

Návrh kalibrace dílenského mikroskopu Carl Zeiss

Bc. Patrik Macháč

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik Macháč**
Osobní číslo: **T16643**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh kalibrace dílenského mikroskopu Carl Zeiss**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část:
2. Popište normy zabývající se kalibrací délkových měřidel se zaměřením na ISO 230
3. Teoreticky popište základní statistické metody vhodné pro kalibraci délkových měřidel
4. Popište princip kalibrace délkových měřidel s využitím laserové interferometrie
5. Praktická část:
6. Popište základní vlastnosti měřícího mikroskopu
7. Přizpůsobte měřící mikroskop Carl Zeiss pro kalibraci v ose x a y
8. Měření opakujte v osách 10x, zvolte vhodnou metodologii a výsledky statisticky zpracujte
9. Vypracujte kalibrační předpis pro kalibrovaný mikroskop

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BRAVENEČ, Libor. Polohování CNC frézky dle normy ISO 230-2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 110 s., 12 s. příloh.
2. KOSINA, Petr. [online]. Brno, 2008 [cit. 2017-09-14]. Dostupné z: <<http://theses.cz/id/lzr89b/>>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Mgr. Ondřej Výborný.
3. ARLT, Josef, Markéta ARLTOVÁ a Eva RUBLÍKOVÁ. Analýza ekonomických časových řad s příklady. 1.vyd.Praha: Vysoká škola ekonomická Praha, 2002. 148 s. ISBN 80-245-0307-7.
4. CHUDÝ, Vladimír. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava:STU, 1999, 689 s. ISBN 80-227-1275-2.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 5. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



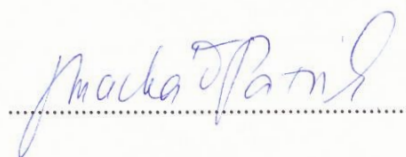
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně dne 9.5.2018



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje návrh kalibrace dílenského mikroskopu Carl Zeiss. Vzhledem k historickému stavu dílenského mikroskopu, jsou v úvodu popsány způsoby kalibrace. Teoretická část se věnuje normám zabývající se kalibrací délkových měřidel se zaměřením na ISO 230. Dále jsou podrobně popsány základní statistické metody vhodné pro kalibraci délkových měřidel a jejich princip.

Praktická část se zabývá měřicím mikroskopem Carl Zeiss a jeho typickými vlastnostmi, které jej charakterizují. Kalibrace mikroskopu je provedena v ose „X“ a „Y“. Každé měření je opakováno 3 x a výsledky měření jsou statisticky zpracovány. Závěrem je zpracován kalibrační předpis pro kalibrovaný mikroskop.

Klíčová slova:

Kalibrace, mikroskopie, statistika, měřidla, analýza

ABSTRACT

This diploma thesis describes the design of the calibration of the Carl Zeiss workshop microscope. Due to the historical state of the workshop microscope, the methods of catalysis are described at the beginning. The theoretical part deals with norms dealing with the calibration of length gauges with focus on ISO 230. The basic statistical methods suitable for calibration of length gauges and their principle are described in detail.

The practical part deals with the Carl Zeiss measuring microscope and its characteristic features that characterize it. Calibration of the microscope is done in the „X“ and „Y“ axis. Each measurement is repeated 3 times and the results are statistically processed. Finally, the calibration code for the calibrated microscope is processed.

Keywords:

Calibration, microscopy, statistics, gauges, analysis

Poděkování:

Velmi rád bych touto cestou poděkoval především vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi, za svědomité vedení, odborné informace a v největší míře za věnovaný čas během období vzniku diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině a blízkým přátelům za podporu během studia.

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, 10.5.2018

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
• I. TEORETICKÁ ČÁST	12
1 DĚLKOVÁ MĚŘIDLA	13
1.1 KALIBRACE DĚLKOVÝCH MĚŘIDEL	15
1.2 KALIBRACE SE ZAMĚŘENÍM NA ISO 230	17
1.2.1 Laserový interferometr	17
1.2.2 Postup seřízení laserového interferometru dle normy ISO 230	19
1.2.3 Využití laserové interferometrie.....	21
1.2.4 Chyby vznikající při nastavení laserového interferometru	24
2 ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ METODY	27
2.1 VHODNÉ STATISTICKÉ METODY PRO VYHODNOCENÍ KALIBRACE.....	27
2.1.1 Aritmetický průměr	27
2.1.2 Směrodatná odchylka	29
2.1.3 Box plotové grafy a jejich parametry	30
2.1.4 Konfidenční intervaly.....	31
2.1.5 Normální rozdělení.....	32
2.1.6 Regresní analýza	33
• II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
3 MIKROSKOP CARL ZEISS	36
3.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI.....	37
3.2 PŘÍZPŮSOBENÍ PRO KALIBRACI	38
3.2.1 Kalibrace v osách X a Y.....	41
3.3 VOLBA VHODNÉ METODOLOGIE	42
3.4 VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH HODNOT V OSE X, SMĚR UP	45
3.4.1 Medián: popis grafického vyhodnocení	46
3.4.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení	47
3.4.3 Min a Max: popis grafického vyhodnocení	48
3.4.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení	49
3.4.5 Rozpětí: popis grafického znázornění	50
3.5 VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH HODNOT V OSE X, SMĚR DOWN.....	51
3.5.1 Medián: popis grafického vyhodnocení	52
3.5.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení	53
3.5.3 Min, Max: popis grafického vyhodnocení	54
3.5.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení	55
3.5.5 Rozpětí: popis grafického vyhodnocení.....	56
3.6 VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH HODNOT V OSE Y, SMĚR UP.....	57
3.6.1 Medián: popis grafického vyhodnocení	58
3.6.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení	59
3.6.3 Min, Max: popis grafického vyhodnocení	60
3.6.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení	61
3.6.5 Rozpětí: popis grafického vyhodnocení.....	62
3.7 VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH HODNOT V OSE Y, SMĚR DOWN.....	63
3.7.1 Medián: popis grafického vyhodnocení	64

3.7.2	Průměr: popis grafického vyhodnocení	65
3.7.3	Min, Max: popis grafického vyhodnocení	66
3.7.4	Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení	67
3.7.5	Rozpětí: popis grafického vyhodnocení	68
3.8	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	69
4	KALIBRAČNÍ PŘEDPIS	72
4.1	NÁVRH VHODNÉHO KALIBRAČNÍHO PŘEDPISU	72
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK	82
	SEZNAM PŘÍLOH	83

ÚVOD

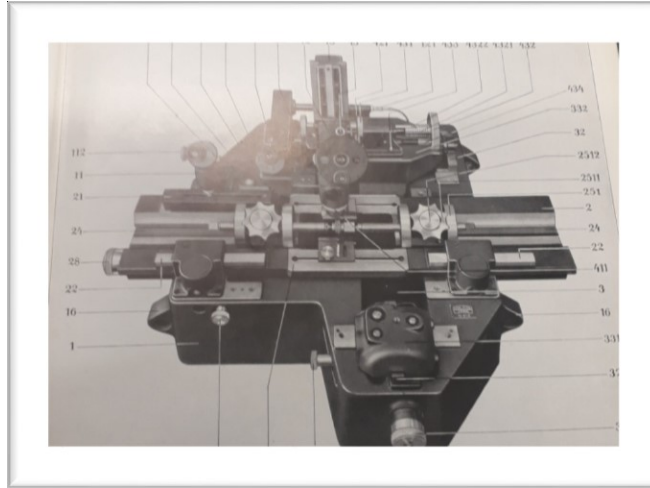
Aby bylo možné ve všech odvětvích průmyslu, nejenom ve strojírenství, používat naměřená data a hodnoty k dalším postupům daného směru, je velmi důležité používat hodnoty, které mají pravdivý charakter a jsou skutečné. Vzhledem k této skutečnosti je nutné znát chybu, tzv. odchylku, se kterou je nutno počítat při každém měření s daným měřidlem, které již dnes nejsou jenom kontaktní, ale mohou být také bezkontaktní. Kalibrace mikroskopu, ale také i jiných přesných zařízení, musí probíhat za konstantních podmínek, aby chom byli schopni s co největší přesností určit odchylku měřicího zařízení. V dnešní, velmi technicky pokročilé době, se ve strojírenském odvětví měří v největší míře v tisícinách, a proto je velmi důležité, aby byl kladen důraz na kvalitu, jež je požadována mezinárodními normami. Na základě tohoto předpokladu je cílem této diplomové práce provést kalibraci mikroskopu Carl Zeiss i s ohledem na fakt, že byl mikroskop tzv. „vyhozen na šrotiště“. I přesto se jej podařilo sestavit do původního stavu a nyní je možno mikroskop využívat na měření součástí menších rozměrů s přesností na tisíciny. Kalibrace mikroskopu bude uživatele informovat o velikosti odchylky, se kterou bude pracovat.

Každý výrobní podnik musí mít snahu dodržet snahu neustálého zlepšování, jenž je nekonečný a také je ruku v ruce s neustálým zlepšováním. Nyní se také vyrábí a sestavují nová měřidla, mikroskopy, které se zabývají spíše již měřením s využitím laserového účinku. Důvodem tohoto zlepšování jsou např. zákazníci, konkurence firem, změny na trzích, nové technologie, rychlost získání dat, apod. Proto je také snahou, aby byla spojena historická technologie, pomocí které dokážeme měřit v setinách, popř. v tisícinách, s moderní technologií s využitím laserového účinku použitého ke kalibraci historického mikroskopu.

Teoretická část nejprve seznamuje s délkovými měřidly, chybami, které mohou nastat, a také zahrnuje normu ISO 230, jež popisuje polohování a kalibrace zařízení s využitím laserové interferometrie.

Praktická část v úvodní části popisuje dílenský mikroskop Carl Zeiss, umístění mikroskopu v okolním prostředí, použitá zařízení k zaznamenání a vyhodnocení dat. Následně je ve stručné formě popsáno seřízení dílenského mikroskopu v obou osách a poté jsou popsány naměřené výsledky pro osu „X“ ve směru „UP“ a ve směru „DOWN“. To stejné je také popsáno pro osu „Y“.

Cílem diplomové práce je určení, v jaké přesnosti mikroskop je schopen pracovat, statistické vyhodnocení, návrhu kalibračního předpisu pro tento mikroskop a závěrečné zhodnocení.



Obr. 1 Mikroskop Carl Zeiss

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DÉLKOVÁ MĚŘIDLA

Měření je velmi důležitým a dnes již nepostradatelným nástrojem, jak dodržet předepsané rozměry ve výkresové dokumentaci. Jedná se o souhrn operací, u kterých je společný cíl, abychom stanovili měřenou veličinu. Současně nám hodnoty měření slouží jako data pro analýzy, kontrolu kvality výrobků, apod. Vědní a technická disciplína, která se zabývá měřením, jednotkami, metodami měření, se nazývá metrologie. V dnešní době se měření zaměřují především na tyto oblasti:

- Vědecký a technický rozvoj
- Řízení výroby a kvality výrobků (v průmyslu strojírenském: délka, úhly, odchylky tvaru, geometrie ozubení, mechanické vlastnosti, průtok, teplota, tlak, vlhkost, apod.)
- Ochrana zdraví a bezpečnosti

Měřicí metody je souhrn logických posloupností obecně popsanych operací, které se používají při daném měření. Na měřicí metodu navazuje měřicí postup, který při daném měření využívá měřicí metody k uskutečnění daného měření.

Měřicí metody můžeme dle měřené veličiny rozdělit na:

- Přímá měřicí metoda – hodnota měřené veličiny je získána přímo, nejsou zapotřebí žádná další měření, které by mohla být funkčně závislá
- Nepřímá měřicí metoda – hodnota měřicí veličiny se získá měřením jiných veličin, které jsou funkčně závislé

Cílem měření je získání potřebné veličiny a tím i také hodnoty, kterou následně použijeme při dalším vyhodnocení, apod.

Výsledek měření v rozdílu se skutečnou hodnotou měření je nazýván v oblasti metrologie absolutní chyba měření, která napovídá, v jaké přesnosti se měření pohybuje. Chyby vznikající měřicími přístroji mohou být způsobeny řadou faktorů. Tyto chyby lze dělit dle místa vzniku nebo příčiny vzniku. [4]

Dle místa vzniku rozdělujeme chyby měření do čtyř základních skupin:

- Instrumentální chyby – jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje a souvisí s jeho přesností

- Metodické chyby – souvisejí s použitou metodikou stanovení výsledků měření, jako je odečítání dat, organizace měření, eliminace vnějších vlivů.
- Teoretické chyby – souvisejí s použitým postupem měření
- Chyby zpracování dat – numerické chyby metody a chyby způsobené užitím nevhodného statistického vyhodnocení. [4]

Dle příčiny vzniku dělíme chyby:

- Náhodné chyby – kolísají při opakování měření náhodně co do velikosti, tak i znaménka, jsou nepředvídatelné a jsou popsány určitým pravděpodobnostním rozdělením. Samotné příčiny vzniku náhodných chyb lze jen s obtížemi odstranit, popř. alespoň omezit. Náhodná chyba je vypočítána odečtením střední hodnoty od výsledku náhodné chyby. Vzhledem ke kolísání a své nepředvídatelnosti se v praxi může jen náhodná chyba odhadnout. [4], [18]
- Systematické chyby – působí na výsledek měření předvídatelným způsobem, bývají funkcí času nebo parametrů měřicího procesu. Snižují nebo zvyšují numerický výsledek všech měření o stejnou velikost. Tato hodnota by vznikla z nekonečného počtu měření, kde je zachována opakovatelnost. [4], [18]
- Hrubé chyby – nazývané jako „vybočující“, resp. odlehlé hodnoty, které jsou způsobeny výjimečnou příčinou nebo např. náhlým selháním měřicí aparatury. [4]

S výsledky měření je také spojen parametr, jenž charakterizuje rozptyl naměřených hodnot, a to nejistota měření. Výsledek měření je kompletní pouze tehdy, když je naměřen s předem známou nejistotou měření. Způsob vyjádření odhadů chyby měření se využívá nejčastěji pravděpodobnostní přístup vyjádřeného hustotou pravděpodobnosti. To zahrnuje systematické složky, jako jsou střední hodnoty chyb a náhodné složky vyjádřené rozptylem.



Obr. 2 Označení mikroskopu Carl Zeiss

1.1 Kalibrace délkových měřidel

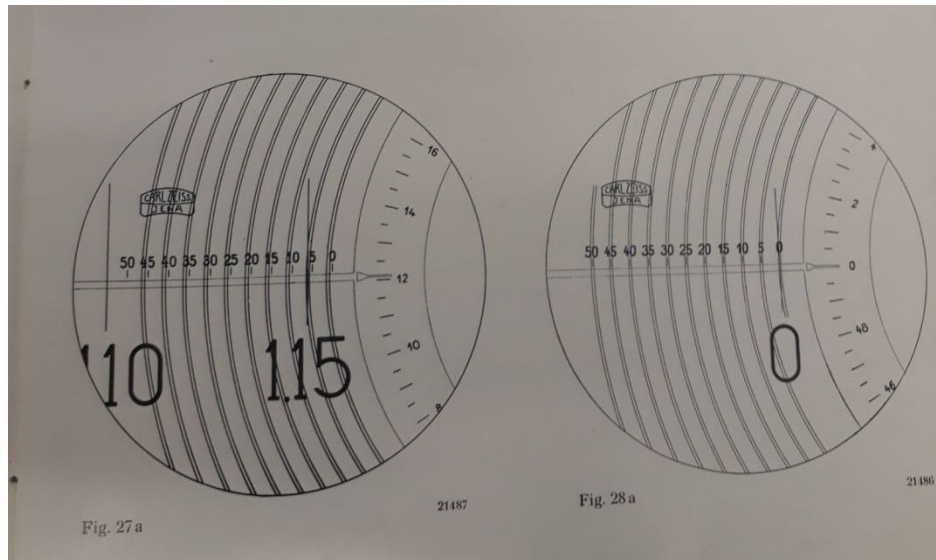
Délková měřidla, taktéž můžeme nazývat jako technické prostředky, pomocí kterých uskutečňujeme měření, řadíme na měřidla, převodníky, pomocné měřicí zařízení, apod.

Každé metrologické měřidlo nebo zařízení je vyznačováno jistými skupinami charakteristik, mezi které patří např. rozsah stupnice, nominální rozsah (stupnice), nominální rozpětí (stupnice), měřicí rozsah (přístroje), rozpětí (přístroje), nominální hodnotu, chybu měřidla, apod. [4]

K dosažení pravdivých údajů je zapotřebí, aby měřicí přístroje byly pro poskytování správných údajů kalibrovány.

- Rozsah stupnice – hodnoty, které jsou ohraničeny krajními údaji a jsou vyznačeny na stupnici.
- Nominální rozsah – je vyjádřen dolní a horní hranicí. Jedná se o rozsah stupnice, který je určen nastavením měřicího přístroje.
- Nominální rozpětí – rozdíl v absolutní hodnotě mezi dolní a horní hranicí nominálního rozsahu.
- Měřicí rozsah přístroje – hodnoty, které zaručuje výrobce měřidla, že chyba měřidla se nachází v určených hranicích.
- Měřicí rozpětí přístroje – rozdíl v absolutní hodnotě mezi dolní a horní hranicí rozsahu.
- Nominální hodnota – hodnota sloužící jako návod k použití měřidla
- Chyba měřidla – v návaznosti na chybu měřidla je v také v terminologii používáno třech dalších charakteristik pro měřicí přístroje, a to:
 - Přesnost měřidla (obsahuje v sobě opakovatelnost a správnost měřidla)
 - Opakovatelnost měřidla
 - Správnost měřidla

Kalibrace měřidla vyznačuje souhrn operací, které mají za úkol určit při definovaných podmínkách vztah mezi hodnotami, které jsou indikovány měřidlem a hodnotami, které jsou stanoveny kalibrovanými etalony. Výsledkem kalibrace dosáhneme jisté korekce měřidla, která slouží k přesnému měření. [4]



Obr. 3 Obraz stupnice dílenského mikroskopu

Měřením jednotlivých hodnot, které získáme kalibrací, je možné získat zaznamenáním také kalibrační křivku, která názorně napoví, kde a v jakých místech je měření méně či více přesné díky odchylce zobrazující se v rozdílu hodnot. Tyto hodnoty jsou získány experimentálně v omezeném množství bodů.

Důvodem kalibrace je snížení chyby a nejistoty měření. Rozdíl mezi naměřenou a pravou hodnotou je nazýván jako chyba absolutní. Při každém měření je zapotřebí počítat s chybou měření, která představuje souhrn hodnot, které se mohou vyskytovat nejenom systematicky, ale také náhodně. Chyby měření mohou mít různé příčiny, a to:

- Chyba přístroje – použití měřicího přístroje není vhodné nebo díly, ze kterých je měřicí přístroj sestaven není vyroben ve stanovených výrobních odchylkách pro jednotlivé díly).
- Chyba instalace – měřidlo není dostatečně zapojeno, ustaveno
- Chyba metody – použitá měřicí metoda není vhodná
- Chyba pozorovací – způsobena chybou pozorovatele
- Chyba výpočtová – vzniká chybným zpracováním naměřených hodnot



Obr. 4 Obrázek stupnice dílenského mikroskopu

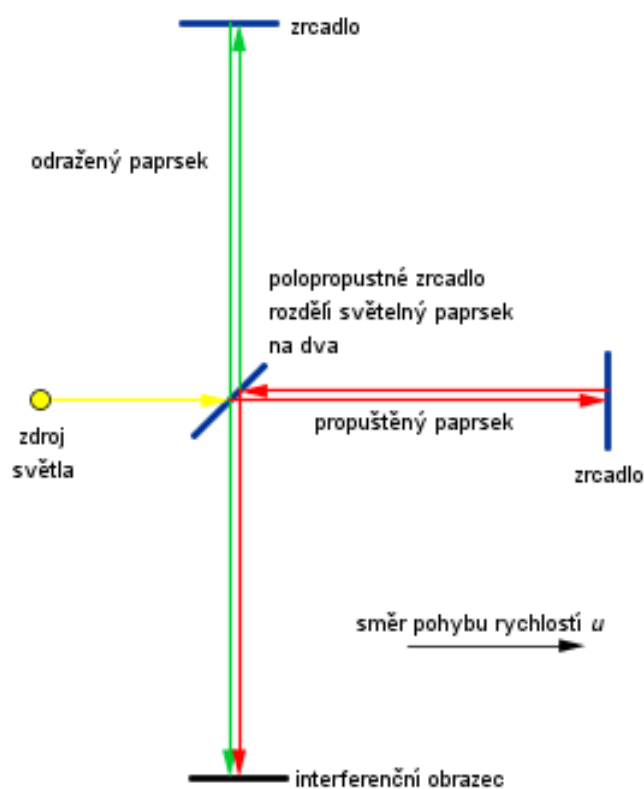
1.2 Kalibrace se zaměřením na ISO 230

Norma ISO 230 zabývající se přesností a opakovatelností obráběcích strojů, dále také specifikuje postupy zkoušení. Zkoušky se zabývají relativním posunutím polohy mezi zařízeními. Hlavním účelem, jakým se samotná norma zabývá, je normalizace metod zkoušení, které jsou použity u strojů a zařízení. Tuto normu je možno rozdělit do několika podskupin, které se samostatně zabývají druhy zkoušení a polohování ve strojírenském oboru. Normy jsou pouze doporučující, jsou obecné a shrnují minimální požadavky v oblasti řízení jakosti s ohledem na požadavky zákazníka. Při splnění jednotlivých požadavků zákazníka nemusí být vždy zajištěna plná spokojenost, nicméně je žádoucí, aby probíhalo neustálé zlepšování, které je nepřetržité. [1] [13]

1.2.1 Laserový interferometr

Interferometry jsou zařízení, které jsou používány na měření délek, ale také měření indexů lomu, apod. První princip tzv. interferenčních komparátorů byly popsány americkým vědcem Albertem Abrahamem Michelsonem (1852 – 1931). Interference je v podstatě koherentní délka, jedná se o jev spojený skládáním (světelných) vln. Je možné také interferenci popsat jako optickou vlnu vyjádřenou pomocí reálné funkce $v(r,t)$, kde r je poloha a t je čas. [1], [13]

Interferometr se skládá ze zdroje světla jedné vlnové délky, což můžeme nazvat také jako monochromatické světlo a tří dalších zrcadel, z nichž první zrcadlo je polopropustné. Nejčastěji se Michelsonův interferometr používá k měření vzdálenosti, rovinnosti, apod. [15]

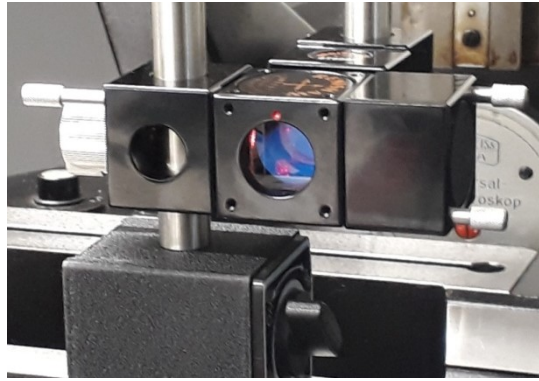


Obr. 5 Michelsonův interferometr [7]

Vyzařující paprsek laserového interferometru dopadající na polopropustné zrcadlo, které dělí paprsek na dvě cesty (větve). První větev je směřována do tzv. referenční větve, kde pomocí odrazu paprsku referenčního zrcadla směr odraženého paprsku putuje do tzv. měřicí větve. Referenční větev obsahuje polopropustné zrcadlo, kdežto měřicí větev pohyblivé zrcadlo. [15]

Druhý paprsek procházející polopropustným zrcadlem putuje k pohyblivému zrcadlu, odkud odrazem se vrací k polopropustnému zrcadlu a následně je zachycen na detektoru, kde se oba paprsky setkávají. Místo, kde je svazek rozdělen na dva paprsky, je možné nazvat jako dělič světelného paprsku, kde se po rozdělení opět tyto paprsky setkávají a detekují na základě frekvence vzdálenost měřicího předmětu.

Pokud rozdíl optických drah v měřicí a referenční větvi je roven celočíselnému násobku vlnové délky, pak následně dojde ke konstruktivní interferenci a na výstupu je možné detekovat maximum intenzity samotné vlnové délky. Pro měření vzdálenosti pomocí interferometru je zapotřebí znát vlnovou délku světelného zdroje (laseru).



