

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Analýza postupu kontroly obráběného dílu na CMM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Filip Erdinger

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie obrábění, projektování a metrologie

Vedoucí práce: Ing. Petr Mikeš

Praha

2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně. Použité zdroje a podkladové materiály uvádím v seznamu literatury.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Petru Mikešovi za cenné rady a připomínky, odbornou pomoc a vedení při práci.

Anotace

Cílem bakalářské práce je analýza postupu kontroly obráběného dílu na CMM. Práce je rozdělena do několika částí. Úvodní část je věnována možnostem měření na CMM. Další část je zaměřena na způsoby upínání součásti při měření na CMM, především na upínací systémy. Pro kontrolovaný obrobený díl je proveden rozbor geometrických specifikací a analýza plánu měření vybrané součásti. V závěru práce je vytvořen komentovaný postup měření.

Klíčová slova

CMM, upínání na CMM, upínací systémy, postup měření.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is an analysis of the machined part inspection on CMMs. The thesis is divided into several parts. The introductory part is devoted to the measurement on CMMs. Another part is focused on ways of clamping the components in the measurement on the CMM, in particular on the clamping systems. For controlled machined part is an analysis of geometric specifications and analysis of measurement plan selected components. The conclusion is created annotated measurement procedure.

Keywords

CMM, clamping on the CMM, clamping systems, process measurement.

Obsah

Úvod	6
1. Možnosti měření na souřadnicových měřicích strojích	7
1.1 Konstrukce CMM	7
1.2 Snímací systémy CMM	7
1.3 Měření na souřadnicových měřicích strojích.....	9
1.4 Software strojů.....	13
2. Způsoby upínání součástí při měření na CMM	16
2.1 Požadavky na upínání.....	16
2.2 Základní rozdělení a možnosti upínání na CMM	17
2.3 Volné ustavení	17
2.4 Univerzální upínání	18
2.5 Upínací systémy	20
2.6 Jednoúčelové upínací přípravky	36
3. Rozbor geometrických specifikací vybraného komponentu.....	38
3.1 Tolerance délkových a úhlových rozměrů.....	38
3.2 Geometrické specifikace.....	38
3.3 Rozbor geometrických specifikací skříně spojky	39
4. Analýza plánu měření pro vybranou součást.....	41
4.1 Upnutí součásti	41
4.2 Konfigurace snímacího systému.....	41
4.3 Analýza plánu měření.....	42
5. Komentovaný postup měření	43
5.1 Nastavení základního souřadnicového systému.....	43
5.2 Zadání bezpečnostního kvádru a nastavení teplotní kompenzace	44
5.3 Měření elementů pro stanovení základního souřadnicového systému	45
5.4 Měření zbývajících elementů.....	47
5.5 Měření vybraných charakteristik	47
5.6 Simulace měření	51
5 Závěr.....	52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
SEZNAM OBRÁZKŮ	57

Úvod

V dnešní době se ve strojírenské výrobě stále zvyšují nároky na kvalitnější a přesnější výrobky. S těmito zvyšujícími se nároky jsou samozřejmě spojené vyšší požadavky na kontrolu těchto výrobků. Se zvyšující se přesností výroby také rostou náklady, proto se společnosti snaží navýšit výrobní kapacity pro maximalizaci zisků. V oblasti kontroly a měření je toto navýšení možné za pomoci použití souřadnicových měřicích strojů (později jen CMM), které umožňují vysoký stupeň automatizace samotné kontroly a měření. Dominantní postavení CMM je dáno vysokou produktivitou a flexibilitou kontrolních úkonů ve strojírenské výrobě.

CMM stroje jsou využívány především v automobilovém a leteckém průmyslu, ale i v energetickém průmyslu nacházejí nezanedbatelné uplatnění. Použití CMM strojů je velmi univerzální, avšak nejvíce se využívají především při měření oběžných kol rotorů, ventilátorů nebo čerpadel, pro měření lopatek turbín v jednotlivých řezech a všude tam kde je zapotřebí měřit obecné tvarové plochy. CMM stroje jsou vhodné pro měření součástí s velkým počtem prvků, pro určení charakteristik a určení vzájemné polohy těchto prvků.

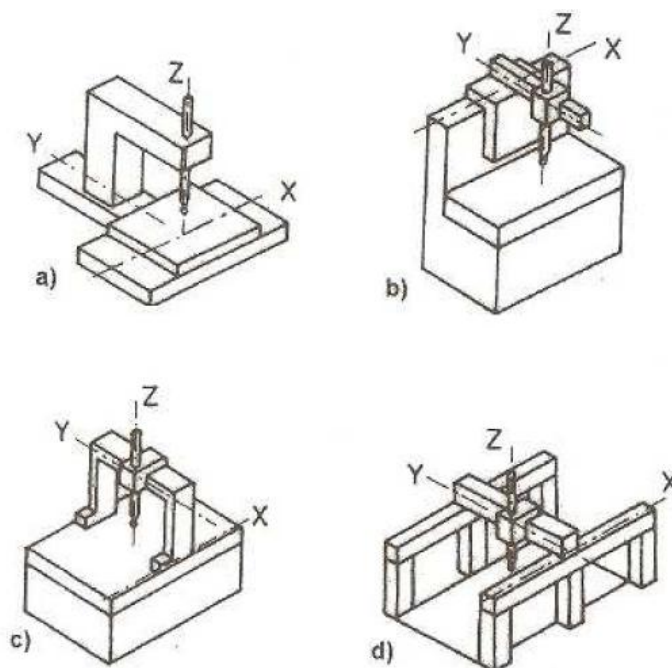
Předpokladem pro správné a opakovatelné výsledky měření je vhodné upnutí měřené součásti. Vhodné upnutí je takové, které bezpečně ustaví danou součást do správné polohy tak, aby nebyla poškozena. Upnutí by mělo být provedeno tak, aby jeho části nebránily v proměření všech elementů, které chceme na součásti změřit. Tyto podmínky splňují upínací systémy, které umožňují, díky své flexibilitě, sestavení téměř jakéhokoliv provedení upínače. Další možností využívanou především ve velkovýrobě jsou jednoúčelové upínací přípravky, které jsou pro danou součást speciálně navrhnuté a zajišťují dokonalé upnutí.

1. Možnosti měření na souřadnicových měřicích strojích

1.1 Konstrukce CMM

Prakticky všichni výrobci CMM nabízí ucelenou řadu, od malých stolních přístrojů až po největší mostové systémy, které jsou schopny měřit například karoserii automobilu. Koncepce CMM v souladu s jejich velikostí vychází ze čtyř základních typů: [1]

- sloupový,
- výložníkový,
- mostový,
- portálový.



