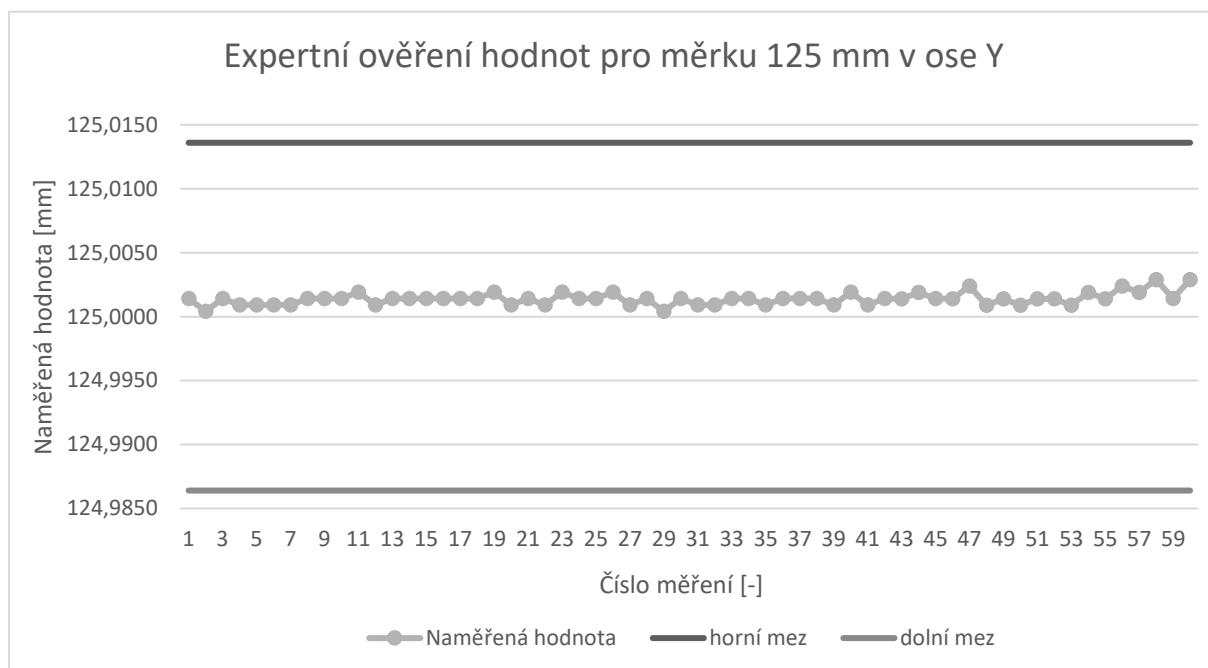
Vypracoval:
Dne: 13.05.2022

Příloha č. 9 – Expertní ověření hodnot v čase

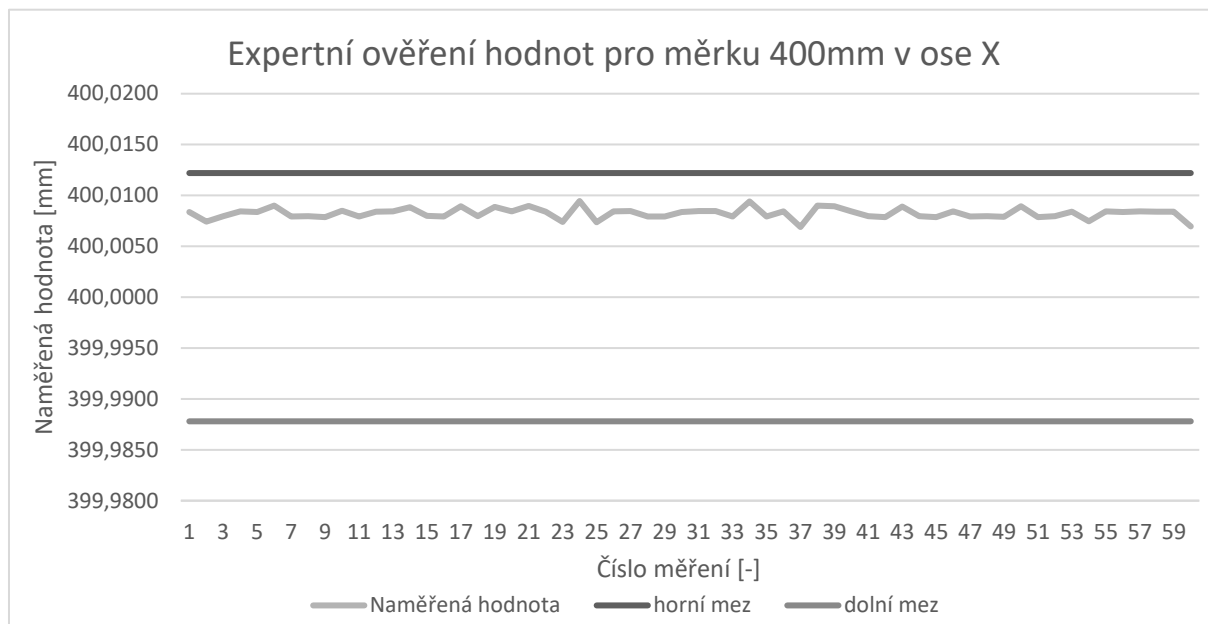
Měrka 125 mm v ose X