Obr. 6 Použití laserového interferometru

Využití laserového interferometru:

- Přesnost polohování lineárních os
- Přímost vedení a příčné vůle
- Přímočarost pojezdů
- Rovinnost
- Kolmost
- Přesnost polohování rotačních os
- Rychlosti, zrychlení pohyblivých dílců

S měřeními se pojí také nejistota měření, kterou může ovlivňovat nečistota optické dráhy mezi laserem a interferometrem, také skutečná teplota měřeného předmětu, apod. [15]

1.2.2 Postup seřízení laserového interferometru dle normy ISO 230

Prvním krokem seřízení je umístění zdroje laserového paprsku, interferometru a nastavitelné zrcadlo na pevný podklad (stůl, apod.). Interferometr by měl být umístěn co nejbližší nastavitelnému zrcadlu, aby byla minimalizována chyba mrtvé dráhy. Výsledky měření by měly být vyhodnoceny a vztaženy k teplotě okolí 20°C. Nejprve je nutné seřízení a nastavení laserového paprsku v co nejbližší poloze a upravení zpětného paprsku. Následně se musí částí stroje nebo samotným strojem posunout do nejvzdálenější polohy, která je možná strojem nebo částí stroje nastavit. Tato poloha se následně zaznamená. Při postupu seřízení i měření by nemělo dojít ke vlivu třetí osy na měřenou dráhu. [12], [13]

Co se týče podmínek zkoušek, je nutné, aby výrobce stroje měl uvedené pokyny, za jakých podmínek stroj dosahuje dané přesnosti. Tím je myšleno např. prostředí (průměrná teplota v místnosti, frekvence odchylek, apod.) Uživatel je následně odpovědný na akceptování podmínek pro provoz a zkoušení stroje či zařízení, pokud uživatel splní předepsané

podmínky, odpovědnost přechází na výrobce stroje či zařízení. Upozornění pro uživatele jsou dle normy uvedeny, že pokud jsou podmínky teploty v místnosti rozdílné od 20°C, může být způsobena nejistota měření či způsobení chyby. Stroje a měřicí prostředky musí být před měřením umístěny na pracovišti s dostatečně dlouhou dobou (přednostně alespoň přes noc), taktéž musí být chráněny před průvanem a vnějším zářením (sluneční paprsky, tepelné zářiče). [12]. [13]

Zkoušený stroj musí splňovat následující podmínky:

- kompletně smontován a funkční
- měření musí být provedeno na nezátíženém stroji, tj. bez obrobku
- polohy saní, popř. pohyblivých součástí, ve kterých se měří, musí být uvedeny ve zkušebním protokolu

Samotný průběh nebo program zkoušky musí být nastaven tak, aby se nastavená část pohybovala podle nebo podél osy do řady zadaných poloh, ve kterých zůstane dostatečně dlouho, aby mohla být dosažena skutečná poloha a následně mohla být zaznamenána. Z toho důvodu je velmi důležité uspořádání měření a měřicího přístroje, aby relativní pohyb mezi součástí nesoucí nástroj a součástí nesoucí obrobek ve směru pohybu měřené osy byl popsán co nejpřesněji. K již zmíněnému měření se používají jako měřicí přístroje pro stanovení chyby nastavené polohy a opakovatelnosti lineárních os tzv. laserové interferometry, kde u zkoušek do 2000 mm v lineárních osách u strojů musí být zvoleno minimálně pět zadaných poloh na metr. [13]

Postup měření a analýza dat – součást stroje, jejíž pohyb je zkoušen, musí být polohován do série cílových poloh přes celou dráhu, která je předmětem zkoušky. Měřený interval nesmí být větší než 25 mm osy délek 250 mm nebo méně.

Zkoušky chyby pohybu lineárního polohování – měřicí přístroj posunutí musí být nastaven tak, aby měřil vzdálenost posuvu zkoušené součásti stroje, měřidla (saní). Saně musí být do každé cílové polohy umístěny ručně nebo numerickým řízením. Každá hodnota je zaznamenávána a rozdíl mezi hodnotou cílové polohy a měřenou hodnotou je vypočten jako odchylka lineárního polohování.

Laserový interferometr – pro měření chyby pohybu lineárního polohování laserovým interferometrem, jsou použity dva díly optiky. První díl je retroreflektor (koutový odrazeč) a druhý díl je interferometr. Jeden z těchto dvou dílů je namontován na upínání nástroje a druhý je namontován na upínání obrobku. Laserový paprsek, který je vyzařovaný z lasero-

vé hlavy, musí být co možná nejvíce rovnoběžný s lineárním pohybem, poněvadž by jeho nesprávné nastavení mohlo způsobit Cosinovu chybu. Všechny části optiky musí být pevně uchyceny k jednotlivým součástem stroje k eliminování vibrací a odchylek. [1]

1.2.3 Využití laserové interferometrie

Význam laserové interferometrie je využíván proto, že přemístěním pohyblivého zrcadla interferuje koherentní světlo, které je vyzařováno ze zdroje světla. Vzhledem ke změně polohy pohyblivého zrcadla, se mění také i frekvence záření (odraženého paprsku). Pro šíření nastavené vlnové délky laseru je velmi důležitý index lomu vzduchu, kterým paprsek musí procházet. [18]

Index lomu vzduchu je závislý především na vnějším okolním prostředí, a to především na okolní teplotě, tlaku a relativní vlhkosti okolního prostředí. Vliv prostředí na vlnovou délku závisí na frekvenci a rychlosti paprsku, který je vyzařován ze zdroje záření. Vlnové délky jsou známy pro vakuum – frekvence laserového záření, měření však probíhá většinou na vzduchu, kde se světlo šíří pomaleji, a proto je nutné určit poměr rychlosti světelného záření ve vakuu a v jiném prostředí. Tento poměr udává index lomu tohoto prostředí n . Vlnová délka je definována:

$$\lambda = c/f \quad (1)$$

λ - vlnová délka laserového paprsku

c - fázová rychlost světla v daném prostředí

f - frekvence vlnové délky

Pak:

$$c = c_o/n \quad (2)$$

c_o - rychlost světla ve vakuu

n - index lomu vzduchu

Tedy:

$$\lambda = \frac{c_o}{nf} \quad (3)$$

Znamená, že vlnová délka světla s danou frekvencí je nepřímo úměrná indexu lomu prostředí. Index lomu daného prostředí lze stanovit dvěma metodami, a to přímou metodou, což je optické srovnání dráhy ve vzduchu a ve vakuu a následně se index lomu získá ze

záznamu průběhu interferenčního signálu nebo nepřímou metodou, která je založena na výpočtu hodnoty indexu lomu z jiných veličin, kterými jsou teplota, tlak, vlhkost vzduchu, koncentrace plynu (oxid uhličitý). Druhá zmíněná metoda je jednodušší na komponenty, nicméně není tak přesná. Kompenzace indexu lomu vzduchu je možné provést přidáním kompenzační jednotkou, měřením v laboratořích s definovaným prostředím. Kompenzace nejvíce eliminuje tlak v okolním prostředí. [18]

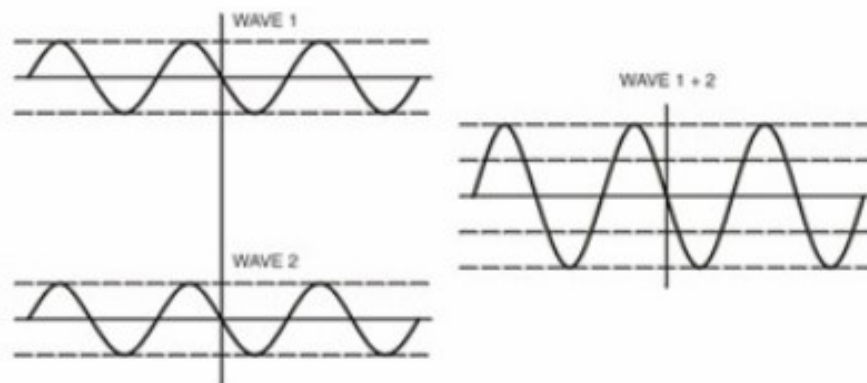
Interferenci smíme popsat dvěma extrémními případy, a tedy je rozdělujeme na tzv. dvě skupiny, a to na konstruktivní interferenci a destruktivní interferenci.

Konstruktivní interference se liší od destruktivní tím, že šíření vlny je intenzivnější.

$$g_1 - g_2 = k \lambda \quad (4)$$

k - 0,1,2,...,n

$g_1 - g_2$ - fázový rozdíl mezi vlnami 1 a 2. Fázový rozdíl vln je roven sudému násobku π .



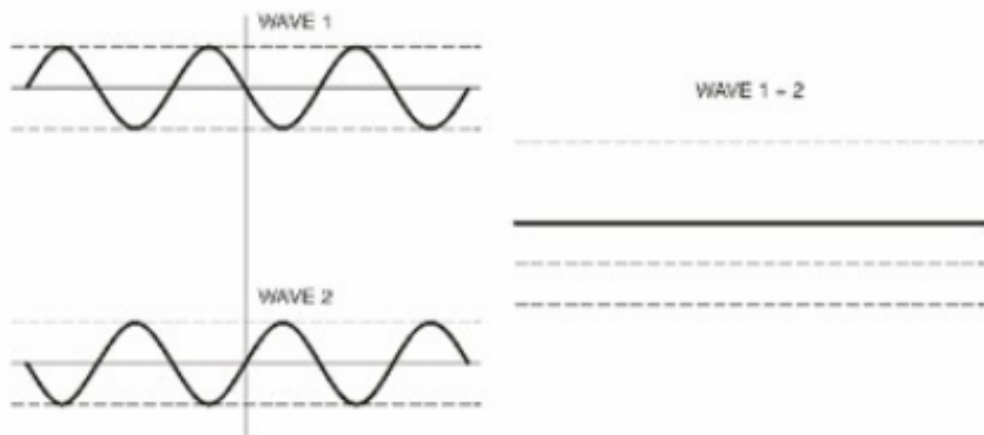
Obr. 7 Konstruktivní interference [15]

U destruktivní interferenci je možné, abychom ji mohli nazvat jako tlumenou.

$$g_1 - g_2 = \frac{(2k+1)\lambda}{2} \quad (5)$$

k - 0,1,2,...,n

$g_1 - g_2$ - fázový rozdíl mezi vlnami 1 a 2. Fázový rozdíl vln je roven lichému násobku π .

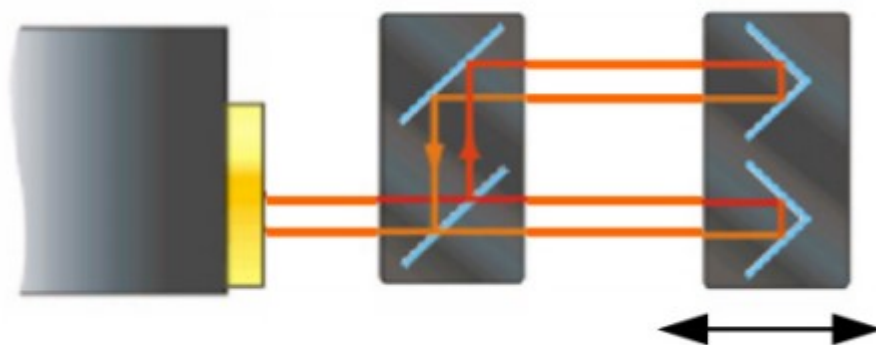


Obr. 8 Destruktivní interference [15]

Nejistota během měření může být také způsobena znečištěním optické cesty mezi zdrojem laserového paprsku, stacionárním a kinematickým odražečem a interferometrem. Z toho důvodu je nutné používat kompenzovat index lomu vzduchu. Lineární měření pomocí laserového interferometru můžeme rozdělit na dva různé druhy polohování jednotlivých odražečů, a to na kinematický lineární dělič a stacionární odražeč, nebo naopak.

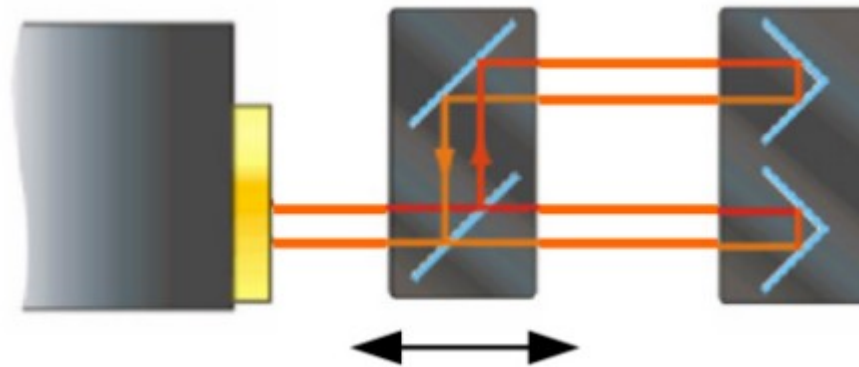
Popis možnosti poloh:

- a) Stacionární lineární dělič a kinematický odražeč



Obr. 9 Stacionární lineární dělič a kinematický odražeč [15]

- b) Kinematický lineární dělič a stacionární odražeč



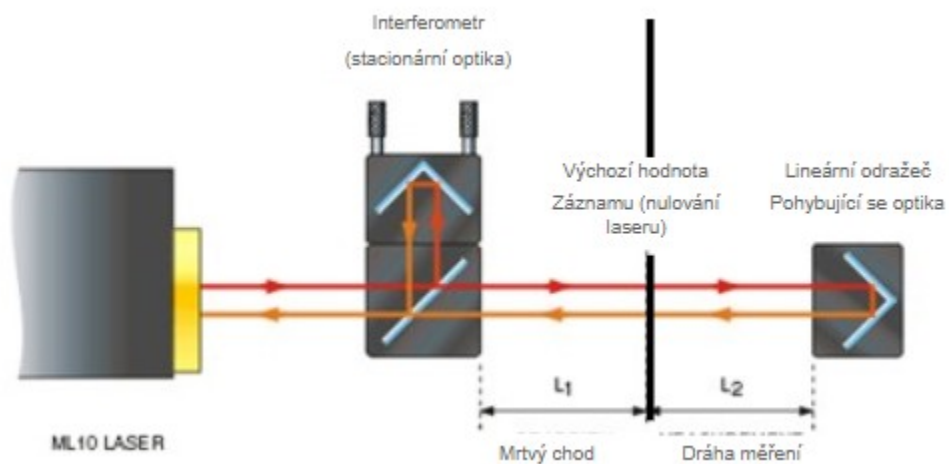
Obr. 10 Kinematický lineární dělič a stacionární odražeč [15]

1.2.4 Chyby vznikající při nastavení laserového interferometru

V případě nesprávného nastavení, popř. seřizování mohou vzniknout nejčastěji tři druhy chyby, a to:

a) Chyba mrtvou drahou

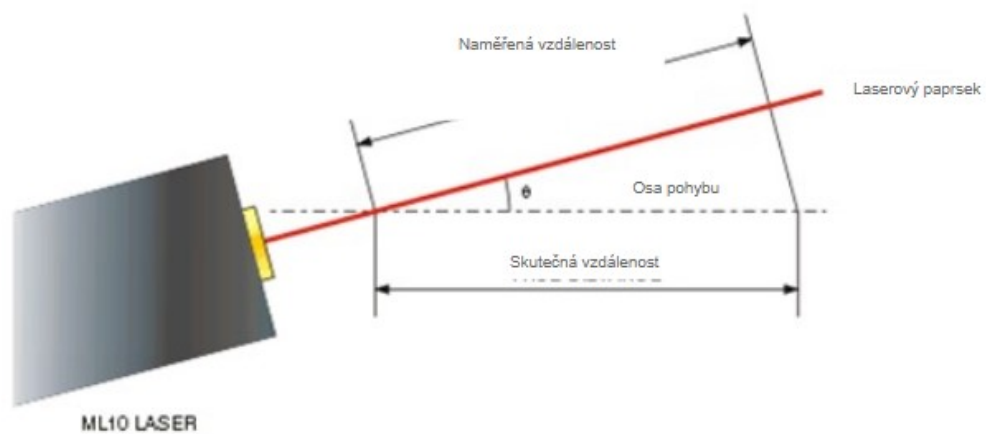
- Je spojená se změnou prostředí během měření
- V případě, že žádná změna prostředí nevznikne, můžeme považovat tuto chybu za nevýznamnou
- Tato chyba se odvíjí od vzdálenosti mezi optickými prvky [1]



Obr. 11 Mrtvá dráha a měřená dráha [15]

b) Cosinova chyba

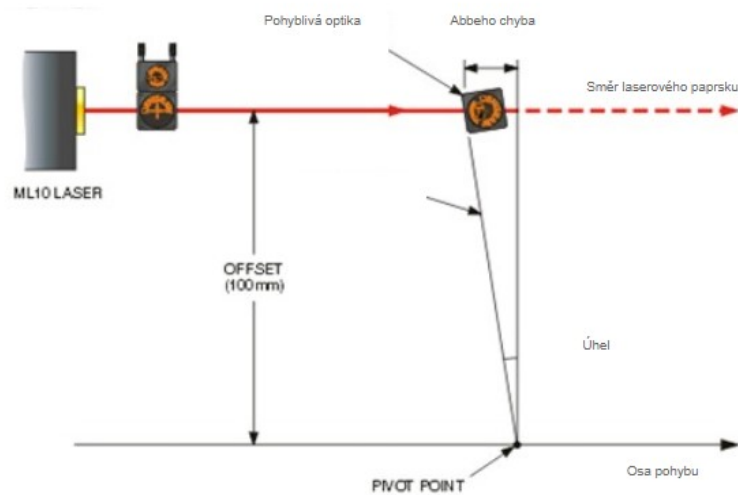
- Vzniká v případě, když není laserový paprsek paralelní s osou měřeného stroje nebo zařízení, to může být způsobeno především chybným nastavením optické cesty
- Chyba je označována jako Cosinova proto, že velikost chyby je závislá na velikosti úhlu mezi osou stroje a laserovým strojem (zařízením).
- Opatření k minimalizaci vzniku Cosinovy chyby je správné seřízení laserového paprsku podle osy stroje [1]



Obr. 12 Cosinova chyba [15]

c) Abbeho chyba

- Část nebo díl, který při měření vlivem úhlových pohybů způsobí natočení pohyblivého odražeče.
- Čím větší je natočení pohyblivého odražeče, tím větší je vzdálenost mezi osou stroje a osou měřicího paprsku, a to je nazýváno Abbeho odsazení.
- Minimalizace vzniku Abbeho chyby lze předejít správným nastavením optické cesty laserového interferometru v závislosti na osu měřicího stroje nebo zařízení. [1]



Obr. 13 Nedodržení Abbeho principu [15]

2 ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ METODY

2.1 Vhodné statistické metody pro vyhodnocení kalibrace

Mezi vhodné statistické metody, které jsou nejvhodnější pro posouzení kalibrace daného zařízení, jsou:

- Aritmetický průměr
- Směrodatná odchylka
- Box plotové grafy a jejich parametry
- Kvantily
- Konfidenční intervaly
- Normální rozdělení
- Normální normované rozdělení
- Lineární regresní analýza

Využitím výše uvedených statistických druhů metod pro zpracování výsledků je možné velmi názorně získat v grafické podobě vlastnosti chování vyhodnocujícího zařízení nebo stroje. [11]

2.1.1 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr patří mezi nejpoužívanější zobrazení momentální míry polohy daného souboru, představuje průměrnou nebo typickou hodnotu výběrového souboru a charakterizuje tak centrální tendenci dat. Jako střední hodnotu, resp. skutečný střed popisuje průměr μ základního souboru, avšak aritmetický průměr obvykle vymezuje průměr výběrového souboru. [6], [11], [15]

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (6)$$

Základní soubor je soubor všech prvků, u nichž se sledovaný znak může vyskytovat. Obsahuje také teoreticky všechny hodnoty, které jsou sledovány. Počet členů zastoupených v základním souboru označujeme N . Tento počet členů (prvků) N se může lišit, poněvadž může být konečný a nekonečný.

Konečný počet prvků N – oblast sledování je přesně vymezena, tzn. počet členů N je přesně stanoven. Nekonečný počet prvků N – oblast sledování není přesně definována, tzn. počet členů N je proměnlivý a nelze jej přesně určit.

Výběrový soubor je soubor určitého konečného počtu n jedinců vybraného ze základního souboru, u něhož je provedeno praktické sledování zkoumané vlastnosti. Výběrový soubor reprezentuje základní soubor vlastnostmi, které byly zkoumány pro výběrový soubor. Pvký (hodnoty) ve výběrovém souboru jsou vybrány nezávisle, aby měly prvky stejnou možnost být obsaženy ve výběrovém souboru. Náhodnost výběru je vždy ovlivněna určitou chybou při vybírání reprezentativních vzorků. Je označován \bar{x} , který je maximálně věrohodný odhadem střední hodnoty normálního rozdělení. Z n prvků výběru $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ se vypočte aritmetický průměr \bar{x} dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}; \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

x_i - jednotlivé hodnoty proměnné

n - rozsah výběrového souboru (počet hodnot proměnné)

Průměr se stanovuje ze všech hodnot proměnné, to znamená, že zahrnuje maximum informací o výběrovém souboru. Také může obsahovat tzv. odlehlé hodnoty, které se liší od ostatních hodnot, a proto mohou výrazně odchýlit průměr, což způsobí milné reprezentování výběrového souboru.

Vlastnosti aritmetického průměru:

- a) Součet všech odchylek hodnot proměnné od jejich aritmetického průměru je roven nule, to znamená, že aritmetický průměr kompenzuje vliv náhodných chyb na proměnnou. [6], [11], [15]

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0 \quad (8)$$

- b) Přičteme – li ke všem hodnotám proměnné stejné číslo, toto číslo zvětší aritmetický průměr

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i * \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n (a+x_i)}{n} = a + \bar{x} \quad (9)$$

- c) Vynásobíme – li všechny hodnoty proměnné stejným číslem, zvětší se stejným způsobem aritmetický průměr. [6], [11], [15]

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i * \frac{1}{n} \Rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n (b * x_i)}{n} = b \bar{x} \quad (10)$$

2.1.2 Směrodatná odchylka

Je definována jako kladná odmocnina výběrového rozptylu. Neumožňuje společně s výběrovým rozptylem porovnávat variabilitu proměnných v různých jednotkách. Na tomto základě je zapotřebí použít tzv. variační koeficient, který vyjadřuje relativní míru variability proměnné. Výhodou směrodatné odchylky je, že je uvedena ve stejných jednotkách jako zkoumaný výběr.

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (11)$$

Variační koeficient V_x – bezrozměrná veličina, je udáván v %

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}} * 100 [\%] \quad (12)$$

Vlastnosti variačního koeficientu:

- Relativní míra variability, není ovlivněn absolutními hodnotami
- Udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru
- Přičte – li se (odečte – li) ke všem hodnotám libovolná kladná konstanta a , pak se V_x zmenší (zvětší):

$$V(x + a) = \frac{\sigma}{\bar{x} + a} < \frac{\sigma}{\bar{x}} = V; \quad V(x - a) = \frac{\sigma}{\bar{x} - a} > \frac{\sigma}{\bar{x}} = V \quad (13)$$

Násobí – li (dělí – li) se všechny hodnoty proměnné x nenulovou konstantou g , pak se variační koeficient nezmění:

$$V(g * x) = \frac{g * \sigma}{g * \bar{x}} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (14)$$

Výběrový rozptyl s^2 – nejrozšířenější mírou variability výběrového souboru. Je dán podílem součtu kvadrátů jednotlivých hodnot od průměru a rozsahu souboru sníženého o jedničku.