Obr. 1: Typy CMM [1]

a) sloupový, b) výložníkový, c) mostový, d) portálový

1.2 Snímací systémy CMM

Jednou z částí CMM je snímací systém, který slouží ke snímání bodů. Za pomoci měřicího programu vyhodnotíme a získáme numerickou informaci o měřené veličině. Snímací systém je spojený s pinolou a skládá se ze: [6]

- snímací hlavy,
- prodloužení snímací hlavy,
- systému výměny snímací hlavy,

- snímacího dotyku,
- systému výměny snímacího dotyku,
- prodloužení snímacího dotyku.

Snímací systémy rozdělujeme na: [6]

- dotykové (kontaktní) snímací systémy – využívají se dotykové senzory,
- bezdotykové systémy – využívají se optické senzory apod.

1.2.1 Dotykové snímací systémy

U starších typů CMM (při ručním řízení) se používají pevné dotyky (ve tvaru koule, kužele, válce apod.). V okamžiku nasnímání bodu, dá řídicí software povel řídicí obsluze zaregistrovat všechny souřadnice a po ukončení měření software vypočítá požadované geometrické veličiny (např. průměr kružnice, souřadnice středu, osová vzdálenost, apod.). U CMM s CNC řízením jsou nejrozšířenější elektrokontaktní snímací systémy.

Elektrokontaktní snímací systémy rozdělujeme: [6]

- systém (sondy) spínacího typu,
- systém (sondy) snímacího typu (skenující sonda).



Obr. 2: Dotykový senzor s otočnou hlavicí
[28]



Obr. 3: Dotykový senzor s pevnou hlavicí
[28]

1.2.2 Bezdotykové systémy

Typickým představitelem tohoto měření jsou optické systémy, které jsou použity u dvousouřadnicových strojů v automatických měřicích mikroskopech, které pracují v rovině, jako dvouosé měřicí systémy. Na podobném principu pracuje snímání 3D digitalizace, jako jsou CMM a multisenzorové souřadnicové stroje (stacionární a mobilní), které používají optické senzory. Multisenzorové měřicí stroje – např. počítačová tomografie. [6]

- Laserové systémy
- Kamerové systémy



Obr. 4: Bezdotykový senzor laserový[28]



Obr. 5: Bezdotykový senzor kamerový (optický) [28]

1.3 Měření na souřadnicových měřicích strojích

Při měření na CMM se potřebné parametry získávají nepřímo z naměřených kartézských nebo polárních souřadnic v rovině nebo v prostoru. Přesnost hodnoty výsledné veličiny je tedy závislá na řadě vstupních veličin. Prvním krokem je vždy sestavení plánu průběhu měření. Ten obsahuje tzv. strategii měření, ve které se přesně formulují předepsané požadavky na přesnost výsledků měření a hledá se optimální postup k jeho dosažení. [1]

1.3.1 Obecný postup měření

1) Rozbor výkresové dokumentace a určení měřicí strategie

Prostudování výkresové dokumentace a určení prvků, které budeme kontrolovat. Kontrolované prvky musí být voleny tak, aby bylo možné měření provést s ohledem na technické možnosti měřicí techniky.

2) Způsob upnutí součásti

Upnutí součásti je jedním z nejdůležitějších a nejsložitějších předpokladů pro správné měření. Měřená součást musí být ustavena tak, aby bylo možné provádět kontrolu elementů pokud možno na jednou upnutí, pro zvýšení přesnosti měření. Upnutí musí být voleno tak, aby bylo možné měřit všechny prvky, které dle výkresové dokumentace změřit potřebujeme.

U plastových dílců je třeba zajistit co největší počet bodů dotyku součásti a upínacího prvku tak, aby se součást co nejméně prohýbala a nedocházelo tak k chybným měřením.

Problematikou upnutí se budu zabývat v další části práce.

3) Volba snímacího systému

Snímací systém musí být sestaven tak, aby bylo možné, podle zvolené strategie, provést měření. Zvolení vhodné délky snímače, natočení snímače, délky dřívku a vhodného průměru kuličky na konci snímače. Snímací systém volit co nejjednodušší v závislosti na zvoleném postupu měření. Snímací systému můžeme volit:

- Snímací systémy s pevnou hlavicí: nedají se v prostoru natáčet, ale dosahují vyšší přesnosti než indexovatelné hlavice. Mají menší flexibilitu použití. [6]
- Snímací systém s indexovatelnou hlavicí: slouží na přesné polohování snímacích sond v pracovním prostoru stroje. Umožňuje natáčet sondu v jednotlivých osách a zajistit ji v požadované poloze. [6]
 - Motorické hlavice
 - Manuální hlavice

Snímací systémy s otočnou hlavou: v hlavě je umístěný kloub, který umožňuje rotaci ve dvou osách. Větší flexibilita, menší přesnost měření způsobená nižší opakovatelností při otáčení snímací hlavy.

Před započítím měření, po sestavení vhodného snímacího systému, musíme jednotlivé snímače klasifikovat (kalibrovat) pomocí kalibrační koule. [2]

Nejdříve je nutné upnout kalibrační kouli na stůl a její polohu zaměřit a kalibrovat referenčním snímačem. [2]

Poté zkontrolovat výsledky kalibrace. Je třeba sledovat výraznější odchylky, které mohou znamenat např. znečištění kalibrační koule/snímače nebo případně mohou znamenat jejich poškození (např. předchozí kolizí). [2]

Pokud je vše v pořádku, přistupuje se ke kalibraci snímacího systému. [2]

Zkontrolují se výsledky kalibrace, sleduje se především směrodatná odchylka. Pokud se nevyskytují výrazné odchylky, je vše v pořádku a snímací systém se může použít k měření. Pokud se výrazné odchylky vyskytují, je třeba zjistit jejich příčinu a odstranit je. Případně

použít jiný snímací systém. **Odchyly může způsobit:** špatné sestavení snímacího systému (snímače nedostatečně dotaženy, nečistoty na závitě talířku nebo snímače), kulička snímače může být znečištěna (např. na ní mohl ulpět materiál ze skenovaných součástí), špatně nastavené parametry při kalibraci, nedostatečná tuhost snímacího systému (při velkých vyloženích), nebo může být poškozen snímač např. předchozí kolizí. [2]

4) Vyrovnání souřadnicového systému

V případě, že máme k dispozici CAD model součásti, můžeme CAD model načíst do měřicího softwaru a provést vyrovnání součásti přímo v softwaru. Elementy potřebné pro sestavení prvků pro vyrovnání souřadnicového systému se vyberou poklepáním myši na CAD model.

Pokud CAD model k dispozici nemám, musím provést vyrovnání přímo na měřené součásti tak, že nasnímám potřebné elementy pro vyrovnání ručně. Nasnímám například: rovinu, přímkou, bod a za pomoci těchto elementů provedu vyrovnání.

5) Stanovení bezpečnostního kvádr (bezpečnostní roviny)

Na souřadnicových měřicích strojích s CNC provozem zajišťují bezpečnostní roviny bezpečný pojezd konfigurací snímačů kolem měřené součásti. Bezpečnostní roviny tvoří dohromady bezpečnostní kvádr, který funguje jako jakýsi imaginární „obal“ kolem součásti a upínacího přípravku a chrání snímač před kolizemi. [3]

Existují různé postupy pro definování bezpečnostního kvádr:

Na měřicím stroji - definovat rohové body bezpečnostního kvádr na měřicím stroji pomocí ovládacího panelu, kterým se přebere aktuální poloha snímače.

