



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

PROGRAMOVÁNÍ SOFTWARE INSPEC PRO OPTICKÝ CMM SOL311

INSPEC SOFTWARE PROGRAMMING FOR SOL311 OPTICAL CMM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michaela Kellerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Bc. Michaela Kellerová
Studijní program:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Programování softwaru InSpec pro optický CMM SOL311

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V dnešní strojírenské praxi se běžně kreslí v CAD softwarech a vyrábí se na CNC centrech. Celý výrobní proces je vhodné zakončit měřením programovatelným např. v softwaru InSpect pro optický CMM SOL 311 od firmy MicroVu. Manager kvality musí být schopen doložit, že např. vyrobený otvor je v požadované toleranci.

Cíle diplomové práce:

Systémový rozbor řešené problematiky.

Vytvoření základní technické dokumentace k navrženým obrobkům.

Měření geometrických vlastností obrobků.

Zdůvodnění zvoleného způsobu měření a posouzení dosažených výsledků.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 1101. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. Praha: Český normalizační institut, 2020, 178 s. Třídící znak 014120.

PETR, Karel. Geometrické tolerance dle ISO GPS. Praha: Verlag Dashöfer, 2019. ISBN 978-80-7635-019-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D., FEng.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje problematice programování v softwaru InSpec a vyhodnocení dosažených výsledků měření. Teoretické část je věnována současnému stavu v oblasti souřadnicových měřicích strojů a systémovému rozboru zaměřeného na vlivy působící na uživatelské programování. Praktická část je věnována návrhu součástí určených k měření a posouzení dosažených výsledků z měření.

ABSTRACT

This diploma thesis is devoted to the issue of programming in the InSpec software and the evaluation of the achieved measurement results. The theoretical part is devoted to the current state in the area of coordinate measuring machines and the system area focused on the influences acting on user programming. The practical part is devoted to the design of devices intended for measurement and assessment of the achieved measurement results.

KLÍČOVÁ SLOVA

Geometrické vlastnosti, SOL 311, přesnost, programování, vyhodnocení, software InSpec

KEYWORDS

Geometric properties, SOL 311, accuracy, programming, evaluation, software InSpec

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KELLEROVÁ, Michaela. Programování softwaru InSpec pro optický CMM SOL311 [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156817>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Polzer.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D., za jeho rady a vstřícné vedení při vypracování této diplomové práce. Velké díky patří mé rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Polzera, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.5.2024

.....

Bc. Michaela Kellerová

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	MOTIVACE	15
3	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ	17
3.1	Historický vývoj	17
3.2	Rozdělení CMM dle konstrukce	18
3.3	Senzory pro CMM	23
3.3.1	Bezdotykové senzory	23
3.3.2	Dotykové senzory	23
3.4	Přesnost měření na CMM	24
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY– VLIVY PŮSOBÍCÍ NA UŽIVATELSKÉ PROGRAMOVÁNÍ	25
4.1	InSpec Metrology Software 2.97.10	25
4.2	Volba typu osvětlení	30
4.3	Vliv volby souřadného systému.....	31
4.4	Vliv vybraných technologií na programování	32
4.4.1	Technologie přesného vystřihování.....	32
4.4.2	Frézování	33
4.5	Systém ISO GPS.....	35
4.6	Vyhodnocení výsledků měření v nejistotovém přístupu.....	38
4.7	Ukazatele způsobilost měřidla c_g a c_{gk}	42
4.8	Ověření shody se specifikací	43
4.9	Importování a exportování souborů.....	45
5	ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ DOKUMENTACE K NAVRŽENÝM OBROBKŮM	46
5.1	Součástka 1 (Multitool)	46
5.2	Součástka 2 (Otvory)	47
5.3	Součástka 3 (Drážky).....	47
6	ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU MĚŘENÍ A POSOUZENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	49
6.1	Použité stroje.....	49
6.2	Součástka 1 (Multitool)	51
6.3	Součástka 2 (otvory)	55
6.4	Součástka 3 (Drážky).....	63
7	DOPORUČENÍ PRO PRAXI A VLASTNÍ ZÁVĚRY	72
8	ZÁVĚR	74
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	81
10.1	Seznam tabulek	81
10.2	Seznam obrázků.....	81
10.3	Seznam zkratk a symbolů	85
11	SEZNAM PŘÍLOH	89

1 ÚVOD

Souřadnicové měřicí stroje (anglicky *Coordinate Measuring Machines*) zaznamenaly převratný vývoj ve zpřesňování a zrychlování výrobního procesu, ve kterém musí měřicí, lépe řečeno kontrolní technika držet krok s aktuálním vývojem. [1]

V dnešní době je využití digitálních optických měřicích systémů v průmyslové oblasti široce rozšířeno. A to díky svým výhodám, jako jsou: rychlost sběru dat, automatizace měřicích funkcí, přesnost, a především možnosti bezkontaktního měření. [26]

I přes tyto výhody optických souřadnicových měřicích strojů jsou v současnosti stále operátoři, kteří raději sáhnou a měří součásti posuvným měřidlem, protože nedůvěřují těmto optickým strojům. Cílem této práce je popularizace optických měřicích strojů.

Tato diplomová práce je věnovaná programování a posuzování výsledků a skládá se z úvodu, 8 kapitol a 26 příloh.

Druhá kapitola je věnovaná motivaci, kde jsou upřesněny cíle této diplomové práce.

Třetí kapitola je věnovaná současnému stavu poznání. V této kapitole je popsán vývoj souřadnicových měřicích strojů, dále konstrukční typy těchto strojů.

Čtvrtá kapitola popisuje systémový rozbor řešené problematiky. V této kapitole jsou popsány vlivy, které mají dopad na programování na optickém souřadnicovém stroji SOL 311. Je zde popsán software InSpec, jednotlivé typy osvětlení, souřadné systémy, technologie výroby součástek, systém ISO GPS, ukazatele způsobilosti c_g a c_{gk} a importování a exportování dat.

Pátá kapitola je věnována základní technické dokumentaci k navrženým obrobkům. U součástek 2 a 3 je popsán jednoduchý technologický postup výroby.

Šestá kapitola se věnuje zdůvodnění zvoleného postupu měření a vyhodnocení dosažených výsledků. Také jsou zde představeny stroje, na kterých se dané součástky vyráběly.

V sedmé kapitole jsou uvedeny doporučení pro praxi a vlastní závěry.

Osmá závěrečná kapitola je věnovaná shrnutí celé diplomové práce.

Hlavní výstupem této diplomové práce je vyhodnocení a porovnání naměřených výsledků vyrobených součástek a vlivům, které působily na měření.

2 MOTIVACE

Souřadnicové měřicí stroje jsou určeny k měření komplexní geometrie jednoduchých i složitých součástí. Ve spojení s výpočetní technikou využívá přesných odměřovacích systémů. [30]

Metrologický software InSpec od americké firmy Micro-Vu nabízí výkonné funkce pro měření přímo na obrazovce. Tento software slouží pro měření na optických a multisenzorových měřicích strojích. [2]

Měření je proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot měřené veličiny.[3]

Hlavním přínosem této práce je vyhodnocení a posouzení přesného výsledků měření s důrazem na vlivy, které tento výsledek ovlivňují.

V této diplomové práci byly plněny cíle následovně:

- systémový rozbor řešené problematiky s důrazem na vlivy, které ovlivňují uživatelské programování,
- základní technická dokumentace k navrženým výrobkům, kde v rámci plnění tohoto cíle je nutné navrhnout součástky a vytvořit k nim technické výkresy,
- realizování měření geometrických vlastností 3 součástek, kde je nutné před začátkem samotného měření vytvořit programy k měřeným součástkám vždy pro přední a zadní stranu,
- zdůvodnění zvoleného způsobu měření a posouzení dosažených výsledků. První součástka (multitool) bude hodnocena posouzením shody se specifikací dle normy ČSN EN ISO 14253:2023 a pomocí popisné statistiky. U druhé součástky (otvory) budou hodnoceny průměry otvorů pomocí vyhodnocovacích metod a vlivy, které působily při měření na součástky. U třetí součástky (drážky) bude primárně porovnáván vliv dolního a horního osvětlení na výsledky měření,
- doporučení pro praxi a vlastní závěry,
- dle pokynů vedoucího práce navrhnout excelovský soubor pro výuku magisterského studia – multitool.

3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Souřadnicové měřicí stroje (dále jen CMM) jsou jedny z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. [34]

Princip souřadnicového měření spočívá ve stanovení základního bodu v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti, které měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost zvolení základního bodu v jakémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám. [34]

3.1 Historický vývoj

Vůbec první CMM vyrobila skotská společnost Ferranti, Ltd [36]. Zároveň se však o prvenství hlásí taktéž italská společnost DEA, která je dnes součástí společnosti Hexagon AB [37]. Proto není dodnes jasné, která z těchto společností navrhla a vyrobila první tříosý CMM.[31]

První tříosé souřadnicové stroje vznikly v roce 1950. Tříosá zařízení sice existovala již ve 40. letech minulého století, ale měření se prováděla pouze pomocí Vernierových vah. [31]

CMM se poprvé objevily v roce 1959 na pařížské mezinárodní výstavě obráběcích strojů. První průlom nastal v roce 1972, kdy firma Carl Zeiss AG (dále jen Zeiss) představila první sondu. V této době se používaly mechanické sondy, které byly zasazené do speciálních držáků. Sondy tak zůstaly nehybné pro měření konkrétních bodů objektů. Tyto sondy usnadňovaly měření plochých, válcových nebo kulatých povrchů, ale znemožňovaly přemísťování sond pro měření různých tvarů a velikostí. [31]

V roce 1973 firma Zeiss představila svou první 3D měřicí sondu. Tato sonda se skládala ze tří vzájemně uspořádaných os. Každá osa byla vybavena akčním členem pro kontrolu snímací síly. Zároveň také indukčním senzorem pro měření posuvu. [31]

V 80. letech minulého století došlo ve Švýcarsku k zpopularizování metrologického softwaru založeného na počítačové technologii. V roce 1985 byla laserová technologie aplikovaná pro 3D skenování. To znamenalo první implementaci bezdotykového senzoru pro měření geometrie křehkých součástí. O čtyři roky později byl vyvinut první laserový tracker.[31]

V 90. letech minulého století, již počítače umožňovaly operátorům pohybovat sondami tak, aby umožňovaly měření konkrétních dat. Došlo k podstatnému zjednodušení používání.[31]

Na začátku nového tisíciletí byly vytvořeny optické přenosné CMM. Tento pokrok přinesl zcela novou úroveň přenosnosti, jednoduchosti a efektivnosti této technologie. [31]

V současné době většina výrobců používá stejné materiály jako v minulosti, avšak s pokročilou softwarovou integrací. Odolný základ tohoto zařízení je důvodem, proč se nakupují a prodávají použitá zařízení CMM. Tato struktura se využívá k modernizaci a aktualizaci softwaru. Pomocí různých pokročilých dílů a aktualizací softwaru se dají použité CMM dovybavit a upgradovat. (2010) [31]

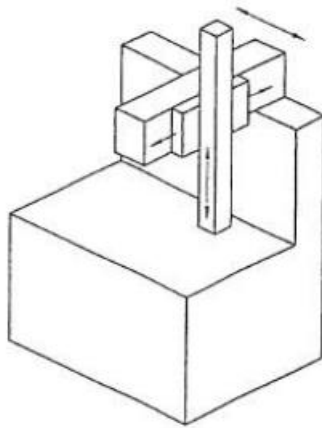
3.2 Rozdělení CMM dle konstrukce

V této podkapitole budou představeny druhy konstrukce CMM.

Výložníkový CMM s pevným stolem

Tento typ CMM používají tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím částem. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k části třetí. Třetí část, která je podepřena pouze na jednom konci, se pohybuje z pohledu k základně stroje horizontálně. [32]

Na obrázku obr. 1) lze vidět tento typ CMM.

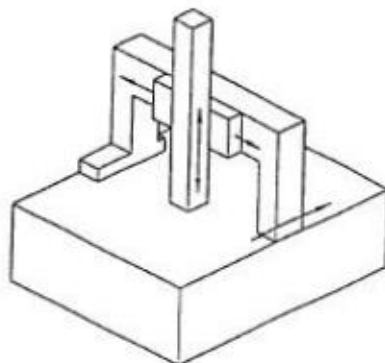


Obr. 1) Výložníkový CMM s pevným stolem [32]

CMM s pohyblivým portálem

CMM s pohyblivým portálem používají tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částím. Horizontálně ke třetí části se potom pohybují zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy. Na protějších stranách základny stroje je třetí část podepřena na dvou nohách. Na této části, která se pohybuje vůči základně, se nachází upnutá měřená součástka. [32]

Na obrázku obr. 2) lze vidět CMM s pohyblivým portálem.

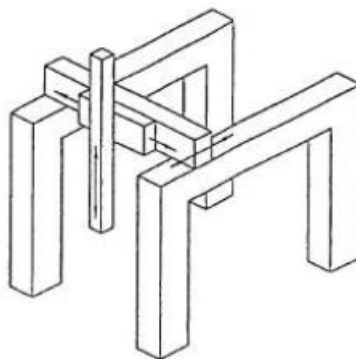


Obr. 2) CMM s pohyblivým portálem [32]

Mostový CMM

Mostový CMM používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím částím. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k třetí části. Třetí část se pohybuje po dvou zvýšených vedeních, které jsou na obou stranách nad základnou stroje. [32]

Na obrázku obr. 3) je mostový CMM.

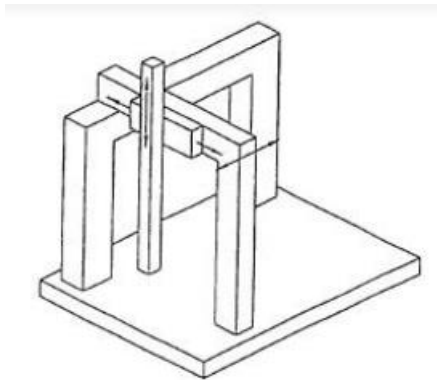


Obr. 3) Mostový CMM [32]

CMM s mostem ve tvaru L

CMM s mostem ve tvaru L používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částím. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k třetí části. Třetí část má stejně jako mostový CMM dvě vedení. Jedno vedení je pod nebo v úrovni základny stroje, druhé vedení je vyvýšené nad základnu stroje. [32]

Na obrázku obr. 4) lze vidět tento typ stroje.

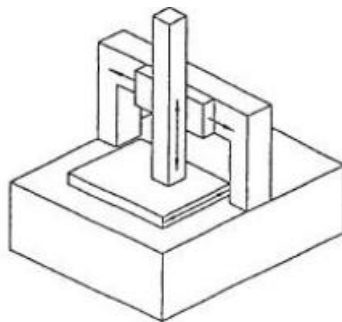


Obr. 4) CMM s mostem ve tvaru L [32]

CMM s pevným portálem

CMM s pevným používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částím. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k třetí části. Na třetí části je upnuta měřená součástka. [32]

Na obrázku obr. 5) lze vidět tento typ stroje.

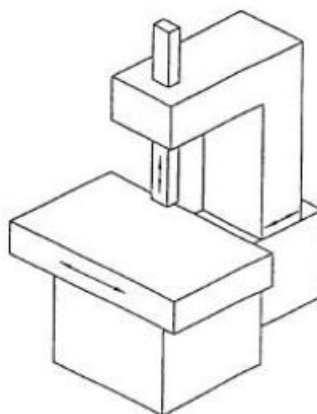


Obr. 5) CMM s pevným portálem [32]

Výložníkový CMM s pohyblivým stolem

Výložníkový CMM s pohyblivým stolem používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částem. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k třetí části. Třetí část se pohybuje horizontálně vůči základně a stejně jako CMM s pevným portálem je měřená součástka upnuta na třetí části. [32]

Na obrázku obr. 6) lze vidět výložníkový CMM s pohyblivým stolem.

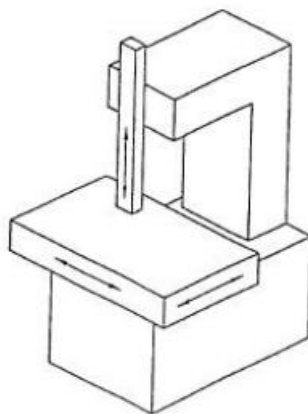


Obr. 6) Výložníkový CMM s pohyblivým portálem [32]

Stojanový CMM

Stojanový CMM používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybuující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částím. Na základně stroje je upevněna druhá část, která se pohybuje vůči ní v horizontální rovině a na této části je upevněna měřená součást. [32]

Na obrázku obr. 7) lze vidět stojanový CMM.

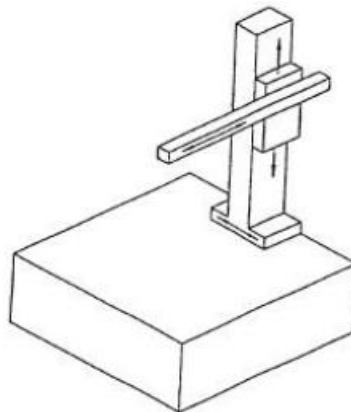


Obr. 7) Stojanový CMM [10]

CMM s pohyblivým sloupem a pohyblivým vodorovným ramenem

CMM s pohyblivým sloupem a pohyblivým vodorovným ramenem používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybuující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částím. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k třetí části. Třetí část se pohybuje horizontálně vzhledem k základně stroje a na této části je upnuta měřená součást. [32]

Na obrázku obr. 8) lze vidět CMM s pohyblivým sloupem a pohyblivým vodorovným ramenem.

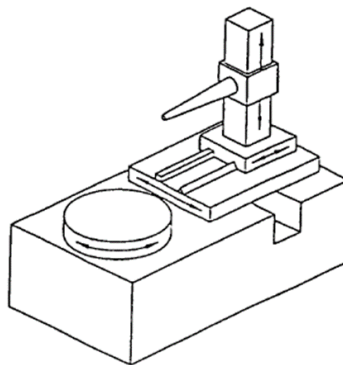


Obr. 8) CMM s pohyblivým sloupem a pohyblivým vodorovným ramenem [32]

CMM s pevným stolem a vodorovným ramenem

CMM s pevným stolem a vodorovným ramenem používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím dvěma částím. Horizontálně se pohybuje vzhledem k třetí části část druhá. Třetí část se pohybuje horizontálně vzhledem k základně a na této části je upnuta součástka. [32]

Na obrázku obr. 9) lze vidět CMM s pevným stolem a vodorovným ramenem.

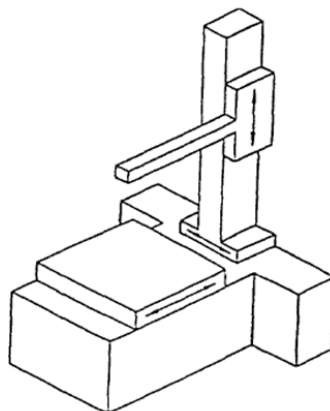


Obr. 9) CMM s pevným stolem a vodorovným ramenem [32]

CMM s pohyblivým stolem a vodorovným ramenem

CMM s pohyblivým stolem a vodorovným ramenem používá tři na sebe kolmé, podél vedení se vzájemně pohybující části. Část, která obsahuje snímací hlavu, se pohybuje vertikálně oproti zbývajícím částím. Zbývajících dvě části, které jsou spojené do sestavy, se pohybují horizontálně vzhledem k třetí části. Na třetí části je upnutá měřená součástka. [32]

Na obrázku obr. 10) lze vidět CMM s pohyblivým stolem a vodorovným ramenem



Obr. 10) CMM s pohyblivým stolem a vodorovným ramenem [32]

Konstrukce optického CMM SOL 311 odpovídá stojanovému typu konstrukce. Konstrukce CMM se skládá z pracovní desky, mostu, vozíku, pinoly a vedení [34].

3.3 Senzory pro CMM

V této podkapitole budou probrány bezdotykové a dotykové senzory.

3.3.1 Bezdotykové senzory

Výhoda optických senzorů je ve využití bezkontaktního měření. Díky tomu lze měřit jak malé prvky součástky, tak i křehké součástky. [33]

Druhy optický senzorů:

- senzory se zpracováním obrazu,
- senzory s autofokusem,
- laserové triangulační senzory,
- chromatické zaměřovací senzory,
- interferometrické bodové senzory,
- konfokální plošné senzory. [33]

3.3.2 Dotykové senzory

Funkční princip spočívá na mechanickém dotyku s měřenou součástkou. Výsledek měření obsahuje geometrii, tj. tvar a velikost měřicího prvku, tj. kulička, tak i prostorovou pozici a geometrickou formu měřené plochy objektu. Dotykové senzory se rozlišují na:

- měřicí dotykové systémy,
- spínací dotykové systémy. [33]

3.4 Přesnost měření na CMM

Přesností měření se všeobecně rozumí to, co charakterizuje přesnost výsledku měření. Přesnost měření závisí zejména na:

- mechanice stroje,
- měřicím systému a chyby v dělení se korigují pomocí korekčních tabulek,
- snímacím systému,
- elektronice,
- počítači,
- vlastnostech měřené součástky,
- prostředí, ve kterém se měření realizuje. [35]

Faktory, které ovlivňují a přispívají k nejistotě měření lze rozdělit na:

- objekt měření,
- operátora,
- měřicí stroj,
- strategii měření a okolí. [35]

Vliv od měřicího přístroje – každé měřicí zařízení obsahuje vnitřní nedokonalosti, které se berou do úvahy při udávání přesnosti měřicího zařízení. Tyto nedokonalosti jsou:

- nepřesnosti výroby funkčních elementů,
- deformace,
- nepřesnosti montáže převodových systémů a mechanismů. [35]

Vliv od okolí – velký vliv na měření má teplota. Proto většina metrologických laboratoří udržuje teplotu na všeobecné standardní teplotě, tj. 20 ± 1 °C. [35]

Vliv od měřeného objektu – některé charakteristiky měřené součástky ovlivňují výsledek měření a to:

- tvrdost,
- charakteristika povrchu,
- elastická a plastická pružnost. [35]

Vliv od operátora a strategie měření – obsluha by měla používat konkrétní strategii měření, protože velikost nejistoty bude záviset na zvolené strategii měření. [35]

Na přesnost měření má vliv i zahřívání stroje. Proto v metrologické praxi, která je používána v průmyslu, je po zapnutí CMM nutné počkat určitý časový interval pro získání teplotní stability. [38]

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY– VLIVY PŮSOBÍCÍ NA UŽIVATELSKÉ PROGRAMOVÁNÍ

V této kapitole je probrán systémový rozbor řešené problematiky. V podkapitole 3.1 je popsán software InSpec a ikony, které byly použity při programování navržených součástek. Podkapitola 3.2 pojednává o typech osvětlení optického souřadnicového stroje SOL 311 (dále jen SOL 311). V podkapitole 3.3 jsou popsány souřadné systémy a v podkapitole 3.4 technologie vystřihávání a frézování. Podkapitola 3.5 popisuje systém ISO GPS. V podkapitole 3.6 je probráno vyhodnocení výsledků měření v nejistotovém přístupu a ověření shody se specifikací dle normy ČSN EN ISO 14253-1:2023. V další podkapitole je popsána způsobilost c_g a c_{gk} . V poslední podkapitole je probráno importování a exportování souborů.