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

V situacích, se kterými se setkáváme v praxi, není parametr střední hodnoty μ znám a nahrazuje se aritmetickým průměrem $\mu = \bar{x}$. Výběrový rozptyl se užívá jako nevychýlený odhad.

$$s^2 = \frac{n}{n+1} \sigma^2 \quad (16)$$

Z praktického hlediska je určitou nevýhodou, že výběrový rozptyl je vyjádřen ve čtvercích užitých jednotky, proto se za míru rozptýlení označuje druhá odmocnina rozptylu, což je směrodatná odchylka. [6], [11], [15]

Rozptyl lze popsat také jako míru rozptýlení, která měří současně rozptýlení všech prvků kolem střední hodnoty

Vlastnosti výběrového rozptylu:

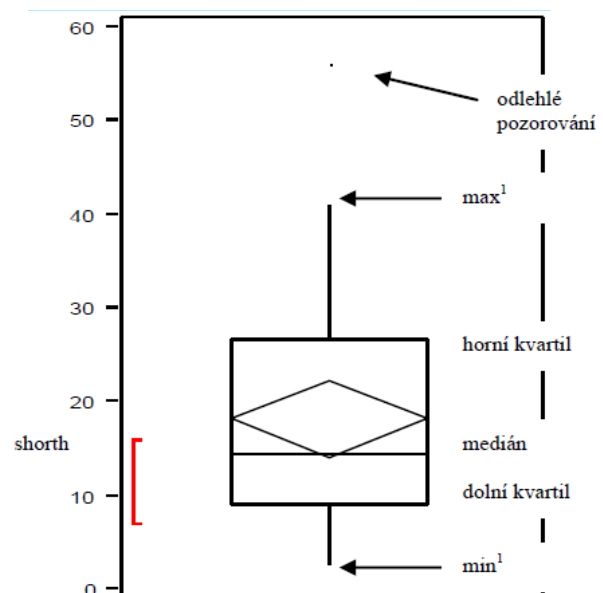
- Jsou – li všechny hodnoty proměnné stejné, má soubor nulovou rozptýlenost
- Přičteme – li ke všem hodnotám proměnné libovolnou konstantu, výběrový rozptyl se nezmění
- Vynásobíme – li všechny hodnoty proměnné libovolnou konstantou, výběrový rozptyl proměnné se zvětší kvadrátem této konstanty

2.1.3 Box plotové grafy a jejich parametry

Vyjadřují symetrii vnitřních dat a je tak získán přehled o středu a rozptýlenosti proměnné. Jsou charakterizovány svými parametry, a to dolním kvantilem, mediánem a horním kvantilem, popř. decily a percentily. [6], [11], [15]

Dolní kvartil - $x_{0,25} = 25\%$ - ní kvantil, datový soubor je rozdělen tak, že 25 % hodnot je menších než tento kvantil a 75 % hodnot je stejných, nebo větších.

Medián - $x_{0,5} = 50\%$ - ní kvantil, datový soubor je rozdělen na polovinu, tzn. 50 % hodnot je menších než medián a 50 % hodnot je větších než medián. Patří mezi kvantilové odhady, které jsou robustní, tj. necitlivé na odlehlé hodnoty.



Obr. 14 Box plotový graf [15]

Horní kvartil - $x_{0,75} = 75$ % kvantil, datový soubor rozděljuje tak, že 75 % hodnot je menších než tento kvantil a ostatních 25 % hodnot je větších.

Obdobně jsou definovány decily, které dělí výběrový soubor na 10 stejně odsazených částí, ve kterých je stejná relativní četnost a percentily, které dělí výběr na 100 stejně odsazených částí. [6], [11], [15]

Kvantily – slouží k podrobnějšímu vyjádření hodnot proměnné v rámci souboru, bývají také nazývány výběrovými, což jsou statistiky, které charakterizují polohu hodnot v rámci proměnné. Výběrový kvantil α je hodnota, která rozděljuje výběr prvků na dvě části:

- První část obsahuje α % hodnot, které jsou menší nebo stejné než tento kvantil
- Druhá část obsahuje $1 - \alpha$ % hodnot, které jsou větší nebo stejné než tento kvantil

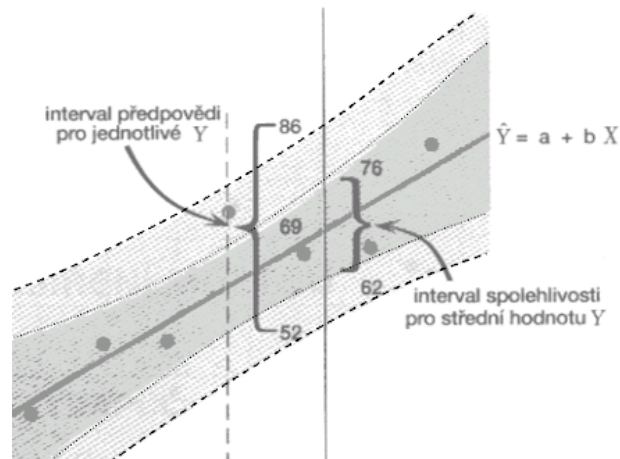
Pro určení daného kvantilu je nutné výběr uspořádat tak od nejmenší k největší. Kvantil proměnné x , který odděluje 100 % menších hodnot od zbytku souboru, tj. $(1 - p)$ %, nazýváme 100 % - ním kvantilem. [6], [11], [15]

2.1.4 Konfidenční intervaly

Jsou odhady parametrů, kdy je snahou určit parametry základního souboru, jedná se o typ výběrové charakteristiky. Konfidenční interval je parametr, který je aproximován intervalem, v němž leží daný parametr s danou pravděpodobností. Tato pravděpodobnost se nazývá spolehlivost odhadu a je označována $(1 - \alpha)$. Konfidenční intervaly mohou být jednostranné a oboustranné. [15]

- znak α – tzv. hladina významnosti

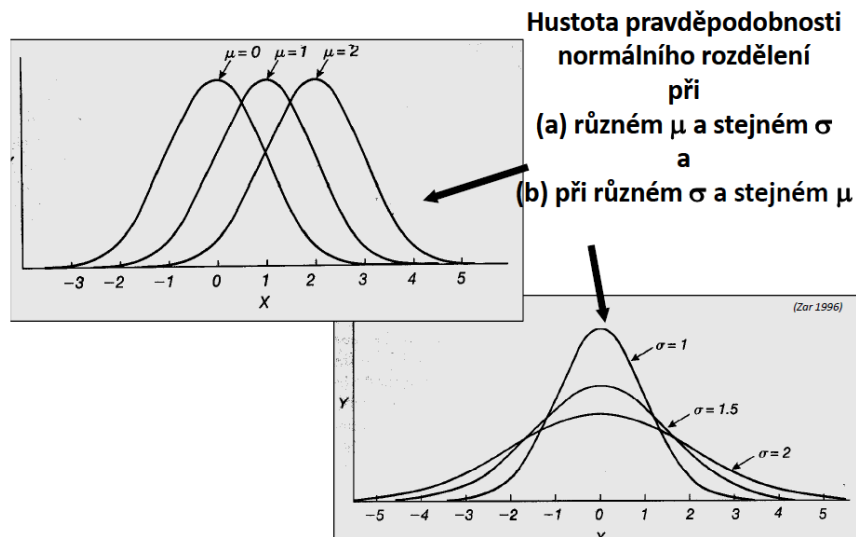
Při statistickém zpracování výsledků se předpokládá normální rozdělení souboru, tzn. že je možno vypočítat určitý interval s danou pravděpodobností, avšak je zapotřebí znát parametry μ a σ . Konfidenční interval je spojen s konfidenční úrovní, což je test pravděpodobnosti, že interval pokrývá průměr souboru, tato úroveň se zpravidla pohybuje mezi 95 % až 99 %.



Obr. 15 Konfidenční interval pro střední hodnotu [15]

2.1.5 Normální rozdělení

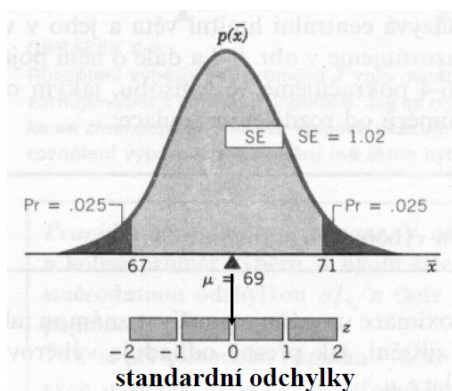
Je rozdělení spojité proměnné na intervalové a poměrné stupnici. Bývá označováno také jako Gaussovo rozdělení a je označováno $N(\mu, \sigma^2)$. Hustota pravděpodobnosti má zvonovitý tvar a je symetrická. Funkce obsahuje dva parametry μ a σ^2 a také dvě konstanty e a π . [6], [15], [17]



Obr. 16 Normální rozdělení [17]

Slouží k určení, s jakou pravděpodobností se vyskytuje nebo je obsažen v normálním rozdělení hledaný interval hodnot. Je prováděn dvěma způsoby. První způsob je integrováním nebo standardizováním – transformací.

Proměnná x při normálním rozdělení má parametry x (μ, σ^2) a po transformaci má proměnná parametry z (0,1), což je standardizované normální rozdělení.



Obr. 17 Normální normované rozdělení [17]

2.1.6 Regresní analýza

Uživateli napovídá a podává informaci o tom, o jaký typ a jakou závislost jde. Závislost může být dvojího druhu, a to funkční nebo statistická (stochastická).

- a) Funkční závislost – hodnota jednoho znaku odpovídá hodnotě druhého znaku

$$y = f(x) \quad (17)$$

- b) Statistická závislost – v praxi častější než funkční závislost, dané hodnotě daného znaku odpovídá několik hodnot druhého znaku, např. závislost poruchovosti stojů na jejich stáří. Statistickou závislost můžeme rozdělit na jednoduchou a vícenásobnou. Jednoduchá závislost je pouze mezi veličina X a Y . Vícenásobná závislost popisuje, že jedné hodnotě Y odpovídá několik hodnot X_i .

Důvodem provádění regresní analýzy je nejenom kvantitativní popis mezi proměnnými, ale také za předpokladu znalosti regresní funkce umožňuje provádět regresní odhady, které mohou ušetřit např. finanční prostředky. [15]

Lineární regresní analýza – představuje vztah dvou náhodných veličin, ve většině případů je předem určená závisle proměnná (vysvětlovaná) a nezávisle proměnná (vysvětlující proměnná). Závislost y na x vyjadřujeme přímkou. Základní model regresní závislosti:

$$y = f(x_i) + e_i \quad (18)$$

$f(x)$ - regresní funkce

e_i - náhodná (reziduální) odchylka i -tého pozorování veličiny (náhodná chyba)

Předpokladem jsou nezávisle náhodné veličiny, které mají normální rozdělení s nulovou střední hodnotou a s rozptylem s (náhodné chyby e_i mají rozdělení $N(0,s)$).

Lineární regresní funkce je charakterizována regresní přímkou, která má tvar:

$$f(x) = \alpha + \beta x \quad (19)$$

β - teoretický koeficient, který udává směrnici přímky, charakterizuje průměrnou změnu závisle proměnné o jednu její jednotku. Kladný koeficient způsobuje růst hodnot nezávisle proměnné x a v průměru také k růstu závisle proměnné y . Tuto závislost nazýváme jako pozitivní.

Záporný koeficient způsobuje pokles hodnot, tato závislost je nazývána negativní.

α - absolutní člen, průsečík s osou y , leží vždy na přímce [15]

Předpoklady lineární regrese:

- Homogenní rozptyl – všechna y mají stejnou rozptýlenost
- Linearita – střední hodnota y_i leží na regresní přímce
- Nezávislost
- Proměnná x je měřena bez chyby

V oblasti lineární regresní přímky se nachází konfidencí a predikční intervaly. Konfidencí intervaly jsou intervaly spolehlivosti pro střední hodnotu y_i při daném x_i . Predikční interval je interval předpovědi pro individuální hodnoty y_i při daném x_i .

Pro zobrazení reziduální odchylky je využíváno metody nejmenších čtverců. Jako příklad je zde uveden tento soubor bodů pro přímku:

$$y = ax + b \quad (20)$$

Výpočtem a dosazením získáme soustavu dvou lineární rovnic o dvou neznámých, kde po dosazení z jedné rovnice do druhé získáme koeficienty a, b . [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 MIKROSKOP CARL ZEISS

Stav mikroskopu, v jakém se nacházel při zakoupení do vlastnictví univerzity, je možné nazvat „šrot nebo vrak“, který byl zachráněn před likvidací. Cena uhrazená za mikroskop byla pouze za váhu ceny litiny. Tato diplomová práce popisuje kalibraci po jeho repasi, která probíhala více než rok. Tato repase byla cíleně prováděna nejenom za účelem, aby byl mikroskop vystaven, ale také za účelem měření. Nicméně stav, v jakém byl mikroskop vykoupěn ze šrotiště, neumožňoval dosahování pravdivých výsledků měření. Některé díly byly z části uvolněny a nenacházely se již na dané pozici, o to víc bylo náročnější sestavení a nastavení vůlí loží v jednotlivých směrech. Naštěstí předchozí majitel předtím, než mikroskop poslal k likvidaci, uvolnil šrouby, které mají vliv na vůle loží, tím pak nedošlo k jejich poškození a umožnil tak novému majiteli seřízení.

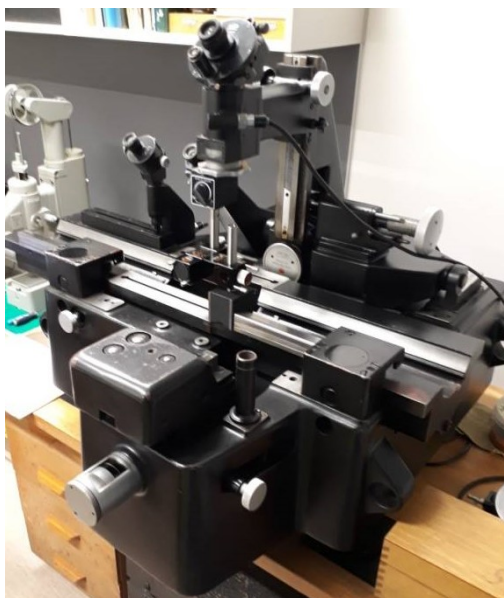
Na tomto základě je cílem diplomové práce provést kalibraci tohoto mikroskopu s cílem zjistit, jestli bude možné ještě někdy v budoucnu provádět různá měření, popř. jestli bude sloužit pouze jako exemplář. Pokud toto měření bude možné, je důležité informovat uživatele, s jakou přesností bude mikroskop měřit a s jak vychýlením musí uživatel počítat. Vzhledem k tomu, že nebyly dochovány žádné kalibrační předpisy a jiné dokumenty, je nutné pro tento mikroskop kalibrační předpis vytvořit.



Obr. 18 Mikroskop Carl Zeiss po repasi

3.1 Základní vlastnosti

Mikroskop Carl Zeiss má, co týče stáří, více než 70 let a vzhledem k tomuto věku a manipulaci předchozího majitele nebyly dochovány dokumenty, které by popsaly základní vlastnosti mikroskopu. S předpokladem lze popsat viditelné znaky, jako jsou materiál, a to že kostra mikroskopu je vyrobena z litiny. Mikroskop je schopen měřit ve dvou osách, v ose X a v ose Y. Na mikroskopu jsou viditelná místa, kde docházelo pravděpodobně k nejčastějšímu používání uživatelem, to může mít za následek ovlivnění výsledků a zvýšení nepřesnosti měření v daných místech. Hmotnost mikroskopu je přibližně 500 kg a ke kalibraci vyžaduje umístění do prostor, kde nebudou mít vliv jakékoliv rázové změny nejbližšího okolí.

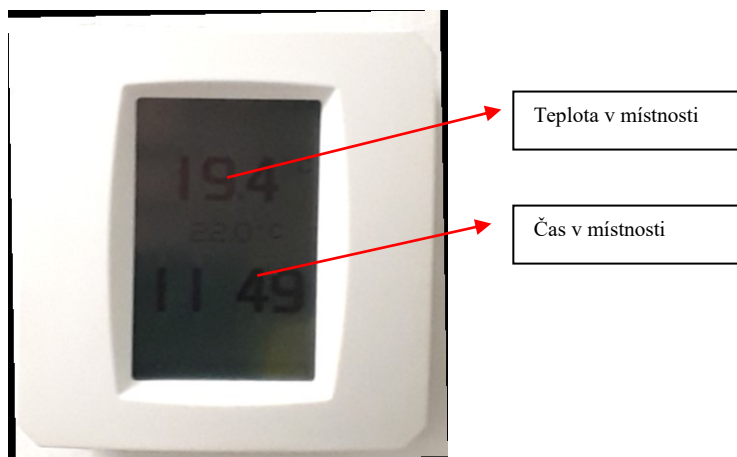


Obr. 19 Mikroskop Carl Zeiss s měřicí a referenční větví

Okolní prostředí v místnosti disponuje stálou teplotou 19,4°C, poněvadž je klimatizována, místnost je také zatemněna, aby skrze okna neproudily sluneční paprsky a nezvýšily tak teplotu v místnosti. Díky magnetickým vlastnostem bylo možné umístění jednotlivých komponentů laserového interferometru k nastavení zrcadel a tím optické cesty pro měření.

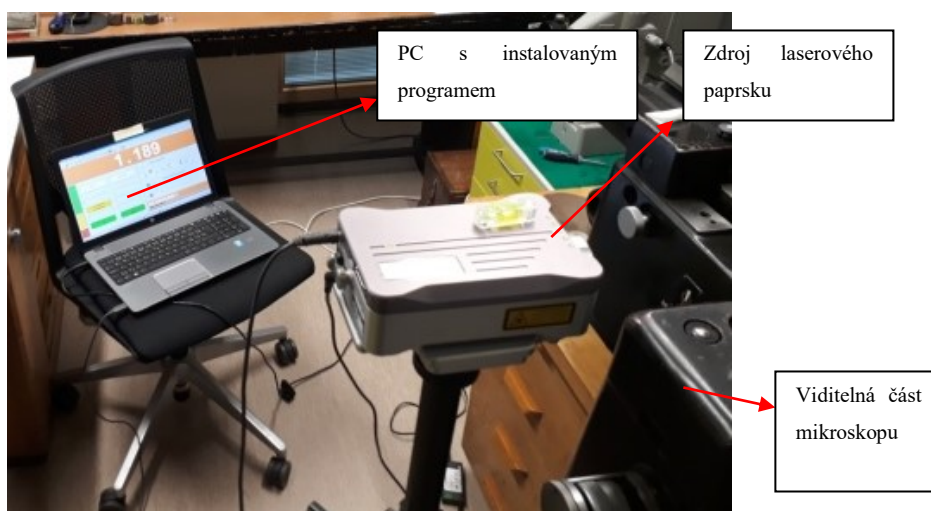
3.2 Přizpůsobení pro kalibraci

Mikroskop Carl Zeiss byl kalibrován za konstantních podmínek, které byly uvnitř místnosti, kde je mikroskop umístěn. Pracoviště pro kalibraci bylo přizpůsobeno podmínkám, aby vliv prostředí měl co nejmenší vliv na měřené hodnoty, tzn. na index lomu vzduchu při použití laserového interferometru.



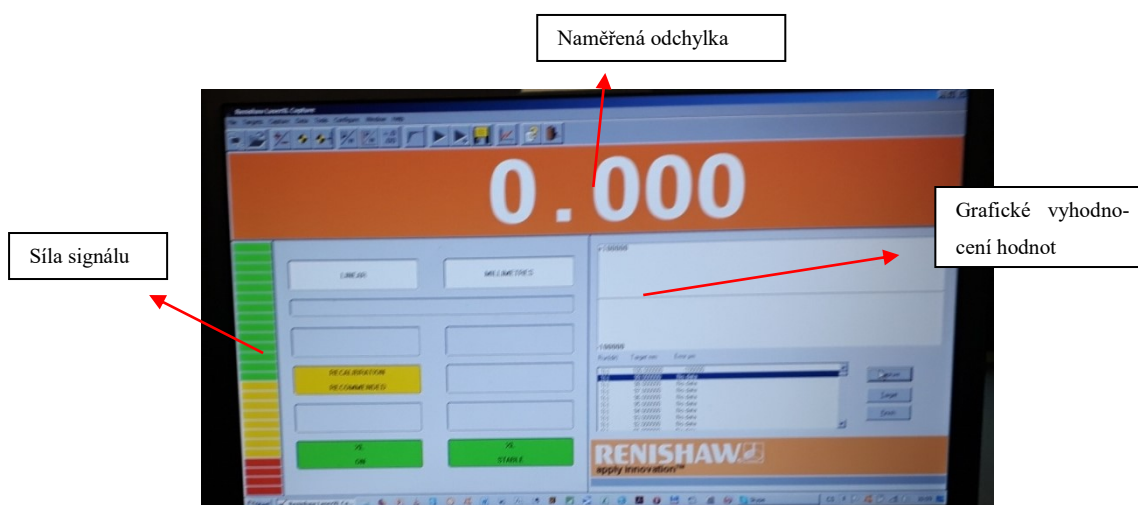
Obr. 20 Záznam teploty a času při kalibraci mikroskopu

Celkové pracoviště bylo složeno ze samotného mikroskopu Carl Zeiss, dále laserového interferometru Renishaw a notebooku, ve kterém byl spuštěn program k záznamům jednotlivých hodnot z daného měření.

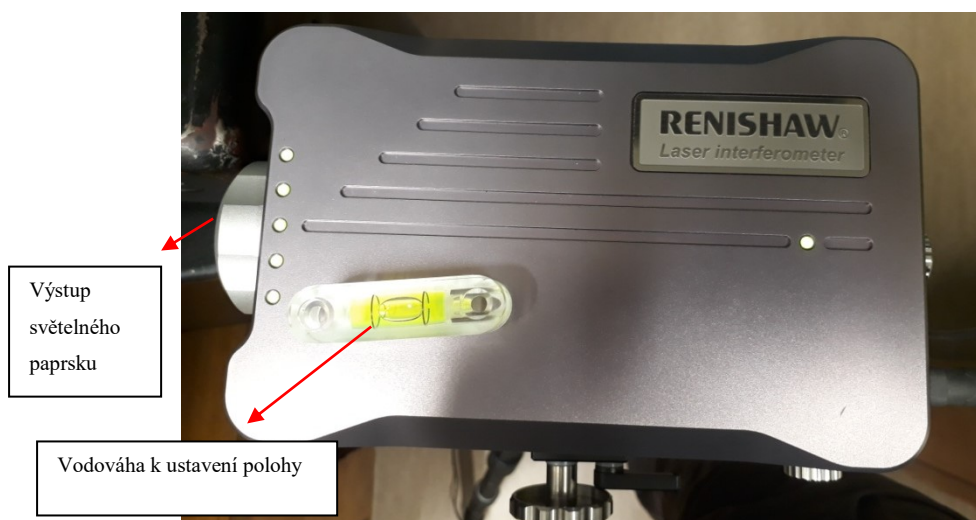


Obr. 21 Uspořádání pracoviště při měření

Hodnoty byly zaznamenávány do programu, který byl nainstalován do PC. Na levé části obrazovky počítače je zobrazena síla signálu připojení mezi programem a zdrojem laserového paprsku. Následně se v oranžové oblasti zobrazuje chyba, resp. odchylka (vychýlení), která byla naměřena mezi nastavenou hodnotou a hodnotou podobnou, kterou nastavil uživatel. V bílé oblasti jsou zobrazovány grafy naměřených hodnot jdoucích za sebou, ze kterého lze vyčíst rostoucí vychýlení.



Obr. 22 Spuštěný program pro zaznamenávání naměřených hodnot v PC



Obr. 23 Laserový interferometr Renishaw

Popis sestavy laserového interferometru:

- Laser XL – 80 - vytváří stabilní laserový svazek s přesností $\pm 5 \mu\text{m/m}$ při okolním prostředí s teplotou v rozmezí od 0°C do 40°C a tlaku 650 mbar – 1150 mbar. [18]



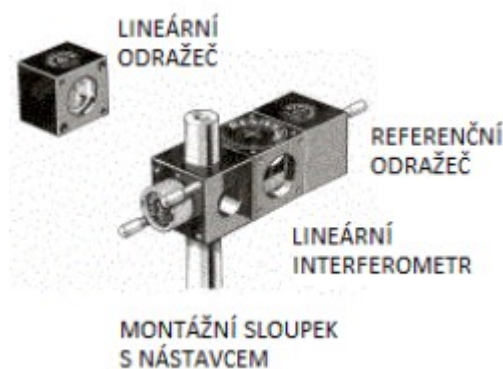
Obr. 24 Laser XL – 80 [18]

- Kompenzační jednotka XC - 80 – upravuje vlnovou délku laseru tak, aby byla chyba eliminována chyba měření způsobená změnou podmínek měření okolního prostředí



Obr. 25 Kompenzační jednotka XC – 80 [18]

- Měřicí optika



Obr. 26 Měřicí optika [18]

- Stativ a přepravní obal



Obr. 27 Stativ a přepravní set laserového zařízení [18]

3.2.1 Kalibrace v osách X a Y

V první části kalibrace mikroskopu byly nejdříve změřeny hodnoty v ose X a následně v ose Y. Vzdálenost, která byla v jednotlivých osách měřena a zaznamenávána, byla odlišná, nicméně samotná opakovatelnost měření byla v obou směrech zachována.