Manuálně - aby byly definovány rohové body bezpečnostního kvádr, musíte zadat souřadnice X, Y, Z pro dva rohové body.

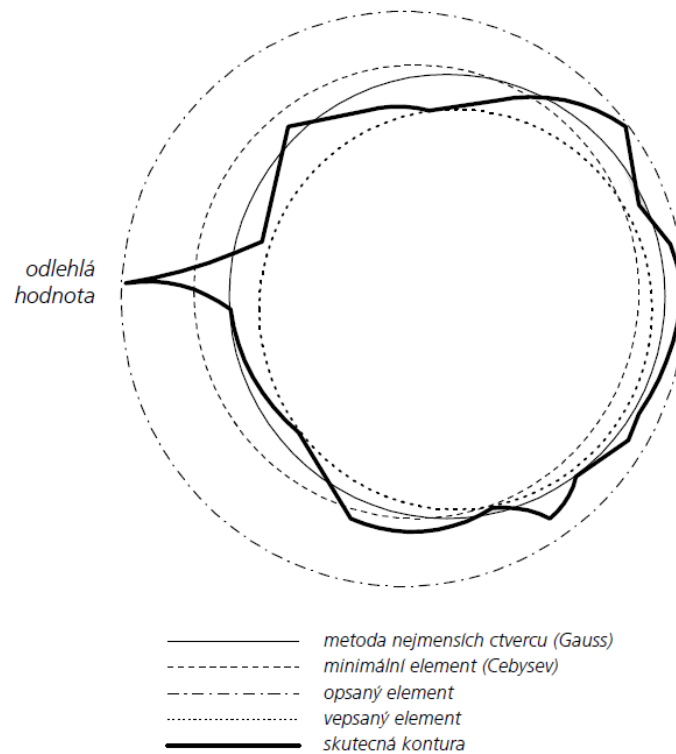
Vytvořit bezpečnostní kvádr automaticky - při tomto způsobu definice zadáváte jen bezpečnostní vzdálenost (hodnota Offset) v milimetrech. Offset je vytvořený z CAD modelu. [3]

6) Tvorba programu

Pro sestavení programu musíme nejdřív vybrat elementy na součásti, které budeme měřit a jakou strategií je budeme měřit. Elementy můžeme měřit bodově nebo scanningem. Při bodovém měření, je každý bod měřen jednotlivě. Měřené body by měly být rovnoměrně rozmístěné po celém elementu. Každému elementu odpovídá minimální počet nasnímaných bodů. Při měření za pomoci scanningu se v programu předem definuje počet bodů nebo velikost kroku pro měření zadaného elementu. Výsledný počet měřených bodů by měl být dostatečně vysoký, aby došlo k zmapování celého měřeného elementu. Důležitou roli při scanningu také hraje rychlost pohybu snímače při snímání bodů.

7) Extrahování bodů

Po nasnímání bodů z nich sestavíme měřený prvek. Například: kružnice, válec, rovina. Pro výpočet např. kružnice musíme zvolit správný způsob „připosování“ podle vhodně zvolené metody. Na obrázku můžeme vidět skutečnou konturu scanované kružnice spolu s ideálními geometrickými konturami, vyplývajícími z různých metod připosování. [3]



Obr. 6: Přehled metod připosování [3]

Jak je z obrázku patrné, dostáváme podle použité metody připosování při kontrole rozměrů (např. průměr), úchylek tvaru a polohy (např. střed) rozdílné výsledky. [3]

Jednotlivé způsoby připosování volíme s ohledem na funkční vlastnosti vyhodnocovaného prvku. Například v případě, že do otvoru bude vkládána hřídel, volíme způsob připosování metodou minimálních elementů (Cebusev).

8) Vytvoření charakteristik

Pomocí charakteristik jsou kontrolovány tolerance, které by měly být na měřené součásti dodrženy. Potřebné charakteristiky zabudujete do plánu měření a propojíte je s měřenými elementy. [3]

Z naměřených prvků vytvoříme charakteristiky, které podle výkresové dokumentace potřebujeme určit. Pro již definované měřené elementy definujte charakteristiky pro kontrolu velikosti (rozměru), tvaru, polohy atd. Tím se zjistí, zda jsou měřené elementy v mezích, které jste definovali. Charakteristiky jsou rozděleny do tří skupin. Pro

vyhodnocení těchto charakteristik je potřebná různá hustota bodů podle toho, která metoda přizpůsobení se použije. [3]

Rozměr - tyto charakteristiky se zpravidla posuzují na základě nízkého počtu měřených bodů. Snímáním více bodů, než je nezbytné minimum, se získala také informace o směrodatné odchylce (sigma). [3]

Poloha - tyto charakteristiky vyžadují vyšší hustotu bodů, protože úchylka tvaru překrývá úchylku polohy. [3]

Kontrola tvaru - vyhodnocení měřených elementů vyžaduje vysokou hustotu bodů na měřené ploše. Pro filtrování měřených bodů je vhodné použít nízkopásmový filtr (dolní propustí), aby byl minimalizován vliv drsnosti povrchu. [3]

9) Vyhodnocení měření

Pro prezentaci výsledků lze použít několik druhů protokolů:

- Prezentační protokol: slouží jako výstup z měření, je přehledný pro menší počet charakteristik.
- Kompaktní protokol: slouží jako výstup z měření s podrobnějšími údaji.
- Pracovní protokol: grafický strohý s podrobnými informacemi.
- Grafický element pro vyhodnocování úchylek tvaru. Používá se pro podrobné znázornění úchylek (válcovitost, rovinnost, kolmost)
- Vyhodnocení na CAD modelu. Využívá se pro efektní prezentaci výsledků. [2]

1.4 Software strojů

Moderní multisenzorové souřadnicové měřicí stroje pokrývají široké spektrum různých komplexních úkolů. Kvalifikace obsluhy je na různých úrovních, od málo proškoleného pracovníka až po vysoce kvalifikovaného specialistu. Rozdílné stupně kvalifikace a způsobu práce jsou optimálně podporovány strukturou softwarů. Proto jsou měřicí softwary vybaveny např. několika přístupovými rovinami, které odpovídají různým úrovním kvalifikace pracovníků obsluhy. [5]

Software usnadňuje práci obsluhy tím, že rozezná prvky, které lze z naměřených dat sestavit bez předchozího volení měřených prvků. Změřené a zvolené geometrické elementy jsou graficky znázorněny a uloženy do programu měření. [4]

Další možnosti spočívají v přímém propojení CAD modelu se softwarem měřicího stroje. V takovém případě se nejprve vyberou měřené oblasti na CAD modelu a následně se v automatickém nebo poloautomatickém režimu změní zvolenými senzory. Výsledek je možné graficky porovnat s CAD modelem. Odchylky mezi naměřeným a skutečným tvarem je možné graficky znázornit barevným spektrem na modelu. [5]