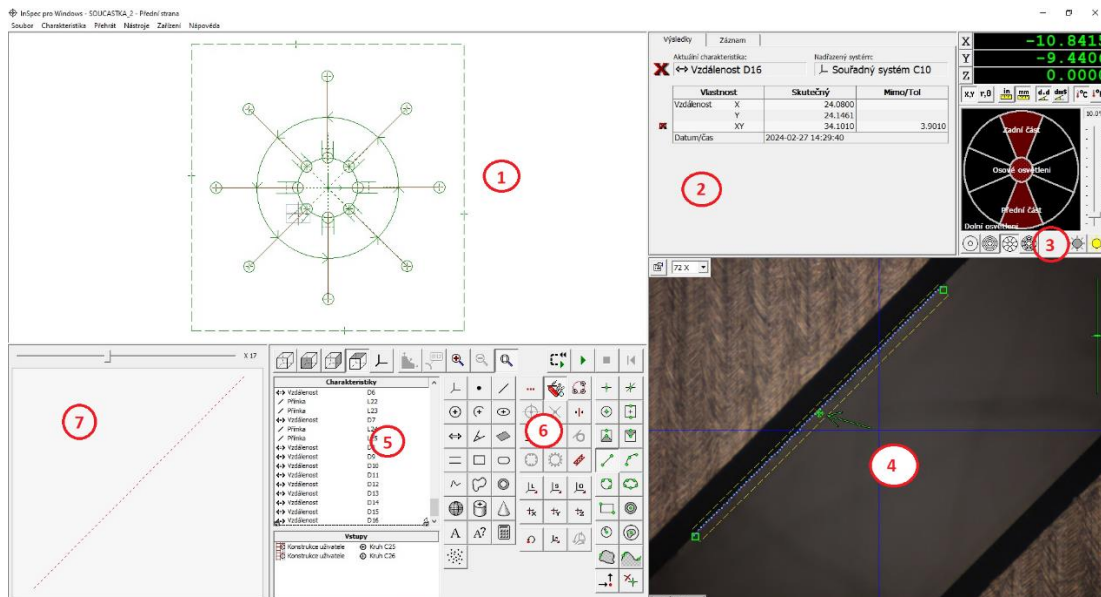
4.1 InSpec Metrology Software 2.97.10

InSpec Metrology Software 2.97.10 (dále jen InSpec) je metrologický software na měřicí aplikace pro optické a multisenzorové měřicí stroje. Jedná se o výkonný měřicí nástroj. Je navržen tak, aby bylo možné v něm snadno programovat. Programování v softwaru InSpec je velice jednoduché a intuitivní. [2]

Software InSpec měří různé charakteristiky, jako jsou hrana, výška, otvor, poloměr a mnoho dalších charakteristik. Při měření vypočítává software polohu, velikost a tvar charakteristiky. [2]

Mezi hlavní funkce softwaru InSpec patří:

- detekce hran na povrchu i profilu,
- měření podél osy Z s detekcí zaostření,
- měření součástek s přesností menší než jeden pixel,
- intuitivní vytvoření měřicího programu,
- zvýraznění požadovaných hran pomocí osvětlení,
- možnost uložení a nahrání neomezeného množství měřicích programů,
- možnost exportovat naměřené údaje do tabulek, SPC a protokolů. [2]



Obr. 11) Uživatelské rozhraní softwaru InSpec

Rozhraní na obr. 11 lze vidět uživatelské rozhraní softwaru InSpec, kde lze vidět:

1. okno schématu,
2. sekci s výsledky,
3. sekce s polohou stolku, jednotkami a nastavení osvětlení
4. okno kamery,
5. aktuální program,
6. sekce ikon charakteristik, konstrukce a nástrojů,
7. okno odchylek. [2]

Při programování a následném měření by se mělo uchovat v paměti 5 základních bodů:








1. dopředu si naplánovat měření,
2. zvolit úroveň osvětlení,
3. zachovávat zaostření,
4. vytvořit souřadný systém,
5. změřit charakteristiky. [2]

Před zahájením programování je nutné si rozmyslet, co je potřeba změřit a je-li možné cíle dosáhnout pomocí tohoto softwaru. Čím víc je programátor důkladný při sestavování plánu měření, tím víc si ušetří čas při programování a následném měření. [2]

Programování v softwaru InSpec je velice jednoduché a intuitivní. Programuje se pomocí ikon charakteristik, ikon konstrukce a ikon nástrojů. [2]

V tabulce 1 jsou prezentovány charakteristiky, které byly použity při programování v praktické části této diplomové práce. Jedná se o základní složky programu. [2]

Tabulka 1) Ikony charakteristik [2]




Ikony charakteristik	Značka
Souřadný systém	
Bod	
Přímka	
Kružnice	
Oblouk	
Vzdálenost	
Úhel	
Rovina	
Mračno bodů	

Souřadný systém lze vytvořit pomocí systému souřadnic nebo referenční charakteristiky. Při zvolení ikony souřadného systému se aktivují ikony vyrovnání souřadnic, natočení souřadnic a počátek souřadnic. Bod se používá pro určení polohy XYZ a je možné ho použít k určení výchozích poloh v programu, průsečíku přímek, oblouků či kružnic. Přímka se používá k určování hran měřené součástky. Tato charakteristika má směr v aktuálně zvolené rovině XY a je vystředěna v poloze XYZ. Kružnice měří polohu a její průměr. Pro použití je nutné zadat tři body kruhu. Oblouk určuje poloměr a střed jako polohu XYZ. Pro vytvoření této charakteristiky je nutné použít tři body oblouku. Vzdálenost měří délku křivky mezi dvěma body či charakteristikou. Tato charakteristika vypočítá délku mezi středovými body u vybraných charakteristik za předpokladu, že jedna nebo obě charakteristiky nejsou přímkou. Vzdálenost mezi dvěma přímkami měří délku normály dané přímkou ke středu přímkou druhé. Úhel umožňuje měřit velikost úhlu a polohu vrcholu. Rovinu je možné vytvořit pomocí nejméně tří bodů. Tyto body pro vytvoření roviny budou ve většině případů zaostřené body. Mračno bodů je charakteristika, která pomáhá ke zjednodušení měření, tím že jiné charakteristiky se přidají právě na tuto charakteristiku. [2]

V tabulce 2 je možné vidět ikony konstrukce, které jsou aplikované v programování v praktické části. Tyto ikony jsou používány k definování způsobu použití dat jedné charakteristiky ke konstrukci jiné. [2]

Tabulka 2)








Ikony konstrukce [2]

Ikony konstrukce	Značka
Více vstupů	
Průsečík	
Opsaná kružnice	
Vepsaná kružnice	
Minimální zóna	
Vyrovnání souřadnic	
Natočení souřadnic	
Počátek souřadnic	
Počátek X	
Počátek Y	
Počátek Z	

Ikona více bodů umožňuje použití vytvoření charakteristik více bodů, než je požadované minimum. To umožňuje lepší charakterizaci velikosti, polohy a tvaru kružnice. Průsečík tvoří bod ležící v místě, kde se protínají dvě charakteristiky. Pro vytvoření průsečíku dvou přímek je nutné zvolit charakteristiku bodu a ikonu průsečíku a následně v seznamu charakteristik zvolit dvě přímky, které se mají protínat. Opsaná kružnice, vepsaná kružnice a minimální zóna jsou typy konstrukce, které se používají k sestrojování kružnic. Vyrovnání souřadnic umožňuje uvést do vzájemného vztahu charakteristiky v rovinách, které nejsou rovnoběžné se zaostřenou rovinou stolku. Natočení souřadnic orientuje osy X a Y programu ve směru os měřené součástky. To umožní měření součástky bez nutnosti vyrovnat ji s osami stolku. Počátek souřadnic vytváří referenční nulu os X, Y a Z na určité charakteristice nebo poloze. Existují okolnosti, kdy je potřeba nastavit počátek X, Y nebo Z nezávisle na sobě. Proto je možné v tomto softwaru naprogramovat je zvlášť [2].

V tabulce 3 je možné vidět ikony optických nástrojů, které byly použity v praktické části této práce.





Tabulka 3) Ikony optických nástrojů [2]

Ikony optických nástrojů	Značka
Manuální bod	
Zaostřený bod	
Nejlepší hrana	
Přímka	
Oblouk	
Kruh	
Sledování uzavřená křivka	

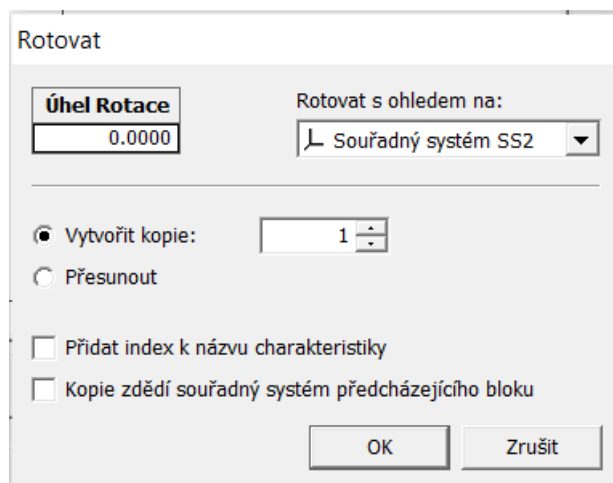
Manuální bod se používá u hran, které nelze určit pomocí některého z pokročilejších nástrojů. Tento nástroj umožní vizuálně určit polohu charakteristiky. Zaostřený bod se používá k určení hodnoty Z povrchu. Jedná se o nástroj, který je založen na kontrastu obrazu uvnitř zaostřovacího čtverečku. Nejlepší hrana nachází nejvýraznější hranu, která se nachází ve specifikované oblasti hledání. Nástroj pro vytváření přímky umožní měřit polohu a směr. Nástroj pro vytváření oblouku umožní měřit velikost, polohu a směr oblouku. Nástroj pro vytváření kružnice umožní měřit velikost a polohu kružnice. Nástroj pro sledování uzavřené křivky sleduje hranu do úplného uzavření křivky. Tento nástroj vyžaduje velice výraznou hranu, kterou má sledovat. [2]

V tabulce 4 jsou prezentovány funkce a ostatní ikony, které byly použity pro vytváření a přehrání vytvořených programů.

Tabulka 4) Ostatní ikony

Ostatní ikony	Značka
Spustit	
Pokračovat	
Zastavit	
Zpět	
Rotovat	Rotovat...

Ikona spustit spustí aktuální program. Ikona pokračovat obnoví program, poté co byl pozastaven. Ikona zastavit zastaví měření programu. Funkce rotovat zjednoduší programování symetrických charakteristik kolem počátku souřadného systému. Jak je možné vidět na obr. 12, je nutné zadat úhel rotace, dále je nutné zadat s ohledem, na jaký souřadný systém se bude rotovat, jestli je nutné původní charakteristiky přesunout či jen vytvořit kopie, v tom případě je nutné zadat počet kopií. [2]



Obr. 12) Funkce rotovat [2]

4.2 Volba typu osvětlení

SOL 311 disponuje 3 druhy osvětlení, a to povrchovým, osovým a profilovým. Osvětlení se může navolit v pravém horním rohu softwaru InSpec. Vybraný druh osvětlení se zobrazí jako tečkovaná oblast, to znamená, že dané osvětlení je právě používáno. Intenzitu osvětlení lze tak již pro zvolené osvětlení nastavit. [2]

Zdroj povrchové osvětlení je horní osvětlení. Tento zdroj světla je tvořený LED diodami, které jsou umístěny po obvodu objektivu kamery. Toto osvětlení lze ovládat jako celek, ale mohou se zapnout i jednotlivé segmenty, mezikruží, oktanty či kvadranty, které můžete vidět na obrázku obr. 13. [2]



Obr. 13) Ikony pro přepínání povrchového osvětlení

Dalším typem osvětlení je osové osvětlení, které je horním osvětlením a nachází se po straně zoomovacího objektivu, odráží se od 45° půleného zrcátka v objektivu. Osvětluje přímo středovou osou objektivu. [2]

Posledním typem je profilové osvětlení, které se nachází přímo pod měřenou součástí. Jedná se tedy o dolní osvětlení. Tento typ osvětlení se nejvíce používá při měření hran a otvorů. Je třeba dávat velký pozor na intenzitu osvětlení. Použije-li se moc velká intenzita, světlo bude přetékat přes hrany. Otvory se budou jevit jako větší a vzdálenosti mezi hranami jako menší. [2]

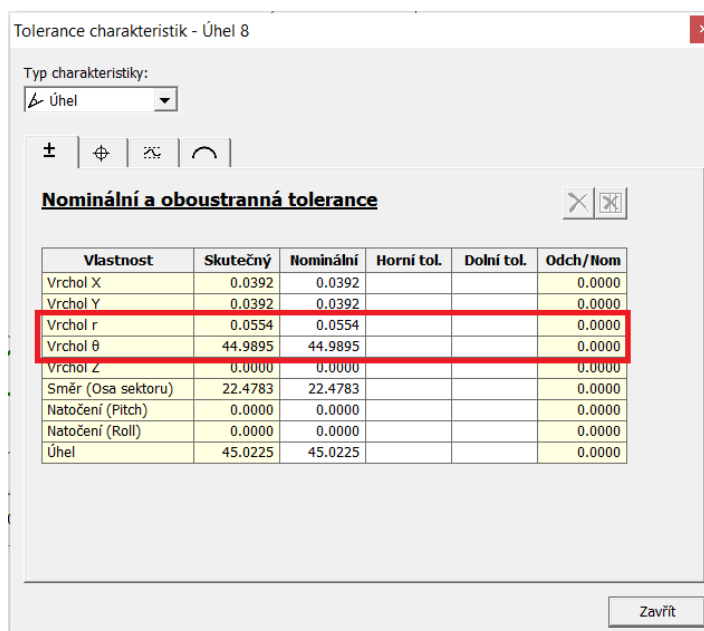
Při výběru osvětlení je třeba dávat pozor na to, jakou součástku měříme. Každý typ osvětlení se hodí na jiný typ měření. Pokud je zvolen chybný typ osvětlení nebo neodpovídající intenzita osvětlení, tak výsledky měření, které jsou prováděny, mohou vycházet neadekvátně. Například pokud se zvolí příliš velká intenzita u horního osvětlení, může dojít k situaci, že hodnoty měření budou větší, než je skutečný rozměr. [2]

4.3 Vliv volby souřadného systému

Kartézský souřadný systém je soustava souřadnic, u které jsou souřadnicové osy vzájemně kolmé přímkami, a které se dotýkají v jednom bodě, tj. počátku soustavy souřadnic. [4]

Polární souřadný systém je soustava souřadnic v rovině, kde jedna souřadnice udává vzdálenost bodu od počátku souřadnic, označovaná jako r a druhá souřadnice udává úhel spojnice tohoto bodu a počátku zvolené osy označovaná jako φ , která leží v jedné rovině. [5]

V softwaru InSpec lze nadefinovat souřadný systém. Ten je možné stanovit tak, že ve funkci tolerance, kterou je možné vidět po kliknutí pravého tlačítka myši či pod klávesou F3, lze u určitých geometrických vlastností, jako například vzdálenost, definovat souřadný systém buď jako polární souřadný systém nebo jako kartézský souřadný systém. Na obr. 14 je možné vidět v červeném rámečku souřadnice pro polární souřadný systém. [2]



Vlastnost	Skutečný	Nominální	Horní tol.	Dolní tol.	Odch./Nom
Vrchol X	0.0392	0.0392			0.0000
Vrchol Y	0.0392	0.0392			0.0000
Vrchol r	0.0554	0.0554			0.0000
Vrchol θ	44.9895	44.9895			0.0000
Vrchol Z	0.0000	0.0000			0.0000
Směr (Osa sektoru)	22.4783	22.4783			0.0000
Natočení (Pitch)	0.0000	0.0000			0.0000
Natočení (Roll)	0.0000	0.0000			0.0000
Úhel	45.0225	45.0225			0.0000

Obr. 14) Polární souřadný systém

Na obr. 15 je možné vidět souřadnice pro kartézský souřadný systém. V červeném rámečku jsou označeny souřadnice kartézského souřadného systému. [2]

Tolerance charakteristik - Vzdálenost 7

Typ charakteristik:
 ↔ Vzdálenost

±

Nominální a oboustranná tolerance

Vlastnost	Skutečný	Nominální	Horní tol.	Dolní tol.	Odch/Nom
Vzdálenost X	33.7087	33.7087			0.0000
Vzdálenost Y	33.6963	33.6963			0.0000
Vzdálenost Z	0.0000	0.0000			0.0000
Vzdálenost XY	47.6625	47.6625			0.0000
Vzdálenost XZ	33.7087	33.7087			0.0000
Vzdálenost YZ	33.6963	33.6963			0.0000
Vzdálenost XYZ	47.6625	47.6625			0.0000
Směr	44.9895	44.9895			0.0000
Natočení (Pitch)	0.0000	0.0000			0.0000

Zavřít

Obr. 15) Kartézský souřadný systém

Na obr. 16 je možné vidět přepínání souřadných systémů. Může se přepínat mezi kartézským souřadným systémem a polárním souřadným systémem. V levé části obr. 18 je možné vidět souřadnice v kartézském souřadném systému a v pravé části souřadnice v polárním souřadném systému. Souřadnice Z uvádí údaj, jak daleko je od měřené součástky kamera. [2]

X	50.367	r	53.069
Y	16.715	θ	18.359
Z	0.000	Z	0.000

x,y r,θ in mm d.d dms °C x,y r,θ in mm d.d dms °C

Obr. 16) Souřadné systémy v softwaru InSpec

4.4 Vliv vybraných technologií na programování

Tato podkapitola pojednává o technologiích, které byly použity při výrobě součástek. Jedná se o technologie vystřihávání a frézování.

4.4.1 Technologie přesného vystřihování

Vystřihování je proces, při kterém je materiál oddělen podle uzavřené čáry stříhu působením dvojice nástrojů, které se nazývají střižník a střižnice. Střižnice je část stříhadla, která je pasivní a působí z vnější strany proti střižníku. Střižník je část stříhadla, která je aktivní a působí zevnitř proti střižnici. Nástroje působí při dělení na materiál ohybem nebo krutem, při kterém je obrobek na určitém místě namáhán nad svou pevnost lomu. [6]

Mezi způsoby vystřihování patří vystřihování se zaoblenými střižnými hranami, vystřihování se zkoseným přídržovačem, přistřihování a přesné vystřihování. [6]

Stříhaný materiál, který prochází nástrojem, je na začátku sevřen mezi přídržovačem a střižnicí. Tlačná hrana je tedy vtlačena do materiálu před vlastním stříhem. Uvnitř je materiál

sevřen mezi střížníkem a vyhazovačem. Při vystřihování se materiál neprohne a radiální složka odpružení, která vzniká následkem plastické deformace, je zachycena tlačnou hranou. [6]

Mezi materiály, které se používají pro přesné vystřihování jsou oceli, které mají dostatečnou tvárnost za studena a minimální mez kluzu. Nejvýhodnější jsou nízkolegované a nízkouhlíkové oceli, které mají pevnost menší nebo rovnou 600 MPa. A které zároveň mají malý obsah příměsí jako je fosfor, síra, dusík nebo vměštky. Naopak nejsou vhodné oceli s vysokým obsahem chromu, manganu a křemíku. V tabulce 5 jsou prezentovány oceli, které jsou vhodné pro přesné vystřihování. [6]

Tabulka 5) Druhy oceli vhodné pro přesné vystřihování (převzato z [6])

Ocel	Chemické složení [%]							Mechanické vlastnosti [MPa]
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
11 300.20	0,09	-	-	-	-	0,04	0,04	340/220
11 320.21	0,11	-	-	-	-	0,045	0,045	400/180
11 330.30	0,13	-	-	-	-	0,05	0,05	400/300
11 343.20	0,17	-	-	-	-	0,05	0,05	420/190
11 373.20	0,22	-	-	-	-	0,05	0,05	420/210
11 423.21	0,24	-	-	-	-	0,05	0,05	520/230
11 700.20	0,65	-	-	-	-	0,055	0,055	780/380
12 010.1	0,14	0,65	0,37	0,15	0,3	0,04	0,04	400/230
12 014.1	0,06	0,45	0,15	-	-	0,02	0,02	450/350
12 020.1	0,13	0,6	0,17	0,35	0,3	0,04	0,04	420/260
12 023.1	0,19	0,65	0,37	0,25	0,3	0,04	0,04	370/220
12 024.1	0,24	0,65	0,37	-	-	0,04	0,04	400/240
12 040.1	0,4	0,8	0,37	0,25	0,3	0,04	0,04	400/290
12 050.1	0,5	0,8	0,37	0,25	0,3	0,04	0,04	550/300
12 060.1	0,6	0,8	0,37	0,25	0,3	0,04	0,04	510/350
12 061.1	0,65	0,8	0,37	0,25	0,3	0,04	0,04	570/390
13 180.0	0,8	1,2	0,35	0,3	0,4	0,035	0,04	-
14 109.3	1,1	0,5	0,35	1,65	0,3	0,027	0,03	740/-
14 180.0	0,8	0,5	0,35	0,6	-	0,03	0,03	1 150/-
14 220.0	0,19	1,4	0,37	1,1	-	0,035	0,035	-
14 260.3	0,6	0,8	1,6	0,7	0,5	0,035	0,035	-
16 221.0	0,19	1	0,37	0,2	1,5	0,035	0,035	-
17 242	0,25	2	1	20	11,5	0,045	0,03	-
17 024	0,45	0,9	0,7	14	-	0,04	0,035	-
19 192	1,05	0,4	0,35	0,2	0,25	0,03	0,035	-
19 312.3	0,85	2,15	0,35	0,25	0,35	0,03	0,035	-
19 452.3	0,65	0,9	1,9	1	0,35	0,03	0,035	-

4.4.2 Frézování

Jedná se o obráběcí metodu, kde je z obrobku odebírán materiál břitem otáčejícího nástroje [7]. Hlavní pohyb koná fréza [8]. Posuv koná součást, která je převážně ve směru kolmém k ose nástroje [7].

Základní způsoby frézování:

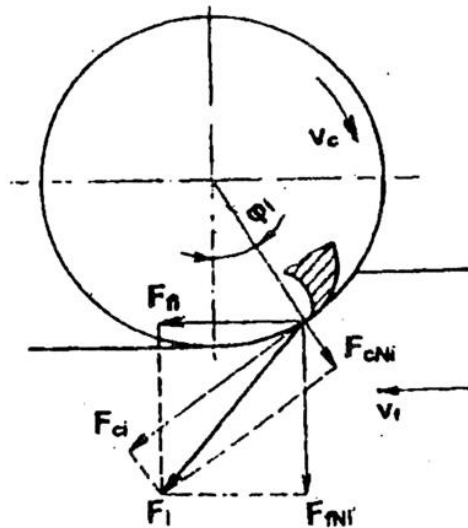
- frézování obvodem válcové frézy,
- frézování čelem čelní frézy. [9]

Frézování obvodem válcové frézy, která obrábí materiál zuby na obvodu. Osa nástroje bývá rovnoběžná s obráběnou plochou. U tohoto způsobu frézování bývá stroj nerovnoměrně zatížen ubíráním třísky, a proto dochází k nepatrnému obvodovému házení. Vlnitá stopa vzniká na frézované ploše. [9]

Frézování čelem čelní frézy, která obrábí materiál současně zuby umístěnými na obvodu a na čele nástroje. Stroj bývá rovnoměrně zatížen. U tohoto způsobu frézování je vyšší řezný výkon a frézovaná plocha má vyšší kvalitu povrchu. [9]

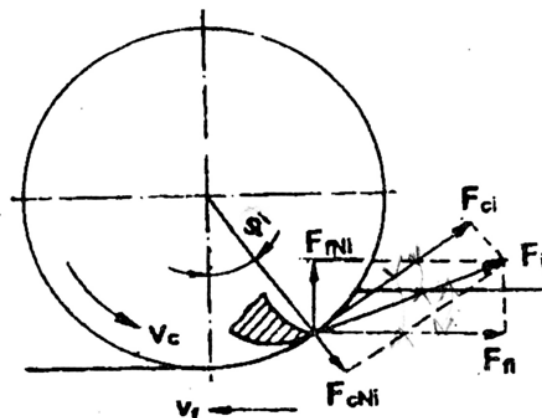
Rozdělení dle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu

Při sousledném frézování se fréza otáčí ve směru posuvu obrobku a tloušťka třísky se mění od maximální hodnoty do nulové hodnoty, jak jde vidět na obrázku obr. 17. [7]



Obr. 17) Sousedné frézování (převzato z [7])

Při nesousledném frézování se fréza otáčí proti směru posuvu obrobku a tloušťka třísky se mění z nulové hodnoty na maximální hodnotu, jak lze vidět na obrázku obr. 18. [7]



Obr. 18) Nesousledné frézování (převzato z [7])

V tabulce 6 je možné vidět druhy hliníkových slitin a jejich obrobiteľnosť. Podľa tejto tabuľky má veľmi dobrú obrobiteľnosť hliníková slitina AW 2007 díky olovu, naopak horší obrobiteľnosť má hliníková slitina AW 1050. [10]

Tabulka 6) Druhy hliníkových slitin [10]

Evropská norma	Složení	Třískové obrábění*
AW 1050	Al 99,5	5
AW 2007	AlCu4PbMgMn	1
AW 2017	AlCu4MgSi	2
AW 5083	AlMg4,5Mn0,7	2
AW 5754	AlMg3	2–3
AW 6060	AlMgSi	3
AW 6082	AlSi1MgMn	3–4
AW 7075	AlZn5,5MgCu	2–3

* Toto hodnotení bylo zvoleno jako známkování ve škole. Znamka 1 značí dobrou obrobiteľnosť a 5 zhoršenou obrobiteľnosť.

4.5 Systém ISO GPS

Systém ISO GPS neboli geometrická specifikace produktu. Je to mezinárodně uznávaný koncept, který pokrývá různé požadavky uvedené na technickém výkrese. To jsou zejména velikost, vzdálenost, poloměr, úhel, tvar, orientace, umístění, házivost, drsnost povrchu, zvlnění povrchu, hrany a podobně. Jedná se tedy zejména o geometrické tolerance. ISO GPS zahrnuje také související ověřovací principy, měřidla a jejich kalibraci. [11]

Systém ISO GPS je stanoven v hierarchii technických norem, která zahrnuje jednotlivé mezinárodní normy. Tyto normy jsou zahrnuty v tomto pořadí základní GPS normy, všeobecné GPS normy a doplňkové GPS normy. [29]

Tabulka 7) Elementy specifikace přiřazeného tolerovaného prvku [13]

Popis	Značka	Kapitola
Minimax (čebyšerův) prvek	Ⓒ	8.2.2.2.2
Prvek nejmenších čtverců	Ⓔ	8.2.2.2.2
Minimální opsaný prvek	Ⓓ	8.2.2.2.2
Maximální vepsaný prvek	Ⓒ	8.2.2.2.2

V tabulce 7 je možné vidět elementy specifikace přiřazeného tolerovaného prvku, jejich značku a číslo kapitoly z normy ČSN EN ISO 1101:2020.