V ose X i Y byl zvolen směr UP a DOWN. Samotný postup kalibrace probíhal měřením ve směru UP a následně byla zaznamenávána data ve směru DOWN. Můžeme jedno měření v obou směrech nazvat jako jeden cyklus. Počet cyklů se celkem opakoval čtyřikrát, a to v každé ose. Vzhledem k výsledkům z prvního cyklu v ose **X** i v ose **Y** docházelo k chybám, které byly způsobeny lidským faktorem, pro vyhodnocení kalibrace jsou zde uvedeny hodnoty tří cyklů v obou osách. Bylo celkem zaznamenáno v ose X 1200 hodnot, a to 600 hodnot ve směru UP a 600 hodnot ve směru DOWN. U osy Y se jednalo o celkem 800 hodnot, a to 400 hodnot ve směru UP a stejné množství ve směru DOWN.

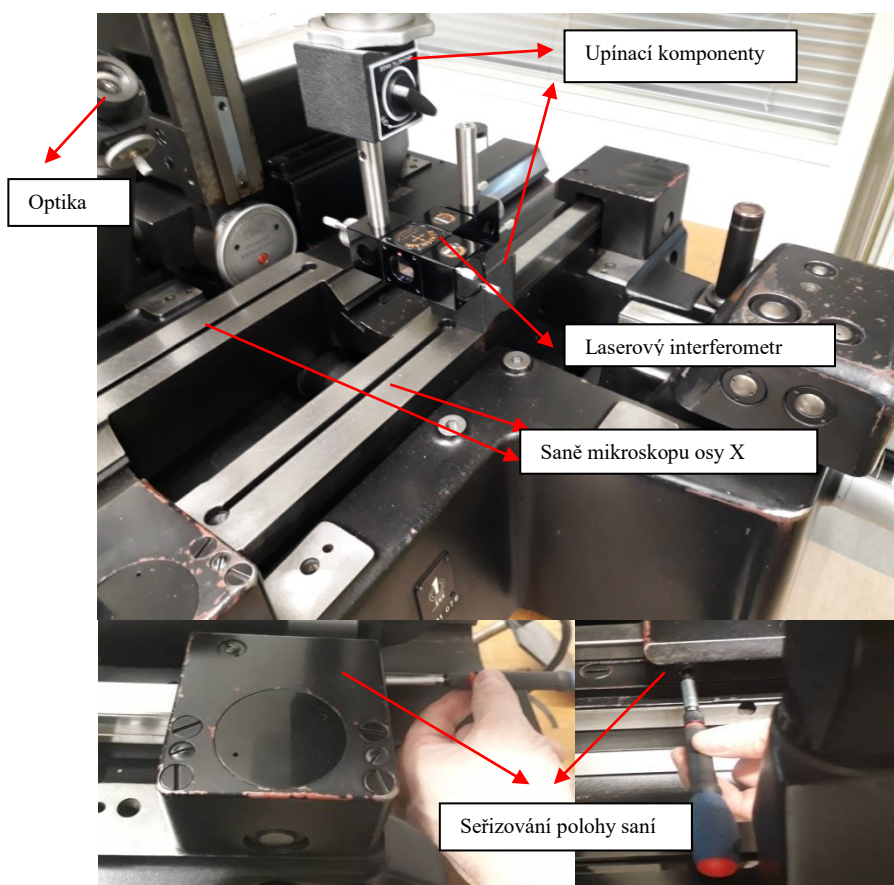
V původním plánu kalibrace byla zvažována i možnost měřit pátý cyklus měřených hodnot, nicméně tento cyklus nebyl nakonec proveden ze dvou důvodů, a to v prvním případě, že první čtyři cykly byly časově tak náročné, že by nebylo možné zachovat stejné podmínky pro všechny cykly co nejvíce podobné po celou dobu kalibrace, a ve druhém případě, pro kalibraci je ze tří cyklů dostatek naměřených záznamů, abychom byli schopni konstatovat, s jakou odchylkou mikroskop pracuje ve vzdálenosti 150 mm v ose X a ve vzdálenosti 100 mm v ose Y.



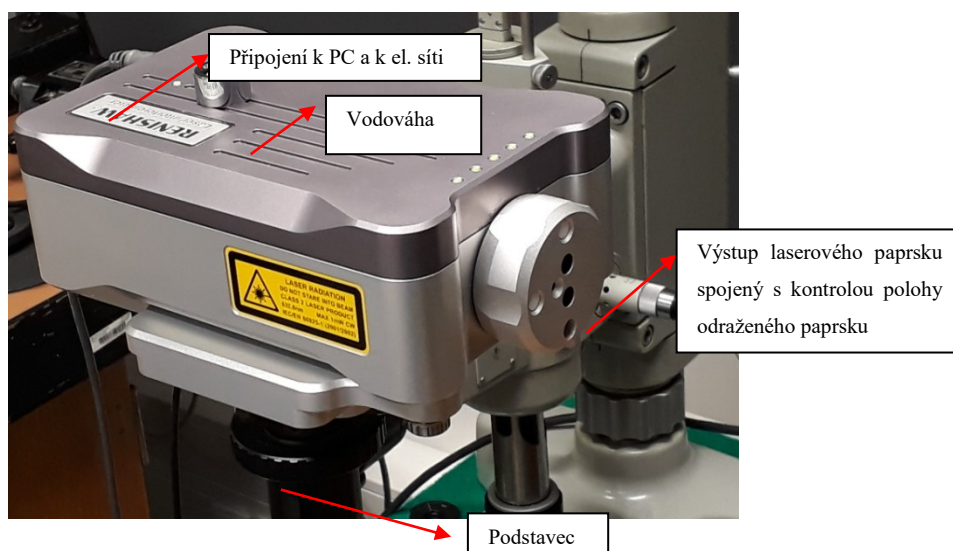
Obr. 28 Optika zobrazující stupnici mikroskopu

3.3 Volba vhodné metodologie

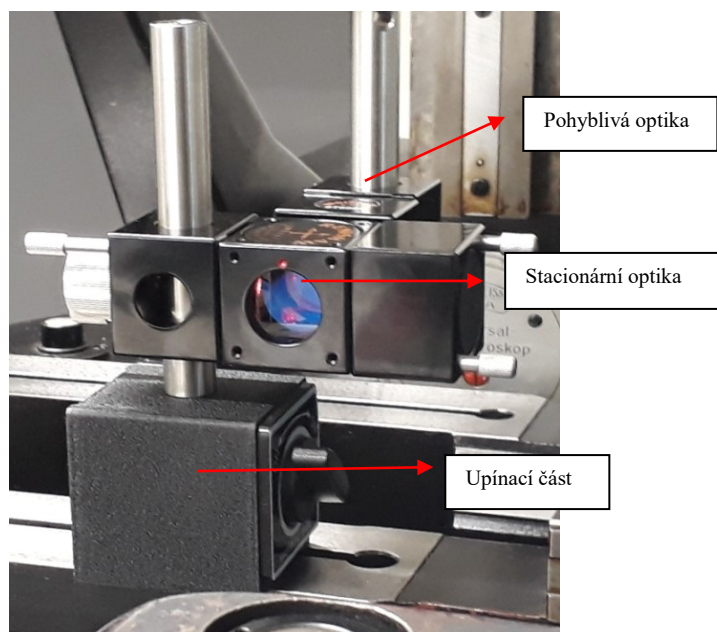
Při základním seřízení po převzetí mikroskopu do soukromého vlastnictví university, bylo po ustavení seřízení saní ve směru osy X a osy Y pomocí ustavovacích šroubů. Kromě mikroskopu jsou na obrázku zobrazeny také komponenty, jež sloužily k měření odchylky v daných vzdálenostech. Tyto komponenty také sloužily jako ustavení správné polohy měřicí a referenční větve a polohy polopropustného zrcadla laserového interferometru. Pomocné komponenty jsou složeny z několika částí krychlového tvaru. Ustavovací krychle jsou vybaveny magnetickým prvkem a plocha sloužící k upevnění je prizmatického tvaru. K ustavovací krychli je připevněna ocelová tyč používající se k upevnění měřicí a referenční větve laserového interferometru. Upínací část, popř. plocha ke kostře mikroskopu má tvar prizmatu, což velmi komplikovalo ustavení do správné polohy, což by mohlo způsobit chyby během měření. Na obrázku č. 29 jsou zřetelně vidět místa, kde docházelo k nejčastějšímu dotyku a se kterými částmi se nejvíce manipulovalo během měření v minulosti.



Obr. 29 Seřizování saní mikroskopu



Obr. 30 Zdroj laserového paprsku



Obr. 31 Stacionární a pohyblivá optika laserového interferometru



LASEROVÝ PAPERSEK MÍŘÍ NA
STŘED ZAMĚŘOVACÍHO
BODU NA ZÁVĚRCE

Obr. 32 Zpětný laserový paprsek [18]

3.4 Výsledky naměřených hodnot v ose X, směr UP

V níže uvedené tabulce jsou vyhodnocené hodnoty ze zaznamenaných měření jednotlivých bodů. Hodnoty byly měřeny v celkové vzdálenosti od 1 mm do 150 mm v ose X, směru UP. Sloupec C1 určuje polohu, v jaké byla hodnota zaznamenána, tyto hodnoty jsou uvedeny sloupci C2, C3, C4. Vedlejší sloupec C5 vyhodnocuje medián hodnot ze sloupců C2, C3, C4, také ve sloupci C6 je vyhodnocen aritmetický průměr. Pro zobrazení rozpětí minimálních a maximálních hodnot jsou hodnoty zaznamenány ve sloupci C7 a C8 a výsledné rozpětí je zaznamenáno v posledním sloupci C12. Sloupec C9 zobrazuje směrodatnou odchylku, která je následně použita k vyhodnocení normálního rozdělení, a to ve sloupci C10 a C11.

Tabulka 1 Naměřená data osy X, směr UP

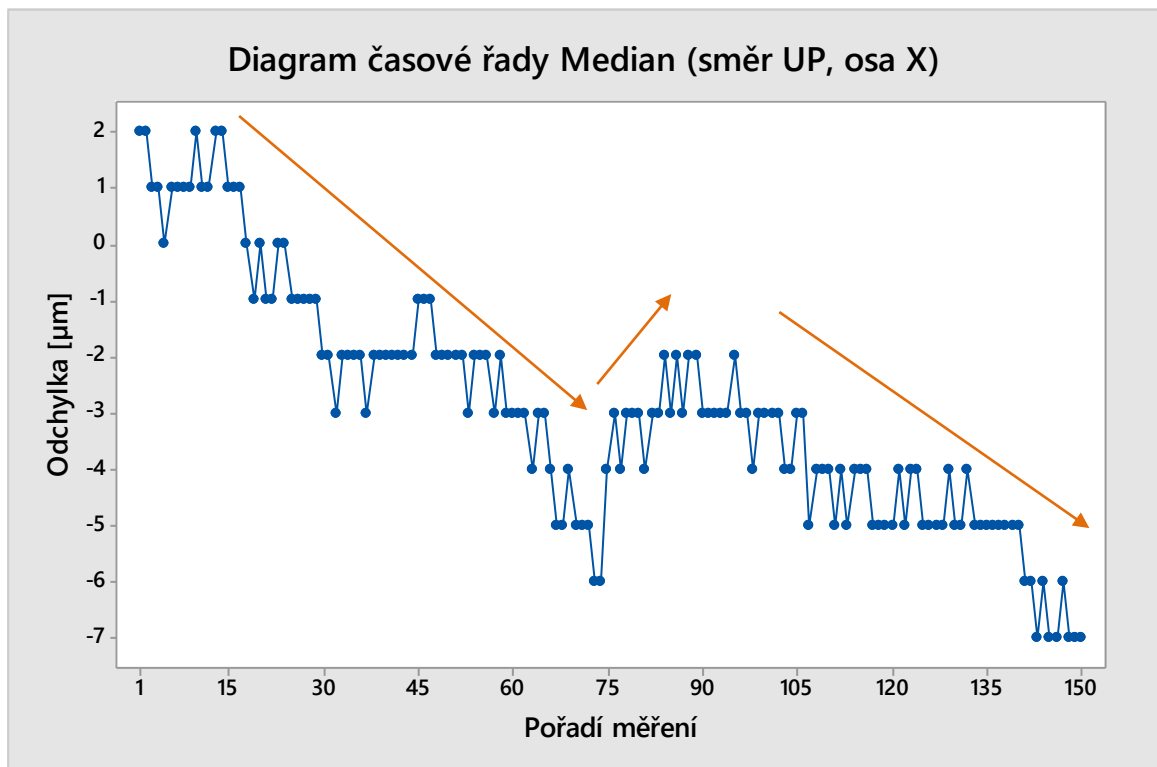
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Poloha_X	x3	x5	x7	Median_UP_X	Průměr_UP_X	Min_UP_X	Max_UP_X	S_UP_X	Průměr+3S_UP_X	Průměr-3S_UP_X	R_UP_X
1	1	2	2	3	2	2,33333	2	3	0,57735	4,06538	0,6013	1
2	2	2	0	2	2	1,33333	0	2	1,15470	4,79743	-2,1308	2
3	3	1	2	1	1	1,33333	1	2	0,57735	3,06538	-0,3987	1
4	4	1	1	2	1	1,33333	1	2	0,57735	3,06538	-0,3987	1
5	5	0	0	1	0	0,33333	0	1	0,57735	2,06538	-1,3987	1
6	6	1	2	1	1	1,33333	1	2	0,57735	3,06538	-0,3987	1
7	7	1	1	1	1	1,00000	1	1	0,00000	1,00000	1,0000	0
8	8	1	2	1	1	1,33333	1	2	0,57735	3,06538	-0,3987	1
9	9	1	1	2	1	1,33333	1	2	0,57735	3,06538	-0,3987	1
10	10	1	2	3	2	2,00000	1	3	1,00000	5,00000	-1,0000	2
11	11	1	1	1	1	1,00000	1	1	0,00000	1,00000	1,0000	0
12	12	1	1	2	1	1,33333	1	2	0,57735	3,06538	-0,3987	1
13	13	1	2	2	2	1,66667	1	2	0,57735	3,39872	-0,0654	1
14	14	1	2	2	2	1,66667	1	2	0,57735	3,39872	-0,0654	1
15	15	1	1	1	1	1,00000	1	1	0,00000	1,00000	1,0000	0
16	16	0	1	1	1	0,66667	0	1	0,57735	2,39872	-1,0654	1
17	17	-1	1	1	1	0,33333	-1	1	1,15470	3,79743	-3,1308	2
18	18	0	0	1	0	0,33333	0	1	0,57735	2,06538	-1,3987	1
19	19	-1	-1	1	-1	-0,33333	-1	1	1,15470	3,13077	-3,7974	2
20	20	0	1	0	0	0,33333	0	1	0,57735	2,06538	-1,3987	1
21	21	-1	0	-1	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,3987	1
22	22	-1	-1	0	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,3987	1
23	23	-2	0	0	0	-0,66667	-2	0	1,15470	2,79743	-4,1308	2
24	24	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,0000	0
25	25	-2	0	-1	-1	-1,00000	-2	0	1,00000	2,00000	-4,0000	2
26	26	-1	-1	0	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,3987	1
27	27	-1	-1	0	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,3987	1
28	28	-2	-1	-1	-1	-1,33333	-2	-1	0,57735	0,39872	-3,0654	1
29	29	-2	-1	-1	-1	-1,33333	-2	-1	0,57735	0,39872	-3,0654	1
30	30	-2	-2	-2	-2	-2,00000	-2	-2	0,00000	-2,00000	-2,0000	0

3.4.1 Medián: popis grafického vyhodnocení

Měření prvních 15-ti měření vykazuje stabilní vychýlení okolo hodnoty $+0,001$ mm, s přibývajícím vzdáleností od nulové hodnoty v intervalu od 17 mm do 30 mm se hodnoty odchýlení pohybují $-0,001$ mm. Stabilní naměřené odchýlení vykazuje interval od 30 mm do 60 mm (variabilita $-0,002$ mm), avšak v intervalu hodnot od 60 mm 75 mm jsou odchylky skokově výraznější až k hodnotám okolo $-0,006$ mm.

Interval ve vzdálenosti od 75 mm do 150 mm vykazuje odchylku, která má sestupný trend od hodnoty $-0,003$ mm do hodnoty $-0,007$ mm.

Obr. č.33 zobrazuje grafické znázornění mediánu vychýlení v měřené vzdálenosti 150 mm.

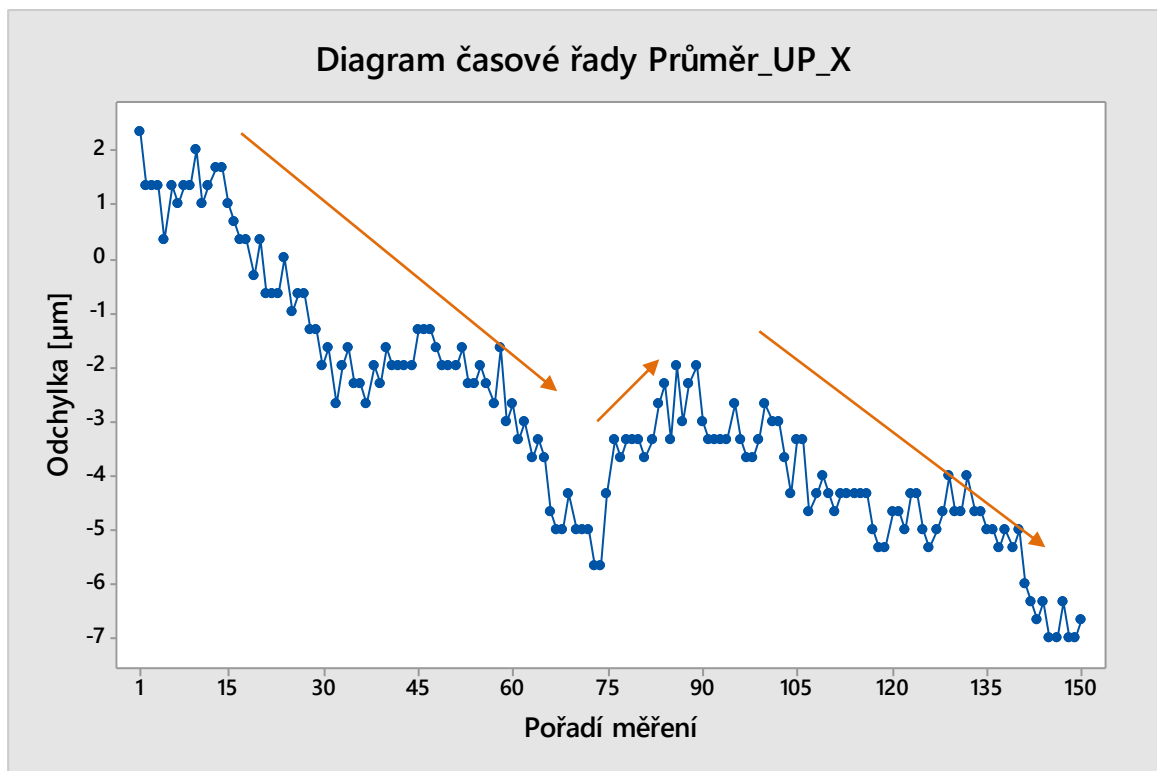


Obr. 33 Medián – směr UP v ose X

3.4.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení

Vyhodnocené průměrné hodnoty v jednotlivých polohách vykazují velmi podobný charakter odchýlení od počáteční hodnoty i se skokovým chováním odchylek v intervalu hodnot od 65 mm do 75 mm jako při popisu mediánu vychýlení. V maximální hodnotách, tj. interval od 140 mm do 150 mm, bylo dosaženo odchýlení -0,007 mm. Nicméně již uvedený interval hodnot od 65 mm do 75 mm dosahuje odchýlení -0,005 mm. Ostatní hodnoty jsou mimo tento interval dvojnásobně nižší. Co se týče závislosti, vykazují hodnoty grafu negativní závislost

Obr. č.34 zobrazuje grafické znázornění průměru odchýlení.

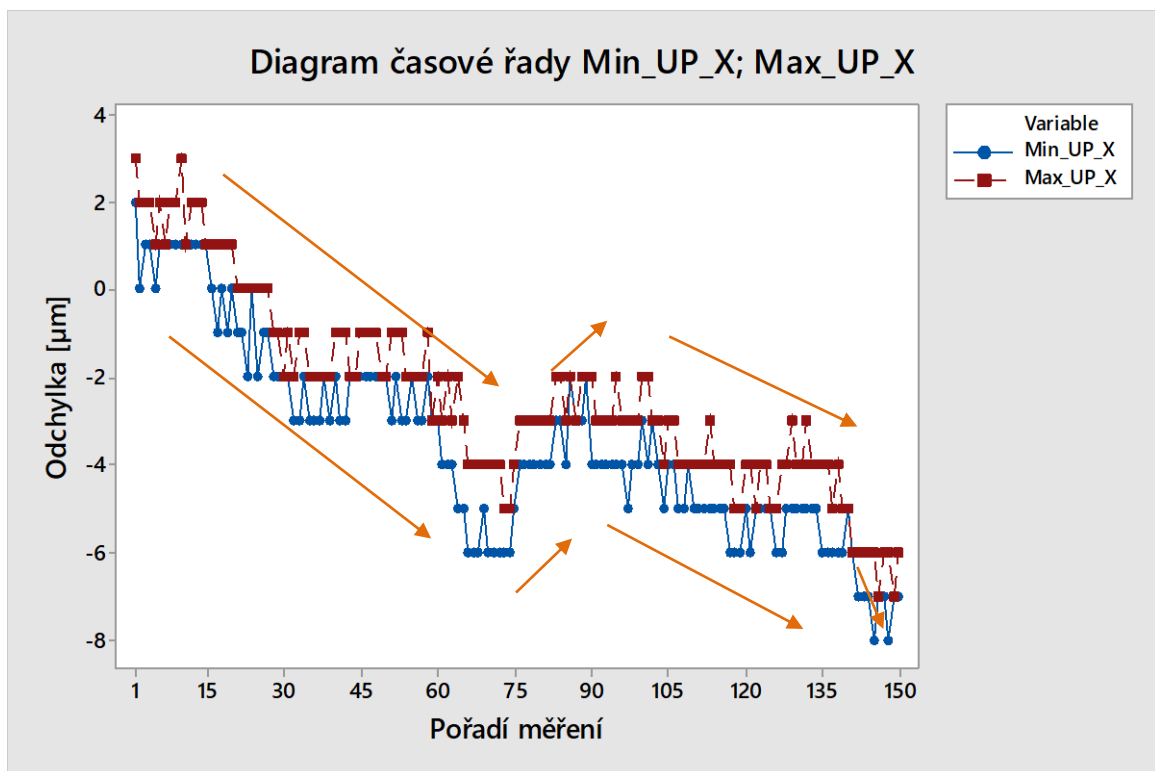


Obr. 34 Průměr – směr UP v ose X

3.4.3 Min a Max: popis grafického vyhodnocení

Výrazný rozdíl mezi minimálními a maximálními naměřenými hodnotami se nachází ve vzdálenosti 64 mm od počátku měření, a to konkrétně rozdíl v hodnotě 0,003 mm. Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o jednu hodnotu, je možné z dalších měření tvrdit, že v intervalu hodnot od 60 mm do 75 mm se nachází rozdíly v hodnotě 0,002 mm. Zbylé rozdíly vykazují stabilní hodnoty v rozdílu 0,001 mm mezi maximálními a minimálními hodnotami. Minimální hodnota, která byla naměřena v intervalu od 140 do 150 mm, je -0,008 mm. Naopak maximální hodnota, jež byla naměřena ve zmíněném intervalu, je -0,006 mm.

Obr. č.35 popisuje grafické vyhodnocení minimálních a maximálních naměřených hodnot.