Moderní metrologické softwary umožňují:

- jednoduché vytváření měřicích programů přes objektově orientované programování, vybírají se stejné elementy, jako v konstrukčních výkresech,
- flexibilita softwaru a senzoriky: od snímání jednotlivých bodů přes skenování až po optické měření,
- přizpůsobení výstupů měření našim potřebám, protokoly je možné jednoduše vytvořit v individuálních formátech. [6]

Moderní softwary obsahují:

- snímání jednotlivých bodů nebo skenování,
- měření manuální, nebo pomocí CNC režimu, kde se připravuje přímo na měřicím stroji, off-line programování,
- snímání dotykové nebo optické,
- měření známých geometrických tvarů nebo obecných ploch. [6]

Dále dokážou přesně určit naměřené rozdíly známé součástky, stejně jako dokážou digitalizovat neznámý model. Toto vše umožňuje jeden software. [6]

V praxi se používají nejrůznější programy, každý program je v něčem specifický. [6]

K nejznámějším softwarům pro CMM patří:

- PC-DMIS CMM (firma HEXAGON Metrology),
- Metrosoft CM (firma WENZEL),
- CALYPSO, Holos (firma Zeiss),
- MCOSMOS 1 (firma Mitutoyo),
- a další.

Nyní bych ve zkratce přiblížil jednotlivé softwary a jejich funkce. Detailněji bych se zaměřil na měřicí software CALYPSO, z toho důvodu, že jsem s tímto programem pracoval při analýze a komentování plánu měření pro měřenou součást.

1.4.1 PC-DMIS CMM (firma HEXAGON Metrology)

PC-DMIS[®] společnosti Wilcox Associates je předním světovým metrologickým softwarem. Využívají jej firmy všech velikostí po celém světě k měření dílů všemožných tvarů, velikostí a tolerancí. Software PC-DMIS usnadňuje nastavení a kontrolu veškerých prvků od přímých prizmatických dílů až po nejsložitější kontury a plochy. Splňuje všechny mezinárodní standardy pro software souřadnicových měřicích strojů. [7]

1.4.2 Metrosoft CM (firma WENZEL)

Metrosoft CM nabízí jasné, stručné a nekomplikované programování pomocí ikon pro různé kvalifikace operátorů. Operátor je veden grafikou, která umožňuje snadné a přehledné programování. [8]

Metrosoft CM byl vyvinut díky spolupráci s předními společnostmi v automobilovém průmyslu a leteckém průmyslu. Z reakcí a neustále se měnících potřeby byl vyvinut tento software. [8]

Metrosoft CM umožňuje měřit definované geometrie i obecné tvarové plochy v jednom softwarovém balíčku, podporuje širokou škálu snímacích systémů. [8]

1.4.3 MCOSMOS 1 (firma Mitutoyo)

Jedná se o základní software pro prizmatické obrobky. Snadné programování pomocí joysticku nebo vkládání nominálních hodnot. Speciální funkce jako je světlá výška nebo automatické rozpoznání elementů pomáhá tak aby se zabránilo kolizím a snížil se čas programování. [9]

Software MCOSMOS 1 je složen ze dvou základních modulů:

- PartManager je řídicí centrum, které spouští Váš programový balíček a spravuje měřicí programy. [10]
- GEOPAK (Geometrický modul) pro snadné vytvoření měřicích programů (online/offline) pro měření geometrických prvků. Včetně: podpory uživatelem definovaných dialogů (variabilní vytváření programu) a rozsáhlé funkce pro flexibilní vytvoření protokolu. [10]

1.4.4 Calypso Software

Program CALYPSO byl vyvinut pro usnadnění měření. CALYPSO přitom využívá nashromážděných zkušeností firmy Carl Zeiss, která zaujímá významné postavení v oblasti měřicí techniky. [3]

CALYPSO automaticky identifikuje snímané geometrické elementy, a hned také generuje dráhy a strategie snímání, dráhy odjezdu po snímání a pojezdy mezi jednotlivými elementy. [3]

Na rozdíl od tradičního softwaru provádíte kalibraci snímačů pomocí CNC programů. Pouze první snímání kalibrační koule je manuální, vše další už probíhá v CNC režimu. [3]

V programu se zadávají parametry měření do předdefinované struktury. Vstupní menu jsou již obsazena přednastavenými hodnotami. Několik málo údajů, které je třeba v programu zadat ručně, je zřetelně označeno. Logický sled, zobrazení údajů, kontrolní dotazy a ověření pravděpodobnosti vhodné pro danou kontrolovanou charakteristiku zajistí, aby se při měření na nic nezapomnělo, a tím výrazně usnadňuje měření. [3]

Na obrazovce je vidět CAD model a je možné detailně sledovat průběh měření. Samozřejmě je možné přímo přebírat CAD data a vytvářet z nich rychle a bezchybně programy měření. [3]

Po získání a prezentování výsledků měření je možné individuálně upravit podobu protokolů, např. barevné zobrazení překročení tolerance nebo kompletní grafické zobrazení výsledků měření. [3]

CALYPSO umožňuje převod zpracovaných výsledků do různých formátů, takže je možné zobrazit data ve formě obrázků, tabulek nebo v prezentačních programech. [3]

Možnost přizpůsobení daným úlohám

S programem CALYPSO je možné pracovat na různých typech souřadnicových měřicích strojů, přičemž přednosti a výhody programu CALYPSO nezávisí na typu použitého souřadnicového měřicího stroje. [11]

2. Způsoby upínání součástí při měření na CMM

2.1 Požadavky na upínání

Správné a tuhé upnutí součásti je základním předpokladem pro úspěch každého měření. Pro upnutí součásti máme různé požadavky, které bychom se měli snažit dodržet. Základním požadavkem je správná poloha měřené součásti vůči snímacímu systému. Dalším požadavkem je dostatečná pevnost, tuhost a bezpečnost upnutí tak, aby se součást při měření nemohla uvolnit. V případě, že provádíme opakovaná měření např. stejných součástí, požadujeme přesnost a opakovatelnost upnutí. Pro velkosériovou výrobu hraje velkou roli také rychlost upínání, životnost upínacího přípravku. Důležitým faktorem je také možnost upnutí součásti tak, aby se všechny měřené charakteristiky daly změřit na jedno upnutí a žádná část upínacích prvků nebránila ve změření daného elementu. [12] V neposlední řadě hrají svojí roli také náklady na pořízení upínacího přípravku

Při upnutí bychom si měli dát pozor na to, aby se součást nedeformovala a nedocházelo tak k chybám měření vlivem deformace měřené součásti (např. prohnutí plastového dílce). Této chyby je možné se vyvarovat správným upnutím. Upínací zařízení musí být umístěno přímo naproti kontaktní ploše. Obrobek by měl být vždy upnut v rámci optimálního rozsahu měřicího stroje. V případě vysoce přesného měření není vhodné používat upínání pomocí magnetů. Tento druh upnutí může ovlivňovat naměřené hodnoty. [12]

2.2 Základní rozdělení a možnosti upínání na CMM

Možnosti upínání na CMM můžeme rozdělit do čtyř základních skupit podle způsobů upnutí. Mezi jednotlivými variantami vybíráme podle vstupních předpokladů, jako jsou: potřebná přesnost upnutí, počet měřených součástí, potřebná rychlost upnutí, opakovatelnost a způsob měření.