Rozeznáváme 9 geometrických vlastností:

- rozměr,
- vzdálenost,
- tvar,
- orientaci,
- umístění,
- házení,
- texturu povrchu profilu,
- texturu povrchu plochy,
- nedokonalosti povrchu. [14]

Rozměr

Rozměr je vlastní charakteristika rozměrového prvku, který může být určen na jmenovitém prvku nebo na přiřazeném prvku. Rozměry se dělí na lineární a úhlové rozměry. [15]

Lineární rozměr může být válec, koule, dvě rovnoběžné protilehlé roviny, kružnice, dvě rovnoběžné protilehlé přímky a dvě protilehlé kružnice [15]. Úhlový rozměr je úhlový rozměr kužele nebo mezi dvěma koplanárními protilehlými přímkami nebo mezi dvěma protilehlými nerovnoběžnými rovinami. Tento rozměr nesmí být roven 0° nebo 180° . [16]

Vzdálenost

Jedná se o vzdálenost, která je mezi dvěma geometrickými prvky, a zároveň se nejedná o rozměrový prvek, který je chápán jako rozměr. Vzdálenost se dělí na lineární vzdálenost a úhlovou vzdálenost [17]. Lineární vzdálenost je vzdálenost v délkových jednotkách a úhlová vzdálenost je vzdálenost v úhlových jednotkách. [14]

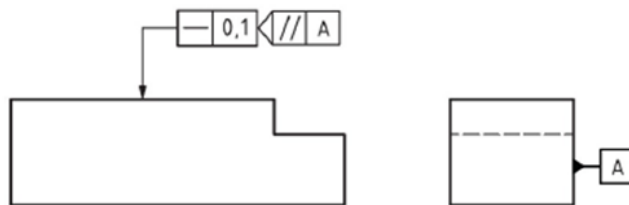
Tvar

Jedná se o specifický druh geometrické tolerance, která se popisuje pomocí dílčích vlastností:

- přímost,
- rovinnost,
- kruhovitost,
- válcovitost,
- profil čáry,
- profil povrchu. [13]

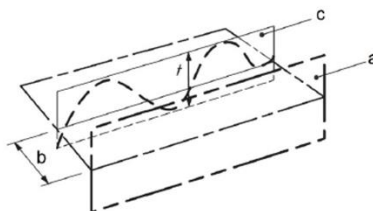
V následující části této podkapitoly jsou shrnuty geometrické vlastnosti tvaru, které byly použity v praktické části této práce nebo na výkresech.

Přímost patří mezi základní geometrické tolerance tvaru. Tolerovaný prvek může být jmenovitý prvek, ale i odvozený prvek. Tvar a charakter jmenovitého tolerančního prvku je stanoven jako přímka. Pokud je přímost aplikována na rovinnou plochu, je třeba doplnit na výkres indikátor průsečíků rovin dle obrázku obr. 19. [13]



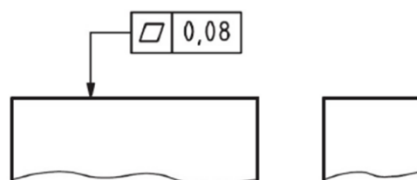
Obr. 19) Indikace přímosti [13]

Toleranční pole pak musí být vymezeno v uvažované rovině rovnoběžné se základnou A dvěma rovnoběžnými přímkami, které jsou vzdálené o t ve specifikovaném směru, znázorněném na obrázku obr. 20. [13]



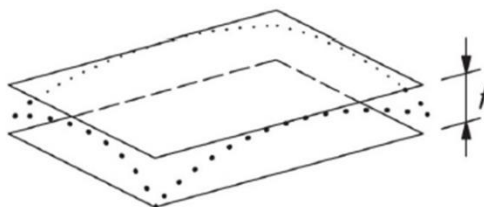
Obr. 20) Toleranční pole přímosti [13]

Rovinnost patří mezi základní geometrické tolerance tvaru. Tolerovaný prvek může být integrální prvek, ale i odvozený prvek. Tvar a charakter jmenovitého tolerančního prvku je stanoven jako rovinný povrch. Na výkrese se rovinnost značí dle obrázku obr. 21. [13]



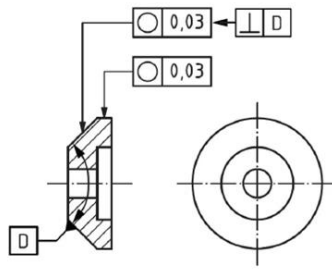
Obr. 21) Indikace rovinnosti [13]

Toleranční pole pak musí být vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou vzdálené od sebe o t dle obrázku obr. 22. [13]



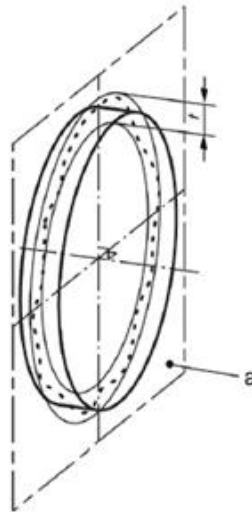
Obr. 22) Toleranční pole rovinnosti [13]

Tolerovaný prvek kruhovitosti je integrální prvek. Tvar a charakter jmenovitého tolerovaného prvku je stanovený jako kruhová křivka. Na výkrese se značí dle obrázku obr. 23.



Obr. 23) Indikace kruhovitosti [13]

Toleranční pole kruhovitosti musí být vymezeno dvěma soustřednými kružnicemi, které mají rozdíl poloměrů t dle obrázku obr. 24.



Obr. 24) Toleranční pole kruhovitosti [13]

4.6 Vyhodnocení výsledků měření v nejistotovém přístupu

V tomto přístupu se připouští, že neexistuje jediná pravá hodnota měřené veličiny. To znamená, že existuje soubor pravých hodnot shodných s definicí. Tento soubor je v praxi nepoznatelný. [18]

Nezáporným parametrem je nejistota měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot veličiny. Tyto veličiny jsou přiřazené k měřené veličině na základě použité informace. [3]

Z opakovaných hodnot měření je vypočtena standardní nejistota u_A . Její hodnota klesá s počtem měření n a zjistí se pomocí výběrové směrodatné odchylky aritmetického průměru vypočteného podle vztahu (1) [18]:

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

Platnost tohoto vzorce je pouze, pokud je počet měření minimálně 10. Pokud je počet měření menší, musí se ještě vynásobit směrodatná odchylka koeficientem K . Koeficient K se určí podle tabulky 8. [18]

Tabulka 8) Tabulka určení koeficientu K (převzato z [18])

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

Potom vzorec bude vypadat podle vztahu (2) [18]:

$$u_A = K \cdot s(\bar{x}) \quad (2)$$

Na počtu měření je standardní nejistota u_B nezávislá. Na základě nejistot uvedených v ověřených listech etalonů, v kalibračních listech stanovených měřidel a certifikátech je tato nejistota určena z možných zdrojů nejistot z_j . Dále jsou to nejistoty, které byly uvedeny ve výsledcích z předchozích měření, nejistoty vycházející z určení tabulkových koeficientů, specifikace metrologických vlastností jednotlivých měřidel výrobců anebo na základě zkušeností. Tato nejistota se vypočítá pomocí vztahu (3) [18]:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{z_j}^2} \quad (3)$$

Pro dosažení správného výsledku musí být vytipovány všechny možné zdroje nejistot z_j . Mezi tyto zdroje patří například nejistota při kalibraci, nedokonalost konstrukce měřicího stroje, použité měřicí metody, nepřesné hodnoty konstant, způsoby vyhodnocování a někdy i nedostatečná zkušenost pracovníků v laboratoři. Pro každý zdroj nejistoty je nutné odhadnout rozsah odchylek $\pm \Delta z_{j_{\max}}$ od jmenovité hodnoty tak, aby došlo vlivem jeho překročení k minimalizaci vlivu na měření. Dále je nutné určit, k jakému rozdělení pravděpodobnosti jsou odchylky ΔZ v intervalu $\pm \Delta z_{\max_j}$ odpovídající. Nakonec se určí hodnoty nejistoty u_{z_j} , které se vypočtou podle vztahu (4) [18]:

$$u_{z_j} = c_j \frac{\Delta z_{j_{\max}}}{\chi} \quad (4)$$

Koeficient χ příslušného rozdělení. Pro normální rozdělení je koeficient roven 3 (2), pro rovnoměrné (pravoúhlé) rozdělení je koeficient roven $\sqrt{3}$, pro trojúhelníkové (Sompsonovo) rozdělení je koeficient roven $\sqrt{6}$, pro bimodální (trojúhelníkové) rozdělení je koeficient roven $\sqrt{2}$, pro bimodální (Diracovo) rozdělení je koeficient roven 1 a pro lichoběžníkové rozdělení je koeficient roven 2,04; 2,19; 2,32. [18]

Výpočet kombinované standardní nejistoty se rovná kladné hodnotě druhé odmocniny součtu nejistot u_A a u_B znázorněné podle vztahu (5) [18].

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (5)$$

Rozšířená nejistota se vypočítá jako součin kombinované nejistoty a koeficientu rozšíření podle následujícího vztahu (6) [18]:

$$U = k \cdot u_C \quad (6)$$

Koeficient rozšíření se stanoví podle tabulky 9

Tabulka 9)

Tabulka koeficientu rozšíření (převzato z [18])

Koeficient rozšíření k	Pravděpodobnost pokrytí [%] za předpokladu $N(\mu, \sigma^2)$
1	68,27
2	95,45
3	99,73

Nejčastěji se pak používá pravděpodobnost pokrytí 95,45 %. Rozšířená nejistota se vždy zaokrouhluje nahoru. [18]

Aritmetický průměr je dán podle vztahu (7) [18]:

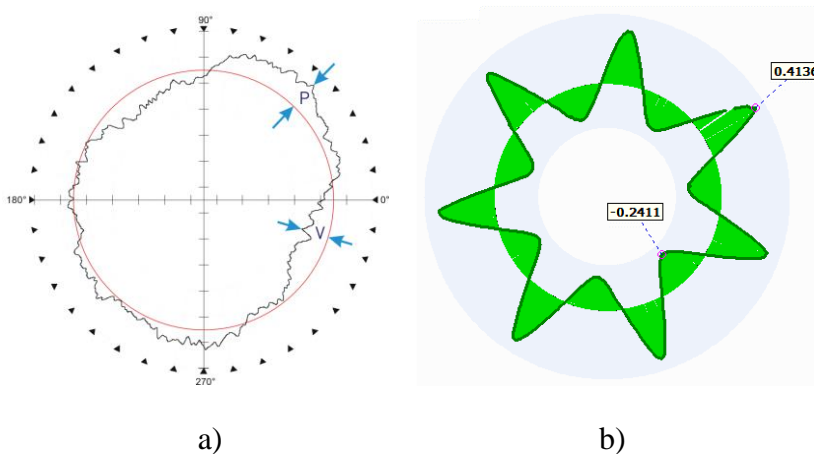
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

Výsledek je následně zapisován podle vztahu (8) [18]

$$X = \bar{x} \pm U \quad (8)$$

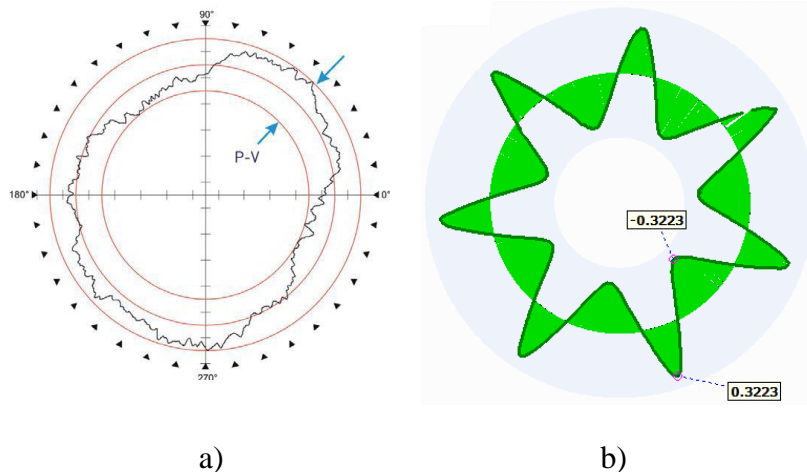
Vyhodnocení kruhovitosti

Referenční kružnice nejmenších čtverců je kružnice, pro kterou je součet nejmenších čtverců kruhovitosti minimální, jak lze vidět na obrázku obr. 25. [19]



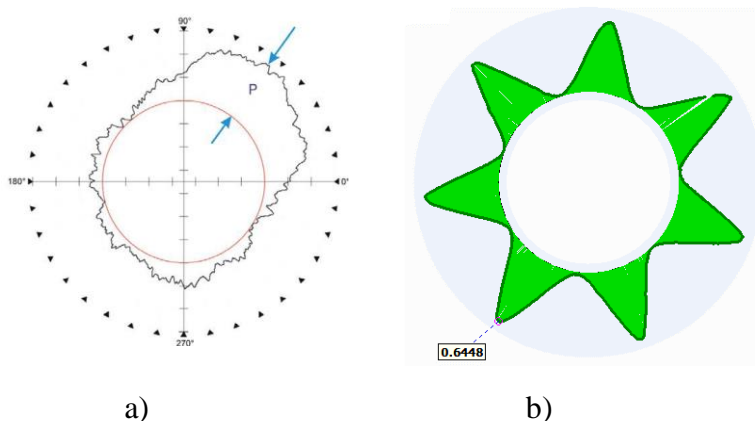
Obr. 25) a) referenční kružnice nejmenších čtverců kružnice [18], b) referenční kružnice nejmenších čtverců 50 pence v softwaru InSpec

Referenční kružnice minimální zóny jsou dvě koaxiální kružnice, které ohraničují profil kruhovitosti a jsou umístěny v nejmenší radiální vzdálenosti, jak lze vidět na obrázku obr. 26. [19]



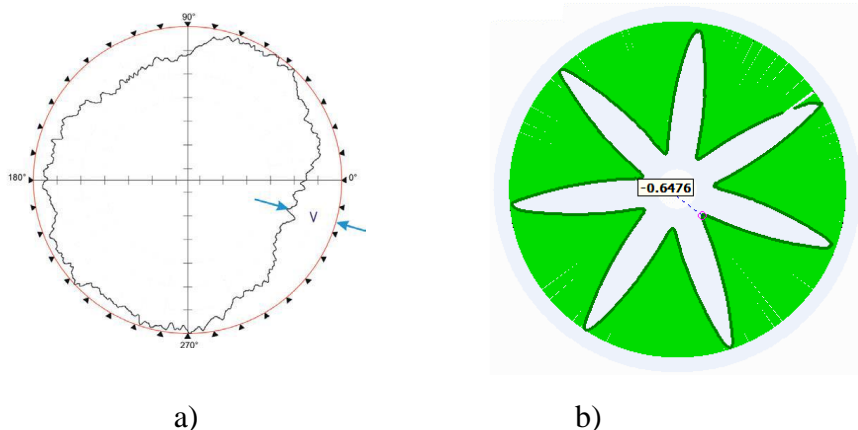
Obr. 26) a) referenční kružnice minimální zóny kružnice [18], b) referenční kružnice minimální zóny kružnice 50 pence v softwaru InSpec

Maximální vepsaná referenční kružnice je největší možná kružnice, která je umístěna uvnitř profilu kruhovitosti, které lze vidět na obrázku obr. 27. [19]



Obr. 27) a) maximální vepsaná referenční kružnice [18], b) maximální vepsaná referenční kružnice 50 pence v softwaru InSpec

Minimální opsaná referenční kružnice je co možná nejmenší kružnice, která může být umístěna uvnitř profilu kruhovitosti, jak lze vidět na obrázku obr. 28. [19]



Obr. 28) a) minimální opsaná referenční kružnice [19], b) minimální opsaná referenční kružnice 50 pence v softwaru InSpec

Vyhodnocení přímosti

Referenční čáry minimální zóny jsou dvě rovnoběžné čáry v rovině přímosti, které jsou umístěny v nejmenší vzdálenosti. Referenční čára nejmenších čtverců je čára, která má součet čtverců místních úchylek minimální. [22]

4.7 Ukazatele způsobilost měřidla c_g a c_{gk}

Jedná se o schopnost měřidla trvale dosahovat při měření očekávané hodnoty měřené veličiny, a to ve smyslu dosáhnout referenční hodnoty měřené veličiny, která je reprezentována etalonem a zároveň udržení povolené míry variability naměřených hodnot. [18]

Přesnost je těsnost shody mezi naměřenou hodnotou a pravou hodnotou měřené veličiny. Preciznost je těsnost shody mezi indikacemi naměřených hodnot, které jsou získány opakovaným měřením na stejném nebo podobném objektu. [3]

Ukazatel způsobilosti měřidla c_g , který hodnotí přesnost/preciznost měřidla dle vztahu(9)

$$c_g = \frac{0,1T}{6s_g}, kde \quad (9)$$

T – toleranční pole,

s_g – výběrová směrodatná odchylka naměřených hodnot zvoleného etalonu. [18]

Ukazatel způsobilosti měřidla c_{gk} , který hodnotí přesnost ve smyslu správnosti a preciznosti podle vztahu (4)

$$c_{gk} = \frac{0,1T - |\bar{x}_g - x_e|}{3s_g}, kde \quad (10)$$

T – toleranční pole,

s_g – výběrová směrodatná odchylka naměřených hodnot,

\bar{x}_g – průměrná naměřená hodnota,

x_e – etalonová hodnota neboli referenční. [18]

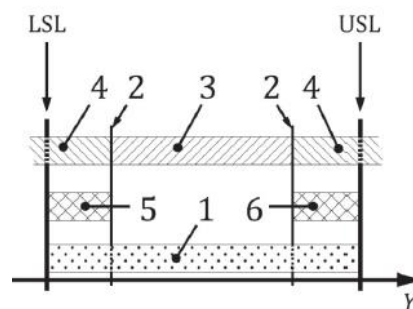
Pravidlo pro hodnocení způsobilosti měřidla je takové, že měřidlo je způsobilé pro měření n . Hodnota 1,33 znamená, že 99,99 % naměřených hodnot leží v intervalu, který má velikost $0,2T$, tedy do tohoto intervalu lze umístit 8 výběrových směrodatných odchylek. Pokud ale ukazatele způsobilosti měřidla c_g a c_{gk} jsou menší než 1,33, znamená to, že měřidlo není způsobilé pro měření požadované tolerance. Pokud je c_{gk} menší, než c_g znamená to, že proces měření není vycentrován. To znamená, že průměrná naměřená hodnota se nerovná konvenčně pravé hodnotě měřeného etalonu. [18]

Výhodou této metody je snadné a jednoduché zhodnocení přesnosti měřidla, kdy způsobilost měřidla zjistíme jediným číslem ve vztahu ke zlomku tolerance. Nevýhodou ovšem je, že se neuvažuje nejistota měření. [18]

Vypočtenou způsobilost měřidla je možné nalézt v přílohách 17, 18, 19 a 20.

4.8 Ověření shody se specifikací

Dle normy ČSN EN ISO 14253:2023 je shoda se specifikací ověřena tehdy, když naměřená hodnota spadá do pole přijetí (*acceptance zone*). Pole přijetí je specifikační pole (*specification zone*), které je zmenšené o ochranná pásma, a to s ohledem na mez pravděpodobnosti shody (*conformance probability limit*) je dohodnutá minimální hodnota pravděpodobnosti shody při ověřování shody. [28]

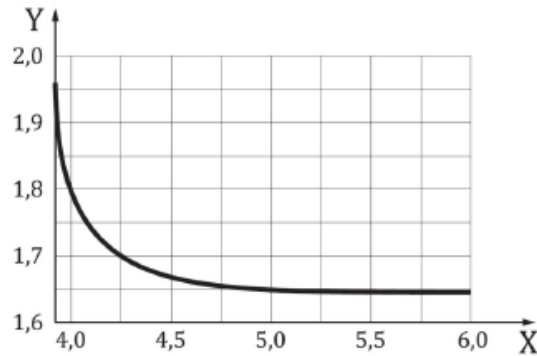


Obr. 29) Specifikace stanovená specifikovanou horní a dolní mezí

Na obr. 29 je možné vidět specifikace stanovené pro dolní a horní mez. V poli 1 se nachází specifikační pole. Jedná se o interval hodnot charakteristiky součásti, populační charakteristiky součástí, největší dovolené chyby (MPE) metrologické charakteristiky měřícího vybavení splňující specifikaci. V polích 2 se nachází meze přijetí (*acceptance limit*). Pole 3 (*acceptance zone*) je soubor jednoho nebo více intervalů přijetí. V poli 4 se nachází pole odmítnutí (*rejection zone*). Pole 5 je ochranné pásmo g_{LA} u specifikované dolní meze (*guard band g_{LA} at upper specification limit*). Pole 6 je ochranné pásmo g_{UA} u specifikované dolní meze (*guard band g_{UA} at lower specification limit*). Y je hodnota charakteristiky, specifikovaná dolní mez je LSL a specifikovaná horní mez je USL. [28]

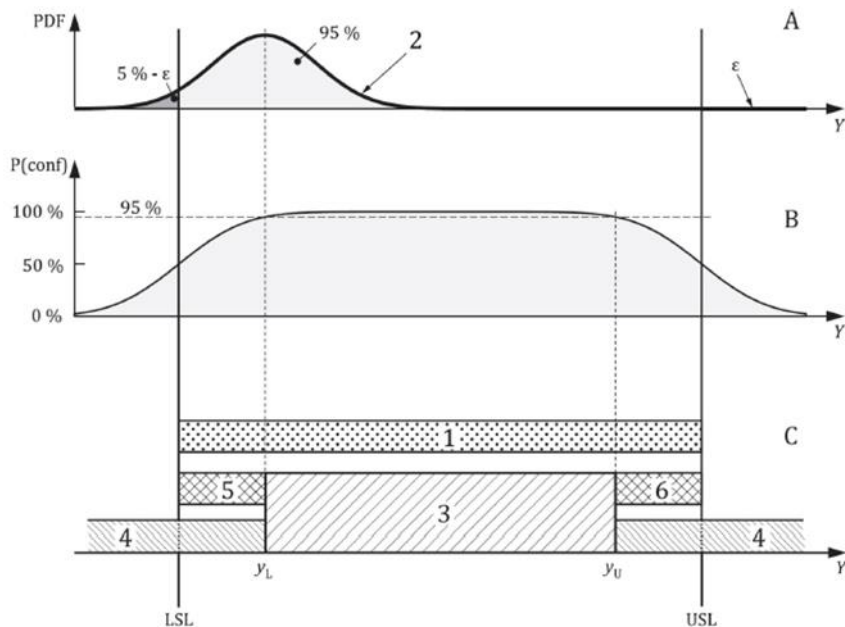
U většiny případů hustota pravděpodobnosti, která je přiřazená k naměřené hodnotě charakteristiky, se považují za symetrické, tedy g_{LA} a g_{UA} mají stejnou šířku. [28]

Ochranné pásmo se vypočítá jako kombinovaná nejistota měření (u_c) násobená koeficientem ochranného pásma g , které lze zjistit pomocí obr. 30. [28]



Obr. 30) Hodnota koeficientu ochranného pásma g jako funkce poměru šířky specifikačního pole a kombinované nejistoty měření

Na grafu v obr. 30 je možné vidět funkci poměru šířky specifikačního pole a kombinované nejistoty měření. Osa X znázorňuje koeficient ochranného pásma g a osa Y znázorňuje $(USL-LSL)/u_c$. Maximální hodnota koeficientu ochranného pásma je 1,96 platí v případě, že $(USL-LSL)/u_c = 2 \cdot 1,96 = 3,92$. Minimální hodnota koeficientu ochranného pásma je 1,65. [28]



Obr. 31) Ověřování shody se specifikací [28]

Na obr. 31 je prezentováno v poli A hustota pravděpodobnosti (PDF) naměřené hodnoty (Y) $y_L = LSL + g_{LA}$ a ϵ značí infinitesimální zbytek. Pole 2 je pak hustota pravděpodobnosti naměřené hodnoty pro $USL + g_{LA}$. V poli B je prezentována pravděpodobnost shody $P(\text{conf})$. V poli C je znázorněno pole přijetí pro ověřování shody. Pole 1 znázorňuje specifikační pole. Pole 3 výchozí pole přijetí, pole 4 výchozí pole odmítnutí. V poli 5 se nachází ochranné pásmo g_{UA} u specifikační dolní meze a v poli 6 je ochranné pásmo g_{LA} u specifikační horní meze. Nejmenší naměřená hodnota, pro kterou lze ověřit shodu je y_L . Největší hodnota, pro kterou lze ověřit shodu je y_U . [28]

4.9 Importování a exportování souborů

Pro rychlejší vytváření programů je možné jednotlivé charakteristiky importovat při použití softwarů IGES, Gerber a Excellon. [2]

Software InSpec umožňuje exportovat soubory ve formátu DXF. Jedná se o formát, který je častým typem souboru CAD systémů. Většina CAD programů dokáže tento formát přijmout. [2]

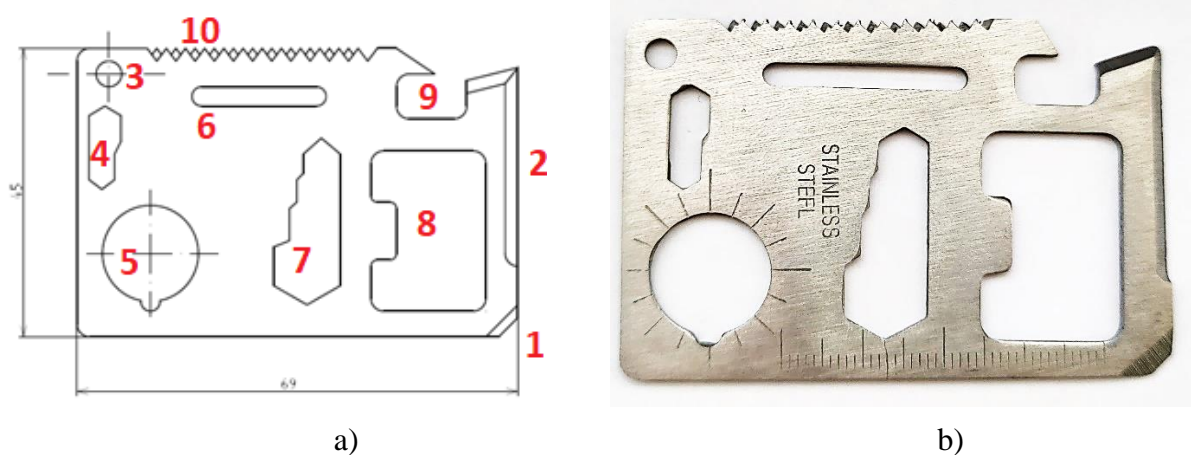
Po každém měření lze exportovat naměřená data do protokolu. Protokoly mohou obsahovat schéma. Je možné také navolit, že protokol bude obsahovat jenom tolerované rozměry nebo kompletní program. [2]

5 ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ DOKUMENTACE K NAVRŽENÝM OBROBKŮM

V této kapitole jsou uvedeny náčrty zvolených součástek, které byly vybrány pro programování a měření.