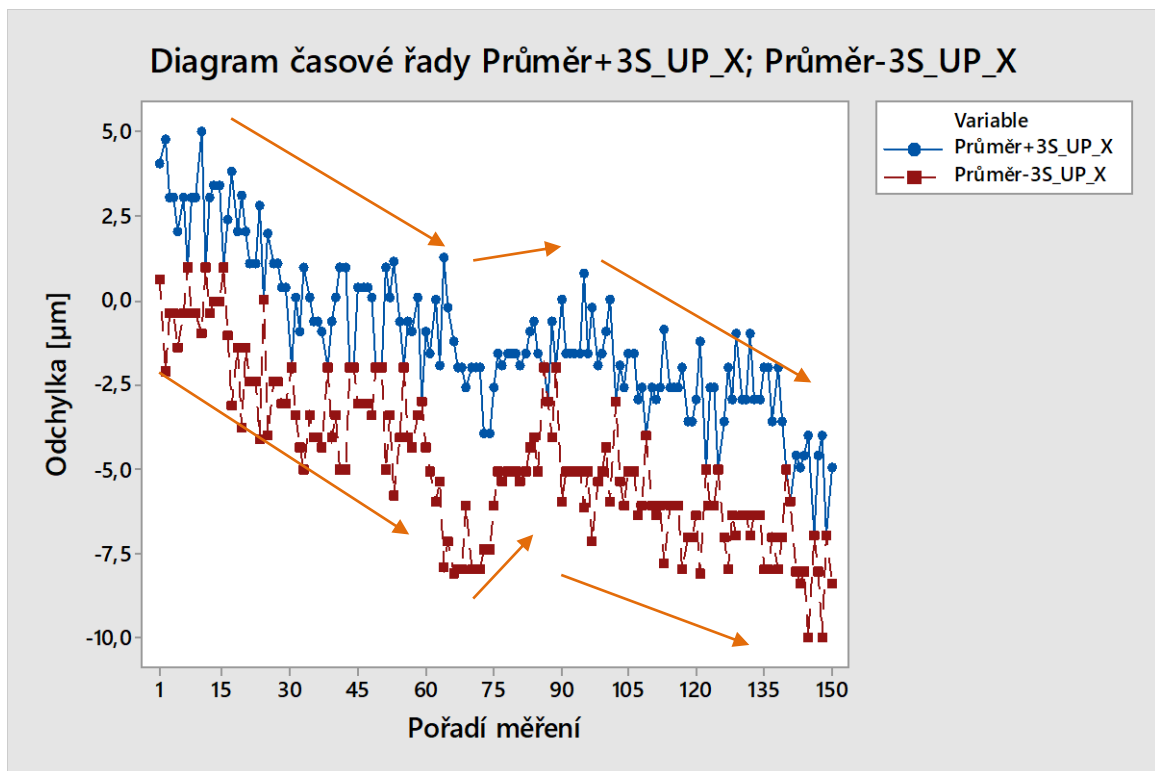


Obr. 35 Minimální a maximální hodnota osy X, ve směru UP

3.4.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení

Vyhodnocení charakteristické vlastnosti jako je směrodatná odchylka v součtu s průměrem odchýlení kopírují chování průměru odchýlení hodnot, který byl popsán výše. Jednotlivé hodnoty průměrných směrodatných odchylek vykazují v zobrazeném grafu největší rozptyl hodnot v intervalu od 60 mm do 75 mm, dále také v intervalu od 90 mm do 135 mm. Ve vzdálenosti mezi hodnotou od 75 mm do 90 mm se jeví naměřené hodnoty velmi podobně, tudíž je odchylka v malém rozptylu v porovnání s okolní oblastí měřených hodnot.

Obr. č. 36 popisuje grafické vyhodnocení hodnot průměru $+3S$ a také průměru $-3S$.

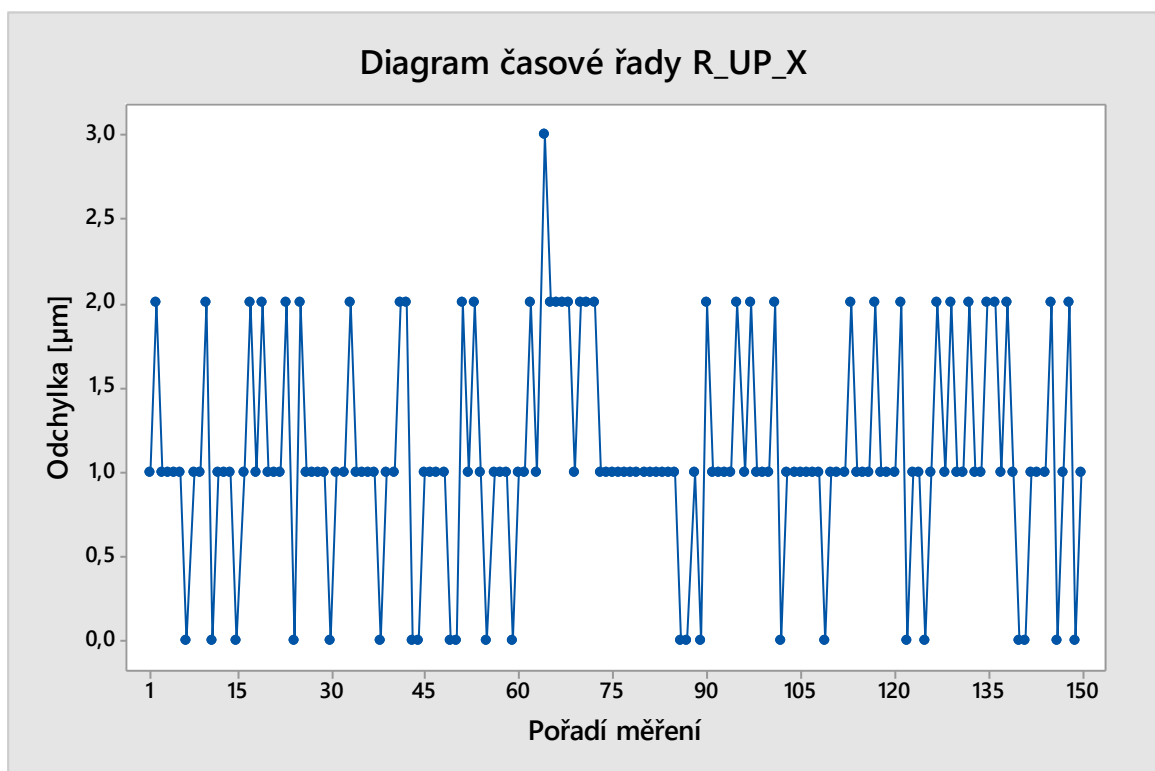


Obr. 36 Průměr $\pm 3S$ v ose X, směr UP

3.4.5 Rozpětí: popis grafického znázornění

Získané hodnoty jsou získány z rozdílu maxima a minima v daném bodě vzdálenosti. Zobrazené data vykazují stabilní rozdíly v rozmezí od 0,001 mm do 0,002 mm. Jedna hodnota rozdílu dosáhla velikosti 0,003 mm. Tuto hodnotu můžeme označit jako chybu lidského faktoru, nicméně chyba je v intervalu hodnot, kde jsou naměřená data velmi různorodá i u jiných vyhodnocených statistických souborů.

Obr. č. 37 popisuje grafické znázornění rozdílu jednotlivých minimálních a maximálních hodnot.



Obr. 37 Rozpětí hodnot mezi minimálními a maximálními hodnotami osy X, směru UP

3.5 Výsledky naměřených hodnot v ose X, směr DOWN

V níže uvedené tabulce jsou vyhodnocené hodnoty ze zaznamenaných měření jednotlivých bodů. Hodnoty byly měřeny v celkové vzdálenosti od 150 mm do 1 mm v ose X, směru DOWN. Sloupec C1 určuje polohu, v jaké byla hodnota zaznamenána, tyto hodnoty jsou uvedeny ve sloupci C2, C3, C4. Vedlejší sloupec C5 vyhodnocuje medián hodnot ze sloupců C2, C3, C4, také ve sloupci C6 je vyhodnocen aritmetický průměr. Pro zobrazení rozpětí minimálních a maximálních hodnot jsou hodnoty zaznamenány ve sloupci C7 a C8 a výsledné rozpětí je zaznamenáno v posledním sloupci C12. Sloupec C9 zobrazuje směrodatnou odchylku, která je následně použita k vyhodnocení normálního rozdělení, a to ve sloupci C10 a C11.

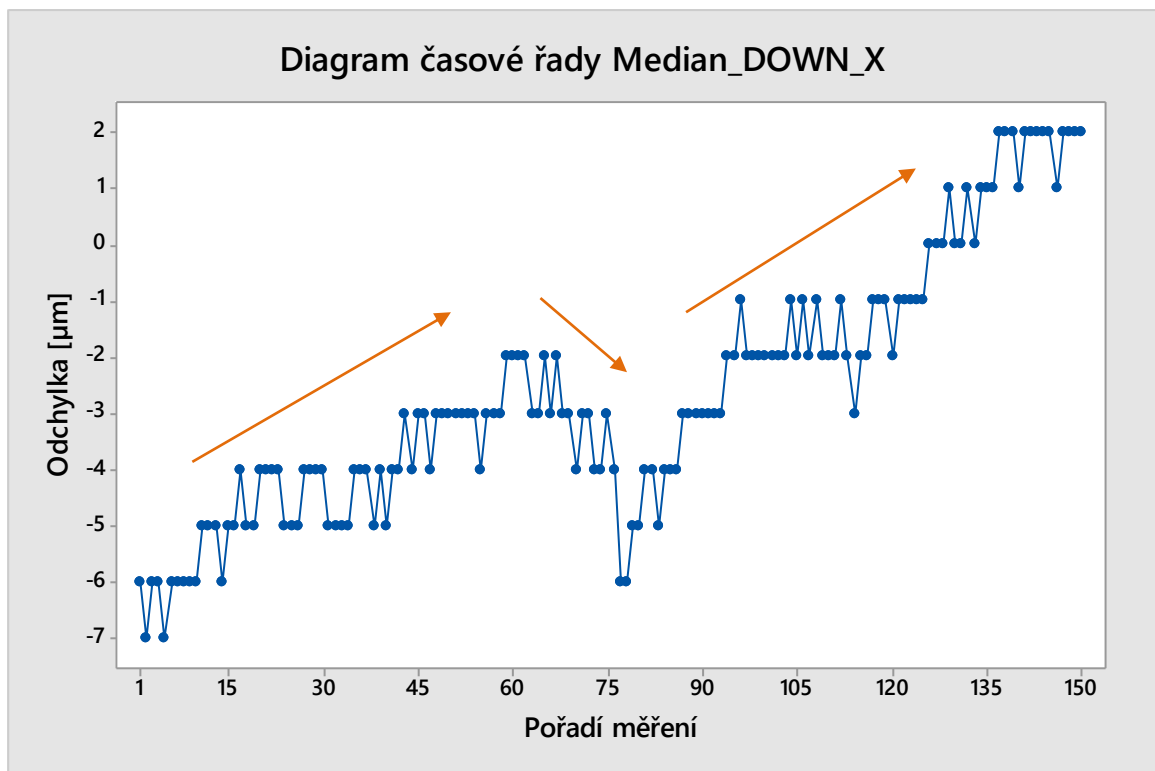
Tabulka 2 Naměřená data osy X, směr DOWN

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Poloha_X	x4	x6	x8	Median_DOWN_X	Průměr_DOWN_X	Min_DOWN_X	Max_DOWN_X	S_DOWN_X	Průměr+3S_DOWN_X	Průměr-3S_DOWN_X	R_DOWN_X
1	150	-6	-7	-6	-6	-6,33333	-7	-6	0,57735	-4,60128	-8,06538	1
2	149	-7	-7	-6	-7	-6,66667	-7	-6	0,57735	-4,93462	-8,39872	1
3	148	-6	-6	-6	-6	-6,00000	-6	-6	0,00000	-6,00000	-6,00000	0
4	147	-7	-6	-6	-6	-6,33333	-7	-6	0,57735	-4,60128	-8,06538	1
5	146	-8	-7	-7	-7	-7,33333	-8	-7	0,57735	-5,60128	-9,06538	1
6	145	-7	-6	-6	-6	-6,33333	-7	-6	0,57735	-4,60128	-8,06538	1
7	144	-6	-6	-6	-6	-6,00000	-6	-6	0,00000	-6,00000	-6,00000	0
8	143	-6	-7	-6	-6	-6,33333	-7	-6	0,57735	-4,60128	-8,06538	1
9	142	-6	-5	-6	-6	-5,66667	-6	-5	0,57735	-3,93462	-7,39872	1
10	141	-6	-6	-5	-6	-5,66667	-6	-5	0,57735	-3,93462	-7,39872	1
11	140	-6	-5	-5	-5	-5,33333	-6	-5	0,57735	-3,60128	-7,06538	1
12	139	-5	-6	-5	-5	-5,33333	-6	-5	0,57735	-3,60128	-7,06538	1
13	138	-5	-5	-5	-5	-5,00000	-5	-5	0,00000	-5,00000	-5,00000	0
14	137	-6	-6	-5	-6	-5,66667	-6	-5	0,57735	-3,93462	-7,39872	1
15	136	-6	-5	-4	-5	-5,00000	-6	-4	1,00000	-2,00000	-8,00000	2
16	135	-5	-5	-5	-5	-5,00000	-5	-5	0,00000	-5,00000	-5,00000	0
17	134	-6	-4	-4	-4	-4,66667	-6	-4	1,15470	-1,20257	-8,13077	2
18	133	-5	-5	-4	-5	-4,66667	-5	-4	0,57735	-2,93462	-6,39872	1
19	132	-5	-5	-4	-5	-4,66667	-5	-4	0,57735	-2,93462	-6,39872	1
20	131	-4	-5	-4	-4	-4,33333	-5	-4	0,57735	-2,60128	-6,06538	1
21	130	-4	-4	-4	-4	-4,00000	-4	-4	0,00000	-4,00000	-4,00000	0
22	129	-4	-4	-4	-4	-4,00000	-4	-4	0,00000	-4,00000	-4,00000	0
23	128	-5	-4	-4	-4	-4,33333	-5	-4	0,57735	-2,60128	-6,06538	1
24	127	-5	-5	-4	-5	-4,66667	-5	-4	0,57735	-2,93462	-6,39872	1
25	126	-5	-5	-5	-5	-5,00000	-5	-5	0,00000	-5,00000	-5,00000	0
26	125	-6	-4	-5	-5	-5,00000	-6	-4	1,00000	-2,00000	-8,00000	2
27	124	-4	-5	-3	-4	-4,00000	-5	-3	1,00000	-1,00000	-7,00000	2
28	123	-5	-4	-4	-4	-4,33333	-5	-4	0,57735	-2,60128	-6,06538	1
29	122	-5	-4	-4	-4	-4,33333	-5	-4	0,57735	-2,60128	-6,06538	1
30	121	-5	-4	-4	-4	-4,33333	-5	-4	0,57735	-2,60128	-6,06538	1

3.5.1 Medián: popis grafického vyhodnocení

Naměřené hodnoty dle zvolené metodologie, a to směrem DOWN, tzn. že hodnoty byly měřeny od hodnoty 150 mm k hodnotě 1 mm. Ve směru zpětném se výsledky vůči hodnotám ve směru UP chovají velmi podobně, avšak charakter hodnot se liší v intervalu od 70 do 90 v grafickém znázornění v pořadí měření, jelikož je opačné pořadí hodnot, tak se jedná o vzdálenost od 80 mm do 60 mm. Minimální hodnota, která byla vyhodnocena pomocí mediánu, je $-0,007$ mm. Ve výše zmíněném intervalu se však vyskytují hodnoty, které se přibližují minimální hodnotě $-0,006$ mm. Další měření od 60 mm do 1 mm vykazují lineární snížení odchýlení.

Obr. č. 38 popisuje vyhodnocení mediánu hodnot v ose X ve směru DOWN.

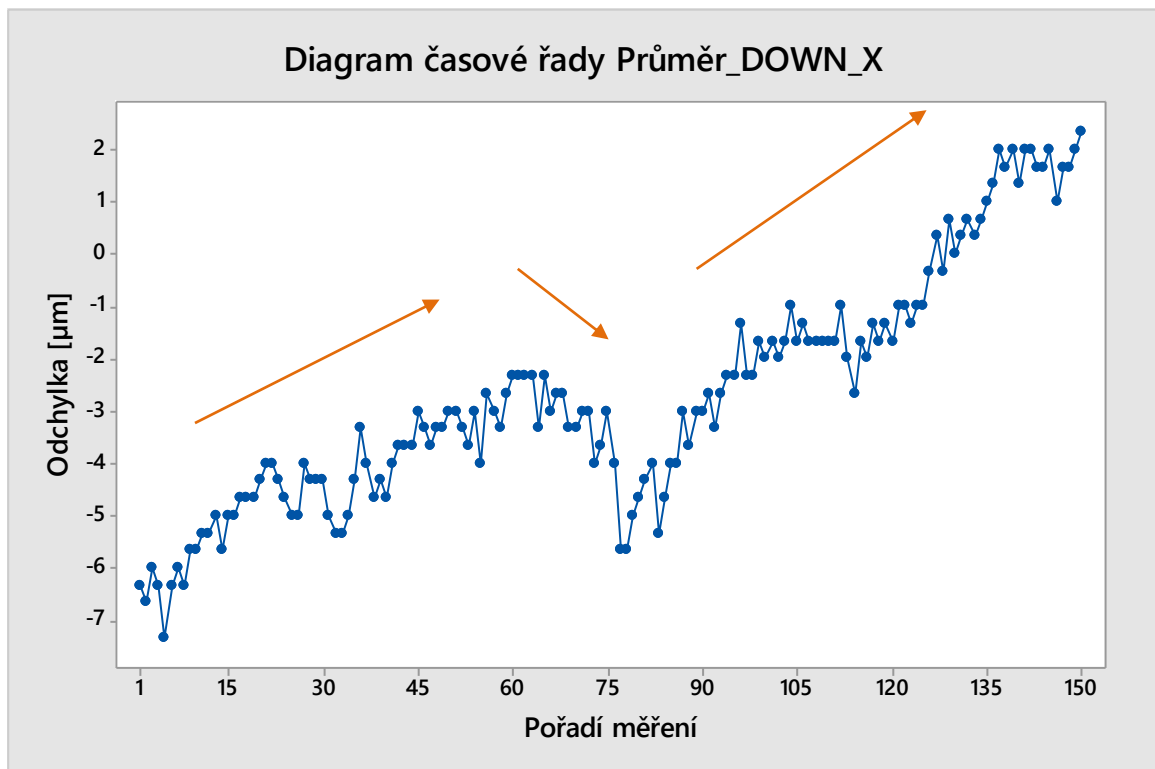


Obr. 38 Medián hodnot v ose X, směr DOWN.

3.5.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení

Charakteristika hodnot zprůměrovaných ze tří měření vykazuje závislost, která je lineární, nicméně hodnoty v intervalu pořadí měření od 75 do 90, což odpovídá měřenému úseku od 75 mm do 60 mm, tuto linearitu narušují. Malou skokovou změnu linearity lze pozorovat také v intervalu pořadí měření od 135 do 140, což odpovídá měřenému úseku od 15 mm do 10 mm, kde navazuje přechod odchýlení z 0,000 mm na + 0,002 mm během dvou pořadí měření. Maximální odchýlení od jmenovitého rozměru bylo naměřeno od -0,007 mm do -0,008 mm. Rozpětí hodnot průměru odchýlení se nachází od -0,0075 mm do +0,0025 mm.

Obr. č. 39 zobrazuje grafické vyhodnocení průměrného odchýlení v jednotlivých bodech měření ve vzdálenosti 150 mm.

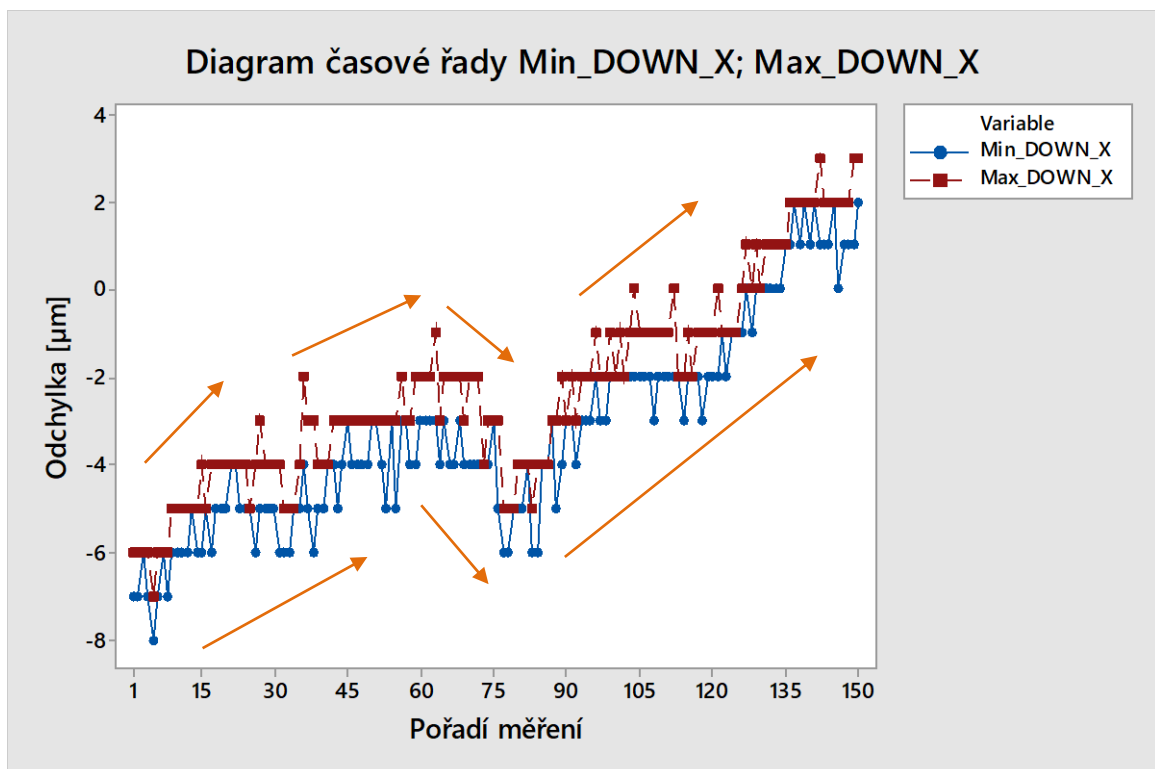


Obr. 39 Průměr hodnot osy X, směr DOWN

3.5.3 Min, Max: popis grafického vyhodnocení

Minimální a maximální hodnoty vykazují v intervalu měření 1 do 65, což odpovídá úseku měření od 150 mm do 85 mm, lineární závislost, která dále pokračuje v intervalu od 90 do 150, což je vzdálenost od 60 mm do 1 mm. Již zmíněný interval od 65 do 90 na předchozích vyhodnoceních, se stýká úseku měření od 85 mm do 60 mm, i zde jsou hodnoty umístěny mimo očekávaný lineární průběh. Možná překvapivě je možné hodnotit, že rozdíl mezi minimem a maximem v tomto intervalu pro danou jednotku nevykazuje rozdíl větší než 0,002 mm. Tento rozdíl se vyskytuje také i u ostatních naměřených hodnot s lineárním chováním od počátku. Minimum, které bylo naměřeno v měřeném úseku, má hodnotu -0,008 mm. Maximum, které bylo naměřeno v pořadí měření, je zaznamenáno v hodnotě +0,003 mm.

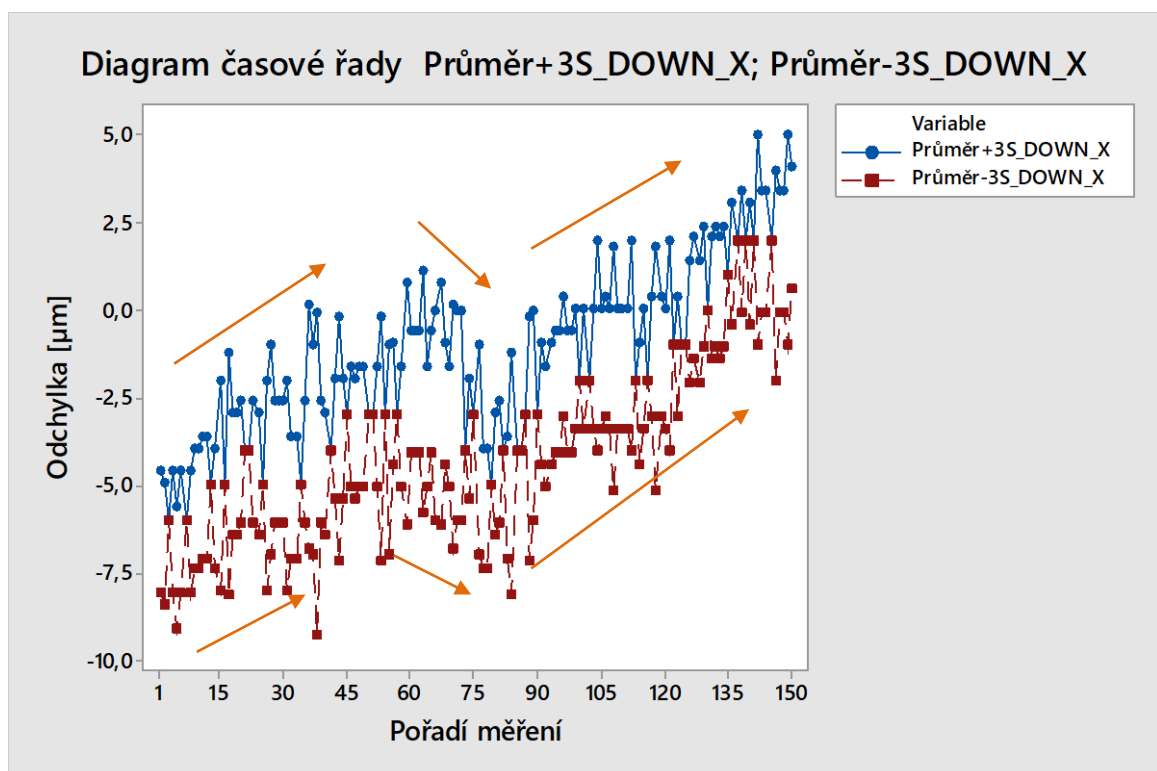
Obr. č.40 popisuje maximální a minimální naměřené hodnoty v měřeném úseku 150 mm.