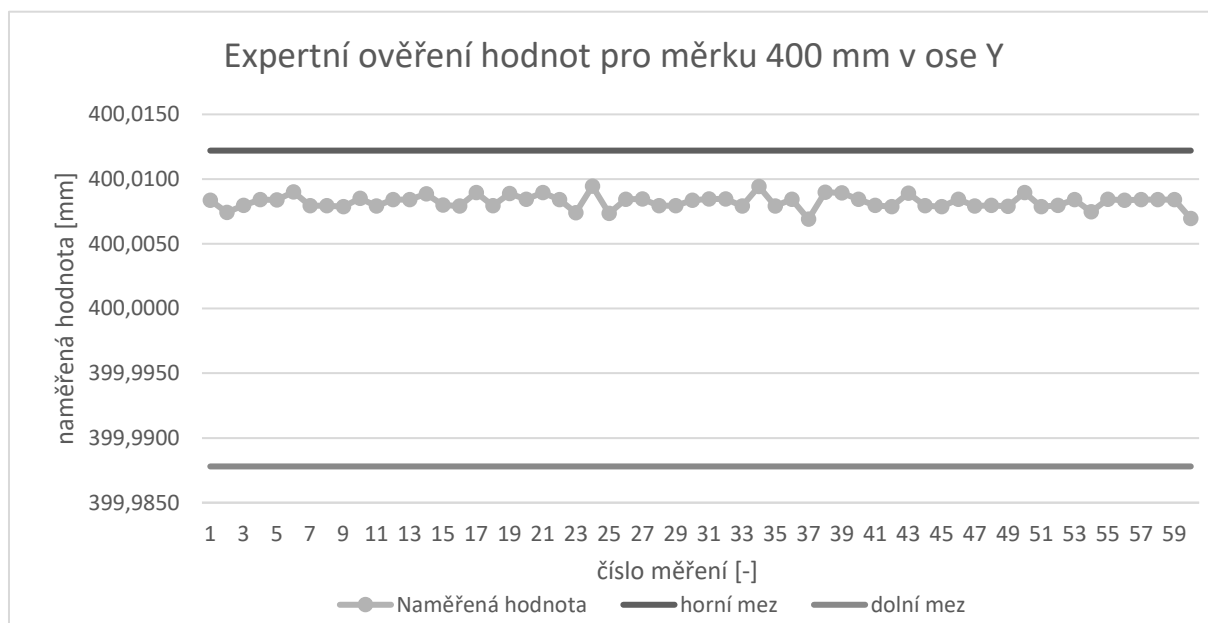
Měrka 125 mm v ose Y



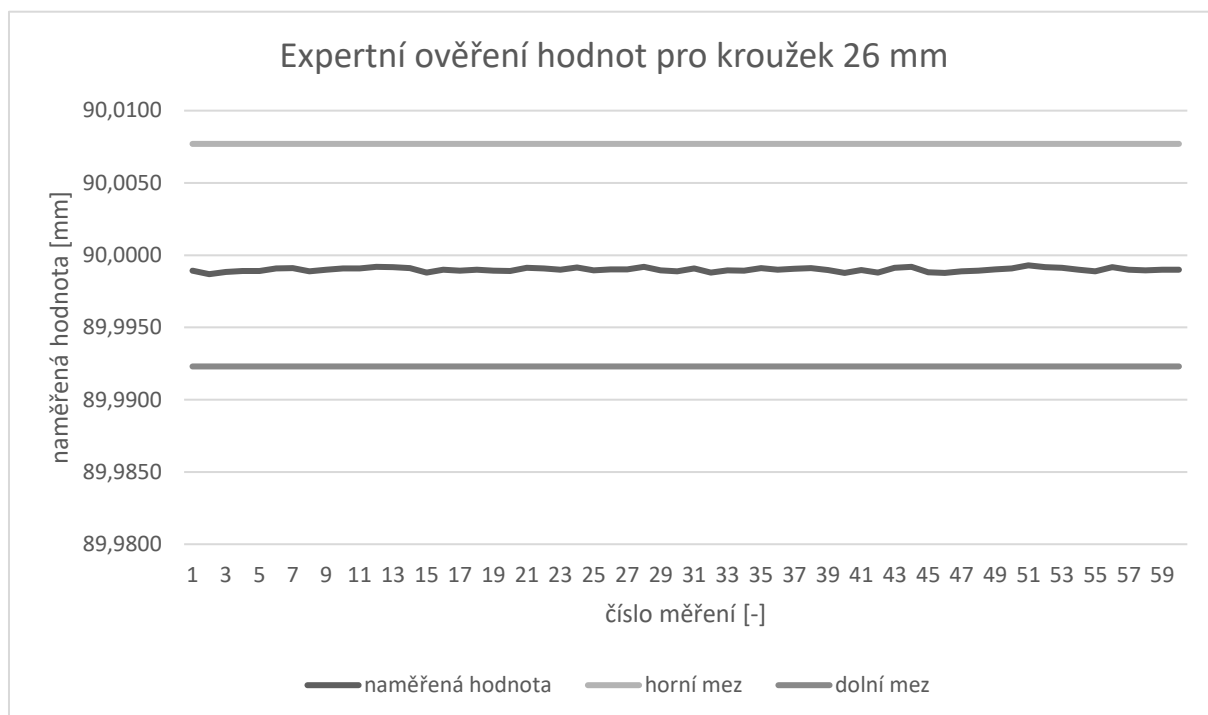
Měrka 400 mm v ose X



Měrka 400 mm v ose Y



Kroužek 26 mm



Kroužek 90 mm