2.3 Volné ustavení

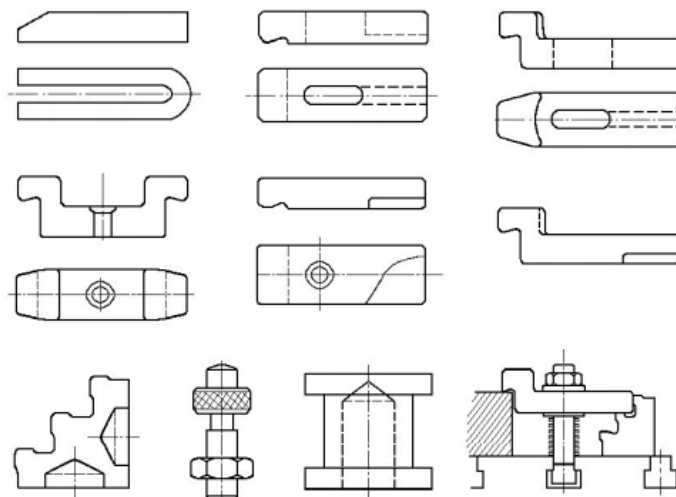
Volné upnutí můžeme použít u velkých a těžkých součástí, které svou vlastní vahou drží na měřicí desce. Toto upnutí, nebo lépe položení součásti, je velmi rychlé a jednoduché. Používá se pro rychlé proměření bez požadavků na velkou přesnost měření. Styková plocha mezi součástí a měřicím stolem by měl být rovnoběžná tak aby byla součást ve stabilní poloze. Dle potřeby je možné součást přichytit ke stolu za pomoci upínek, které je možné přichytit pomocí šroubů přímo k měřicímu stolu.



Obr. 7: Volné upnutí bez použití upínek [13]

2.3.1 Upínací pomůcky

Obrobky větších rozměrů se při měření upínají přímo na pracovní stůl stroje. Jejich ustavení se provádí upínacími pomůckami různého typu. Upínacími pomůckami mohou například být upínky, opěrky, podpěry, atd. [14]



Obr. 8: Přehled upínacích pomůcek [14]

2.4 Univerzální upínání

Mezi univerzální upínací prvky můžeme zařadit upnutí do univerzálního sklíčidla a upnutí do strojního svěráku. Tento způsob upnutí volíme v případě, že potřebujeme rychle a stabilně upnout měřenou součást. Tyto způsoby volíme v případě, kdy měříme velké množství tvarově rozlišných součástí.

2.4.1 Univerzální sklíčidlo

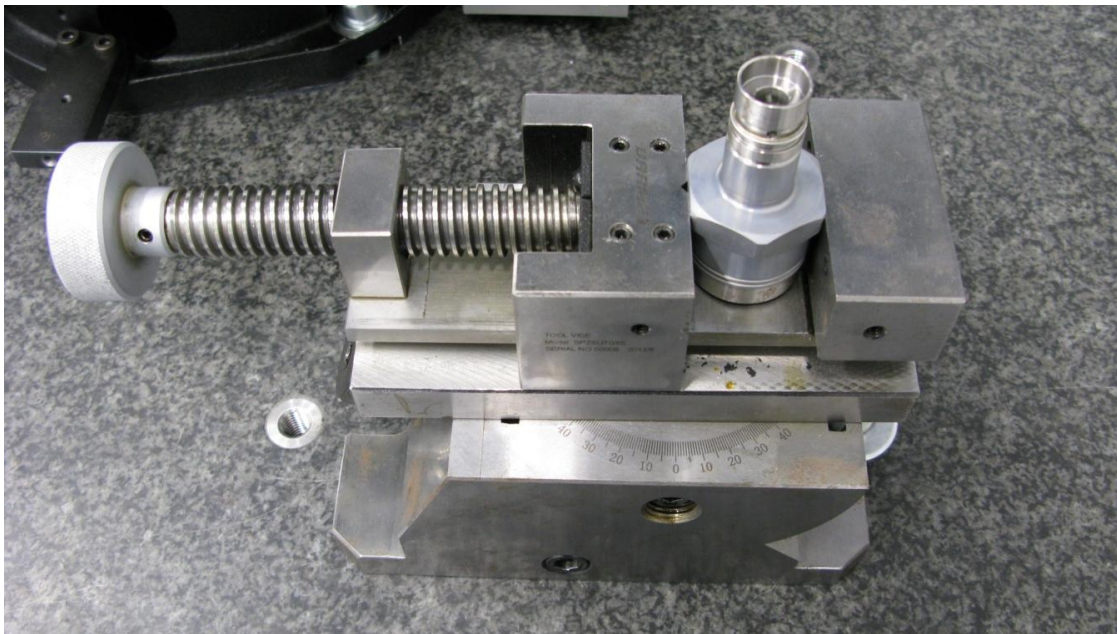
Tento způsob upnutí je vhodný pro upínání válcových součástí nebo součástí, které mají válcovou část, za kterou se dá součást do sklíčidla upnout. Hlava sklíčidla musí být upnutá ke stolu měřicího stroje, aby se sklíčidlo nepohybovalo vlivem vibrací při pohybu stroje. Upnutí pomocí univerzálního sklíčidla je velice snadná a rychlá. Jelikož se součást upnutá v ose válce je zaručená pověrně velká opakovatelnost upnutí v ose Z. Upínání do univerzálního sklíčidla se velmi často používá při měření s otočným stolem (Obr. 9), pro upnutí rotačních součástí jako jsou oběžná kola nebo lopatkové turbíny.



Obr. 9: Universální sklíčidlo

2.4.2 Strojní svěráky

Pro upnutí menších a tvarově jednoduchých obrobků se volí strojní svěráky. Obrobek se ve svěráku ustavuje pomocí kovových podložek. Jedná se o velmi rychlé a snadné upnutí. Při tomto způsobu upínání není zaručena opakovatelnost, proto jej používáme pro měření v kusové výrobě, nebo v případě, že proměrujeme jednotlivé dílce. Svěráky mohou být pevné, otočné, prizmatické středící a sklopné. Svěrák je třeba upnout k měřicímu stolu, jeho poloha se zajistí upínacími šrouby do připravených otvorů ve stole měřicího stroje. [15]



Obr. 10: Strojní svěráky

2.5 Upínací systémy

Stavebnicové upínací systémy byly speciálně vyvinuty pro měřicí techniku. Slouží k usnadnění a zefektivnění práce při upínání. Upínací systémy se používají jak pro opakující se měřicí úlohy tak, pro jednorázové měření. Jejich výhodou je velká tvarová flexibilita, vhodnou kombinací jednotlivých částí je možné sestavit téměř jakýkoliv upínací modul. Nevýhodou upínacích systémů je pořizovací cena a časová náročnost na sestavení potřebného upínacího modulu. Ve velkém se využívají v automobilovém a leteckém průmyslu.