Obr. 40 Minimální a maximální hodnoty v ose X, směru DOWN

3.5.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení

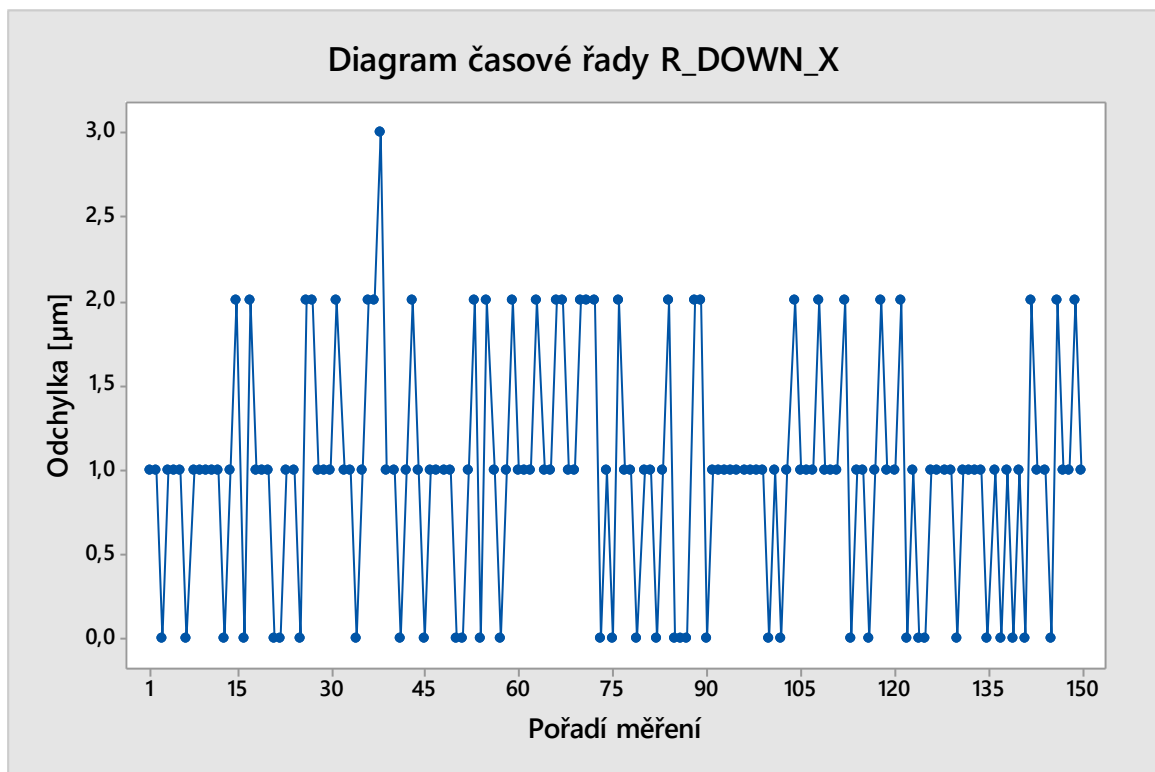
Interval pořadí měřených hodnot od 1 do 60 pro měřený úsek od 150 mm do 90 mm vykazuje snižování průměrné směrodatné odchyly jak kladné (+3S), tak i záporné (-3S). Následně jsou viditelné změny v intervalu měřených bodů od 60 do 75 pro měřený úsek od 90 mm do 75 mm, kde se jednotlivé odchyly průměru +3S pohybují ve velikosti 0,000 mm a odchyly průměru -3S ve velikosti -0,005 mm. Takto otevřený interval hodnot se náhle mění mezi hodnotami v pořadí měření od 75 do 90 odpovídající vzdálenosti od 75 mm do 60 mm, kde se průměrná odchylna -3S pohybuje v hodnotě -0,006 mm a průměrná odchylna +3S pohybuje v hodnotě -0,003 mm. Pořadí měřených hodnot od 90 do 150 odpovídající vzdálenosti od 60 mm do 1 mm vykazuje lineární variabilitu jak kladné, tak záporné směrodatné odchyly 3S. Průměrná směrodatná odchylna +3S ve vzdálenosti od 150 mm do 145 mm se pohybuje v intervalu od -0,005 mm do -0,007 mm a průměrná směrodatná odchylna -3S ve vzdálenosti od 150 mm do 145 mm se pohybuje od -0,008 mm do -0,0095 mm, což je zobrazeno na obrázku č.41.



Obr. 41 Průměr $\pm 3S$ (směrodatná odchylna) v ose X, směr DOWN

3.5.5 Rozpětí: popis grafického vyhodnocení

Rozpětí hodnot měřených v ose X, směru DOWN, kde rozsah hodnot v intervalu pořadí měření od 1 do 13 odpovídající měřené vzdálenosti od 150 mm do 137 mm, se pohybuje v rozdílu od 0,000 do 0,001 mm. Následný interval hodnot pořadí měření od 14 do 58 odpovídající měřeném úseku od 136 mm do 92 mm vykazuje rozpětí od 0,000 do 0,002 mm, až na měření v bodě 34 pro vzdálenost 116 mm, kde je hodnota rozpětí 0,003 mm. Interval pořadí měření od 59 do 72 odpovídající vzdálenosti od 91 mm do 78 mm vykazuje rozpětí od 0,001 mm do 0,002 mm. Měřený interval od 73 do 90 pro vzdálenost od 77 mm do 60 mm zobrazuje rozpětí od 0,000 mm do 0,002 mm. Interval měřených bodů od 91 do 102 pro měřenou vzdálenost od 59 mm do 48 mm vykazuje rozpětí stabilní, a to 0,001 mm. Měřená vzdálenost od 47 mm do 1 mm pro interval od 103 do 150, má rozpětí od 0,000 mm do 0,002 mm. Tento popis v grafické podobě je znázorněn na obr. č. 42.



Obr. 42 Rozpětí hodnot mezi minimálními a maximálními hodnotami osy X, směru DOWN

3.6 Výsledky naměřených hodnot v ose Y, směr UP

V níže uvedené tabulce jsou vyhodnocené hodnoty ze zaznamenaných měření jednotlivých bodů. Hodnoty byly měřeny v celkové vzdálenosti od 1 mm do 100 mm v ose Y a směru UP. Sloupec C1 určuje polohu, v jaké byla hodnota zaznamenána, tyto hodnoty jsou uvedeny ve sloupci C2, C3, C4. Vedlejší sloupec C5 vyhodnocuje medián hodnot ze sloupců C2, C3, C4, také ve sloupci C6 je vyhodnocen aritmetický průměr. Pro zobrazení rozpětí minimálních a maximálních hodnot jsou hodnoty zaznamenány ve sloupci C7 a C8 a výsledné rozpětí je zaznamenáno v posledním sloupci C12. Sloupec C9 zobrazuje směrodatnou odchylku, která je následně použita k vyhodnocení normálního rozdělení, a to ve sloupci C10 a C11.

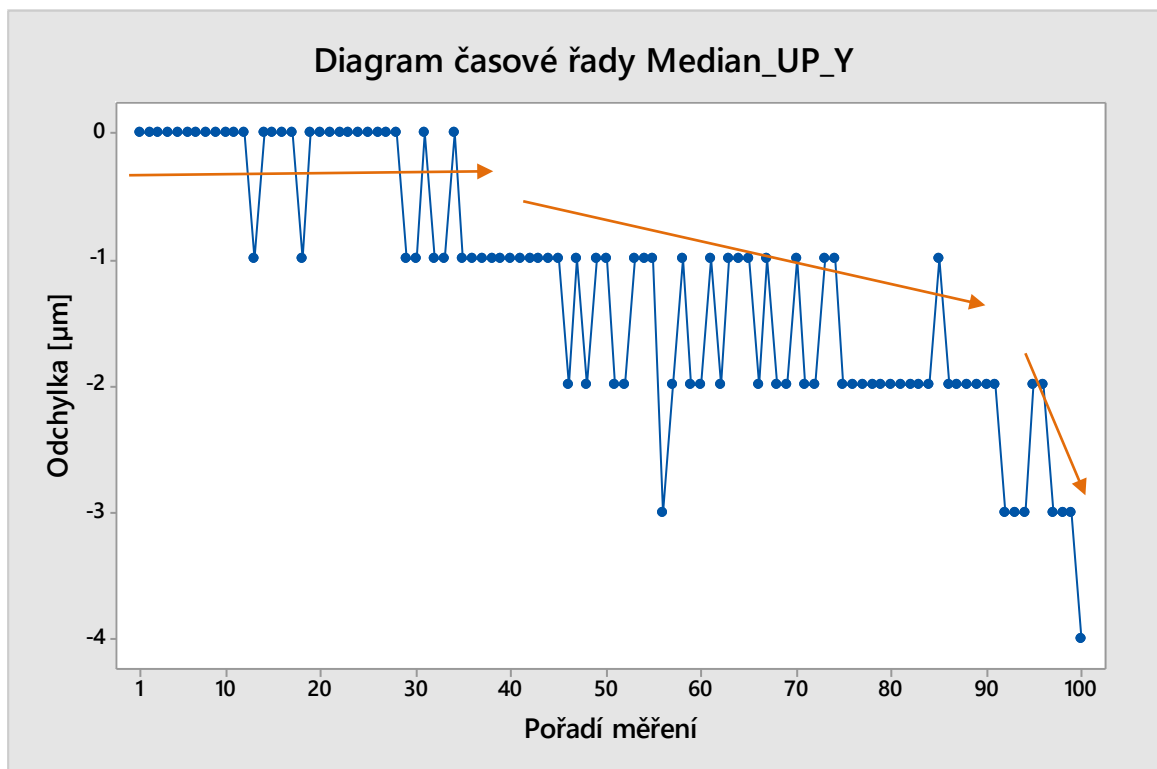
Tabulka 3 Naměřená data osy Y, směr UP

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Poloha_Y	y3	y5	y7	Median_UP_Y	Průměr_UP_Y	Min_UP_Y	Max_UP_Y	S_UP_Y	Průměr+3S_UP_Y	Průměr-3S_UP_Y	R_UP_Y
1	1	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
2	2	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
3	3	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
4	4	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
5	5	0	0	-1	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
6	6	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
7	7	1	0	0	0	0,33333	0	1	0,57735	2,06538	-1,39872	1
8	8	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
9	9	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
10	10	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
11	11	0	-1	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
12	12	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
13	13	-1	-1	0	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,39872	1
14	14	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
15	15	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
16	16	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
17	17	0	0	-1	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
18	18	-1	0	-1	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,39872	1
19	19	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
20	20	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
21	21	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
22	22	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
23	23	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
24	24	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
25	25	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
26	26	0	0	0	0	0,00000	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0
27	27	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
28	28	-1	0	0	0	-0,33333	-1	0	0,57735	1,39872	-2,06538	1
29	29	0	-1	-1	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,39872	1
30	30	-1	0	-1	-1	-0,66667	-1	0	0,57735	1,06538	-2,39872	1

3.6.1 Medián: popis grafického vyhodnocení

Směr měřených hodnot v ose Y, směru UP znázorňuje začátek měření od jednotky 1 mm, kde se do hodnotu 27 mm chovají měřené hodnoty velmi stabilně. V tomto intervalu se nachází dvě hodnoty, které vykazují odchýlení v hodnotě $-0,001$ mm. Následné hodnoty od 28 mm do hodnoty 45 mm se chovají taktéž velmi stabilně, avšak s odchylkou $-0,001$ mm. Avšak nemůžeme stejně popsat interval hodnot od 46 mm do 75 mm, kde se hodnoty střídají v odchylce od $-0,001$ mm do hodnoty $-0,002$ mm. V následném intervalu od 75 mm do 90 mm se odchylky pohybují v hodnotě $-0,002$ mm, a v posledním intervalu od 91 mm do 100 mm dochází k dosažení maximálního mediánu s hodnotou $-0,004$ mm.

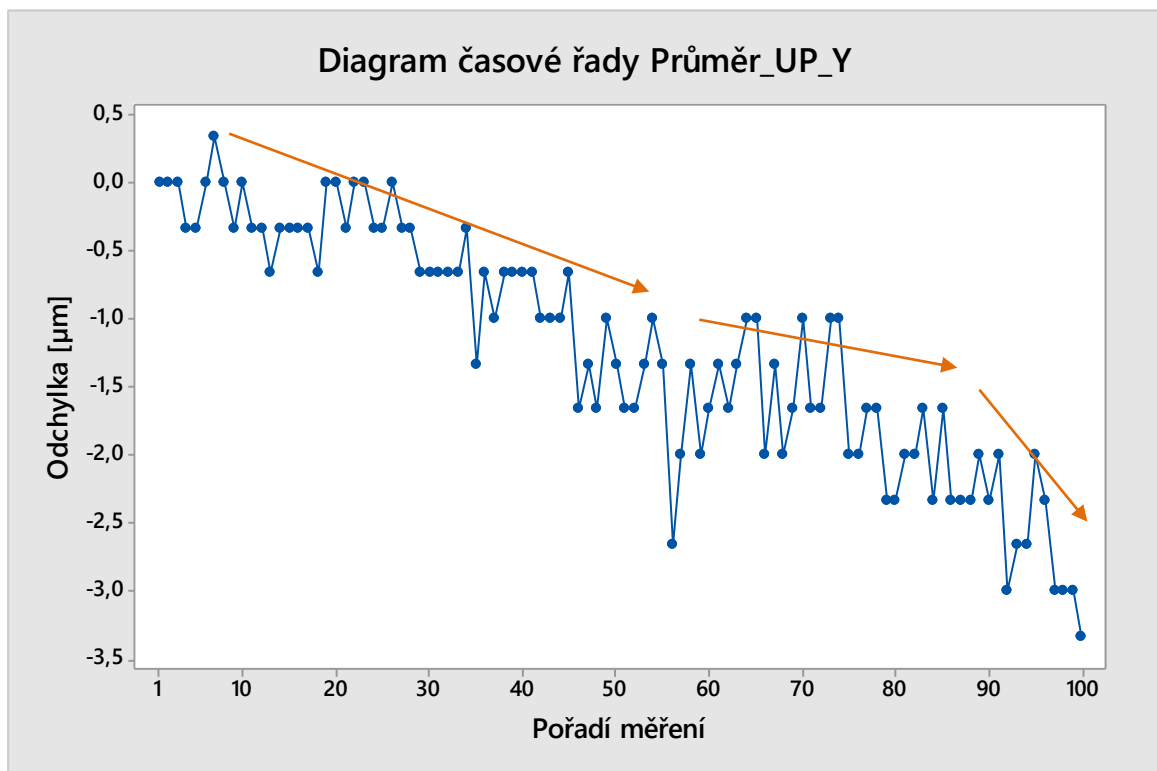
Výsledné hodnoty mediánu jsou zobrazeny na obr.č.43.



Obr. 43 Medián naměřených hodnot osy Y, směr UP

3.6.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení

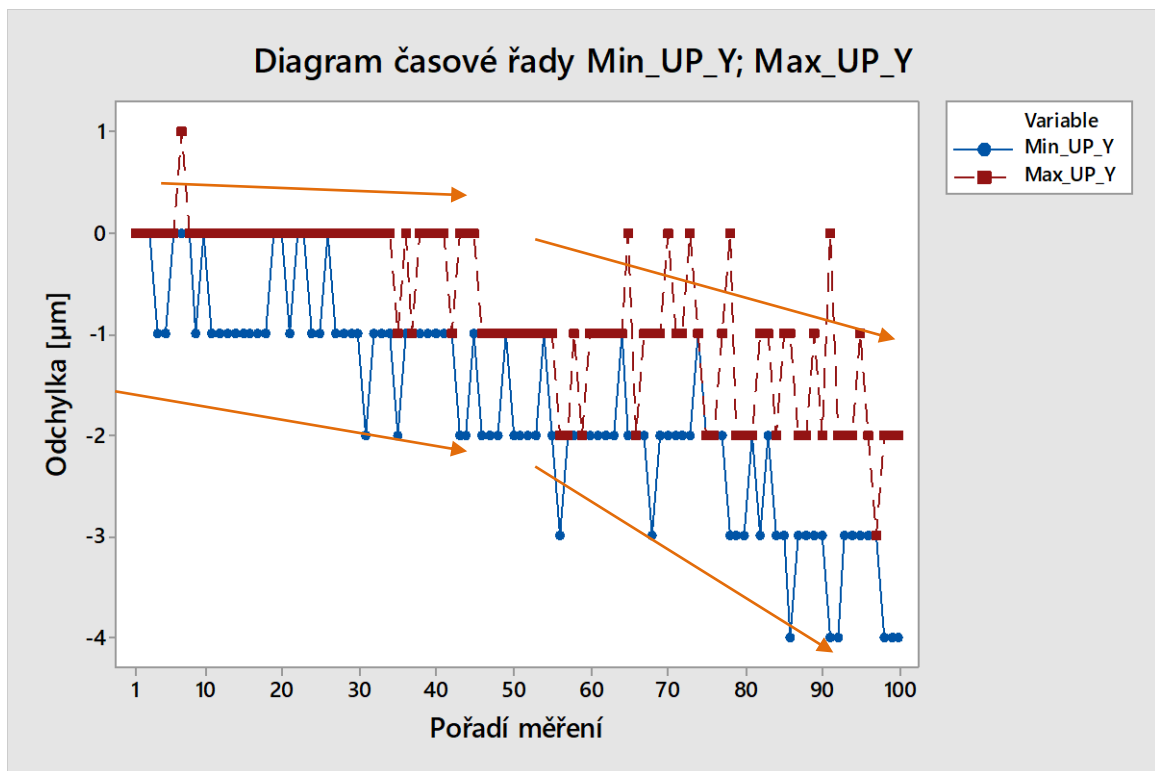
Grafické znázornění naměřených hodnot vypovídá o lineární nezávislosti, poněvadž dochází k sestupnému řazení průměrných hodnot zvyšujícím se odchýlením. Extrém lze pozorovat v jednotce měření 56 mm, kde odchýlení nabývá hodnoty $-0,0028$ mm. Dále je také možné pozorovat, že hodnoty v intervalu od 1 mm do 45 mm, mají maximální odchýlení $-0,0015$ mm, zato interval hodnot od 46 mm do 100 mm je rozdílný, jelikož se odchýlené hodnoty střídají od $-0,001$ mm do $-0,0035$ mm. Vyhodnocení průměrných hodnot z měřených bodů měřené vzdálenosti je zobrazen na obr.č.44.



Obr. 44 Průměr zaznamenaných hodnot osy Y, směr UP

3.6.3 Min, Max: popis grafického vyhodnocení

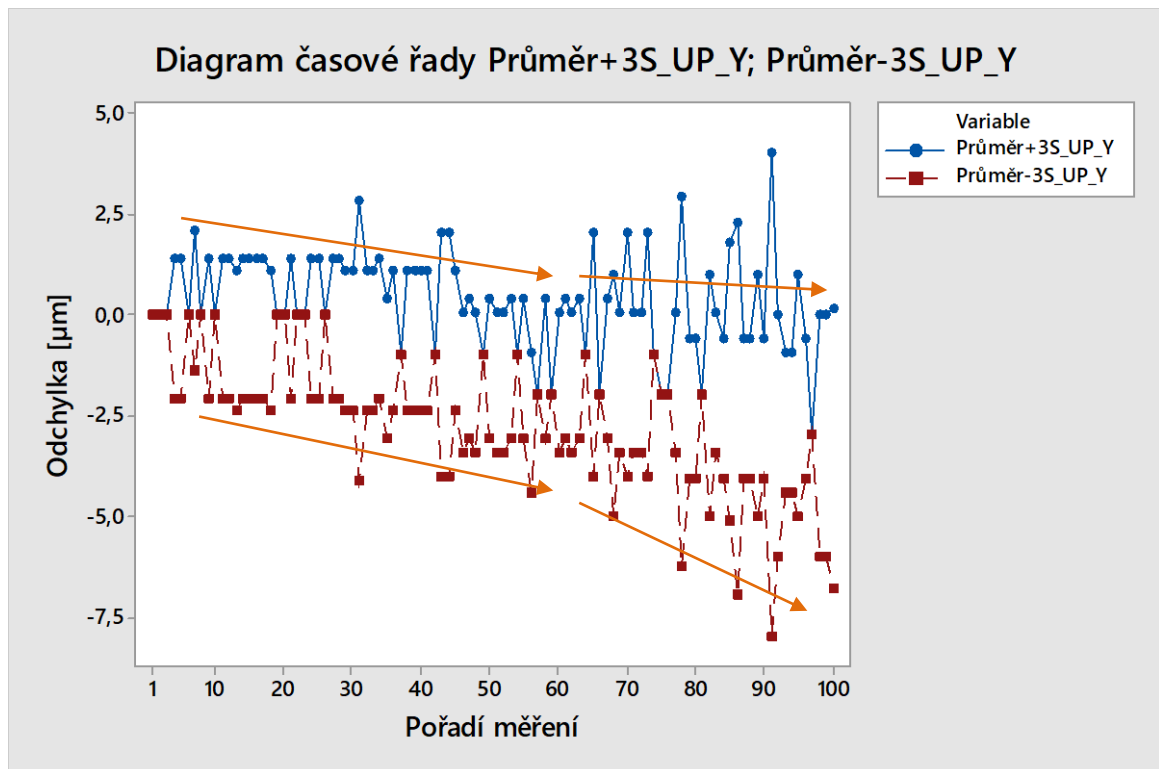
Tak, jak už byl popsán popis vyhodnocení průměrných hodnot, se hodnoty minima a maxima v intervalu od 1 mm do 40 mm chovají konstantním zobrazením, jelikož se rozdíl mezi těmito hodnotami pohybuje v hodnotě od 0,000 mm do -0,001 mm. Následný interval od 45 mm do 62 mm se chová taktéž konstantně, nicméně řádově nabývá hodnot od -0,001 mm do -0,002 mm. Od hodnot 63 mm do konečné hodnoty 100 mm ve směru UP je vidět z grafického vyhodnocení na obr. č.45, že se hodnoty od sebe vzdalují a konstantní průběh již není zachován. U maximální hodnot se hodnoty dokonce vyskytují v nulové odchylce. U minimální hodnot se naměřené hodnoty pohybují od -0,001 mm do -0,004 mm.