5.1 Součástka 1 (Multitool)

Jedná se o víceúčelový kapesní nástroj pro přežití. Jedná se o propagační předmět VUT v Brně. Tato součástka byla vyrobena pomocí technologie přesného vystřihování. Součástka byla vybrána z důvodu měření různých geometrických tolerancí. Byly měřeny a vyhodnoceny funkční rozměry, vzdálenosti a geometrické tolerance.



Obr. 32) a) Náčrt součástky 1 s popisem; b) součástka 1

Na obr. 32 a) je možné vidět náčrt součástky 1, kde jsou prezentovány jednotlivé části této součástky:

1. šroubovák,
2. nůž,
3. otvor pro šňůrku,
4. dvou polohový klíč,
5. pomocná indikace směru,
6. motýlkový klíč,
7. čtyř polohový klíč,
8. otvírák,
9. otvírák,
10. pilka.

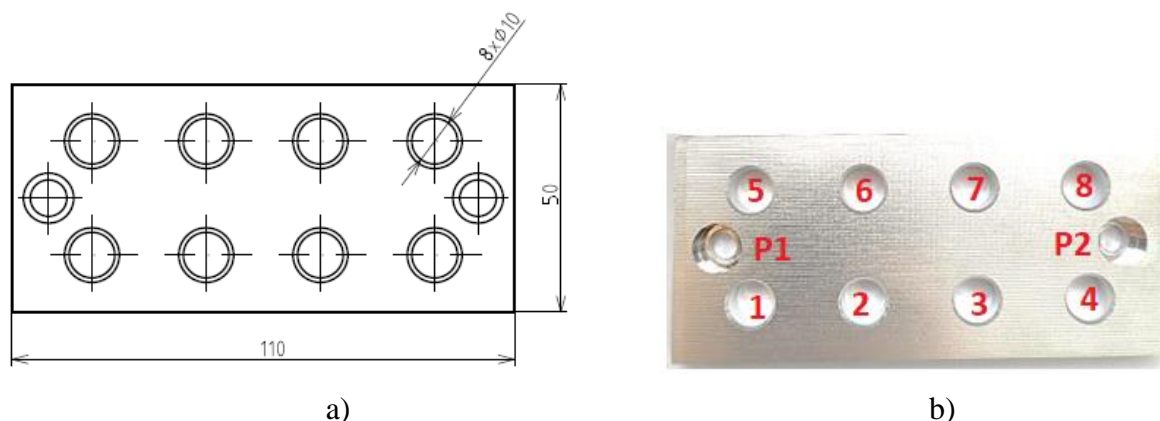
Na obr. 32 b) je možné vidět součástku 1 v reálném stavu. Výkres je možné nalézt v příloze 1 a ve formátu DXF je možné nalézt v příloze 23.

5.2 Součástka 2 (Otvory)

Tato součástka vyráběla na stroji DATRON M8Cube a SLV EDU. Zjednodušený technologický postup:

1. upnutí a vyrovnání ve strojním svěráku,
2. frézování dle výkresové dokumentace,
3. sražení hran,
4. vystavení protokolu.

Na obr. 33 a) je možné načrt součástky 2. Na obr. 33 jsou prezentovány upínací otvory P1 a P2, které byly použity při výrobě součástky. Dále jsou zde popsány jednotlivé vyráběné otvory. Výkres je možné nalézt v příloze 2 a ve formátu DXF je možné nalézt v příloze 24.



Obr. 33) a) Náčrt součástky 2 s kótami; b) součástka 2

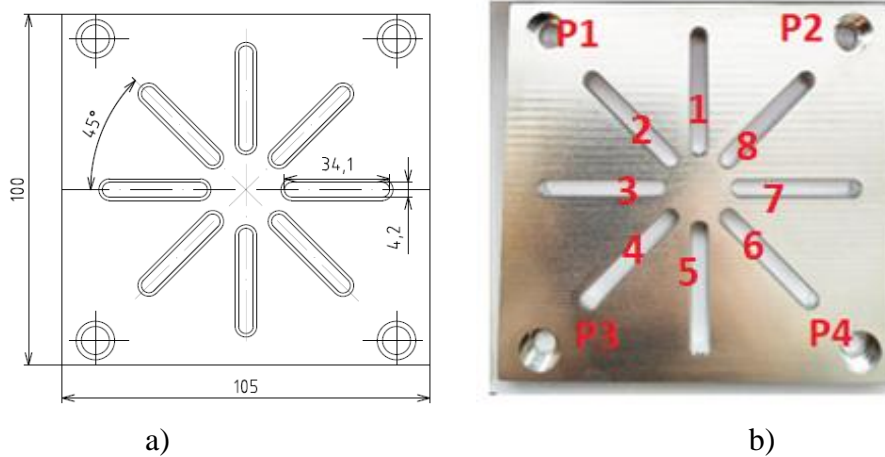
Materiál AW 2007 byl vybrán pro výrobu této součástky jako vhodná volba vzhledem k její velmi dobré obrobiteľnosti, dostupnosti a ceně. Tato hliníková slitina má označení ČSN 42 4254 a obsahuje hliník, měď, olovo, hořčík a mangan.

5.3 Součástka 3 (Drážky)

Tato součástka se vyráběla na stroji DATRON M8Cube a SLV EDU. Zjednodušený technologický postup:

1. upnutí a vyrovnání ve strojním svěráku,
2. frézování dle výkresové dokumentace,
3. sražení hran,
4. vystavení protokolu.

Na obr. 34 a) je možné vidět náčrt součástky 3, kde jsou zvýrazněny charakteristické vzdálenosti. Na obr. 34 b) jsou popsány upínací otvory P1, P2, P3 a P4, které byly použity při výrobě součástky a drážky. Výkres je možné nalézt v příloze 3 a ve formátu DXF je možné nalézt v příloze 25.



Obr. 34) a) náčrt součástky 3 s kótami; b) součástka 3

Materiál AW 2007 byl vybrán pro výrobu této součástky jako vhodná volba vzhledem k její velmi dobré obrobiteľnosti, dostupnosti a ceny. Tato hliníková slitina má označení ČSN 42 4254 a obsahuje hliník, měď, olovo, hořčík a mangan.

6 ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU MĚŘENÍ A POSOUZENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V první části 5 kapitoly jsou stručně představeny stroje, na kterých byla prováděna výroba součástek 2 a 3. Dále je v této části představen optický měřicí přístroj SOL 311 (dále jen SOL 311).

Součástky 1 a 2 se vyráběly na frézce od firmy DATRON. Na této frézce se frézovaly horní a dolní plochy a vrtaly se zde upínací otvory pro šrouby na uchycení ke stolu. Dokončení výroby proběhlo na pětiosé frézce SLV EDU/Sinumerik ONE (pětiosý souvisle řízený, dále jen pětiosá frézka). Měření probíhalo na optickém měřicím přístroji SOL 311. Program byl programován v softwaru InSpec.

Postup při programování se řídil následujícími zásadami:

- vytvoření plánu měření,
- volba typu a intenzity osvětlení,
- vytvoření souřadného systému,
- vytvoření pomocných charakteristik,
- vytvoření konkrétní tolerovaných charakteristik.

6.1 Použité stroje

Jedná se o stroje pro obráběcí operace výroby experimentálních součástek a o stroj, na kterém se tyto součástky měřily.

DATRON M8Cube

Jedná se o CNC frézku viz obr. 35. Pomocí této frézky je možné frézovat, vrtat, nebo gravírovat skříňky, čelní panely nebo obrábět hliníkové slitiny, nezelezné kovy a kompozitní materiály. Tato frézka byla využita při výrobě součástek 1 a 2 na úpravu čelních ploch a zhotovení upínacích otvorů. Technické parametry jsou uvedeny v příloze 16. [20]



Obr. 35) DATRON M8Cube (převzato z [20])

SLV EDU / Sinumerik ONE (pětiosý souvisle řízený)

SLV EDU / Sinumerik ONE je pětiosá frézka (dále jen SLV EDU) viz obr. 36. Je to portálový obráběcí stroj, který dokáže obrábět hliníkové slitiny, barevné kovy, plast, dřevo, či různé kompozitní materiály. Tato frézka je vhodná pro výrobu složitých dílů a vyrábí s přesností +/- 0,2 mm. Technické parametry jsou uvedeny v příloze 16. [21]



Obr. 36) SLV EDU (převzato z [21])

Optický CMM SOL 311

Optický měřicí přístroj SOL 311 od firmy Micro-Vu Sol překlenuje propast mezi manuálními a automatizovanými měřicími systémy. Programovatelný 19,5x zoom (6,5x optický a 3x digitální), nelineární kompenzace (optika a stolek), pokročilé osvětlení a kompatibilita s programem dělají ze Sol nejpokročilejší stroj ve své třídě. [23]

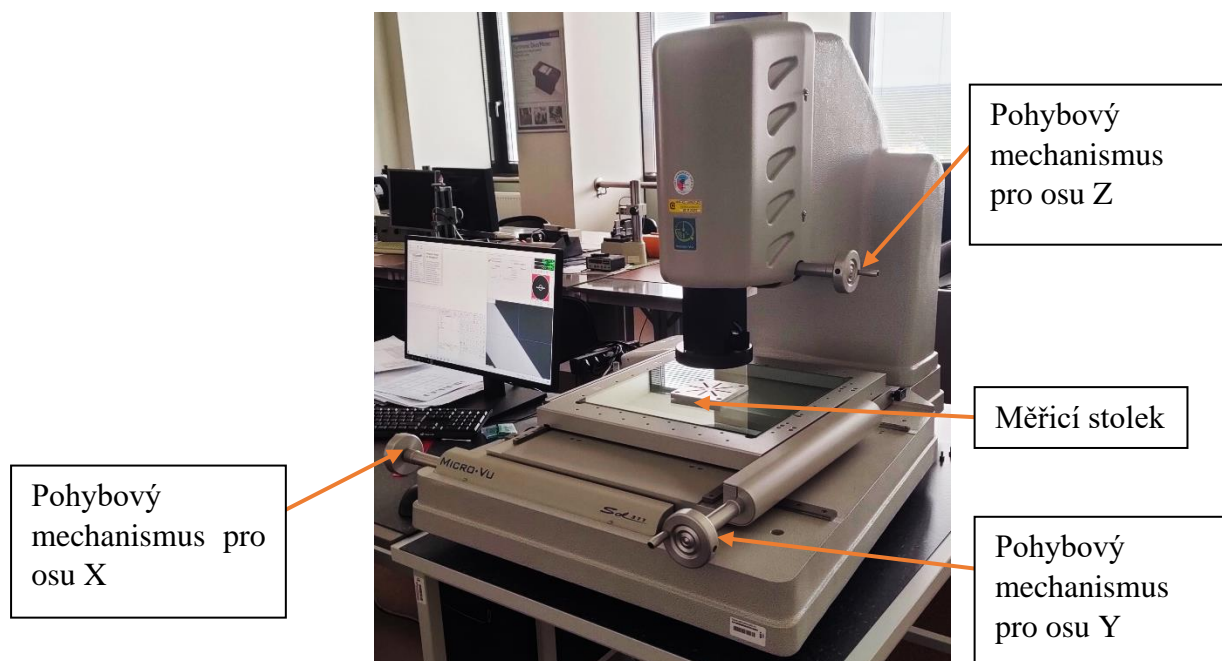
Přednosti strojů firmy Micro-Vu spočívají v jednoduchém ovládacím softwaru, který je velmi intuitivní. Dále spočívá ve vhodnosti umístění strojů do laboratoře i do výroby a hodí se pro různé druhy materiálů. [24]

V tabulce 10 je možné vidět základní technické parametry optického CMM SOL 311.

Tabulka 10) Základní technické parametry optického CMM SOL 311 [25],[24],[12]

Parametr	SOL 311	Poznámka
MPE v rovině XY	$(4,5+L/150) \mu\text{m}$	L se zadává v mm
MPE v rovině Z	$(2,8+L/150) \mu\text{m}$	L se zadává v mm
Software	InSpec Metrology Software	-
Rozlišení	1 μm	-
Maximální rozměr měřeného obrobku	315x315x160 mm	-
Maximální hmotnost měřeného obrobku	10 kg	-

Na obr. 37 je možné vidět optický CMM SOL 311, který je umístěný na ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky. Na obrázku lze taktéž vidět označené základní části tohoto systému, kde 1 je pohybový mechanismus pro osu X, 2 je pohybový mechanismus pro osu Y, 3 je měřicí stolek a 4 je pohybový mechanismus pro osu Z. Dále mezi tyto části systému patří CCD kamera a obvodová deska pro zpracování obrazu. A také programovatelné profilové, osově a povrchové osvětlení. [18]



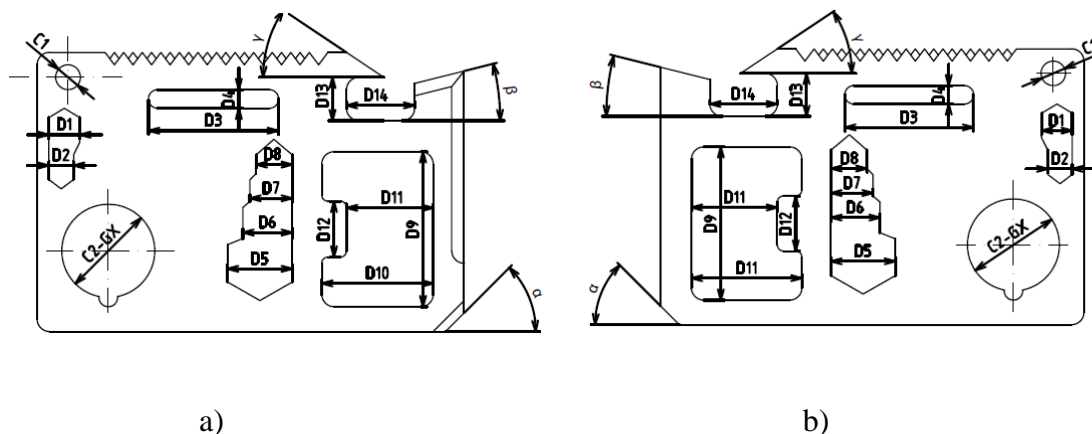
Obr. 37) Optický 3D CMM SOL 311 (upraveno dle [18])

6.2 Součástka 1 (Multitool)

První součástka je víceúčelový kapesní nástroj pro přežití. Jedná se o propagační předmět VUT v Brně. Tato součástka byla vyrobena pomocí technologie přesného vystřihování. Součástka byla vybrána z důvodu měření různých geometrických tolerancí. Byly měřeny a vyhodnoceny funkční rozměry, vzdálenosti a geometrické tolerance.

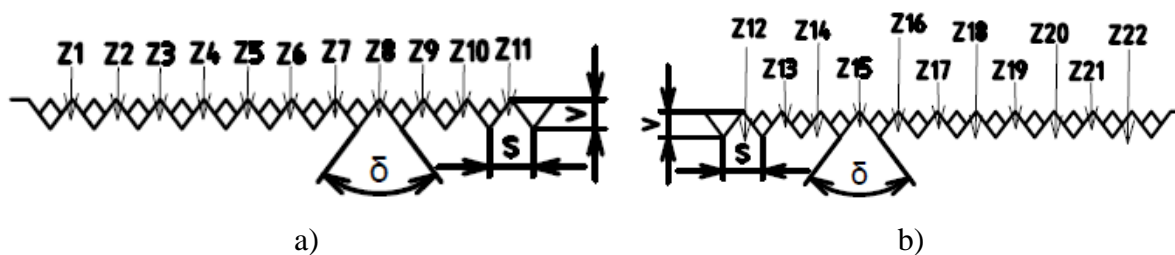
Nejprve bylo nutné určit, jaké typy osvětlení se budou používat a v jaké intenzitě světla. Jelikož se jedná o poměrně lesklou součástku, proto bylo zvoleno v případě horního osvětlení osově osvětlení s intenzitou světla 15 % a dále povrchové osvětlení, které bylo zapnuto v předním a zadním oktantu s intenzitou světla 7,5 %. Osově osvětlení bylo vybráno z důvodu lesklosti součástky. Dolní osvětlení neboli profilové osvětlení (dále jen dolní osvětlení) s intenzitou světla 20 %.

Na obr. 38 a) a b) jsou možné vidět náčrty součástky 1 přední a zadní strany, kde jsou popsány rozměry, vzdálenosti a geometrické tolerance, které byly na této součástce měřeny.



Obr. 38) Náčrt součástky 1: a) Přední strana; b) Zadní strana

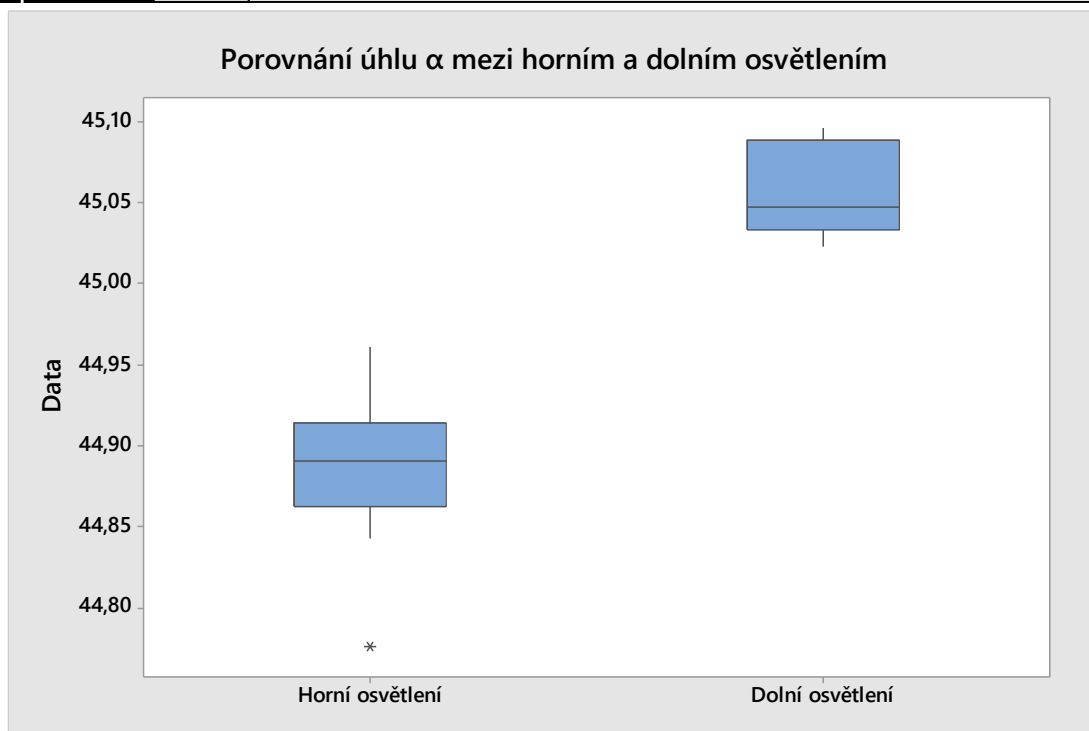
Na obr. 39 je možné vidět detail zubů pilky, kde jsou popsány jednotlivé zuby, δ je úhel zuby pilky, s je šířka a v je výška zuby.



Obr. 39) Detail zubů součástky 1: a) Přední strana; b) Zadní strana

Výpis programu je možné nalézt v příloze 10 pro přední stranu a v příloze 11 pro zadní stranu. Ve výpisu programu je možné nalézt vytvoření souřadného systému, kde byl použit pro zpřesnění měření zaostřený bod na počátek osy Z. Dále vytvoření pomocných charakteristik, jako je mračno bodů nebo pomocné přímky, rozměry a vzdálenosti. V příloze 4 je možné nalézt program v softwaru InSpec součástky 1 pro přední stranu a v příloze 5 pro zadní stranu.

Na grafu, který je na obr. 40, je možné vidět porovnání naměřeného úhlu α mezi horním a dolním osvětlením. Velikost úhlu je tu významně odlišná, avšak oba úhly splňují všeobecnou toleranci, která je předepsána na výkrese. Při měření dolním osvětlením nemohlo dojít k ovlivnění měření vlivem technologie přesného vystřihování, na rozdíl od horního osvětlení. U horního osvětlení mohlo měření ovlivnit zkosení. Z dosažených výsledků vyplývá, že při dolním osvětlením nedošlo k žádnému ovlivnění měření.