2.5.1 Upínací systém: CARFIT Junker & Partner, Carl Zeiss

Osvědčený upínací systém CARFIT vyvinutý společností Junker & Partner je po celém světě brán jako standard pro výrobu měřicích zařízení a kontrolu součástí mezi výrobci vozidel a jejich dodavatelů. [16]

Díky své variabilitě a uživatelské přívětivosti, nabízí uživatelům upínací technologii s maximální přesností, jednoduchou manipulací a rychlou přizpůsobivostí produktu ve výrobním procesu. CARFIT technologie kombinuje výhody universálních měřicích přípravků s modulárními a standardizovanými systémy konstrukce. Extrémní flexibilita a komponentová rozmanitost umožňuje velmi široký rozsah aplikací pro nejrůznější problémy v prvovýrobě, ve výrobě nástrojů a prototypů, stejně jako při zajišťování kvality v sériové výrobě. [16]

Junker & Partner umožňuje rozšiřitelnost měřicích přípravků, které jsou navrženy takovým způsobem, že je možné je polohovat takovým způsobem aby byly použitelné v celém procesu. [16]

Upínací systémy

Naše řada upínacích přípravků ZEISS CARFIT s modulární a standardizovanou systémovou architekturou udává trend v oblasti kontrolní technologie. Univerzální upínací systém je díky své flexibilitě, cenové dostupnosti a optimální přizpůsobitelnosti tou správnou volbou pro všechny aplikace ve vývoji, ve výrobě nástrojů, konstrukci prototypů i v sériové výrobě. [17]

ZEISS CARFIT CMF

Řada ZEISS CARFIT CMF se používá pro opakovatelné upnutí součástí a sestav. Základní konstrukce upínacího zařízení se skládá z profilového systému ZEISS CARFIT, který byl vyvinut speciálně pro výrobu měřicích a kontrolních zařízení, a ze standardních modulů pro uchycení a upnutí dílů nebo obrobků. Díky vysoké variabilitě se tento systém může používat pro upnutí při měření prototypů i při sériovém měření. [17]



Obr. 11: Upínací systém CARFIT CMF [17]

ZEISS CARFIT CMB

S řadou ZEISS CARFIT CMB si můžete sami sestavit upínací přípravky potřebné pro měření. Základ této řady tvoří tvrdě povlakovaná rastrová deska. Stavebnicový princip řady ZEISS CARFIT CMB umožňuje rychle a úsporně zhotovit upínací přípravky. Model ZEISS CARFIT CMB se hodí zejména pro menší a středně velké díly, které musí být upnuty a měřeny vodorovně. [17]



Obr. 12: Upínací systém CARFIT CBM [17]

ZEISS CARFIT CMP

S řadou ZEISS CARFIT CMP si můžete sami sestavit upínací přípravky potřebné pro měření. Základ této řady tvoří rastrové desky opatřené tvrzeným povlakem. Stavebnicový princip řady ZEISS CARFIT CMP umožňuje rychle a úsporně zhotovit upínací přípravky. Model ZEISS CARFIT CMP se hodí zejména pro větší součásti, které musí být upnuty a měřeny svisle. [17]



Obr. 13: Upínací systém CARFIT CMP [17]

ZEISS CARFIT CMK

Souřadnicové měření malých dílů vyžaduje jejich rychlé upnutí pomocí jednoduchých nástrojů. ZEISS CARFIT CMK je cenově dostupná a flexibilní upínací sada. Stejně jako u ostatních stavebnic řady ZEISS CARFIT jsou hlavními komponentami deska s rastrovými otvory a nastavovací prvky. Pro měření souřadnic lze prizmatické a rotačně symetrické díly snadno upnout v definované poloze. Upínací systémy se dodávají v cenově výhodné základní variantě nebo rozšířené o další prvky pro širší spektrum aplikací. [17]



Obr. 14: Upínací systém CARFIT CMK [17]

ZEISS CARFIT CME

Univerzální upínací jednotka ZEISS CARFIT CME může být nastavena ve všech 6 stupních volnosti. Je tedy možné zafixovat komponenty v libovolné poloze. Z několika upínacích jednotek ZEISS CARFIT CME lze velmi flexibilně a efektivně vytvořit přípravek pro upnutí součástí. Univerzální upínací jednotka ZEISS CARFIT CME je kompatibilní s ostatními řadami. Používá se všude tam, kde se vyžaduje krátkodobé upnutí při měření, např. při konstrukci prototypů a nástrojů. [17]



Obr. 15: Upínací systém CARFIT CME [17]

ZEISS CARFIT CML

Řada ZEISS CARFIT CML je kompatibilní se všemi ostatními řadami, je založena na profilech s rastry otvorů. Díky třem různým průřezům dosahuje téměř 90% standardizace a zároveň mimořádné flexibility. CML rastrové profily mají všechny výhody ZEISS CARFIT, jsou také plně kompatibilní s jinými profilovými rastrovými systémy. Spojovací technika ZEISS CARFIT CML umožňuje jednoduché, rychlé sestavy s extrémně tuhou konstrukcí. Dalším inovativním prvkem je schopnost přizpůsobit stavěcí prvky bez nutnosti úpravy čela profilu. [17]