Obr. 45 Minimální a maximální hodnoty osy Y, směr UP

3.6.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení

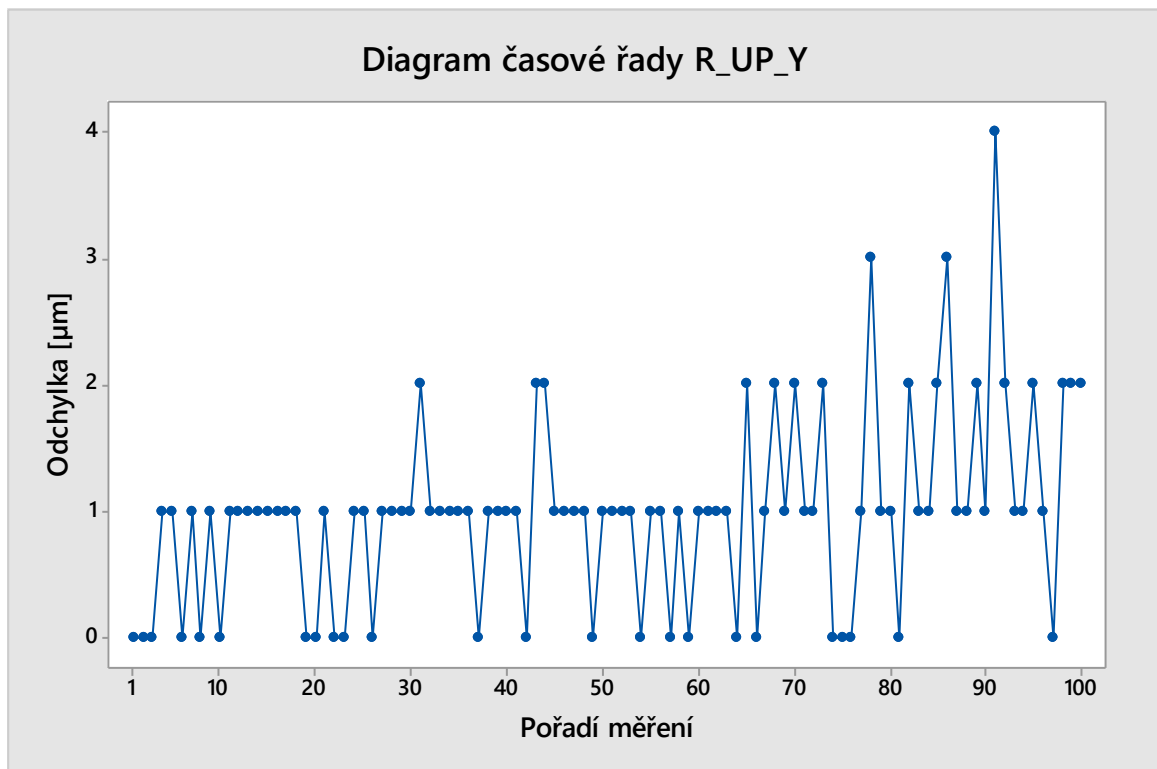
Rozsah průměrných hodnot $\pm 3S$ v daném rozdělení vykazuje, že největší rozpětí se nachází v intervalu hodnot od 65 mm do 100 mm. V předchozím intervalu od 1 mm do 64 mm se průměrné hodnoty ve svém rozpětí chovají poměrně konstantně, ovšem se zde taky nachází místa intervalů, kde se rozpětí mezi kladnou a zápornou odchylkou pohybuje v rozdílu 0,0015 mm. Ve vzdálenosti od 91 mm do 93 mm se nacházejí extrémní hodnoty průměru odchýlení $\pm 3S$. Průměr odchýlení $+3S$ dosahuje hodnoty $+0,004$ mm a průměr odchýlení $-3S$ dosahuje hodnoty $-0,0078$ mm. Toto vyhodnocení v grafické podobě lze pozorovat na obr. č.46.



Obr. 46 Průměr s normálním rozdělením osy Y, směr UP

3.6.5 Rozpětí: popis grafického vyhodnocení

Rozpětí hodnot v rozdílu mezi maximálními hodnotami a minimálními hodnotami v intervalu od 1 mm do 62 mm se liší minimálně, a to v rozdílu 1 μm , avšak se nachází tři hodnoty, které můžeme označit jako extrémní, poněvadž mají rozdíl 0,002 mm. Ostatně interval hodnot od 63 mm do 100 mm vykazuje odlišné hodnoty, které mají rozpětí od 0,000 mm do hodnot 0,004 mm. Ve vzdálenosti 92 mm se nachází bod, který můžeme nazvat jako maximální hodnota rozpětí mezi minimálními a maximálními hodnotami. Na obr. č.47 je názorně zobrazeno otevření rozpětí od měřené vzdálenosti 63 mm.



Obr. 47 Rozpětí hodnot v rozdílu minimálních a maximálních hodnot osy Y, směr UP

3.7 Výsledky naměřených hodnot v ose Y, směr DOWN

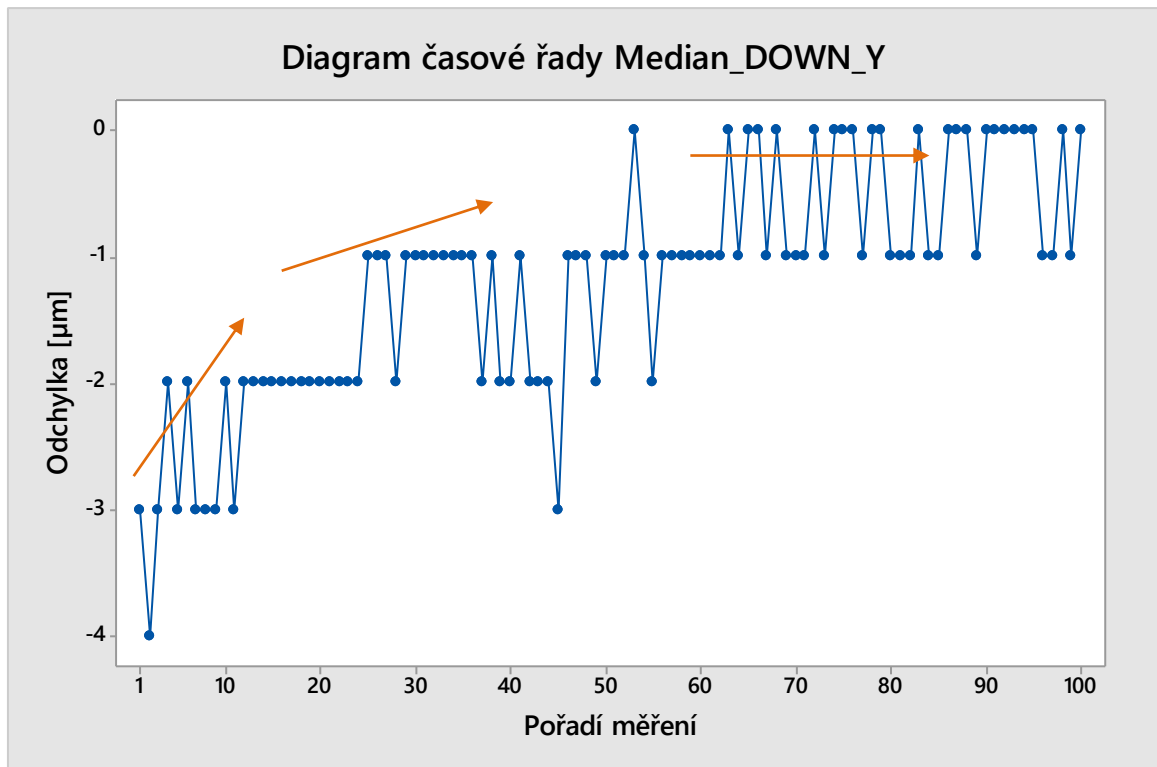
V níže uvedené tabulce jsou vyhodnocené hodnoty ze zaznamenaných měření jednotlivých bodů. Hodnoty byly měřeny v celkové vzdálenosti od 100 mm do 1 mm v ose Y, směru DOWN. Sloupec C1 určuje polohu, v jaké byla hodnota zaznamenána, tyto hodnoty jsou uvedeny ve sloupci C2, C3, C4. Vedlejší sloupec C5 vyhodnocuje medián hodnot ze sloupců C2, C3, C4, také ve sloupci C6 je vyhodnocen aritmetický průměr. Pro zobrazení rozpětí minimálních a maximálních hodnot jsou hodnoty zaznamenány ve sloupci C7 a C8 a výsledné rozpětí je zaznamenáno v posledním sloupci C12. Sloupec C9 zobrazuje směrodatnou odchylku, která je následně použita k vyhodnocení normálního rozdělení, a to ve sloupci C10 a C11.

Tabulka 4 Naměřená data osy Y, směr DOWN

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Poloha_Y	y4	y6	y8	Median_DOWN_Y	Průměr_DOWN_Y	Min_DOWN_Y	Max_DOWN_Y	S_DOWN_Y	Průměr+3S_DOWN_Y	Průměr-3S_UP_Y	R_DOWN_Y
1	100	-3	-3	-2	-3	-2,66667	-3	-2	0,57735	-0,93462	-4,39872	1
2	99	-4	-4	-2	-4	-3,33333	-4	-2	1,15470	0,13077	-6,79743	2
3	98	-3	-3	-1	-3	-2,33333	-3	-1	1,15470	1,13077	-5,79743	2
4	97	-3	-2	-2	-2	-2,33333	-3	-2	0,57735	-0,60128	-4,06538	1
5	96	-3	-2	-3	-3	-2,66667	-3	-2	0,57735	-0,93462	-4,39872	1
6	95	-3	-2	-2	-2	-2,33333	-3	-2	0,57735	-0,60128	-4,06538	1
7	94	-3	-4	-3	-3	-3,33333	-4	-3	0,57735	-1,60128	-5,06538	1
8	93	-3	-3	-2	-3	-2,66667	-3	-2	0,57735	-0,93462	-4,39872	1
9	92	-3	-3	-2	-3	-2,66667	-3	-2	0,57735	-0,93462	-4,39872	1
10	91	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
11	90	-3	-3	-2	-3	-2,66667	-3	-2	0,57735	-0,93462	-4,39872	1
12	89	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
13	88	-3	-2	-1	-2	-2,00000	-3	-1	1,00000	1,00000	-5,00000	2
14	87	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
15	86	-2	-2	-2	-2	-2,00000	-2	-2	0,00000	-2,00000	-2,00000	0
16	85	-3	-2	-1	-2	-2,00000	-3	-1	1,00000	1,00000	-5,00000	2
17	84	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
18	83	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
19	82	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
20	81	-3	-2	-1	-2	-2,00000	-3	-1	1,00000	1,00000	-5,00000	2
21	80	-3	-2	-1	-2	-2,00000	-3	-1	1,00000	1,00000	-5,00000	2
22	79	-2	-2	-1	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
23	78	-3	-2	-1	-2	-2,00000	-3	-1	1,00000	1,00000	-5,00000	2
24	77	-3	-2	-1	-2	-2,00000	-3	-1	1,00000	1,00000	-5,00000	2
25	76	-1	-1	-1	-1	-1,00000	-1	-1	0,00000	-1,00000	-1,00000	0
26	75	-2	-1	-1	-1	-1,33333	-2	-1	0,57735	0,39872	-3,06538	1
27	74	-3	-1	-1	-1	-1,66667	-3	-1	1,15470	1,79743	-5,13077	2
28	73	-2	-1	-2	-2	-1,66667	-2	-1	0,57735	0,06538	-3,39872	1
29	72	-2	0	-1	-1	-1,00000	-2	0	1,00000	2,00000	-4,00000	2
30	71	-2	-1	-1	-1	-1,33333	-2	-1	0,57735	0,39872	-3,06538	1

3.7.1 Medián: popis grafického vyhodnocení

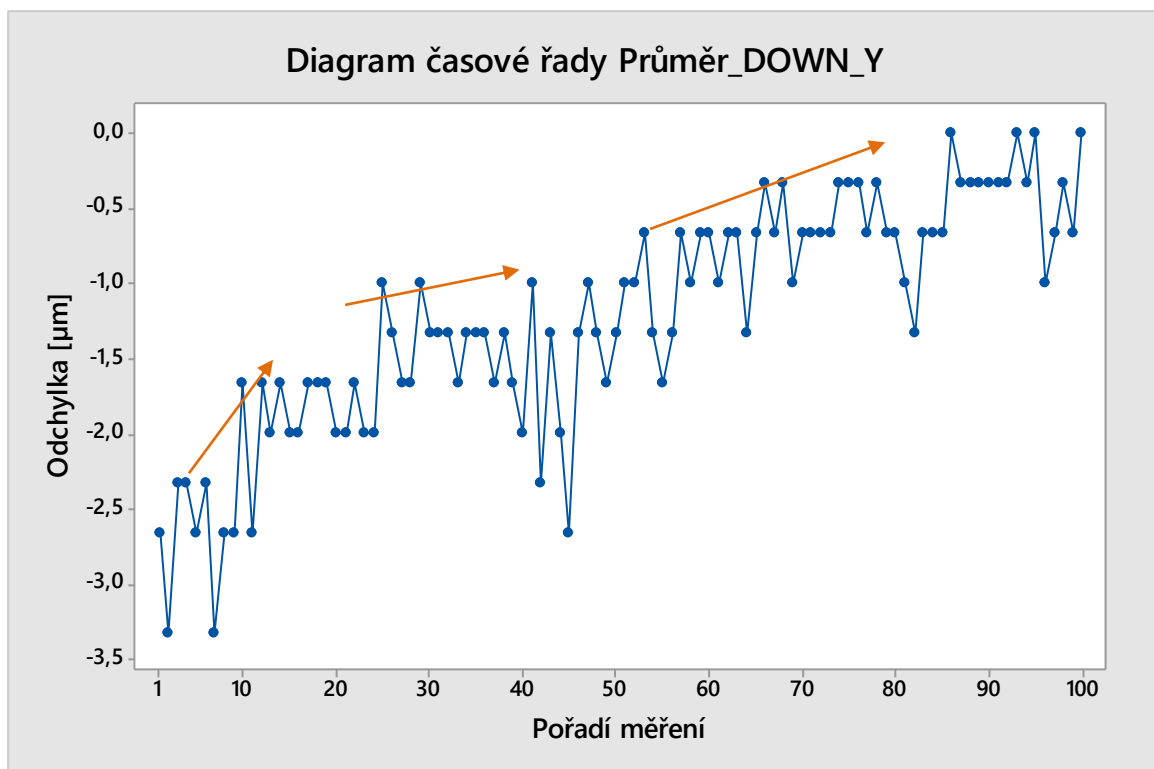
Měřené hodnoty ve směru DOWN vykazují odchylku od -0,004 mm do -0,002 mm v intervalu měřeném úseku od 100 mm do 89 mm, což napovídá, že tato úsečka měřené délky není velmi stabilní a chyba, se kterou je nutné v této oblasti počítat, je minimálně 0,001 mm. Další měřené jednotky v intervalu měřené vzdálenosti od 88 mm do 75 mm vykazují stabilní odchylku v hodnotě -0,002 mm. Měřené hodnoty v intervalu od 75 mm do 38 mm mají odchylky v rozmezí od -0,001 mm do -0,002 mm, avšak mezi těmito hodnotami se nachází bod (pořadí měření 44) s hodnotou odchylky -0,003 mm a bod (pořadí měření 53) s nulovou odchylkou. Od hodnoty 37 mm do hodnoty 1 mm se odchylka pohybuje maximálně do hodnoty -0,001 mm.



Obr. 48 Medián naměřených odchylek osy Y, směru DOWN

3.7.2 Průměr: popis grafického vyhodnocení

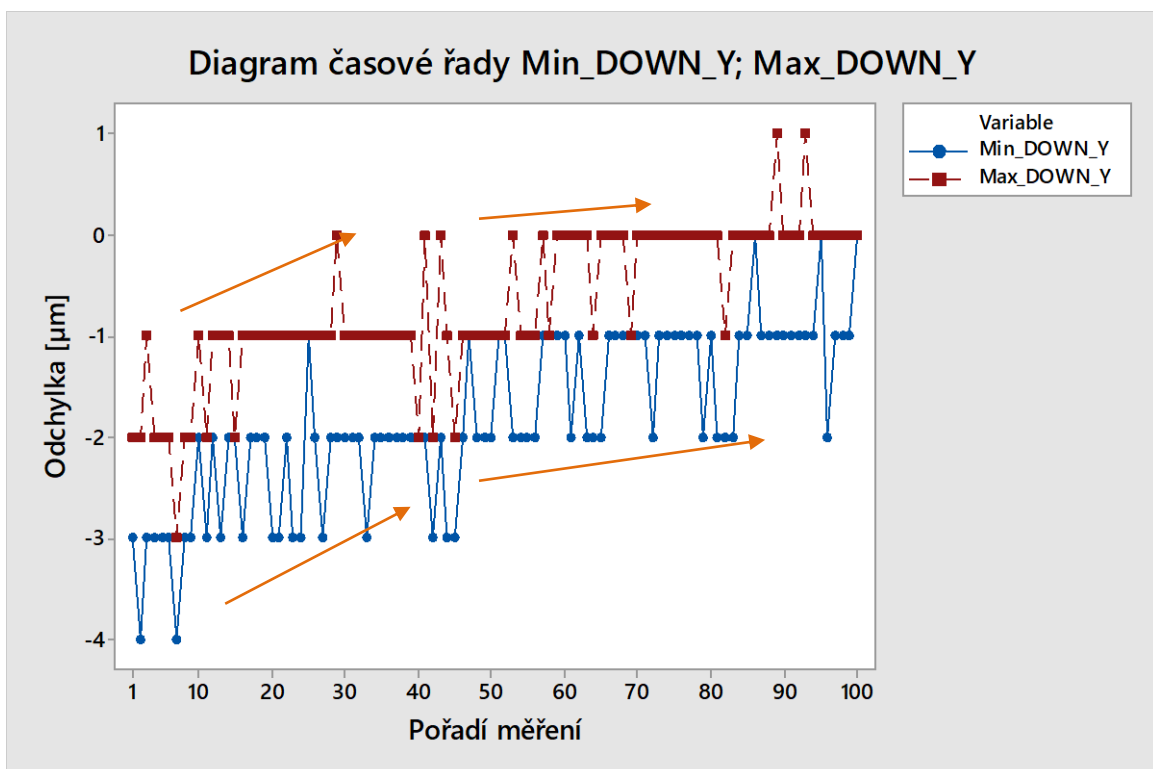
Průměrné hodnoty v grafickém vyhodnocení vykazují lineární závislost spíše v první polovině měřených hodnot, a to v intervalu od 100 do 54 mm. Průměrné hodnoty se zde pohybují v chybové odchylce od 0,000 mm do -0,002 mm. V následných měřených jednotkách se lineární závislost změní na lineární nezávislost, poněvadž hodnoty odchylky najednou skokově dosahují odchýlení -0,0027 mm. Nicméně další měřené hodnoty vykazují menší hodnoty chybové odchýlení, a to průměrně v hodnotě -0,0015 mm. Lineární závislost následně pokračuje od měřené jednotky 12 mm. Měřené hodnoty mezi jednotkou od 46 do 12 odpovídající vzdálenosti od 54 mm do 88 mm, vykazují stabilní odchylku v rozmezí od -0,0015 mm do -0,002 mm. Poslední měřené jednotky obsahují průměrné odchýlení v rozmezí od -0,0025 mm do -0,0035 mm, jak je možno vidět na obr. č.49.



Obr. 49 Průměr naměřených hodnot osy Y, směru DOWN

3.7.3 Min, Max: popis grafického vyhodnocení

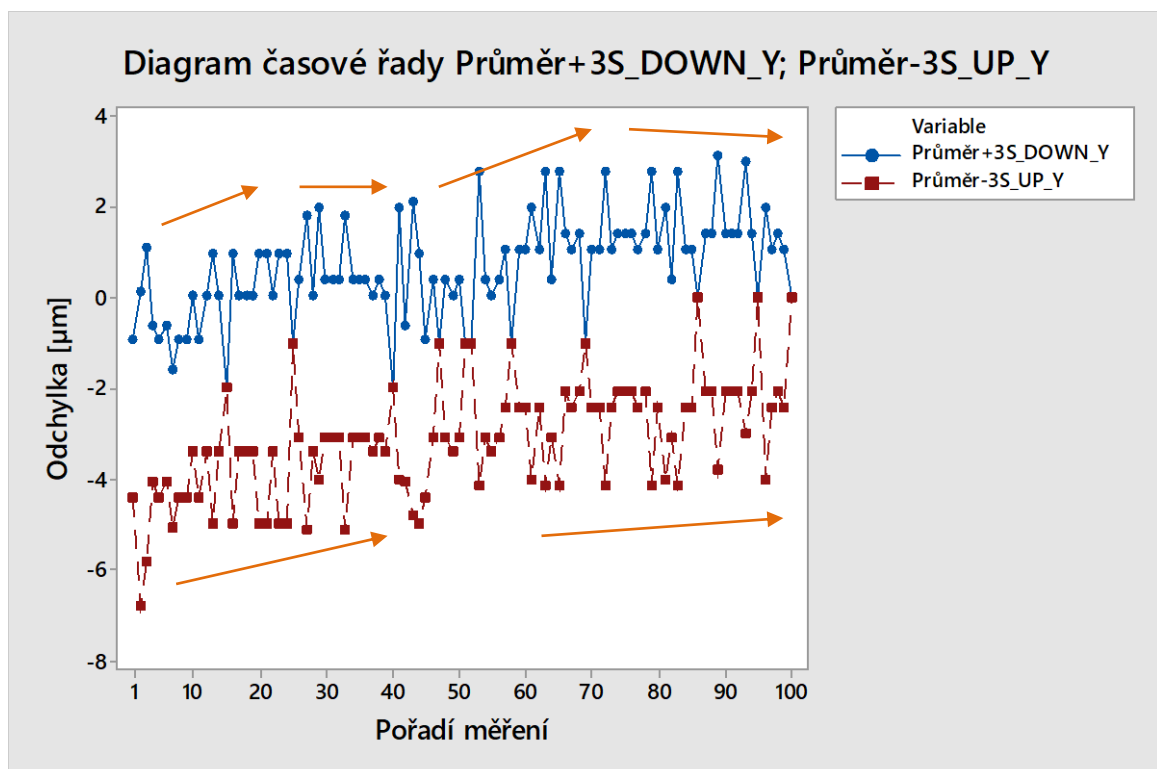
Maximální hodnoty jsou zobrazeny v intervalu od 100 do 56 mm v nulové odchylce až dva extrémy, které mají hodnotu 0,001 mm, které je možno taktéž nazvat jako chybu lidského faktoru. V téže intervalu se minimální hodnoty odchýlení pohybují v odchylce -0,001 mm, ale také s několika extrémními hodnotami -0,002 mm. V následných měřených jednotkách se hodnoty nechovají stabilně jako v předchozím intervalu, poněvadž rozsah maximálních odchylek se pohybuje v rozsahu 0,002 mm a u minimálních hodnot taktéž rozsah 0,002 mm, tyto rozsahy se týkají intervalu měření od 55 mm do 1 mm. Maximální hodnoty v intervalu od 38 mm do 16 mm dosahují maximální odchylku -0,001 mm v celém intervalu až na jednu měřenou jednotku. Kdežto minimální hodnoty nevykazují takovou stabilitu, poněvadž kolísá odchýlení od -0,001 mm do -0,003 mm. Popis konečného intervalu od 16 mm do 1 mm nelze popsat stabilně, jelikož se hodnoty střídají v odchýlení -0,001 mm do -0,003 mm u maximálních hodnot a od -0,002 mm do -0,004 mm u minimálních hodnot. Toto chování lze pozorovat na obr. č.50.



Obr. 50 Minimální a maximální hodnoty odchylek osy Y, směru DOWN

3.7.4 Průměr $\pm 3S$: popis grafického vyhodnocení

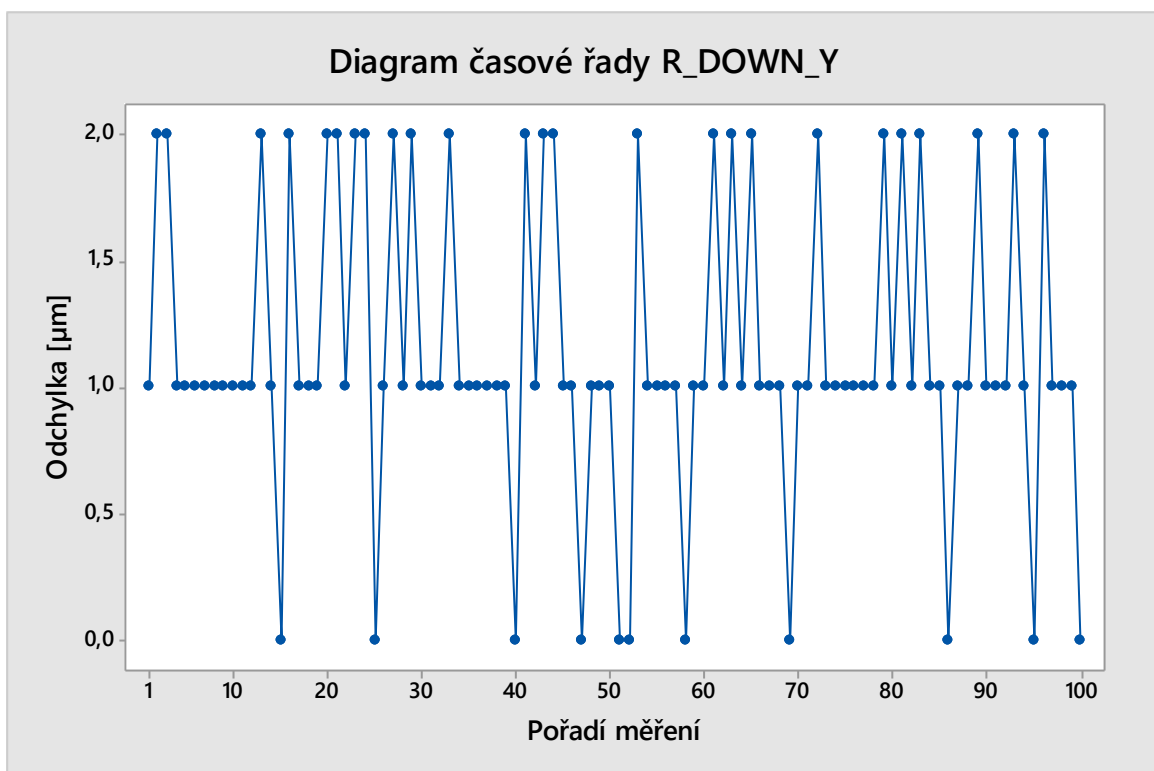
Kladné hodnoty průměru $+3S$ vykazují velmi slabou lineární závislost, tzn. že mezi naměřenými hodnotami nejsou viditelné extrémy v porovnání s jiným směrem a jinou osou, které jsou popsány výše. Záporné hodnoty průměru $-3S$ se rovněž chovají velmi stabilně, nicméně v intervalu od 58 mm do 45 mm se nachází hodnoty, které mohou napovídat o náznaku změny, která během měření nastala. V rámci normálního rozdělení lze usoudit, že v několika bodech grafu, konkrétně u 11 měřených jednotek nevyskytuje žádná odchylka, jak je možné vidět na obr. č.51.