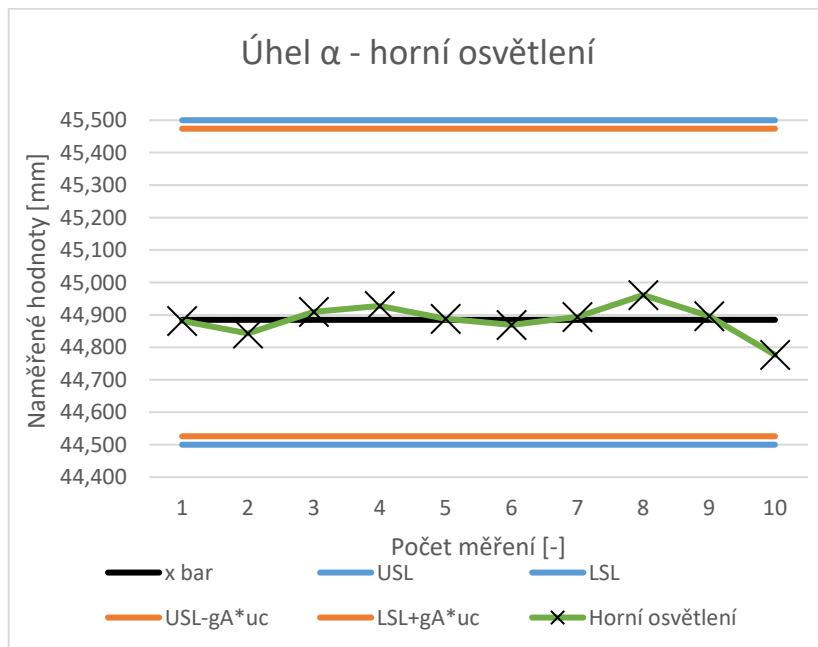


Obr. 40) Porovnání úhlu α mezi horním a dolním osvětlením

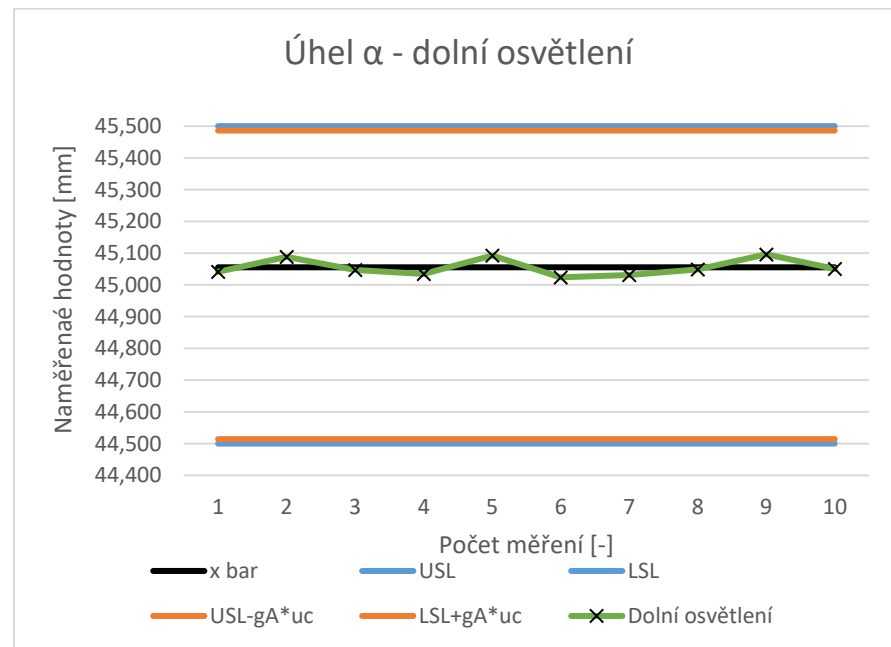
V tabulce 11 jsou prezentovány naměřené hodnoty, které byly získány měřením při dolním a horním osvětlením. Průměrné hodnoty naměřených hodnot při jednotlivých měření byly u horního osvětlení $44,885^\circ$ a u dolního $45,055^\circ$

Tabulka 11) Naměřené hodnoty úhlu α (upraveno dle [12])

Číslo měření	Horní osvětlení [°]	Dolní osvětlení [°]
1	44,882	45,041
2	44,843	45,088
3	44,910	45,047
4	44,928	45,034
5	44,888	45,092
6	44,869	45,024
7	44,894	45,031
8	44,961	45,049
9	44,896	45,096
10	44,777	45,050
x bar	44,885	45,055
s(x)	0,050	0,027
u_A	0,016	0,008
u_B	0,001	0,001
u_C	0,016	0,008
U=u_C*2	0,032	0,017
Výsledek	44,885±0,032	45,055±0,017
Specifikace	45,00±0,5	45±0,5
(USL-LSL) /u_C	63,592	117,869
g_A	1,650	1,650
g_A * u_C	0,026	0,014



a)



b)

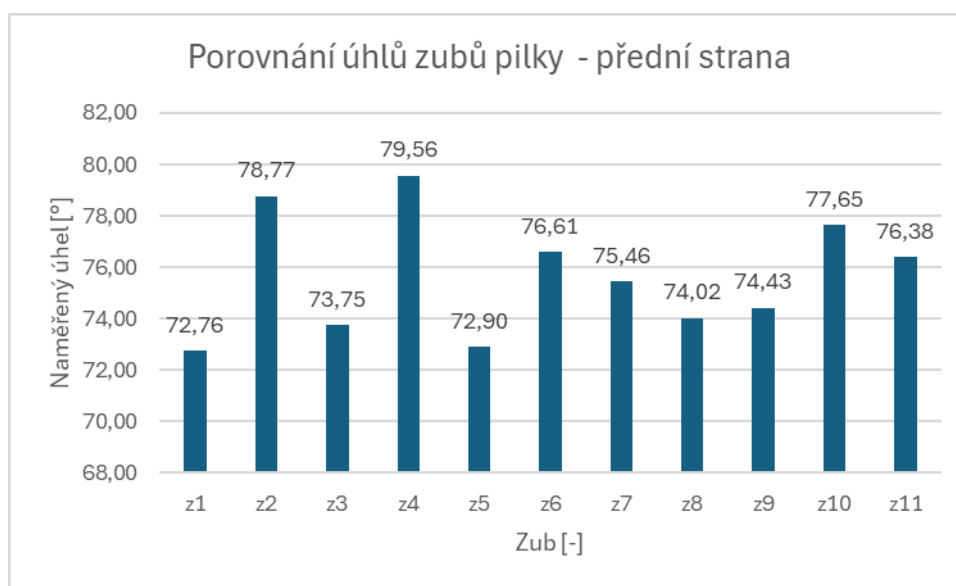
Obr. 41) Ověření shody se specifikací úhlu α dle ČSN EN ISO 14253:2023 – Přední strana: a) Horní osvětlení; b) Dolní osvětlení

V grafu na obr. 41 a) je možné vidět ověření shody se specifikací úhlu α dle ČSN EN ISO 14253:2023 pro přední stranu, která byla měřena při horním osvětlení. Z grafu vyplývá, že průměrná hodnota naměřených hodnot úhlu α spadá do pole přijetí. Byla zvolena tolerance podle ISO 2768-m. Nejistota měření je $0,032^\circ$ a ochranné pásmo je $0,026^\circ$.

V grafu na obr. 41 b) je taktéž ověření shody se specifikací úhlu α pro přední stranu, která byla měřena s dolním osvětlením. Z grafu vyplývá, že průměrná hodnota naměřených hodnot úhlu α spadá do pole přijetí. Byla zvolena tolerance podle ISO 2768-m. Nejistota měření je $0,017^\circ$ a ochranné pásmo je $0,014^\circ$.

Při porovnání obou grafů na obr. 41 je vidět, že větší variabilita naměřených hodnot je u horního osvětlení.

Horní osvětlení na rozdíl od dolního osvětlení je možné využít při měření zubů pilky.



Obr. 42) Porovnání uhlů zubů pilky (horní osvětlení) – Přední strana

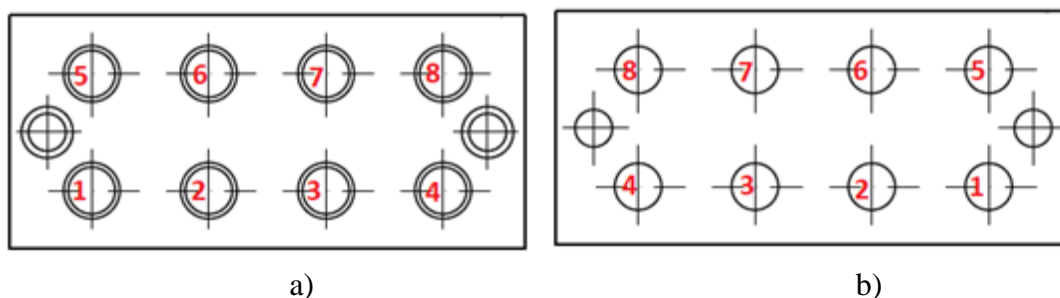
Z grafu na obr. 42 je patrná velká variabilita odchylek naměřených hodnot. Pravděpodobně to bylo způsobeno výrobou a ne měřením.

Zbylé vyhodnocení součástky 1 je možné nalézt v příloze 17 pro přední stranu a v příloze 18 pro zadní stranu.

6.3 Součástka 2 (otvory)

Druhá zvolená součástka byla vybraná z důvodu ukázky vyhodnocení měření průměrů otvorů a kruhovitosti podle metody referenční kružnice nejmenších čtverců, minimální opsané referenční kružnice, maximální vepsané referenční kružnice a referenční kružnice minimální zóny. A zároveň jako ukázka, jak se budou měnit vzdálenosti mezi jednotlivými průměry v závislosti na vyhodnocovací metodě a zároveň jaký vliv má typ osvětlení na výsledek měření.

Na obr. 43 je možné vidět náčrt součástky 2 s očíslovanými otvory přední a zadní strany.

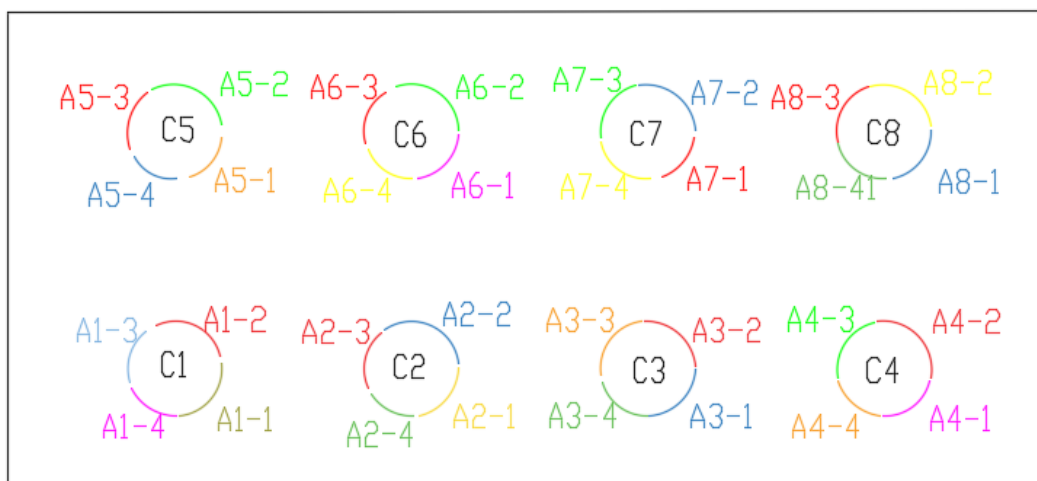


Obr. 43) Náčrt součástky 2: a) Přední strana; b) Zadní strana

Před začátkem programování v softwaru InSpec je nutné vytvořit si plán měření. Je to z důvodu optimalizace času programování. Je nutné vědět, jaké charakteristiky se budou měřit. Plán měření součástky 2 je možné vidět v příloze 12 pro přední stranu a v příloze 13 pro zadní stranu. V příloze 6 je možné nalézt program v softwaru InSpec součástky 2 pro přední stranu a v příloze 7 pro zadní stranu.

Dále je nutné určit typ osvětlení a intenzitu osvětlení. Měření bylo prováděno ve třech sériích měření. První série byla měřena s horním osvětlením, druhá série byla měřena s dolním osvětlením a třetí série kombinací horního a dolního osvětlení. Následně byla součástka otočena a proměřena stejným způsobem. Na začátku bylo určeno, jaké typy osvětlení se budou používat a s jakou intenzitou světla. Protože se jedná o poměrně lesklou součástku, bylo zvoleno, že v případě horního osvětlení se jedná o osové osvětlení s intenzitou světla 15 % a zároveň o povrchové osvětlení, které bylo zapnuto v předním a zadním oktantu s intenzitou světla 7,5 %. Osové osvětlení bylo vybráno z důvodu lesklosti součástky. Dolní osvětlení bylo zvoleno jako profilové osvětlení (dále jen dolní osvětlení) s intenzitou světla 20 %.

V plánu měření je podrobně popsáno vytvoření souřadného systému. Dále pak pomocné oblouky, které lze vidět na obr. 44. Tyto oblouky byly využity pro tvorbu kružnic.



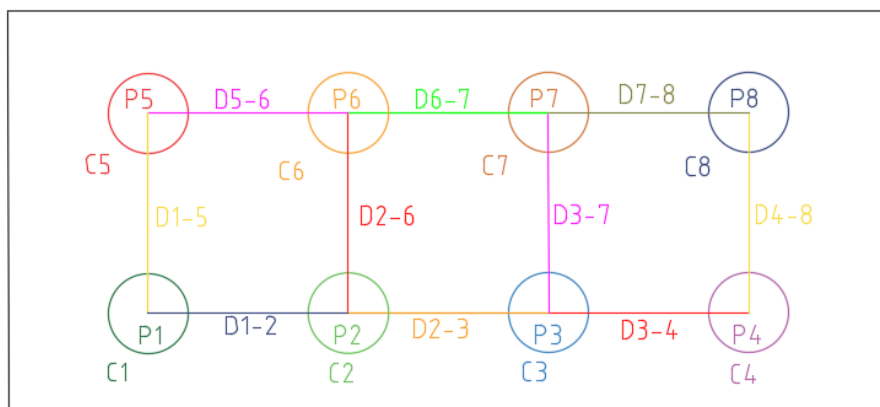
Obr. 44) Schéma vytvoření pomocných oblouků v otvorech přední strana

V tabulce 12 jsou popsány jednotlivé oblouky, které byly přiřazeny k jednotlivým otvorům a průměrům.

Tabulka 12) Otvory přední strana

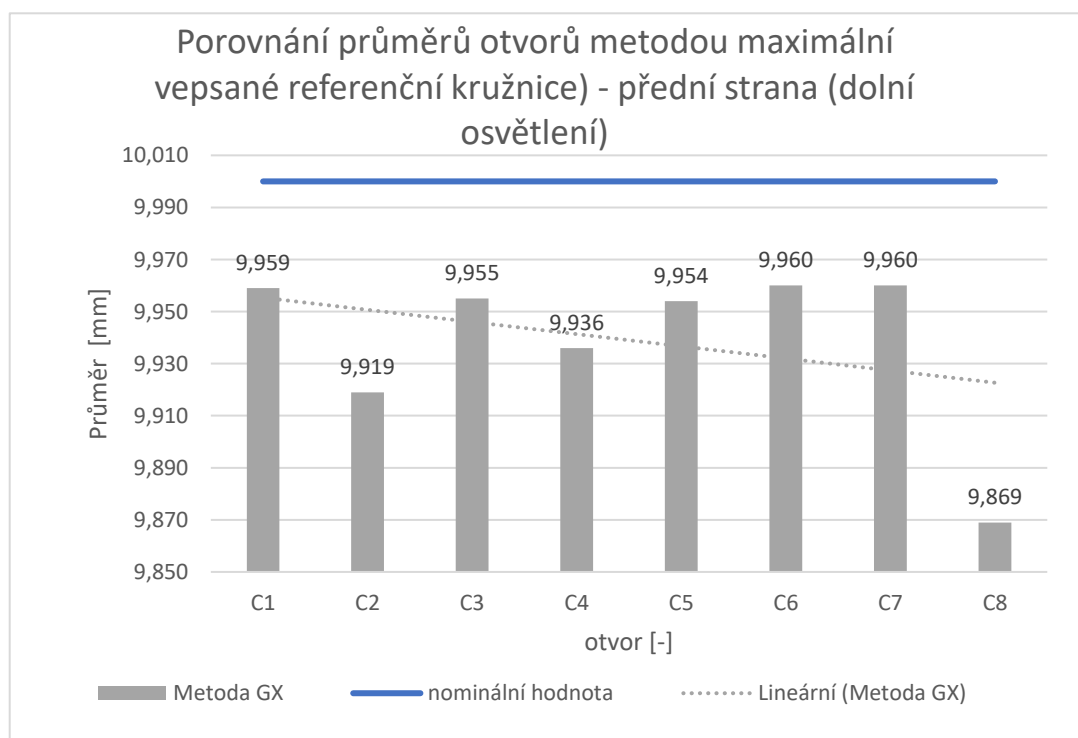
Otvor	Oblouky	Průměr [mm]	Kruhovitost [mm]
C1	A1-1, A2-2, A3-3, A4-4	ø 10	0,05
C2	A2-1, A2-2, A2-3, A2-4		
C3	A3-1, A3-2, A3-3, A3-4		
C4	A4-1, A4-2, A4-3, A4-4		
C5	A5-1, A5-2, A5-3, A5-4		
C6	A6-1, A6-2, A6-3, A6-4		
C7	A7-1, A7-2, A7-3, A7-4		
C8	A8-1, A8-2, A8-3, A8-4		

Na obr. 45 je možné vidět schéma kružnic, které byly hodnoceny pomocí referenční kružnice nejmenších čtverců, nejmenší opsané referenční kružnice, největší vepsané referenční kružnice, referenční kružnice minimální zóny a vzdálenosti mezi jednotlivými otvory.



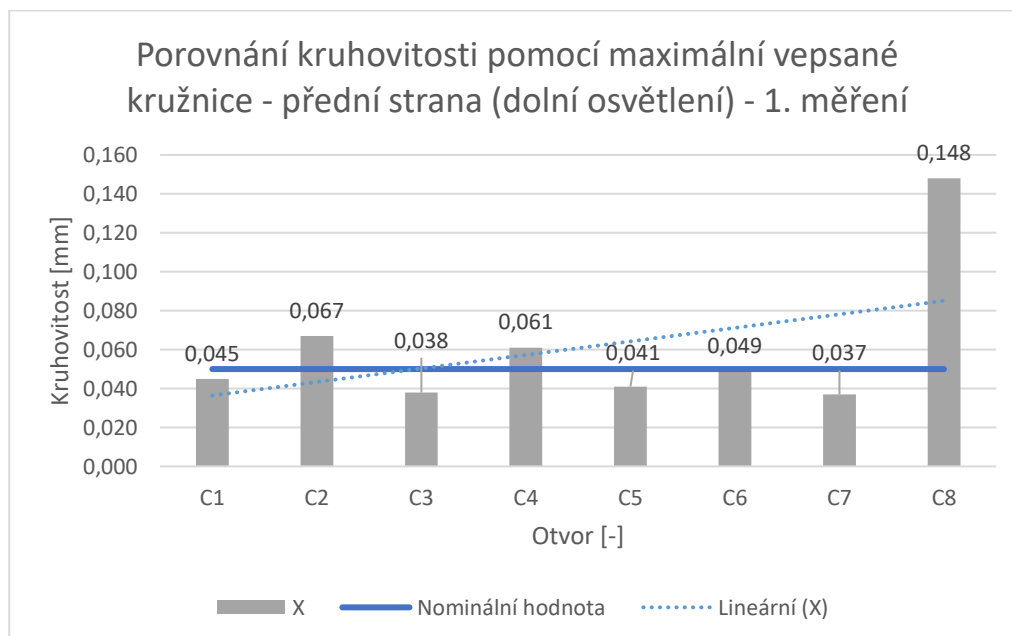
Obr. 45) Schéma otvorů a vzdáleností – přední strana

Graf na obr. 46 zobrazuje porovnání průměrů otvorů, které byly hodnoceny pomocí metody maximální vepsané referenční kružnice. Měření bylo provedeno při dolním osvětlení. Z grafu lze vyčíst, že průměr otvoru C8 je výrazně menší než ostatní otvory. Tuto odchylku mohla způsobit nečistota, tedy špatné vyčištění součástky, popřípadě ořep, tedy špatné odjehlení.



Obr. 46) Porovnání průměrů otvorů metodou maximální vepsané referenční kružnice – přední strana (dolní osvětlení)

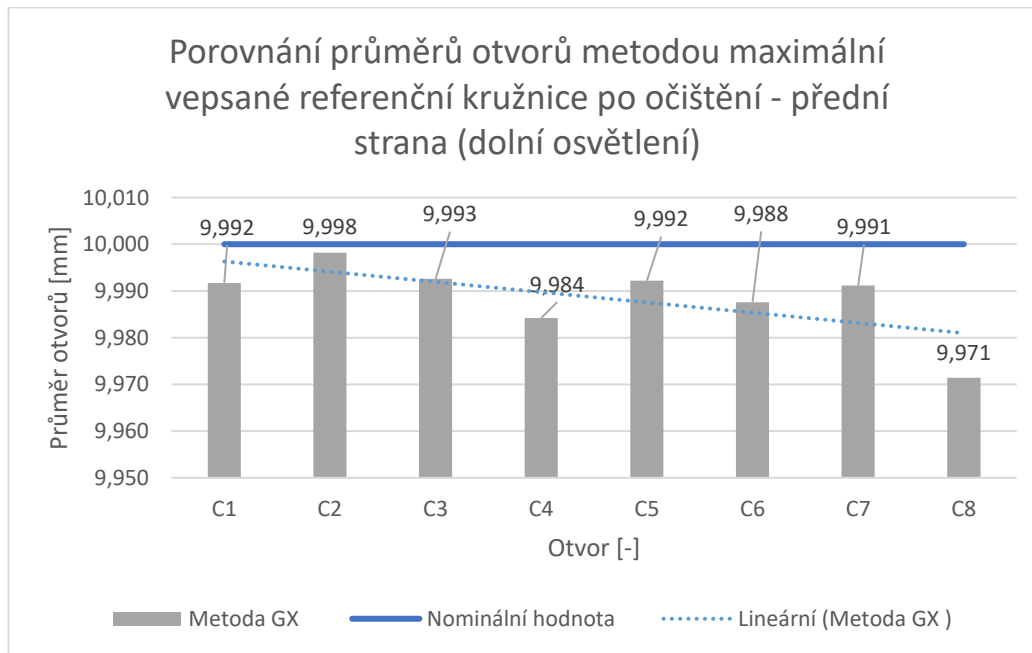
To dokazuje graf na obr. 47, kde kruhovitost je u otvoru C8 dvojnásobně větší než u ostatních otvorů. Kruhovitost, která je předepsána na výkrese (0,05 mm), překračují ještě otvory C2 a C4.



Obr. 47) Porovnání kruhovitosti pomocí maximální vepsané referenční kružnice

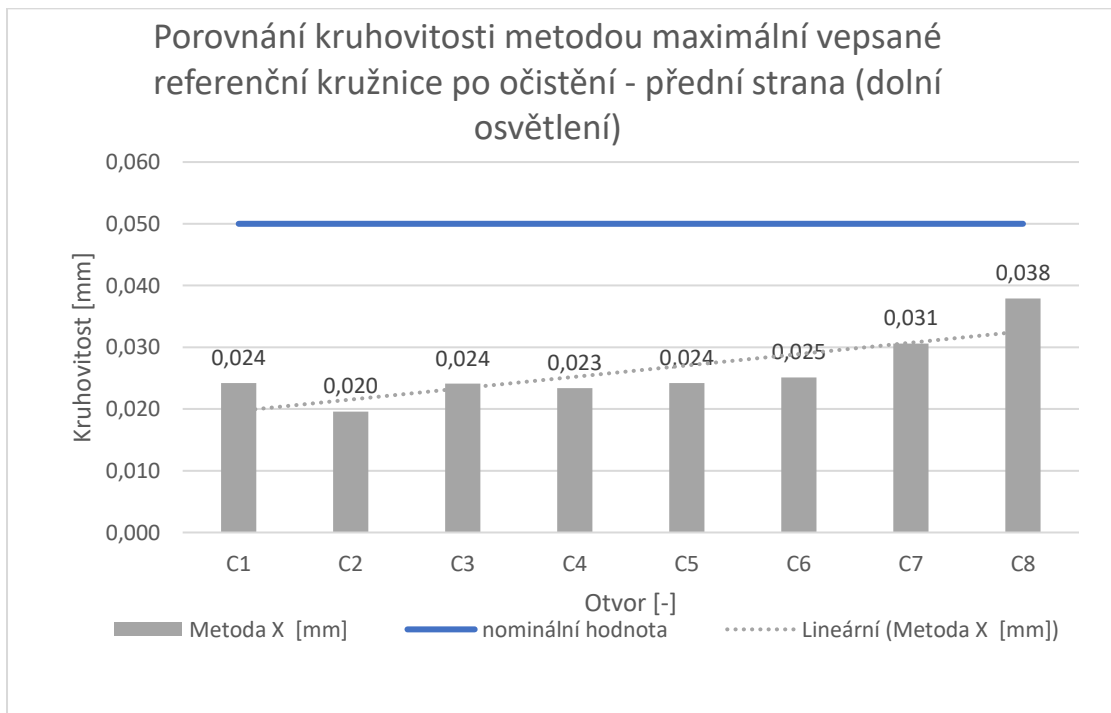
Z tohoto důvodu bylo měření provedeno znovu po důkladném očištění. Z grafu na obr. 48 lze vyčíst, že odchylka u otvoru C8 z obr. 34 byla způsobena nečistotou. V případě

vyhodnocení kruhovitosti na optickém SOL 311 není možnost filtrovat pomocí filtru UPR (minimální počet bodů podle normy ČSN EN ISO 12181-2:2011 je 105 (tato norma je uvedena v literatuře [39], u SOL 311 je možné zvolit maximálně 100 bodů).