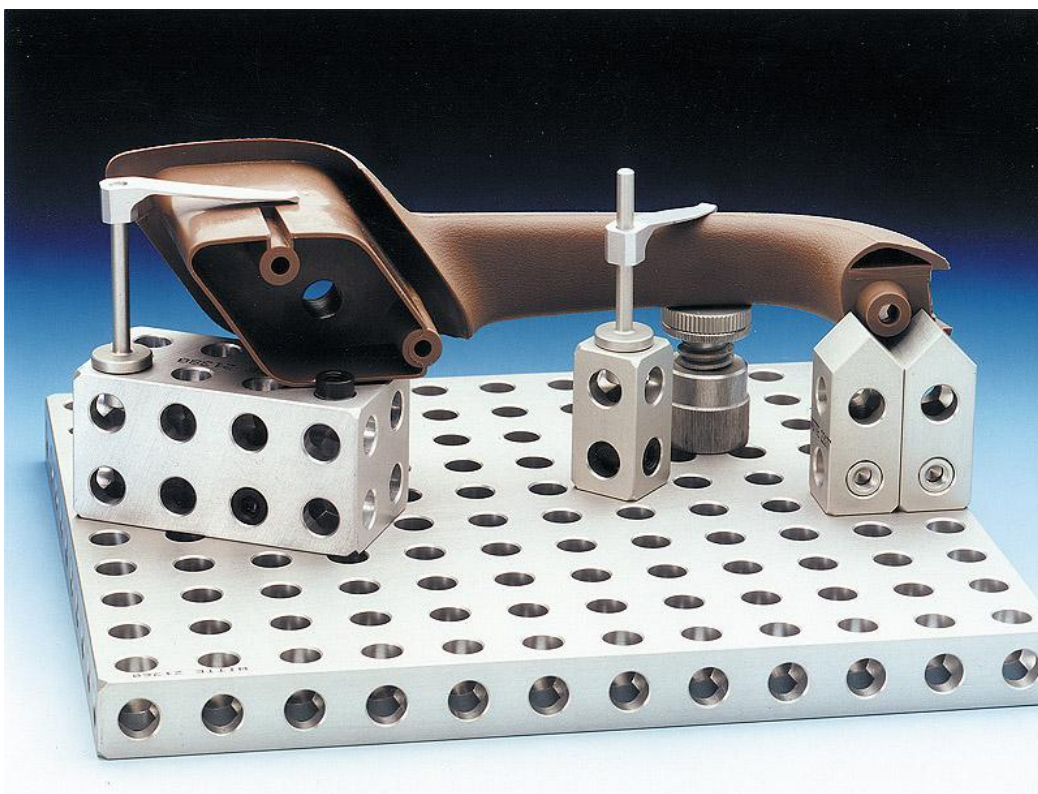


Obr. 16: Upínací systém CARFIT CML [17]

2.5.2 Upínací systém: Witte ALUFIX

ALUFIX je modulární fixační systém, který je vyroben z vysokopevnostní slitiny hliníku (AlMg4,5Mn) pro měření upnutých součástí, kalibraci měřidel, kompletování nebo svařování montážních prvků, upnutí měřidel a přesnou konstrukci. [19]

ALUFIX CLASSIC je celosvětově proslulý a osvědčený modulární polohovací a upínací systém pro téměř všechny aplikace v oblasti rozměrové měřicí techniky, zejména na souřadnicových měřicích strojích. Vzhledem k vysoké přesnosti a množství inteligentních prvků ALUFIX sady jsou také používány jako montážní nebo ustavovací systémy. Ve všech druzích podniků, od automobilového průmyslu, leteckého průmyslu, biomedicínské techniky se mohou výrobci spolehnout na Witte ALUFIX CLASSIC. [19]



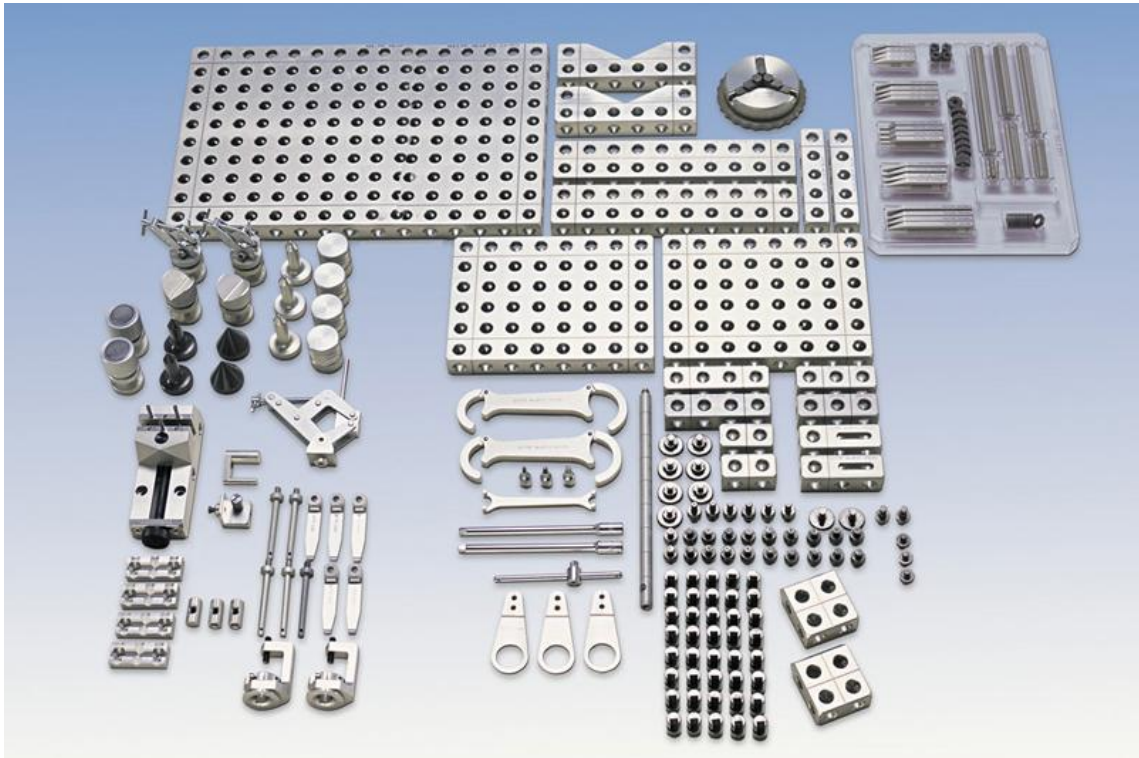
Obr. 17: Upnutí součásti pomocí US Alufix Classic [18]

Tento modulární systém pro upevnění součástí je dostupný v šesti velikostech. Tyto rozdílné velikosti systému lze navzájem kombinovat. [20]

Po provedené aplikaci lze Alufix demontovat a jednotlivé komponenty lze použít pro nové upínací přípravky. [20]

Přednosti systému ALUFIX [20]

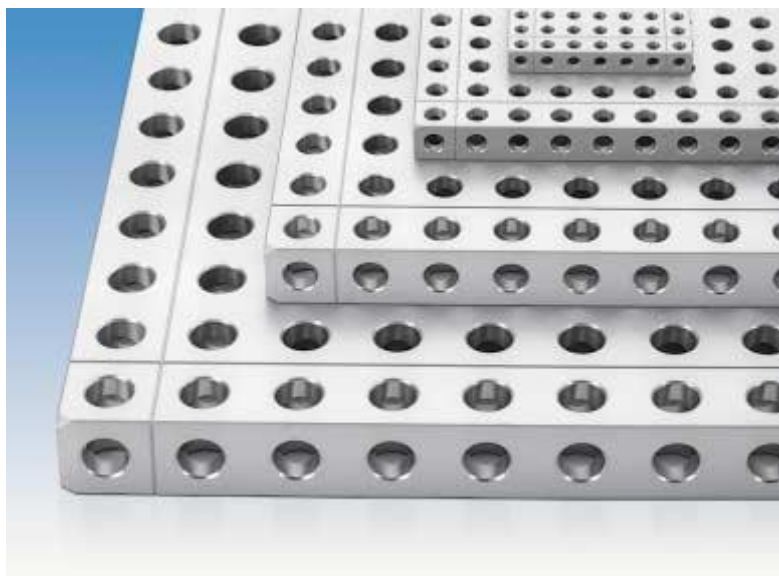
- vysoká přesnost všech komponentů
- velmi lehká a dokonale stabilní konstrukce
- systémové velikosti lze kombinovat
- upnutá součást není deformována vysokou upínací silou a také velikost styčných ploch s upínacím přípravkem je minimální
- všechny upínací přípravky lze konstrukčně využít k opakovatelnému upnutí při zaručené přesnosti
- komponenty je možno opakovatelně použít pro nové přípravky
- malý skladový prostor požadovaný při rozložení Alufixu
- knihovny komponentů ALUFIX pro CAD
- konstrukční software EXPERT
- všechny prvky jsou zhotovené z nerezových materiálů
- vysoká životnost bez nutnosti údržby