Obr. 51 Zobrazení hodnot s normálním rozdělením

3.7.5 Rozpětí: popis grafického vyhodnocení

Rozpětí mezi maximálními a minimálními hodnoty během celého měřeného intervalu osy Y a směru DOWN dosahují 0,002 mm. Z celkového množství měření pouze 11 měřených hodnot nevykazují žádný rozdíl mezi maximálními a minimálními měřenými hodnotami a zbylých 89 hodnot vykazují minimálně 0,001 mm a maximálně 0,002 mm. V porovnání s druhým směrem v ose Y nedochází k tak výraznému rozpětí hodnot na konci měřených bodů.



Obr. 51 Rozpětí minimálních a maximálních hodnot osy Y, směru DOWN

3.8 Zhodnocení výsledků měření

Osa „X“, směr „UP“:

➤ Měřená vzdálenost	1 - 150	mm
➤ Opakovatelnost	3	x
➤ Interval záznamu hodnot	1	mm
➤ Vyhodnoceno záznamů	450	hodnot
➤ Maximální medián vychýlení	-0,007	mm

Hodnocení: S rostoucí vzdáleností se odchýlení zvyšuje, nicméně interval měřených hodnot od 65 do 75 mm vykazuje odchýlení -0,005 mm, tzn. že se od blízkých okolních hodnot mimo uvedený interval, vychýlení zvýšilo o -0,002 mm. Je možné hypoteticky tvrdit, že daný úsek osy „X“ v měřeném směru „UP“, byl nejvíce užíván k měření součástí, tudíž mohou být místa měření nejvíce opotřebována.

Největší vychýlení naměřeno opakováním v bodě 150 mm, bylo naměřeno -0,008 mm. Rozpětí mezi minimálními a maximálními hodnotami se mimo interval od 65 do 75 mm nachází od 0,000 mm do 0,002 mm. Pouze v již zmíněném intervalu se rozpětí hodnot pohybuje v hodnotách od 0,001 mm až 0,003 mm.

Uživatel používající k měření dílenský mikroskop Carl Zeiss musí počítat s odchylkou měření -0,007 mm pro osu „X“ a směr „UP“.

Osa „X“, směr „DOWN“:

➤ Měřená vzdálenost	1 – 150	mm
➤ Opakovatelnost	3	x
➤ Interval záznamu hodnot	1	mm
➤ Vyhodnoceno záznamů	450	hodnot
➤ Maximální medián vychýlení	-0,007	mm

Hodnocení: Hodnoty vyhodnocené pomocí mediánu charakterizují měřenou vzdálenost maximální odchylkou -0,007 mm, hodnoty odchylky v jednotlivých bodech mají pozitivní trend, nicméně interval pořadí měření od 75 do 90, což odpovídá vzdálenosti od 75 mm do 60 mm, obsahuje odchylky vyhodnoceny mediánem v hodnotě -0,006 mm.

Maximální průměrné vychýlení bylo naměřeno ve vzdálenosti 146 mm, což bylo 5. měření v pořadí. Již zmíněný interval v pořadí měření od 75 do 90 vykazuje taktéž změnu při vyhodnocení průměrného vychýlení v hodnotě -0,006 mm.

Velmi obdobné změny zaznamenaných hodnot jsou graficky vyhodnoceny u maximálních a minimálních hodnot, i přesto se však rozpětí výrazně neliší mezi maximálními a minimálními naměřenými hodnotami, poněvadž se hodnoty rozpětí pohybují od 0,000 mm do 0,002 mm. Nicméně v 38. měřeném pořadí se objevilo rozpětí s hodnotou 0,003 mm odpovídající vzdálenosti 113 mm.

Osa „Y“, směr „UP“:

➤ Měřená vzdálenost	1 – 100	mm
➤ Opakovatelnost	3	x
➤ Interval záznamu hodnot	1	mm
➤ Vyhodnoceno záznamů	300	hodnot
➤ Maximální medián vychýlení	-0,004	mm

Hodnocení: Vyhodnocení mediánu hodnot měřených v první třetině měřené vzdálenosti nevykazuje téměř žádné vychýlení, výjimku tvoří dvě hodnoty o velikosti -0,001 mm. Následná vzdálenost od 30 mm do 75 mm je rozdělena do dvou částí. V první části se vychýlení stabilně upevnilo v hodnotě -0,001 mm a ve druhé části se hodnoty vychýlení mění téměř každou měřenou vzdálenost. Následně pokračuje vzdálenost od 75 mm, kde hodnoty vykazují vychýlení -0,002 mm. Maximální vychýlení mediánu ve vzdálenosti 100 mm bylo naměřeno -0,004 mm.

Vyhodnocení průměrného vychýlení nevykazuje tak stabilní hodnoty, jako vyhodnocení vychýlení pomocí mediánu, jelikož od počátku měření je popsáno klesajícím trendem v grafickém znázornění.

Ve vzdálenosti 100 mm bylo naměřeno průměrné vychýlení -0,0034 mm. Při hodnocení minimálních a maximálních hodnot je charakteristické pro hodnoty měřené vzdálenosti od 1 mm do hodnoty 65 mm, že se rozpětí pohybuje od 0,000 mm do 0,001 mm se dvěma extrémními hodnotami o velikosti -0,002 mm.

Od hodnoty 66 mm do konečné hodnoty 100 mm se vychýlení mění od 0,000 mm až do hodnoty 0,004 mm. Je také možno nazvat, že se od vzdálenosti 65 mm rozpětí tzv. „otevírá“ a vychýlení není stabilní.

Osa „Y“, směr „DOWN“:

➤ Měřená vzdálenost	1 – 100	mm
➤ Opakovatelnost	3	x
➤ Interval záznamu hodnot	1	mm
➤ Vyhodnoceno záznamů	300	hodnot
➤ Maximální medián vychýlení	-0,004	mm

Hodnocení: Metodologie zvolená ve směru DOWN již byla popsána u osy X. Směr měření probíhal od 100 mm do 1 mm.

Výsledky vyhodnocení – medián hodnot vykazuje od 100 mm do 65 mm vychýlení od 0,000 mm do -0,001 mm. Maximální vychýlení naměřené ve vzdálenosti 100 mm ve směru DOWN bylo -0,004 mm.

Průměrné vychýlení měřené vzdálenosti od 100 mm do 55 mm mají stabilní lineární směr, který je přerušen intervalem od 70 mm do 56 mm, kde se vychýlení ustálilo na hodnotě -0,0015 mm až -0,002 mm. Závěr vzdálenosti obsahuje průměrné vychýlení -0,0034 mm.

Maximální i minimální hodnoty kopírují průměrné vychýlení. V bodě 100 mm odpovídající prvnímu měření byla naměřena maximální hodnota -0,002 mm a minimální hodnota -0,003 mm, avšak předposlední měřený bod obsahuje minimální vychýlení -0,004 mm.

Rozdíl mezi maximálními hodnotami a minimálními hodnotami se pohybuje v rozmezí od 0,000 mm do 0,002 mm. Z toho 11 % hodnot nevykazuje žádné vychýlení.

Dle naměřených výsledných hodnot lze usoudit, že osa Y ve směru DOWN vykazuje stabilní hodnoty a není pravděpodobné, že se budou vyskytovat náhodné hodnoty bez vědomí uživatele.

4 KALIBRAČNÍ PŘEDPIS

Výsledkem kalibračního předpisu by měl být kalibrační list, který bude informovat uživatele, popř. zákazníka o výsledcích kalibrace. Kalibrační předpis obsahuje souhrn činností sloužícího jako návod pro práci uživatele během kalibrace.

Obsah kalibračního listu by měl obsahovat úplné a potřebné údaje, bez nesprávných údajů a chyb, srozumitelnost, efektivní průběh kalibrace, stručnost textu, přehlednost, apod.

4.1 Návrh vhodného kalibračního předpisu

a) Účel

- Slouží ke stanovení podmínek během kalibrace dílenského mikroskopu.

b) Platnost

- Platí pro uživatele provádějící kalibraci dílenského mikroskopu.

c) Prostředky

Prostředky potřebné k provedení kalibrace:

- Dílenský mikroskop Carl Zeiss
- Zdroj laserového paprsku
- Laserový interferometr
- Stativ
- Teploměr
- Program Renishaw
- Notebook

d) Podmínky pro provedení kalibrace

- V místnosti musí být teplota $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- Místnost musí být klimatizována
- Okna musí být uzavřena, popř. do místnosti nesmí proudit sluneční paprsky
- Veškeré prostředky potřebné ke kalibraci musí být nejméně 24 hodin před zahájením kalibrace umístěny v místnosti

e) Příprava prostředků ke kalibraci

- V prvním kroku je nutné umístit stativ se zdrojem laserového paprsku v ose, kterou bude uživatel kalibrovat.

- Upevnění laserového interferometru na jednotlivé plochy dílenského mikroskopu pomocí upínacích částí.
- Po umístění těchto komponentů je nutné spustit notebook s již instalovaným programem Renishaw, který bude zobrazovat sílu signálu ve spuštěném programu.
- Před zahájením kalibrace je nutné, aby byla seřizena optická cesta od zdroje laserového paprsku k laserovému interferometru. To je možné velmi lehce rozpoznat, poněvadž při odraženém paprsku se střed světelného záření zobrazí v zaměřovacím bodu závěrky, skrze kterou světelný paprsek vychází a také se odražením vrací.
- Střed laserového paprsku by měl mít kruhový tvar, není žádoucí tvar nekruhový tvar nebo elipsovitý tvar paprsku. Jakmile je světelný paprsek seřízen, lze toto seřízení vidět i v programu Renishaw, kde přijatý signál je zobrazuje plnou stupnicí.

Jakmile jsou splněny výše uvedené body, může začít kalibrace mikroskopu odečítáním jednotlivých hodnot ze stupnice zobrazené v okuláru mikroskopu nejprve v ose X a následně osu Y po přemístění komponentů pro měření.

c) Vyhodnocení výsledků

Jednotlivé vychýlení je určeno porovnáním polohy zobrazené mikroskopem a nastavenou polohou v programu Renishaw. Tento rozdíl je následně uložen a po dokončení kalibrace jsou tyto hodnoty připraveny k přenosu dat do programu Minitab, kde je zapotřebí vyhodnotit statistické vlastnosti jako jsou: medián, aritmetický průměr, minimální a maximální hodnoty, průměr $\pm 3S$, a také rozpětí mezi minimálními a maximálními hodnotami. Z těchto jednotlivých vyhodnocených metod je možné stanovit maximální medián vychýlení, se kterým musí uživatel při měření součásti počítat v ose X i v ose Y.

d) Interval kalibrace

Kalibraci dílenského mikroskopu doporučuji provádět v intervalu každých pěti let, poněvadž se dílenský mikroskop nevyužívá ke každodennímu měření.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provedení návrhu kalibrace dílenského mikroskopu Carl Zeiss. Aby mohl být proveden návrh kalibrace, bylo nejprve nutné prvotní kalibraci provést.

Úvod práce se věnuje popisu informací, které mají velký význam na samotné měření, a proto je toto měření navázáno na normu ISO 230, která popisuje jednotlivé podmínky během měření. Také popisuje aktuální schopnosti dnešních měřidel, kde je snahou v diplomové práci spojit historické měřicí zařízení s běžným moderním zařízením využívající se nejenom k měření.

V teoretické části jsou popsány délková měřidla, se kterými jsou spojené i tzv. odchylky, resp. chyby, které vznikají a mohou vzniknout během měření. Dále se teoretická část věnuje kalibraci délkových měřidel se zaměřením na ISO 230 s využitím laserového interferometru. Druhá polovina teoretické části popisuje vhodné statistické metody, které jsou nejvhodnější pro posouzení kalibrace měřidla.

Praktická část obsahuje nejprve popis dílenského mikroskopu i s jeho vlastnostmi. Následně jsou popsány podmínky s přizpůsobením pro kalibraci. Poněvadž je cílem diplomové práce provést také první kalibraci, aby byla odhaleno vychýlení, se kterým musí uživatel následně počítat, bylo nutné zvolit vhodnou metodologii pro měření a popis míst, kde probíhalo první seřízení. Během měření byla data zaznamenávána do programu Renishaw, ze kterého byla následně data přenesena do programu Minitab. Druhá část praktické části informuje o jednotlivých výsledcích nejprve v ose „X“, a to ve směru „UP“ a ve směru „DOWN“, následně osa „Y“ ve směru „UP“ a směru „DOWN“. V ose „X“ byl naměřen medián vychýlení $-0,007$ mm v obou směrech. Osa „X“ je vzhledem k výsledným hodnotám mírně posunuta v intervalu pořadí měření od 65 do 75, což ve směru „UP“ odpovídá i měřené délce a ve směru „DOWN“, poněvadž se jedná o interval v pořadí měření od 70 do 90, což je vzdálenost od 80 mm do 60 mm.

Z těchto výsledků lze zhodnotit, že osa „X“ disponuje délkou přibližně 15 mm, ve které se nachází větší vychýlení než v okolních měřených bodech. Hodnota tohoto vychýlení je $-0,006$ mm a maximální medián vychýlení v ose „X“ je $-0,007$ mm. Lze proto usoudit, že v této oblasti (15 mm) bylo měřidlo nejvíce v minulosti využíváno k měření, a to může mít za následek opotřebení saní v ose „X“.

Osa „Y“ v obou směrech vykazuje vyšší stabilitu, poněvadž se zde nenachází oblast, jež by vybočovala od okolních hodnot. Průměrné vychýlení v obou směrech pro osu „Y“ se nachází v hodnotě -0,0034 mm a maximální medián vychýlení má hodnotu -0,004 mm. Po vyhodnocení výsledků je popsáno zhodnocení každé osy a směru, ve které bylo měření prováděno. Po dokončení vyhodnocení naměřených hodnot je uveden návrh kalibrace dílenského mikroskopu.

Závěrem je možné konstatovat, že měření, které obsahovalo dohromady záznam dvou tisíc hodnot v obou osách a obou směrech, bylo plně dostačující, aby byla provedena první kalibrace mikroskopu. Po této kalibraci bylo zjištěno, že dílenský mikroskop Carl Zeiss je schopen pracovat s přesností 0,01 mm v ose „X“, avšak v ose „Y“ je schopen pracovat dokonce s přesností 0,005 mm. Dále je nutné doplnit, že kalibrace se zaměřením na normu ISO 230 není vyhovující pro toto historickému zařízení, každopádně je důležité vyzdvihnout kvalitu značky Carl Zeiss z důvodu dosažené přesnosti související s ohledem na věk mikroskopu a současně také na stav, v jakém se mikroskop před zakoupením nacházel.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRAVENEC, Libor. *Polohování CNC frézky dle normy ISO 230-2*. Zlín, 2012, 110 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.
- [2] KOSINA, Petr. *Předzpracování časových řad*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Mgr. Ondřej Výborný.
- [3] ARLT, Josef, Markéta ARLTOVÁ a Eva RUBLÍKOVÁ. *Analýza ekonomických časových řad s příklady*. Vysoká škola ekonomická Praha, 2002, 148 s. ISBN 80-245-0307-7.
- [4] CHUDÝ, Vladimír. *Meranie technických velicin*. Bratislava: STU, 1999, 689 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [5] PIKÁLEK, Tomáš. *Analýza profilu povrchů pomocí interferometrie nízké koherence*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Buchta, Ph.D.
- [6] Pravděpodobnostní rozdělení. *Biostatistika* [online]. Brno [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn2/rozdelZS.htm#Gaussovo%20%E2%80%93%20>
- [7] EDUPORTÁL. *Speciální teorie relativity* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/teorie-relativity/specialni-teorie-relativity>
- [8] GRABE, Michael. *Measurement Uncertainties in Science and Technology* [online]. The Netherlands: Springer, 2005 [cit. 2018-05-01]. ISBN 3-540-20944-1. Dostupné z: www.springeronline.com
- [9] TOMAŠTÍKOVÁ, Veronika. *Aplikace 7 starých a 7 nových nástrojů řízení kvality ve společnosti Metalliset CZ s.r.o.* Zlín, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Ing. Martin Kovařík.
- [10] HAJN, Miroslav. *Základy jemné mechaniky a hodinářství: Přehled přesné mechaniky v celém rozsahu s podrobným pojednáním a hodinářské technice*. Praha, 1953.
- [11] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat* [online]. Academia, 2002, 765 s. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://meloun.upce.cz/docs/books/kompendium.pdf>

- [12] ČSN ISO 230-1. Zásady zkoušek obráběcích strojů: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za dokončovacích podmínek obrábění. Praha : Český normalizační institut, 1997. 92 s
- [13] ČSN ISO 230-2. Zásady zkoušek obráběcích strojů: Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 36 s.
- [14] RENISHAW [online]. [cit. 2011-01-17]. Dostupné: <http://renishaw.cz>
- [15] PATA, Vladimír. *Statistické zpracování dat I-VI.: Studijní materiály a podklady*. Zlín.
- [16] PATA, Vladimír. *Řízení procesů: Studijní materiály a podklady*. Zlín.
- [17] PATA, Vladimír. *Počítačová podpora zpracování dat: Studijní materiály a podklady*. Zlín.
- [18] MAREŠ, Adam. *Kalibrace dílenského mikroskopu Zeiss bezkontaktním způsobem s využitím laserinterferometru Renishaw*. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{x}	Aritmetický průměr
c	Fázová rychlost světla v daném prostředí [m/s]
f	Frekvence vlnové délky [Hz]
$f(x)$	Funkce
n	Index lomu světla
ISO	International Organization for Standardization
k	koeficient
b	Konstanta, koeficient
a	Konstanta, koeficient
π	Ludolfovo číslo
Max	Maximum
Min	Minimum
e_i	Náhodná (reziduální) odchylka
g	Nenulová konstanta
Y	Osa měření
X	Osa měření
N	Počet členů, prvků základního souboru
x_i	Prvek, jednotlivé hodnoty proměnné
c_o	Rychlost světla ve vakuu [m/s]
DOWN	Směr od koncové hodnoty do počáteční
UP	Směr od počátku do konečné hodnoty
s	Směrodatná odchylka
μ	Střední hodnota, průměr základního souboru
V_x	Variační koeficient

λ	Vlnová délka [nm]
α	Znak hladiny významnosti
$\vartheta_1 - \vartheta_2$	Fázový rozdíl
σ^2	Rozptyl
$x_{0,75}$	Horní kvartil
$x_{0,5}$	Medián
$x_{0,25}$	Dolní kvartil

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Mikroskop Carl Zeiss</i>	11
<i>Obr. 2 Označení mikroskopu Carl Zeiss</i>	14
<i>Obr. 3 Obraz stupnice dílenského mikroskopu</i>	16
<i>Obr. 4 Obraz stupnice dílenského mikroskopu</i>	17
<i>Obr. 5 Michelsonův interferometr [7]</i>	18
<i>Obr. 6 Použití laserového interferometru</i>	19
<i>Obr. 7 Konstruktivní interference [15]</i>	22
<i>Obr. 8 Destruktivní interference [15]</i>	23
<i>Obr. 9 Stacionární lineární dělič a kinematický odražeč [15]</i>	23
<i>Obr. 10 Kinematický lineární dělič a stacionární odražeč [15]</i>	24
<i>Obr. 11 Mrtvá dráha a měřená dráha [15]</i>	24
<i>Obr. 12 Cosinova chyba [15]</i>	25
<i>Obr. 13 Nedodržení Abbeho principu [15]</i>	26
<i>Obr. 14 Box plotový graf [15]</i>	30
<i>Obr. 15 Konfidenční interval pro střední hodnotu [15]</i>	32
<i>Obr. 16 Normální rozdělení [17]</i>	32
<i>Obr. 17 Normální normované rozdělení [17]</i>	33
<i>Obr. 18 Mikroskop Carl Zeiss po repasi</i>	36
<i>Obr. 19 Mikroskop Carl Zeiss s měřicí a referenční větví</i>	37
<i>Obr. 20 Záznam teploty a času při kalibraci mikroskopu</i>	38
<i>Obr. 21 Uspořádání pracoviště při měření</i>	38
<i>Obr. 22 Spuštěný program pro zaznamenávání naměřených hodnot v PC</i>	39
<i>Obr. 23 Laserový interferometr Renishaw</i>	39
<i>Obr. 25 Kompenzační jednotka XC – 80 [18]</i>	40
<i>Obr. 24 Laser XL – 80 [18]</i>	40
<i>Obr. 26 Měřicí optika [18]</i>	40
<i>Obr. 27 Stativ a přepravní set laserového zařízení [18]</i>	41
<i>Obr. 28 Optika zobrazující stupnici mikroskopu</i>	42
<i>Obr. 29 Seřizování saní mikroskopu</i>	43
<i>Obr. 30 Zdroj laserového paprsku</i>	43
<i>Obr. 31 Stacionární a pohyblivá optika laserového interferometru</i>	44
<i>Obr. 32 Zpětný laserový paprsek [18]</i>	44

<i>Obr. 33 Medián – směr UP v ose X</i>	46
<i>Obr. 34 Průměr – směr UP v ose X</i>	47
<i>Obr. 35 Minimální a maximální hodnota osy X, ve směru UP</i>	48
<i>Obr. 36 Průměr $\pm 3S$ v ose X, směr UP</i>	49
<i>Obr. 37 Rozpětí hodnot mezi minimálními a maximálními hodnotami osy X, směru UP</i>	50
<i>Obr. 38 Medián hodnot v ose X, směr DOWN</i>	52
<i>Obr. 39 Průměr hodnot osy X, směr DOWN</i>	53
<i>Obr. 40 Minimální a maximální hodnoty v ose X, směru DOWN</i>	54
<i>Obr. 41 Průměr $\pm 3S$ (směrodatná odchylka) v ose X, směr DOWN</i>	55
<i>Obr. 42 Rozpětí hodnot mezi minimálními a maximálními hodnotami osy X, směru DOWN</i>	56
<i>Obr. 43 Medián naměřených hodnot osy Y, směr UP</i>	58
<i>Obr. 44 Průměr zaznamenaných hodnot osy Y, směr UP</i>	59
<i>Obr. 45 Minimální a maximální hodnoty osy Y, směr UP</i>	60
<i>Obr. 46 Průměr s normálním rozdělením osy Y, směr UP</i>	61
<i>Obr. 47 Rozpětí hodnot v rozdílu minimálních a maximálních hodnot osy Y, směr UP</i>	62
<i>Obr. 48 Medián naměřených odchylek osy Y, směru DOWN</i>	64
<i>Obr. 49 Průměr naměřených hodnot osy Y, směru DOWN</i>	65
<i>Obr. 50 Minimální a maximální hodnoty odchylek osy Y, směru DOWN</i>	66
<i>Obr. 51 Rozpětí minimálních a maximálních hodnot osy Y, směru DOWN</i>	68

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Naměřená data osy X, směr UP</i>	45
<i>Tabulka 2 Naměřená data osy X, směr DOWN</i>	51
<i>Tabulka 3 Naměřená data osy Y, směr UP</i>	57
<i>Tabulka 4 Naměřená data osy Y, směr DOWN</i>	63

SEZNAM PŘÍLOH

Součástí diplomové práce nejsou žádné přílohy.