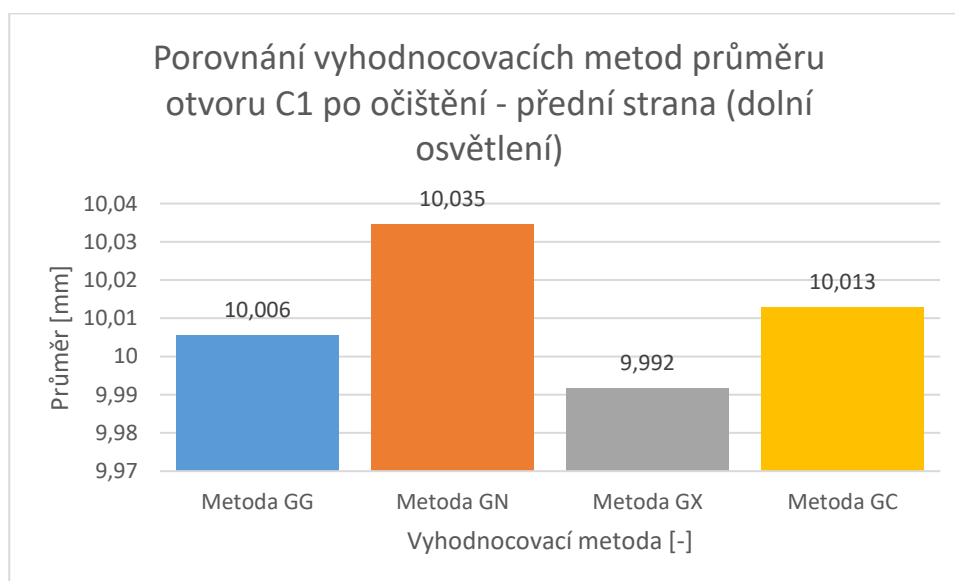
Obr. 48) Porovnání průměrů otvorů metodou maximální vepsané referenční kružnice po očištění – přední strana (dolní osvětlení)

Z grafu na obr. 49 je patrné, že kruhovitosť je již pod hodnotou, která je uvedena na výkrese (0,05 mm).



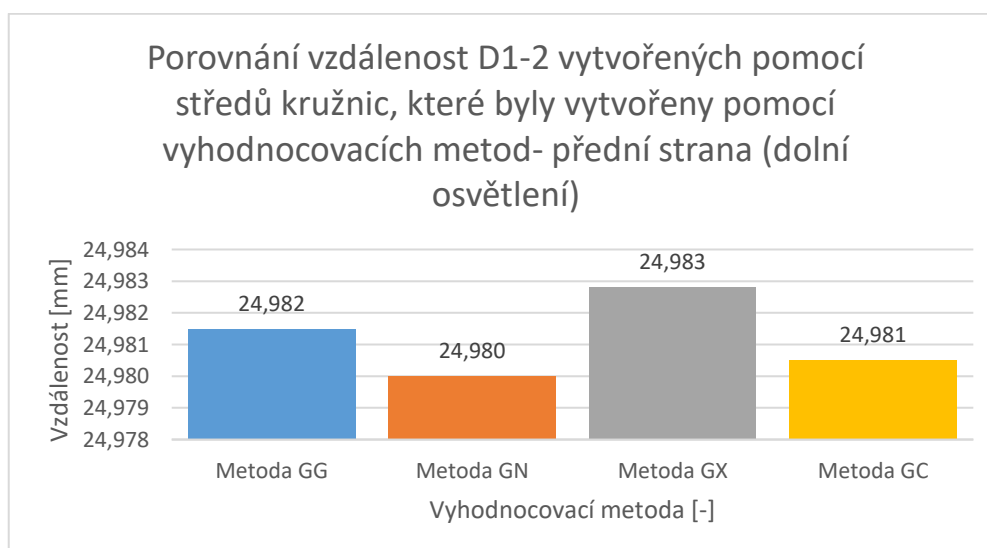
Obr. 49) Porovnání kruhovitosti metodou maximální vepsané referenční kružnice po očištění – přední strana (dolní osvětlení)

Na grafu na obr. 50 je možné vidět otvor C1, který byl hodnocen pomocí metod nejmenších čtverců (GG), maximální vepsané kružnice (GX), minimální opsané kružnice (GN) a metody nejmenší zóny (GC). Dosažený výsledek je v souladu s teoretickým předpokladem.



Obr. 50) Porovnání vyhodnocovacích metod průměru otvoru C1 po očištění – přední strana (dolní osvětlení)

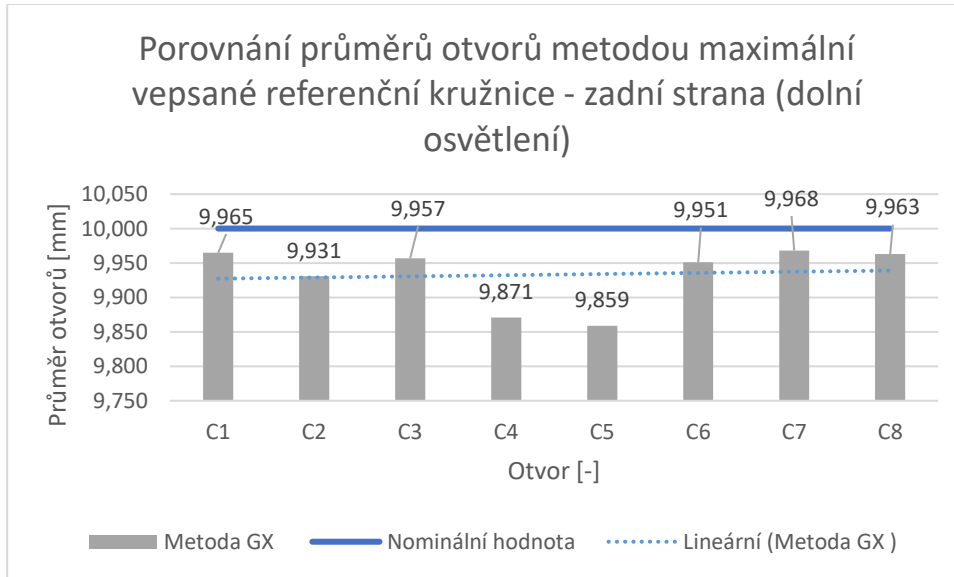
Graf na obr. 51 ukazuje vzdálenost D1-2. Tato vzdálenost byla vytvořena pomocí středů průměrů otvorů C1 a C2, které byly hodnoceny pomocí referenční kružnice nejmenších čtverců (GG), minimální opsané referenční kružnice (GN), maximální vepsanou referenční kružnice (GX) a referenční kružnice minimální zóny (GC).



Obr. 51) Porovnání vzdálenosti D1-2 vytvořené pomocí středů kružnic vytvořených pomocí vyhodnocovacích metod – přední strana (dolní osvětlení)

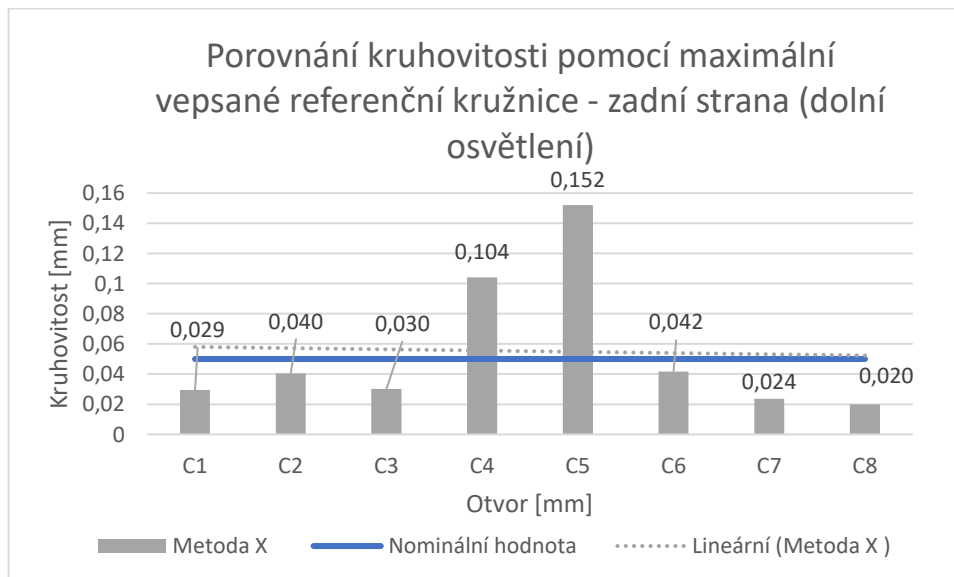
Zadní strana je vytvářena analogicky jako přední strana, avšak je pozměněno označení tak, aby korespondovalo s měřeními otvory. Graf na obr. 52 zobrazuje průměry otvorů, které byly hodnoceny pomocí metody maximální vepsané kružnice. Měření bylo provedeno při

dolním osvětlením. Z grafu lze vyčíst, průměry otvorů C4 a C5 jsou výrazně menší než ostatní otvory. Tuto odchylku mohla způsobit nečistota, tedy špatné vyčištění součástky, popřípadě otřep, tedy špatné odjehlení.



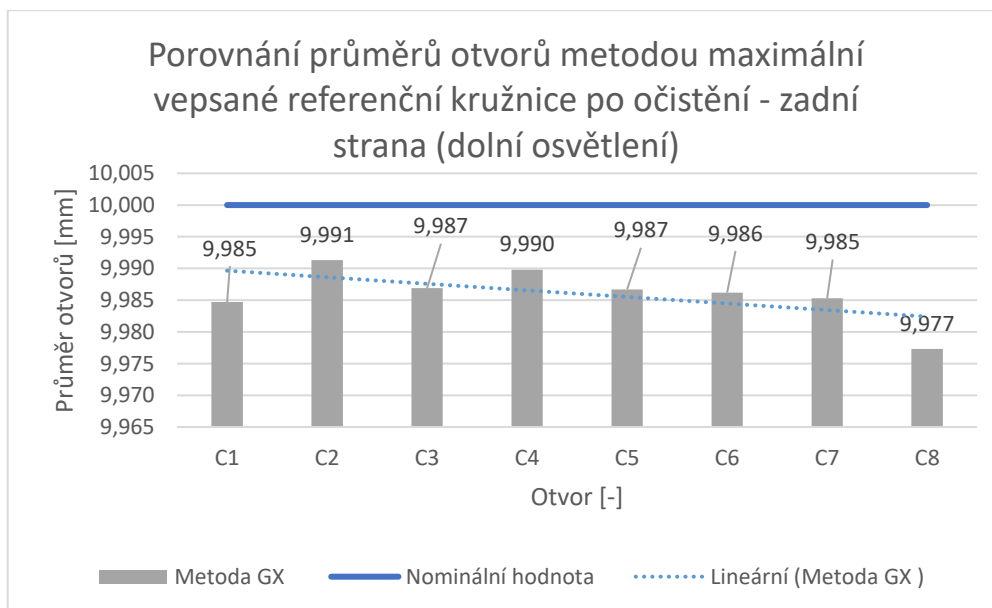
Obr. 52) Porovnání průměrů otvorů metodou maximální vepsané referenční kružnice – zadní strana (dolní osvětlení)

Graf na obr. 53 dokazuje, že kruhovitosť u otvorů C4 a C5 je dvojnásobně větší než u ostatních otvorů. Kruhovitosť předepsaná na výkrese je 0,05 mm.



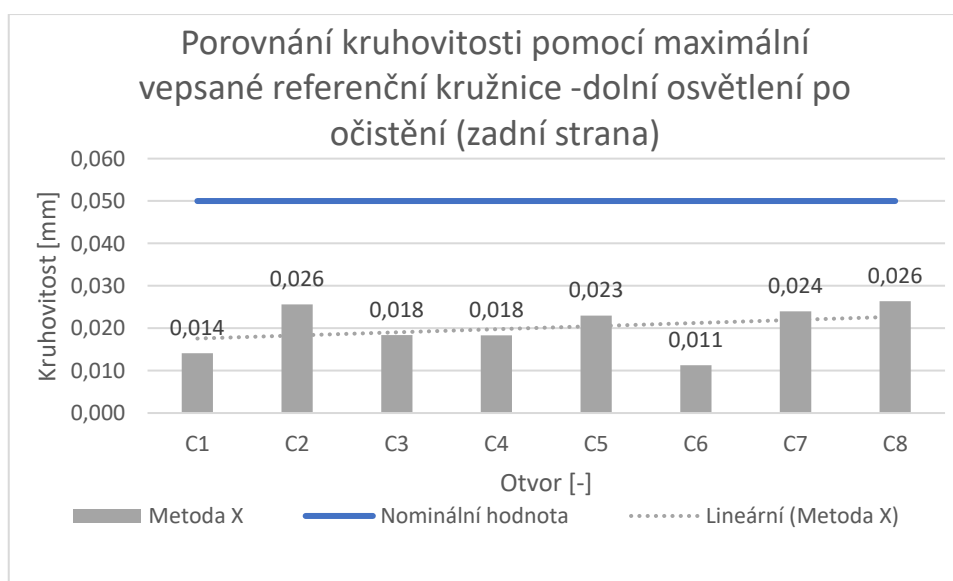
Obr. 53) Porovnání kruhovitosti pomocí maximální vepsané referenční kružnice – zadní strana (dolní osvětlení)

Z tohoto důvodu bylo měření provedeno znovu po důkladném očištění. Z grafu na obr. 54 je zřejmé, že odchylky při měření byly způsobeny nečistotou u otvorů C4 a C5 z obr. 52.



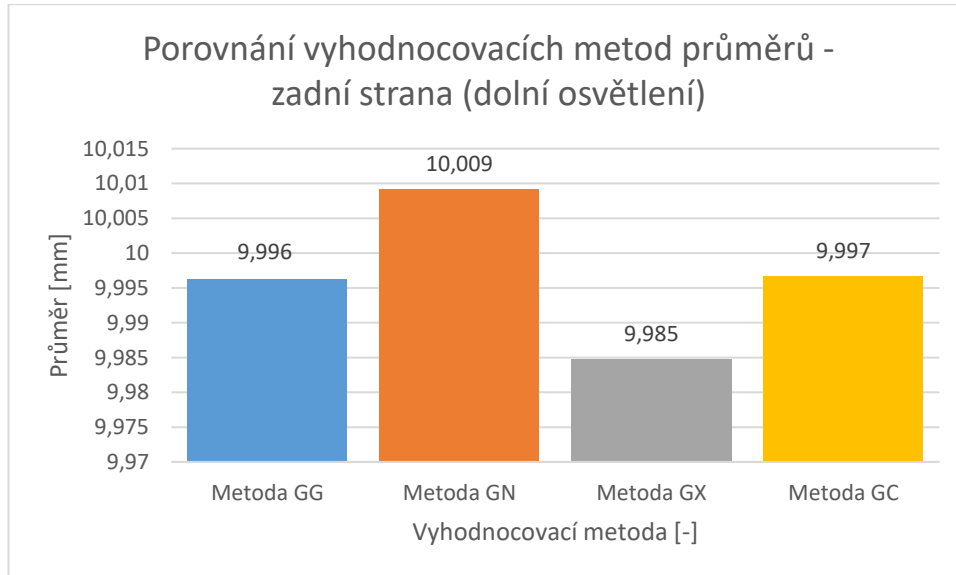
Obr. 54) Porovnání průměrů otvorů metodou maximální vepsané kružnice po očištění – zadní strana (dolní osvětlení)

Z grafu na obr. 55 je patrné, že kruhovitost je u všech otvorů již pod hodnotou, uvedenou na výkrese (0,05 mm).



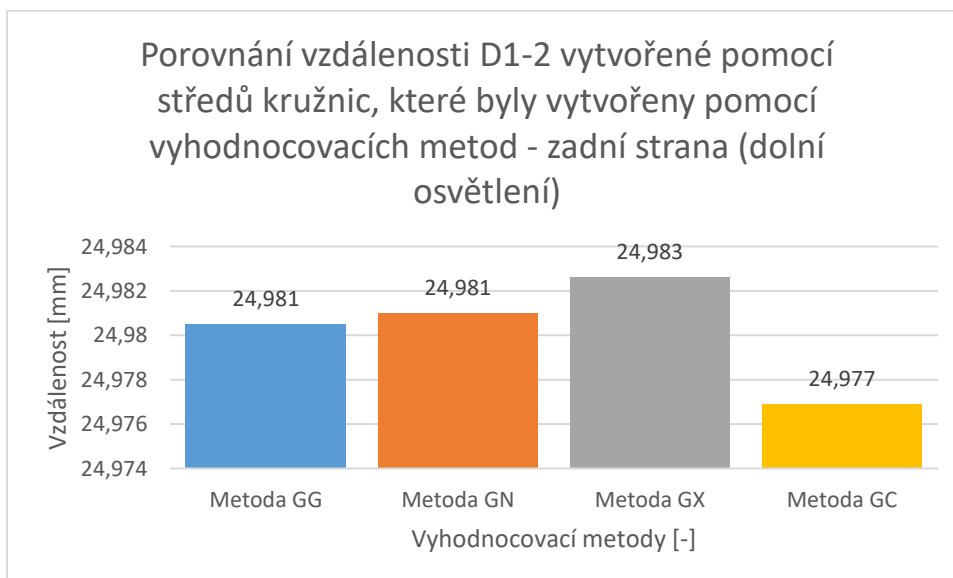
Obr. 55) Porovnání vyhodnocovacích metod kruhovitosti po očištění – zadní strana (dolní osvětlení)

V grafu na obr. 56 je možné vidět otvor C1, který byl hodnocen pomocí referenční kružnice nejmenších čtverců (GG), maximální vepsané referenční kružnice (GN), minimální opsané referenční kružnice (GX) a referenční kružnice minimální zóny (GC).



Obr. 56) Porovnání vyhodnocovacích metod průměrů – zadní strana (dolní osvětlení)

Graf na obr. 57 ukazuje vzdálenost D1-2. Tato vzdálenost byla vytvořena pomocí středů průměrů otvorů C1 a C2, které byly hodnoceny pomocí referenční kružnice nejmenších čtverců (GG), minimální opsané referenční kružnice (GN), maximální vepsanou referenční kružnice (GX) a referenční kružnice minimální zóny (GC).



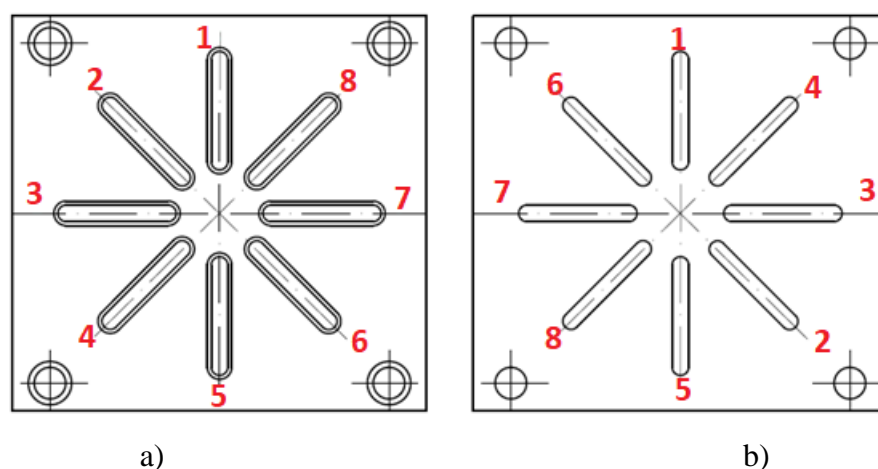
Obr. 57) Porovnání vzdálenosti D1-2 vytvořené pomocí středů kružnic vytvořených pomocí vyhodnocovacích metod – zadní strana (dolní osvětlení)

Zbýlé vyhodnocení pro přední a zadní stranu je možné nalézt v příloze 19.

6.4 Součástka 3 (Drážky)

Třetí zvolená součástka byla vybrána jako vhodná pro vyhodnocení rozměrů drážek, úhlů mezi jednotlivými drážkami a vyhodnocení jaký vliv má typ osvětlení na výsledek měření. Jedná se o symetrickou součástku.

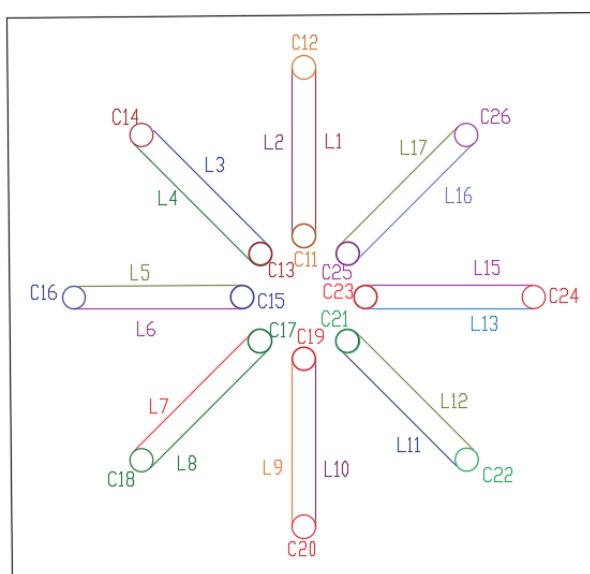
Na obr. 58 je možné vidět náčrt součástky 3 s očíslovanými drážkami.



Obr. 58) Náčrt součástky 3: a) Přední strana; b) Zadní strana

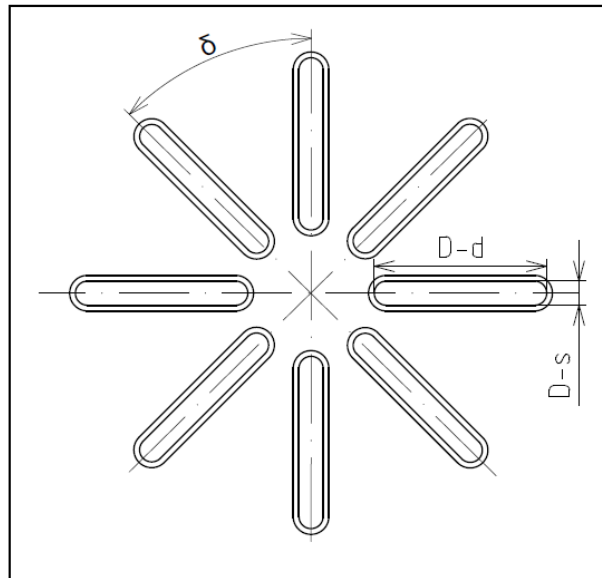
Měření bylo prováděno ve dvou sériích. První série byla měřena s horním osvětlením, druhá série byla měřena s dolním osvětlením. Následně byla součástka otočena a proměřena stejným způsobem z druhé strany. Nejprve bylo nutné zvolit, jaké typy osvětlení se budou používat a v jaké intenzitě světla. Jelikož se jedná o poměrně lesklou součástku, bylo zvoleno v případě horního osvětlení osové osvětlení s intenzitou světla 15 % a dále povrchové osvětlení, které bylo zapnuto v předním a zadním oktantu s intenzitou světla 7,5 %. Osové osvětlení bylo vybráno z důvodu lesklosti součástky. Dolní osvětlení neboli profilové osvětlení (dále jen dolní osvětlení) bylo zvoleno s intenzitou světla 20 %.

Výpis plánu měření součástky 3 je možné vidět v příloze 14 pro přední stranu a v příloze 15 pro zadní stranu. V plánu měření pro přední stranu, která se nachází v příloze 14, je podrobně popsáno vytvoření souřadného systému. Dále pak pomocné přímky a pomocné kružnice, které lze vidět na obr. 59. Analogicky byly zvoleny tyto přímky a kružnice u zadní strany, jsou ovšem přečíslovány, aby pomocné charakteristiky odpovídaly drážce. V příloze 8 je možné nalézt program v softwaru InSpec součástky 1 pro přední stranu a v příloze 9 pro zadní stranu.



Obr. 59) Schéma pomocných přímek a pomocných kružnic

Na obr. 60 je možné vidět schéma rozměrů a vzdáleností, které byly měřeny a vyhodnocovány, kde A je úhel, d je délka drážky a s je šířka drážky.



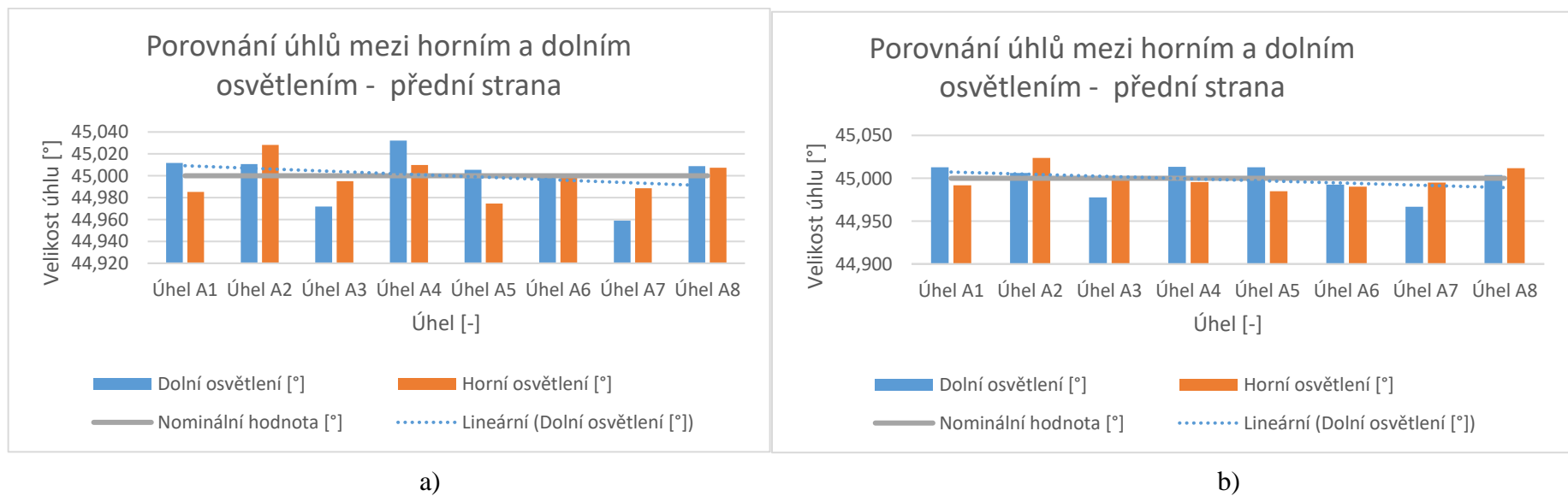
Obr. 60) Schéma rozměrů a vzdáleností

V tabulce 13 jsou prezentovány naměřené hodnoty úhlu, které byly měřeny při dolním a horním osvětlením.

Tabulka 13) Úhly mezi drážkami (nominální hodnota: 45°)

Úhel	Přední strana (průměrná hodnota)		Zadní strana (průměrná hodnota)	
	Dolní osvětlení [°]	Horní osvětlení [°]	Dolní osvětlení [°]	Horní osvětlení [°]
Úhel $\delta 1$	45,012	44,985	45,013	44,992
Úhel $\delta 2$	45,011	45,028	45,006	45,024
Úhel $\delta 3$	44,972	44,995	44,978	45,002
Úhel $\delta 4$	45,032	45,010	45,013	44,995
Úhel $\delta 5$	45,006	44,975	45,013	44,985
Úhel $\delta 6$	45,001	45,002	44,993	44,990
Úhel $\delta 7$	44,959	44,989	44,967	44,995
Úhel $\delta 8$	45,009	45,007	45,004	45,012

Z grafu na obr. 61 a) vyplývá, že trend naměřených hodnot úhlů je mírně klesající. Na přední straně mají drážky sraženou hranu $1 \times 30^\circ$, na rozdíl od zadní strany, kde byla součástka pouze ručně odjehlená. Právě ruční odjehlení mohlo mít vliv na klesajícím trendu hodnot úhlů, jak je možné vidět na grafu obr. 61 b). Dále byly porovnávány úhly mezi horním a dolním osvětlením. Výsledky měření jsou téměř shodné. Z toho vyplývá, že při měření úhlů nezávisí na výběru osvětlení. Větší vliv na výsledek měření má volba měření ze strany ručního odjehlení nebo strojního sražení hrany.



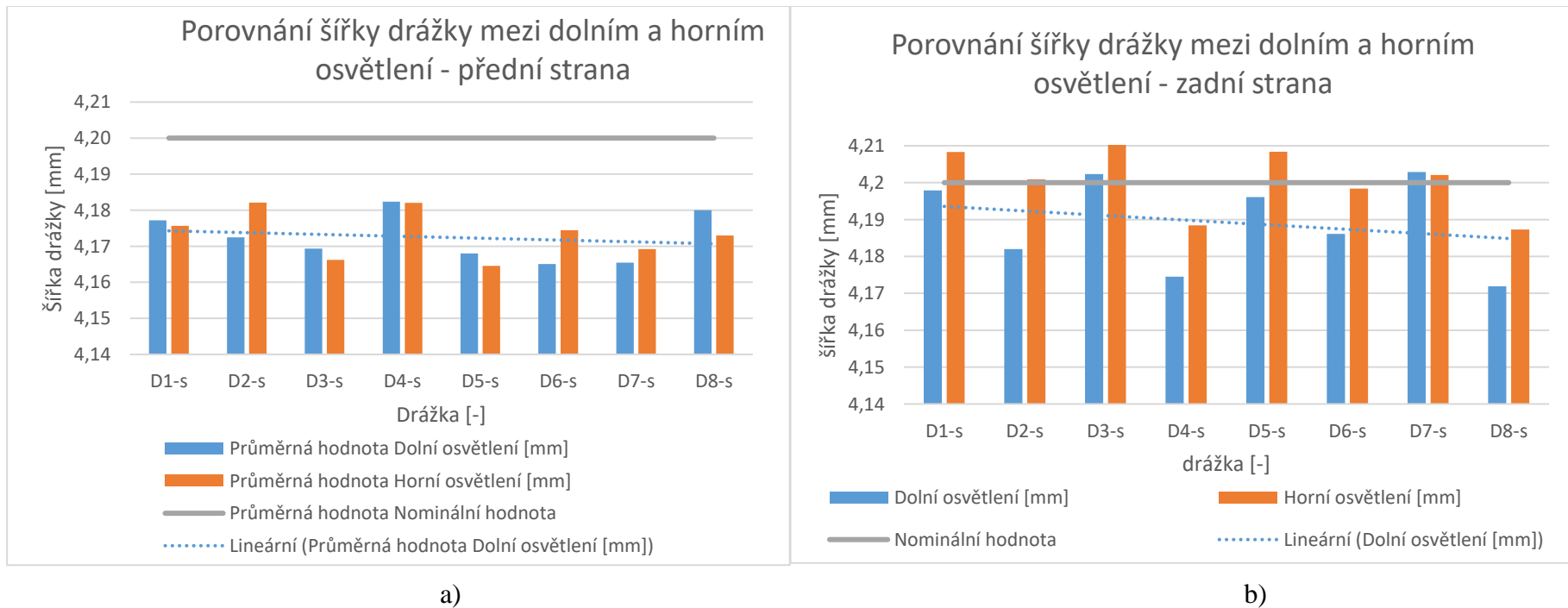
Obr. 61) Porovnání úhlů mezi horním a dolním osvětlením: a) přední strana; b) zadní strani

V tabulce 14 jsou prezentovány naměřené hodnoty šířek drážek, které byly naměřeny při dolním a horním osvětlením.

Tabulka 14) Šířka drážky (nominální hodnota: 4,2 mm)

Šířka drážky	Přední strana		Zadní strana	
	Dolní osvětlení [mm]	Horní osvětlení [mm]	Dolní osvětlení [mm]	Horní osvětlení [mm]
D1-s	4,177	4,176	4,110	4,207
D2-s	4,173	4,182	3,676	4,197
D3-s	4,169	4,166	3,137	4,203
D4-s	4,182	4,182	4,162	4,202
D5-s	4,168	4,165	4,152	4,207
D6-s	4,165	4,174	4,174	4,190
D7-s	4,165	4,169	4,099	4,207
D8-s	4,180	4,173	3,679	4,202

Na grafu na obr. 62 a) je možné vidět, že trend naměřených hodnot šířky drážky mírně klesá. Na rozdíl u grafu na obr. 62 b), kde trend naměřených hodnot šířky drážky klesá strměji. Taktéž byly porovnávány hodnoty šířky drážky mezi horním a dolním osvětlením. Naměřené hodnoty šířky u přední strany jsou podobné, na rozdíl od zadní strany, kde jsou mezi dolním a horním osvětlením větší rozdíly. To mohla způsobit stopa po nástroji, která je viditelná při horním osvětlení. Z toho vyplývá, že přesnější hodnota byla naměřena při měření dolním osvětlením. Při tomto osvětlení nedošlo k žádnému ovlivnění měření.



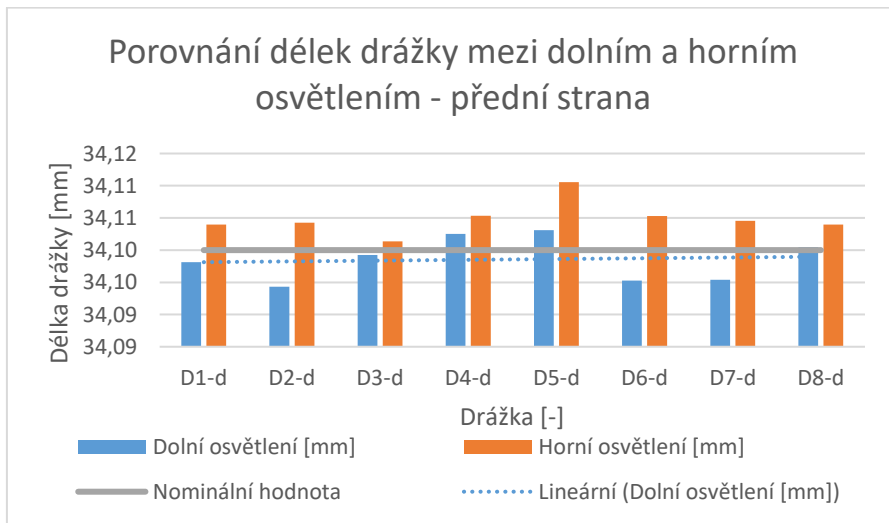
Obr. 62) Porovnání šířek drážek mezi dolním a horním osvětlením: a) přední strana; b) zadní strana

V tabulce 15 jsou prezentovány naměřené hodnoty délek drážek, které byly měřeny při dolním a horním osvětlením.

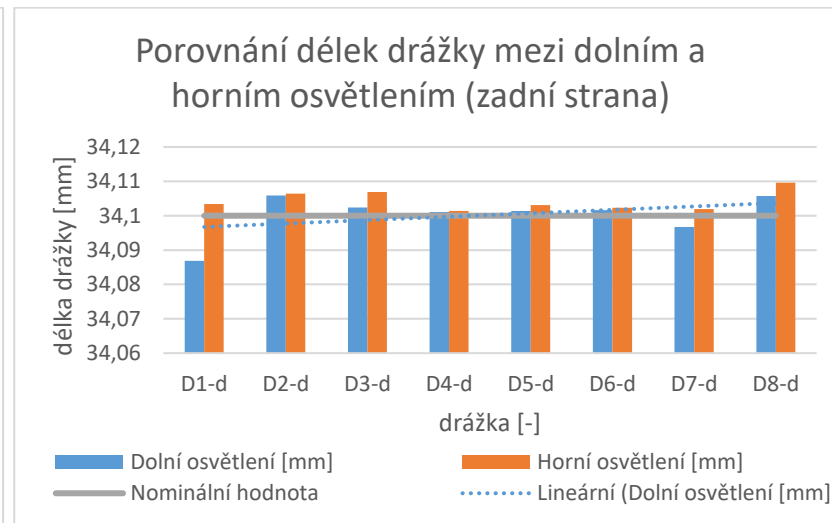
Tabulka 15) Délka drážky (nominální hodnota: 34,1 mm)

Délka drážky	Přední strana		Zadní strana	
	Dolní osvětlení [mm]	Horní osvětlení [mm]	Dolní osvětlení [mm]	Horní osvětlení [mm]
D1-d	34,098	34,104	34,072	34,165
D2-d	34,094	34,104	34,085	34,165
D3-d	34,099	34,101	34,104	34,175
D4-d	34,103	34,105	34,128	34,163
D5-d	34,103	34,111	34,071	34,205
D6-d	34,095	34,105	34,110	34,154
D7-d	34,095	34,105	34,080	34,160
D8-d	34,100	34,104	34,108	34,159

Na grafu na obr. 63 a) je prezentováno, že trend naměřených hodnot délek drážek je mírně stoupající. To samé je patrné i u grafu na obr. 63 b). Dále byly porovnávány naměřené hodnoty délky mezi horním a dolním osvětlením. Naměřené hodnoty jsou u přední strany rozdílné. V případě horního osvětlení to mohl způsobit odlesk osvětlení od součástky. Při měření zadní strany, která má povrch lesklejší, než přední strana má odlesk od součástky mnohem větší vliv. Z toho vyplývá, že přesnější hodnota byla naměřena při měření s dolním osvětlením.



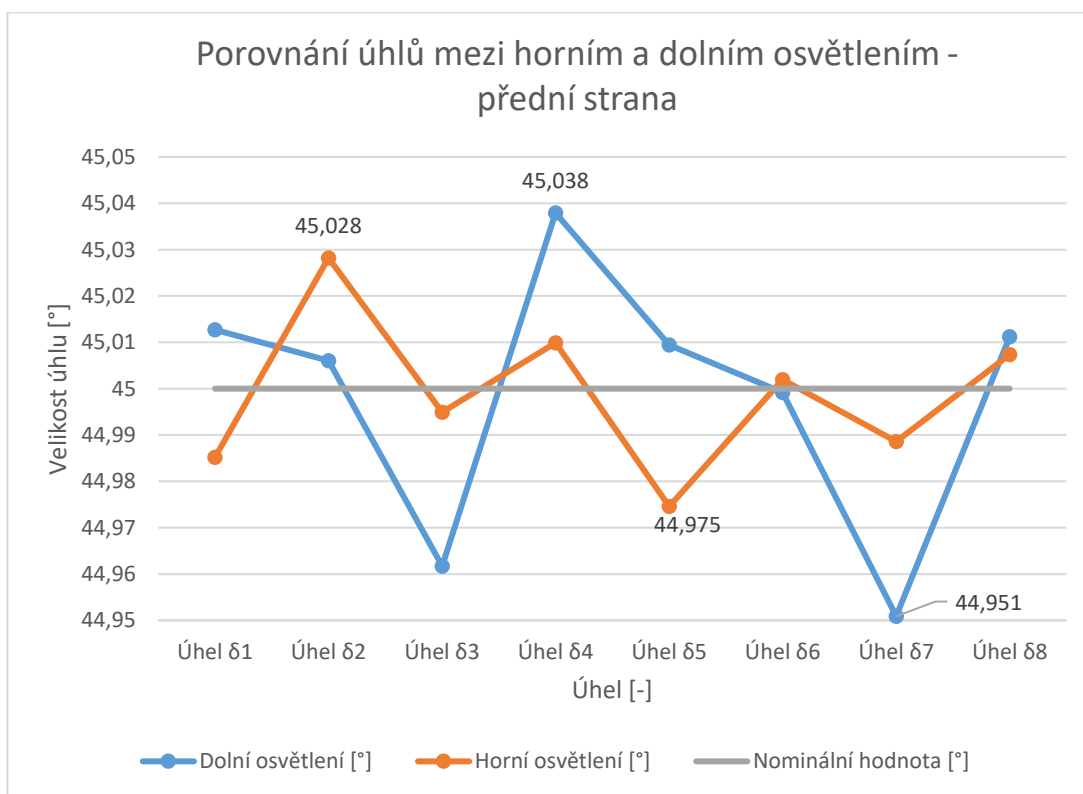
a)



b)

Obr. 63) Porovnání délek drážek mezi dolním a horním osvětlením (přední strana)

Z grafu na obr. 64 vyplývá, že maximální odchylka je $0,0379^\circ$ a minimální odchylka je $0,0401^\circ$ při dolním osvětlení a při horním osvětlení je maximální odchylka $0,028^\circ$ a minimální odchylka je $0,025^\circ$. Udávaná geometrická přesnost frézky SLV EDU je $\pm 0,2$ mm pro délkové rozměry a $\pm 0,279^\circ$ pro úhly. Dosažené hodnoty u obou typů osvětlení jsou menší než tato hodnota. Z toho vyplývá, že frézka SLV EDU splňuje požadavek na přesnost obrábění. Z grafu dále vyplývá, že maximální hodnoty naměřených úhlů při horním a dolním osvětlení jsou rozdílné. Při horním osvětlení je maximální naměřená hodnota pro úhel $\delta 2$ a u dolního osvětlení je to pro úhel $\delta 4$. Vzhledem k vlivům, které byly probrány v předešlé části, je jasné, že přesnější hodnoty měření byly dosaženy při dolním osvětlení.



Obr. 64) Porovnání úhlů mezi horním a dolním osvětlením – přední strana

Vyhodnocení součástky 3 je možné nalézt v příloze 20.

7 DOPORUČENÍ PRO PRAXI A VLASTNÍ ZÁVĚRY

Na základě získaných poznatků z vlastního měření a jejího vyhodnocování lze specifikovat faktory, které mají zásadní dopad na přesnost výsledků měření. Tyto faktory jsou prezentovány v tabulce 16.

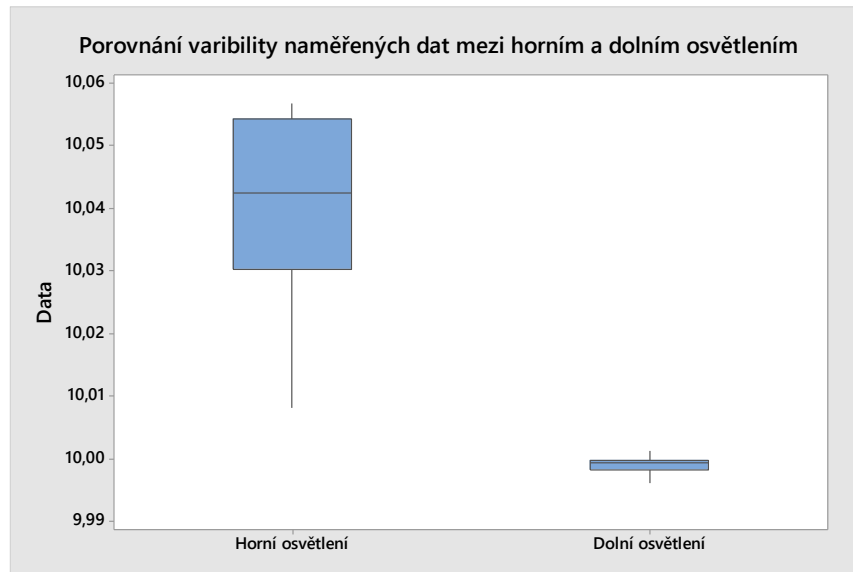
Tabulka 16) Tabulka priorit faktorů

Priorita	Faktor
1	Osvětlení
2	Očistění a odmaštění součástky
3	Ruční odjehlení
4	Zvolená technologie výroby
5	Materiál vyráběných součástek
6	Podmínky prostředí
7	Zvolená charakteristika programování softwaru InSpec
8	Lidský faktor

Volba osvětlení má největší vliv na kvalitu měření zobrazené součástky a ostřejší zobrazení hran. Tato volba umožní reprodukovatelnost výsledků a opakovatelnost programu. V případě horního osvětlení ovlivňuje odlesk materiálu přesnost měření. Při dolním osvětlení v tomto případě ovlivňuje přesnost pouze intenzita osvětlení. Horní osvětlení je vhodné použít zejména v případě, když nelze použít dolní osvětlení. Například v případě měření zubů u součástky 1, u měřeného úhlu, kde nominální hodnota úhlu byla 45° . Naměřené hodnoty při jednotlivých měření byly u horního osvětlení $44,882^\circ$ a u dolního $45,041^\circ$.

Nepřesnost výsledků měření ovlivnilo i špatné očistění a odmaštění součástky. Před začátkem měření je proto nutné kvalitu očistění zkontrolovat. V případě vyhodnocení kruhovitosti na optickém SOL 311 není možnost filtrovat pomocí filtru UPR. V případě zjištění nedostatku, vrátit měřenou součástku zpět na dočištění.

V případě ručního odjehlení se jedná o vliv člověka. Ruční odjehlení způsobuje větší variabilitu naměřených dat, která se objevuje zejména u horního osvětlení. Větší variabilitu u horního osvětlení prezentuje graf na obr. 65, kde je vidět porovnání variability naměřených dat mezi horním a dolním osvětlením. Tento vliv lze eliminovat zařazením strojního odjehlení.



Obr. 65) Porovnání variability naměřených dat průměru (vyhodnoceno pomocí metody nejmenších čtverců) mezi horním a dolním osvětlením – zadní strana (Minitab 2017)

Stopy nástroje po frézování ovlivňovaly přesnost měření u horního osvětlení, kde naměřené hodnoty překračovaly nominální hodnoty uvedené na výkresech. Z tohoto důvodu je vhodnější používat dolní osvětlení.

Materiál, který byl použit pro výrobu součástek 2 a 3, byl zvolen z důvodu velmi dobré obrobitelnosti. Pro optický měřicí stroj není volba tohoto materiálu příliš vhodná z důvodu nadměrného lesku povrchu. Tento vliv se objevuje zejména u horního osvětlení, kde naměřené odchylky byly dvakrát větší než v případě použití dolního osvětlení.

Podmínkami prostředí se myslí vliv teploty, tlaku a vlhkosti. Největší vliv na měření má teplota. Změny rozměrů z důvodu teplotní roztažnosti mohou mít zásadní vliv na dosažené výsledky měření. Referenční teplota je stanovena na 20 °C, tuto teplotu stanovuje ČSN EN ISO 1:2001 [27].

Pro přesnější měření je nutné mít hned na začátku měření zaostřený bod na počátek osy Z. Pokud se tento aspekt programování nezahrne do průběhu měření dojde při měření součástky k rozostření. Vzniklé rozostření má zásadní vliv na kvalitu výsledků měření. Další vliv má pak použití nástroje, sledování uzavřené křivky vyžaduje výraznou hranu. U tohoto nástroje nesmí dojít k rozostření hrany, aby program nezkolaboval. V průběhu měření se muselo doostřovat zejména při horním osvětlením. Při měření s dolním osvětlením program nekolaboval. Tento výsledek koresponduje i s doporučením výrobce použít u tohoto typu součástky dolní osvětlení, jak je uvedeno v literatuře [2].

Lidský faktor je spjat s ustavením součástky na stůl optického SOL 311, což může přesnost ovlivnit. S tímto vlivem výrobce ovšem počítal a v softwaru InSpec tuto nedokonalost v ustavení součásti eliminoval, jak je uvedeno v literatuře [2].

Při dodržování výše uvedených zásad je předpoklad získání kvalitních výsledků při měření na optickém SOL 311.

8 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala programováním v softwaru InSpec na optickém měřicím stroji SOL 311.

Prvním cílem byl systémový rozbor řešené problematiky. Tento cíl byl splněn v kapitole 3. V této kapitole byl popsán metrologický software InSpec, jednotlivá osvětlení a souřadné systémy.

Dále v této kapitole byly objasněny technologie přesného vystřihování a frézování. Systém ISO GPS, kde byly popsány základní pravidla a geometrické vlastnosti, které byly využity v praktické části této diplomové práce. Následně bylo popsáno vyhodnocení výsledků měření, ukazatele způsobilosti c_g a c_{gk} a importování a exportování dat.

Druhým cílem bylo vytvoření základní technické dokumentace k navrženým obrobkům. Tento cíl byl splněn v kapitole 4, kde byly popsány součástky. Součástka 1 byl zvolen propagační předmět VUT v Brně, součástka 2 a součástka 3 byly vyrobeny na ÚVSSR FSI VUT v Brně.

Třetím a čtvrtý cílem bylo měření geometrických vlastností obrobků, zdůvodnění zvolené způsoby řešení a posouzení dosažených výsledků. Tyto cíle byly splněny v kapitole 5. V této kapitole byly vyhodnoceny a porovnávány vybrané rozměry a vzdálenosti.

U součástky 1 byly hodnoceny rozměry, vzdálenosti a geometrické tolerance dle normy ČSN EN ISO 14253-1:2023. Dle této normy pro přední stranu průměrná hodnota naměřených hodnot při horním osvětlení úhlu α spadá do pole přijetí. Průměrná hodnota naměřených hodnot při dolním osvětlení úhlu α spadá do pole přijetí. Dále byly porovnávány průměrné hodnoty z naměřených dat mezi horním a dolním osvětlením. Průměrné hodnoty při jednotlivých měření úhlu α byly u horního osvětlení $44,885^\circ$ a u dolního $45,055^\circ$. Z vyhodnocení vyplývá, že velký vliv na přesnost měření mělo horní osvětlení, dále pak zvolená technologie výroby (přesné vystřihování).

U součástky 2 byly v této diplomové práci vyhodnoceny a porovnávány na přední a zadní straně průměry otvorů a kruhovitost před nedostatečným očištěním a po následném dočištění. Výsledky byly hodnoceny metodou maximální vepsané kružnice. Dále u otvoru C1 byly porovnávány průměry, které byly hodnoceny pomocí metod nejmenších čtverců, maximální vepsané kružnice, minimální opsané kružnice a minimax. Z vyhodnocených výsledků vyplývá, že na přesnost měření měla velký vliv nečistota, tedy očištění součástky, dále pak horní osvětlení a ruční odjehlení. Naměřená hodnota průměru u otvoru C8 při dolním osvětlením u přední strany byla u prvního měření po vyhodnocení metodou maximální vepsané kružnice $\varnothing 9,869$ mm a u druhého měření po očištění součástky při stejném vyhodnocení $\varnothing 9,971$ mm. Tedy velikost chyby způsobená nečistotou byla tedy 0,102 mm (tj. 0,15 %).

U součástky 3 bylo porovnáváno horní a dolní osvětlení, úhly mezi jednotlivými drážkami, šířky drážek a délky drážek na přední a zadní straně. Z vyhodnocených výsledků vyplývá, že největší vliv na výsledek měření má volba ručního odjehlení nebo strojního sražení hrany. Tato součástka se vyráběla na SLV EDU, který vyrábí s přesností $\pm 0,2$ mm pro délkové rozměry a $\pm 0,279^\circ$ pro úhly. Maximální odchylka byla $0,028^\circ$ a minimální odchylka byla $-0,025^\circ$ při měření s horním osvětlením. Maximální odchylka byla $0,0379^\circ$ a minimální odchylka byla $-0,0401^\circ$ při měření s dolním osvětlením. Dosažené odchylky úhlů u obou typů

osvětlení byly menší než přesnost stroje $\pm 0,279^\circ$. Z toho vyplývá, že frézka SLV EDU splňuje požadavek na přesnost obrábění.

Pátým cílem byly vlastní závěry a doporučení pro praxi, které byly splněny v kapitole 6.

Dle pokynů vedoucího práce byl vypracován excelovský soubor, ve kterém je prezentován příklad pro magisterské studium oboru Kvalita, spolehlivost a bezpečnost. Tento soubor je možné nalézt v příloze 21. Fotku součástky, kterou lze použít při měření off-line v softwaru InSpec, je možné nalézt v příloze 22.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Souřadnicová měřicí technika. MM Průmyslové spektrum [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika>
- [2] INSPEC METROLOGY SOFTWARE: FOR AUTOMATED SYSTEMS. Windsor, 2019.
- [3] TNI 01 0115:2009. Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 90 s. Třídící znak: 83031.
- [4] Kartézský souřadný systém. autocad.fd.cvut.cz [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <http://autocad.fd.cvut.cz/002souradnice/kartezsky.html>
- [5] Polární souřadnice. user.mendelu.cz [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <http://user.mendelu.cz/marik/in-mat-web/in-mat-webse21.html>
- [6] NOVOTNÝ, Josef a LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980.
- [7] KOČMAN, Karel a PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [8] FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] Základní způsoby frézování. ELUC [online]. [cit. 2024-01-15]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1226>
- [10] Hliník. ALMS [online]. [cit. 2024-01-16]. Dostupné z: <https://www.alms-brno.cz/produkty/hlinik/>
- [11] Welcome to ISO/TC 213. ISO/TC213: Dimensional and geometrical product specifications and verification [online]. [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://committee.iso.org/home/tc213>
- [12] KELLEROVÁ, Michaela. Optický měřicí stroj SOL 311. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156817>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Róbert Jankových.
- [13] ČSN EN ISO 1101. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. Třídící znak 014120.
- [14] ČSN EN ISO 14638. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Maticový model. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. Třídící znak 014104.
- [15] ČSN EN ISO 14405-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů – Část 1: Lineární rozměry. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022. Třídící znak 014115.
- [16] ČSN EN ISO 14405-3. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů – Část 3: Úhlové rozměry. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022. Třídící znak 014115.

- [17] ČSN EN ISO 14405-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů – Část 2: Rozměry jiné než lineární a úhlové rozměry. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022. Třídící znak 014115.
- [18] JANKOVÝCH, Róbert. Prezentace. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [19] ČSN EN ISO 12181-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Kruhovitost – Část 1: Slovník a parametry kruhovitosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 014151.
- [20] CNC stroj M8Cube. DATRON TECHNOLOGY [online]. [cit. 2024-02-5]. Dostupné z: <https://www.datrontechnology.cz/cnc-stroje/cnc-frezovani/m8cube/>
- [21] SLV EDU 5axis Siemens 5osá frézka. CNCSTROJ.cz [online]. [cit. 2023-12-15]. Dostupné z: <https://www.cncstroj.cz/stroje/slv-edu-5axis-siemens/>
- [22] ČSN EN ISO 12780-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Přímost – Část 1: Slovník a parametry přímosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 014140.
- [23] Micro-Vu Sol Series. ATI ASSURANCE Technologies, Inc [online]. [cit. 2023-10-21]. Dostupné z: <https://www.atiquality.com/micro-vu-sol-series-manual-vision-measurement.html>
- [24] Micro-Vu – 3D optické měřicí stroje [online]. Praha: Control Check, 2021 [cit. 2023-10-21]. Dostupné z: <https://www.controlcheck.cz/>
- [25] SOL: Manual Vision Systém. 3D Metrisoft [online]. Santiago de Querétaro: 3D Metrisoft, c2021 [cit. 2023-10-21]. Dostupné z: <https://cmms.mx/wpcontent/uploads/2019/08/Sol.pdf>
- [26] MARESCA, P., J. CAJA, V. MARTINEZ, E. GÓMEZ a C. BARAJAS. Considerations to the verification of optical measuring machines according to ISO 10360. Procedia Manufacturing [online]. Amsterdam: Elsevier, 2017, 2017(13), 511-518 [cit. 2024-4-29]. ISSN 2351-9789. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.075>
- [27] ČSN EN ISO 1. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Standardní referenční teplota pro specifikace geometrických a rozměrových vlastností. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023. Třídící znak 014110.
- [28] ČSN EN ISO 14253-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kontrola součástí a měřicího vybavení měřením – Část 1: Rozhodovací pravidla pro ověření shody nebo neshody se specifikacemi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023. Třídící znak 014100.
- [29] PETR, Karel. Geometrické tolerance dle ISO GPS. Praha: Verlag Dashöfer, 2019. ISBN 978-80-7635-019-9
- [30] Souřadnicové měřicí stroje. ELUC [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1111>
- [31] The History of Coordinate Measuring Machines. CMMXYZ [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.cmmxyz.com/blog/the-history-of-coordinate-measuring-machines-cmmxyz/>
- [32] ČSN EN ISO 10360-1. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) – Část 1: Slovník. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001. Třídící znak 252011.
- [33] CHRISTOPH, Ralf a Hans Joachim NEUMANN. Multisenzorová souřadnicová měřicí technika: Dimenzování měření optikou, dotykovým senzorem a počítačovou tomografií. Uherský Brod: PRIMA BILAVČÍK, 2015. ISBN 978-3-86236-050-5.

- [34] Souřadnicové měřicí stroje [online]. [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <http://ksa.tul.cz/getFile/id:2522>
- [35] DRBŮL, Mário, Michal ŠAJGALÍK, Ján ŠEMCER, Tatiana CZÁNOVÁ a Lenka ČEPOVÁ. STROJÁRSKA METROLÓGIA A KVALITA POVRCHOV VYTVORENÝCH TECHNOLOGIAMI OBRÁBANIA [online]. Prvé. Žilina: ŽU v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra obrábania a výrobnjej techniky, 2014, 115 s. [cit. 2024-04-05]. Dostupné z: <https://projekty.fs.vsb.cz/064/docs/metrologie.pdf>
- [36] The history and introduction of CMM: the inseparable relation between CMM and GD&T. Wasy Research [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.wasyresearch.com/the-history-and-introduction-of-cmm-the-inseparable-relation-between-cmm-and-gd-t/>
- [37] The history and evolution of coordinate measuring machine CMM controllers. HEXAGON [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://hexagon.com/resources/resource-library/history-evolution-coordinate-measuring-machine-cmm-controllers>
- [38] HARMATYS, Wiktor; GAŠKA, Adam; GAŠKA, Piotr; GRUZA, Maciej a SŁADEK, Jerzy. Impact of warm-up period on optical coordinate measuring machine measurement accuracy. [Online]. Measurement: journal of the International Measurement Confederation. 2021, roč. 172, s. 108913 [cit. 2024-04-19]. ISSN 0263-2241. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108913>.
- [39] ČSN EN ISO 12181-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Kruhovitost - Část 2: Operátory specifikace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 014151.

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam tabulek

TABULKA 1)	IKONY CHARAKTERISTIK [2]	27
TABULKA 2)	IKONY KONSTRUKCE [2]	28
V TABULCE 3 JE MOŽNÉ VIDĚT IKONY OPTICKÝCH NÁSTROJŮ, KTERÉ BYLY POUŽITY V PRAKTICKÉ ČÁSTI TĚTO PRÁCE.		29
TABULKA 3)	IKONY OPTICKÝCH NÁSTROJŮ [2]	29
TABULKA 4)	OSTATNÍ IKONY	29
TABULKA 5)	DRUHY OCELI VHODNÉ PRO PŘESNÉ VYSTŘIHOVÁNÍ (PŘEVZATO Z [6]).....	33
TABULKA 6)	DRUHY HLINÍKOVÝCH SLITIN [10].....	35
TABULKA 7)	ELEMENTY SPECIFIKACE PŘÍŘAZENÉHO TOLEROVANÉHO PRVKU [13]	35
TABULKA 8)	TABULKA URČENÍ KOEFICIENTU K (PŘEVZATO Z [18])	38
TABULKA 9)	TABULKA KOEFICIENTU ROZŠÍŘENÍ (PŘEVZATO Z [18])	39
TABULKA 10)	ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY OPTICKÉHO CMM SOL 311 [25],[24],[12].....	50
TABULKA 11)	NAMĚŘENÉ HODNOTY ÚHLU A (UPRAVENO DLE [12]) ..	53
TABULKA 12)	OTVORY PŘEDNÍ STRANA.....	57
TABULKA 13)	ÚHLY MEZI DRÁŽKAMI (NOMINÁLNÍ HODNOTA: 45°)...	65
V TABULCE 14 JSOU PREZENTOVÁNY NAMĚŘENÉ HODNOTY ŠÍŘEK DRÁŽEK, KTERÉ BYLY NAMĚŘENY PŘI DOLNÍM A HORNÍM OSVĚTLENÍM.....		67
TABULKA 14)	ŠÍŘKA DRÁŽKY (NOMINÁLNÍ HODNOTA: 4,2 MM).....	67
V TABULCE 15 JSOU PREZENTOVÁNY NAMĚŘENÉ HODNOTY DÉLEK DRÁŽEK, KTERÉ BYLY MĚŘENY PŘI DOLNÍM A HORNÍM OSVĚTLENÍM.....		69
TABULKA 15)	DÉLKA DRÁŽKY (NOMINÁLNÍ HODNOTA: 34,1 MM).....	69
TABULKA 16)	TABULKA PRIORIT FAKTORŮ	72

10.2 Seznam obrázků

OBR. 1)	VÝLOŽNÍKOVÝ CMM S PEVNÝM STOLEM [32].....	18
OBR. 2)	CMM S POHYBLIVÝM PORTÁLEM [32].....	19
OBR. 3)	MOSTOVÝ CMM [32]	19
OBR. 4)	CMM S MOSTEM VE TVARU L [32]	20

OBR. 5) CMM S PEVNÝM PORTÁLEM [32]	20
OBR. 6) VÝLOŽNÍKOVÝ CMM S POHYBLIVÝM PORTÁLEM [32]	21
OBR. 7) STOJANOVÝ CMM [10]	21
OBR. 8) CMM S POHYBLIVÝM SLOUPEM A POHYBLIVÝM VODOROVNÝM RAMENEM [32]	22
OBR. 9) CMM S PEVNÝM STOLEM A VODOROVNÝM RAMENEM [32]	22
OBR. 10) CMM S POHYBLIVÝM STOLEM A VODOROVNÝM RAMENEM [32] 23	
OBR. 11) UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ SOFTWARE INSPEC	26
OBR. 12) FUNKCE ROTOVAT [2]	30
OBR. 13) IKONY PRO PŘEPÍNÁNÍ POVRCHOVÉHO OSVĚTLENÍ	30
OBR. 14) POLÁRNÍ SOUŘADNÝ SYSTÉM [VLASTNÍ OBRÁZEK]	31
OBR. 15) KARTÉZSKÝ SOUŘADNÝ SYSTÉM	32
OBR. 16) SOUŘADNÉ SYSTÉMY V SOFTWARE INSPEC	32
OBR. 17) SOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ (PŘEVZATO Z [7])	34
OBR. 18) NESOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ (PŘEVZATO Z [7])	34
OBR. 19) INDIKACE PŘÍMOSTI [13]	37
OBR. 20) TOLERANČNÍ POLE PŘÍMOSTI [13]	37
OBR. 21) INDIKACE ROVINNOSTI [13]	37
OBR. 22) TOLERANČNÍ POLE ROVINNOSTI [13]	37
OBR. 23) INDIKACE KRUHOVITOSTI [13]	38
OBR. 24) TOLERANČNÍ POLE KRUHOVITOSTI [13]	38
OBR. 25) A) REFERENČNÍ KRUŽNICE NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ KRUŽNICE [18], B) REFERENČNÍ KRUŽNICE NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ 50 PENCE V SOFTWARE INSPEC	40
OBR. 26) A) REFERENČNÍ KRUŽNICE MINIMÁLNÍ ZÓNY KRUŽNICE [18], B) REFERENČNÍ KRUŽNICE MINIMÁLNÍ ZÓNY KRUŽNICE 50 PENCE V SOFTWARE INSPEC	41
OBR. 27) A) MAXIMÁLNÍ VEPSANÁ REFERENČNÍ KRUŽNICE [18], B) MAXIMÁLNÍ VEPSANÁ REFERENČNÍ KRUŽNICE 50 PENCE V SOFTWARE INSPEC	41
OBR. 28) A) MINIMÁLNÍ OPSANÁ REFERENČNÍ KRUŽNICE [19], B) MINIMÁLNÍ OPSANÁ REFERENČNÍ KRUŽNICE 50 PENCE V SOFTWARE INSPEC	42
OBR. 29) SPECIFIKACE STANOVENÁ SPECIFIKOVANOU HORNÍ A DOLNÍ MEZÍ	43
OBR. 30) HODNOTA KOEFICIENTU OCHRANNÉHO PÁSMU G JAKO FUNKCE POMĚRU ŠÍŘKY SPECIFIKAČNÍHO POLE A KOMBINOVANÉ NEJISTOTY MĚŘENÍ	44

OBR. 31) OVĚŘOVÁNÍ SHODY SE SPECIFIKACÍ [28]	44
OBR. 32) A) NÁČRT SOUČÁSTKY 1 S POPISEM; B) SOUČÁSTKA 1.....	46
OBR. 33) A) NÁČRT SOUČÁSTKY 2 S KÓTAMI; B) SOUČÁSTKA 2.....	47
OBR. 34) A) NÁČRT SOUČÁSTKY 3 S KÓTAMI; B) SOUČÁSTKA 3.....	48
OBR. 35) DATRON M8CUBE (PŘEVZATO Z [20])	49
OBR. 36) SLV EDU [21].....	50
OBR. 37) OPTICKÝ 3D CMM SOL 311 (UPRAVENO DLE [18])	51
OBR. 38) NÁČRT SOUČÁSTKY 1: A) PŘEDNÍ STRANA; B) ZADNÍ STRANA	52
OBR. 39) DETAIL ZUBŮ SOUČÁSTKY 1: A) PŘEDNÍ STRANA; B) ZADNÍ STRANA.....	52
OBR. 40) POROVNÁNÍ ÚHLU A MEZI HORNÍM A DOLNÍM OSVĚTLENÍM	53
OBR. 41) OVĚŘENÍ SHODY SE SPECIFIKACÍ ÚHLU A DLE ČSN EN ISO 14253:2023 – PŘEDNÍ STRANA: A) HORNÍ OSVĚTLENÍ; B) DOLNÍ OSVĚTLENÍ.....	54
OBR. 42) POROVNÁNÍ UHLŮ ZUBŮ PILKY (HORNÍ OSVĚTLENÍ) – PŘEDNÍ STRANA.....	55
OBR. 43) NÁČRT SOUČÁSTKY 2: A) PŘEDNÍ STRANA; B) ZADNÍ STRANA	56
OBR. 44) SCHÉMA VYTVOŘENÍ POMOCNÝCH OBLOUKŮ V OTVORECH PŘEDNÍ STRANA	56
OBR. 45) SCHÉMA OTVORŮ A VZDÁLENOSTÍ – PŘEDNÍ STRANA.....	57
OBR. 46) POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ OTVORŮ METODOU MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ REFERENČNÍ KRUŽNICE – PŘEDNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ)	58
OBR. 47) POROVNÁNÍ KRUHOVITOSTI POMOCÍ MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ REFERENČNÍ KRUŽNICE	58
OBR. 48) POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ OTVORŮ METODOU MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ REFERENČNÍ KRUŽNICE PO OČIŠTĚNÍ – PŘEDNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ).....	59
OBR. 49) POROVNÁNÍ KRUHOVITOSTI METODOU MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ REFERENČNÍ KRUŽNICE PO OČIŠTĚNÍ – PŘEDNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ)	59
OBR. 50) POROVNÁNÍ VYHODNOCOVACÍCH METOD PRŮMĚRU OTVORU C1 PO OČIŠTĚNÍ – PŘEDNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ).....	60
OBR. 51) POROVNÁNÍ VZDÁLENOSTI D1-2 VYTVOŘENÉ POMOCÍ STŘEDŮ KRUŽNIC VYTVOŘENÝCH POMOCÍ VYHODNOCOVACÍCH METOD – PŘEDNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ)	60
OBR. 52) POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ OTVORŮ METODOU MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ REFERENČNÍ KRUŽNICE – ZADNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ)	61
OBR. 53) POROVNÁNÍ KRUHOVITOSTI POMOCÍ MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ REFERENČNÍ KRUŽNICE – ZADNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ).....	61

OBR. 54) POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ OTVORŮ METODOU MAXIMÁLNÍ VEPSANÉ KRUŽNICE PO OČISTĚNÍ – ZADNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ).....	62
OBR. 55) POROVNÁNÍ VYHODNOCOVACÍCH METOD KRUHOVITOSTI PO OČISTĚNÍ – ZADNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ).....	62
OBR. 56) POROVNÁNÍ VYHODNOCOVACÍCH METOD PRŮMĚRŮ – ZADNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ)	63
OBR. 57) POROVNÁNÍ VZDÁLENOSTI D1-2 VYTVOŘENÉ POMOCÍ STŘEDŮ KRUŽNIC VYTVOŘENÝCH POMOCÍ VYHODNOCOVACÍCH METOD – ZADNÍ STRANA (DOLNÍ OSVĚTLENÍ)	63
OBR. 58) NÁČRT SOUČÁSTKY 3: A) PŘEDNÍ STRANA; B) ZADNÍ STRANA	64
OBR. 59) SCHÉMA POMOCNÝCH PŘÍMEK A POMOCNÝCH KRUŽNIC	64
OBR. 60) SCHÉMA ROZMĚRŮ A VZDÁLENOSTÍ.....	65
OBR. 61) POROVNÁNÍ ÚHLŮ MEZI HORNÍM A DOLNÍM OSVĚTLENÍM: A) PŘEDNÍ STRANA; B) ZADNÍ STRANÍ.....	66
OBR. 62) POROVNÁNÍ ŠÍŘEK DRÁŽEK MEZI DOLNÍM A HORNÍM OSVĚTLENÍM: A) PŘEDNÍ STRANA; B) ZADNÍ STRANA	68
OBR. 63) POROVNÁNÍ DÉLEK DRÁŽEK MEZI DOLNÍM A HORNÍM OSVĚTLENÍM (PŘEDNÍ STRANA).....	70
OBR. 64) POROVNÁNÍ ÚHLŮ MEZI HORNÍM A DOLNÍM OSVĚTLENÍM – PŘEDNÍ STRANA.....	71
OBR. 65) POROVNÁNÍ VARIABILITY NAMĚŘENÝCH DAT PRŮMĚRU (VYHODNOCENO POMOCÍ METODY NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ) MEZI HORNÍM A DOLNÍM OSVĚTLENÍM – ZADNÍ STRANA (MINITAB 2017)	73

10.3 Seznam zkratk a symbolů

SPC	Statistická regulace procesu
C	Uhlík
Mn	Mangan
Si	Křemík
Cr	Chrom
Ni	Nikl
P	Fosfor
S	Síra
Al	Hliník
Cu	Měď
Pb	Olovo
Mg	Hořčík
Zn	Zinek
ISO	Celosvětová federace národních normalizačních orgánů
GPS	Geometrické specifikace produktu
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
SOL 311	Optický měřicí přístroj SOL 311
Metoda GC	Metoda minimax
Metoda GG	Metoda nejmenších čtverců
Metoda GN	Metoda minimální opsané kružnice
Metoda GX	Metoda maximální vepsané kružnice
c_g	Ukazatel způsobilosti měřidla
c_{gk}	Ukazatel způsobilosti měřidla
T	Toleranční pole
s_g	Výběrová směrodatná odchylka naměřených hodnot
\bar{x}_g	Průměrná naměřená hodnota
x_e	Etalonová hodnota neboli referenční
L	Délka
CAD	Počítačem podporované navrhování a projektování
x	Měřená veličina
\bar{x}	Aritmetický průměr
U	Rozšířená nejistota měření
n	Počet měření
x_i	Jednotlivé naměřené hodnoty
k	Koeficient rozšíření

K	Koeficient rozšíření
N	Normální rozdělení
χ	Koeficient příslušného rozdělení
u_c	Kombinovaná standardní nejistota
u_A	Nejistota měření typu A
u_B	Nejistota měření typu B
$s(\bar{x})$	Výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru
u_{zj}	Nejistoty z_j
z_j	Zdroje nejistot
c_j	Koeficient citlivosti
LSL	Dolní mezní hodnota
USL	Horní mezní hodnota
MPE	Maximální dovolená chyba
CMM	Souřadnicový měřicí stroj
σ^2	Rozptyl
CNC	Počítačem řízený stroj
r	Poloměr
v_f	Rychlost posuvu
φ_i	Úhel záběru ostří
F_{fi}	Posuvová síla
F_{ci}	Řezná síla
F_i	Celková řezná síla
F_{fni}	Kolmá posuvová síla
v_c	Řezná rychlost
F_{cni}	Kolmá řezná síla
$\pm\Delta z_{jmax}$	Rozsah odchylek
\bar{x}	Průměr
g_A	Faktor ochranného pásma
$g_{A \cdot u_c}$	Ochranné pásmo
VUT v Brně	Vysoké učení technické v Brně
D...	Vzdálenost
C...	Kružnice
s...	Šířka drážky
v...	Výška drážky
P...	Bod
L...	Přímka
C	Minimax prvek

G	Prvek nejmenších čtverců
N	Minimální opsaný prvek
X	Maximální vepsaný prvek
μ	Střední hodnota
g_{LA}	Ochranné pásmo u specifikované dolní meze
g_{UA}	Ochranné pásmo u specifikované horní meze
g	Koeficient ochranného pásma
y_L	Nejmenší naměřená hodnota, pro kterou lze ověřit shodu
ε	Infinitezimální zbytek
y_U	Největší naměřená hodnota, pro kterou lze ověřit shodu
CCD	Zařízení s vázanými náboji

11 SEZNAM PŘÍLOH

- Elektronická příloha 1 - výkres součástky 1
- Elektronická příloha 2 - výkres součástky 2
- Elektronická příloha 3 - výkres součástky 3
- Elektronická příloha 4 - program součástka 1 - přední strana
- Elektronická příloha 5 - program součástka 1 - zadní strana
- Elektronická příloha 6 - program součástka 2 - přední strana
- Elektronická příloha 7 - program součástka 2 - zadní strana
- Elektronická příloha 8 - program součástka 3 - přední strana
- Elektronická příloha 9 - program součástka 3 - zadní strana
- Elektronická příloha 10 - program součástka 1 - přední strana výpis
- Elektronická příloha 11 - program součástka 1 - zadní strana výpis
- Elektronická příloha 12 - program součástka 2 - přední strana výpis
- Elektronická příloha 13 - program součástka 2 - zadní strana výpis
- Elektronická příloha 14 - program součástka 3 - přední strana výpis
- Elektronická příloha 15 - program součástka 3 - zadní strana výpis
- Elektronická příloha 16 - technické parametry výrobních strojů
- Elektronická příloha 17 - vyhodnocení součástka 1 - přední strana
- Elektronická příloha 18 - vyhodnocení součástka 1 1 zadní strana
- Elektronická příloha 19 - vyhodnocení součástka 2
- Elektronická příloha 20 - vyhodnocení součástka 3
- Elektronická příloha 21 - školní příklad
- Elektronická příloha 22 - fotka součástka
- Elektronická příloha 23 - výkres součástka 1 DXF
- Elektronická příloha 24 - výkres součástka 2 DXF
- Elektronická příloha 25 - výkres součástka 3 DXF
- Elektronická příloha 26 - kalibrační list