Obr. 18: Přehled komponentů US Alufix [20]

Základní desky

Slouží jako základna pro budování malých až středně velkých přípravků. Mohou být připojeny na všech 6 stranách pomocí rychloupínače nebo šroubovým spojem. Základní desky jsou mimořádně flexibilní pro všechny druhy aplikací. [21]



Obr. 19: Přehled základních desek Alufix [21]

Bary (tyče)

jsou vhodné pro sestavování malých až středně velké přípravků. Slouží jako spojení mezi základnou a kontaktním bodem obrobku. Mohou být připojeny na všech 6 stranách pomocí rychloupínače nebo šroubovým spojem a jsou flexibilní pro všechny druhy aplikací. [21]



Obr. 20: Odlehčené bary (tyče) [21]



Obr. 21: Klasické bary (tyče) [21]

Speciální komponenty

Zajišťují kontakt mezi obrobkem a ALUFIX úchyty. Spolehlivé souosé nebo mimoosé umístění je možné díky kulovým kloubům, šroubové zvedáky a jiná rozšíření jsou k dispozici v mnoha variantách. [21]



Obr. 22: Přehled speciálních komponent US Alufix [21]

Vzpěry

Slouží ke zvýšení tuhosti rámu přípravků, nebo se používají jako nosné prvky. Podle požadavků můžeme vzpěry připojit na konce barů nebo základové desky, pomocí rychloupínače nebo šroubovým spojením. Speciálně konstruované vzpěry jsou ukončeny tak aby je bylo možné namontovat ve dvou různých úhlech otočením o 180°. [21]



Obr. 23: Ukázka použití vzpěr Alufix [21]

Upínací prvky

Upínací prvky a svorky slouží k upínání a kontaktu s obrobkem. [21]

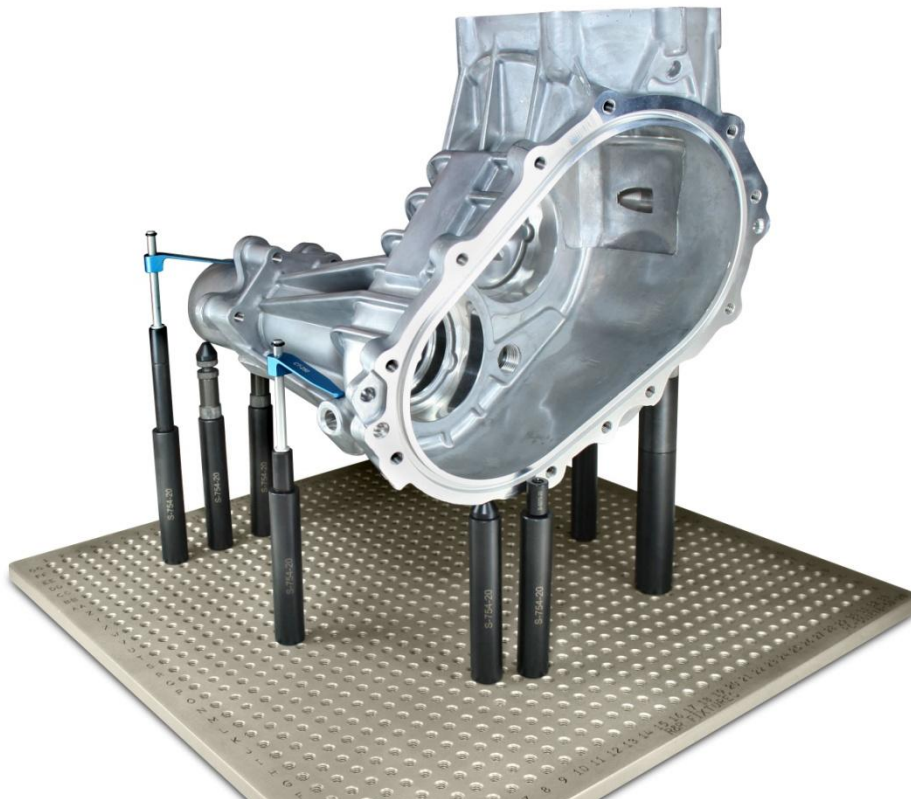
Seřizovací prvky

Umožňuje kontaktním místům být přesně umístěny v souladu s požadavky a to nezávisle na poloze obrobku v prostoru. [21]

2.5.3 Upínací systém: Renishaw

Upínací přípravky společnosti Renishaw pro souřadnicové měřicí stroje umožňují rychle a opakovatelně upnout každou měřenou součást na stůl měřicího stroje. Tím zvyšují kapacitu stroje a také opakovatelnost a přesnost měření. Upínací stavebnice jsou modulární. Sestavu lze rozšířit o další elementy, aby upnutí odpovídalo požadavkům pro libovolný měřený díl, bez ohledu na jeho velikost, tvar či materiál. [22]

Upínací systém obsahuje tři typy upínacích desek s upevňovacími závitovými otvory o velikosti M4, M6 nebo M8 a široký sortiment upínacích elementů. Stavebnici lze velmi rychle sestavit, případně již hotovou sestavu modifikovat. I tento faktor přispívá ke zvýšení kapacity měřicího stroje a snižuje prodlevy při přípravě měření. Upínací otvory v upínacích deskách jsou označeny. Přehledně označeny jsou také jednotlivé upínací elementy. Díky tomu lze zcela jasně identifikovat a zdokumentovat připravenou upínací sestavu a v budoucnu nebo na jiném pracovišti ji opět snadno a rychle identicky sestavit. Tato možnost je oceňována zejména tam, kde jsou z jedné upínací stavebnice často sestavovány různé konfigurace nebo tam, kde měřicí stroj obsluhuje více operátorů. Identicky sestavované konfigurace příznivě ovlivňují reprodukovatelnost a přesnost měření díky snížení či plnému odstranění proměnlivosti vnášených do procesu měření. [22]



Obr. 24: Možnost upnutí součásti pomocí upínacího systému Renishaw [29]

Upínací stavebnice

Upínací stavebnice Renishaw pro souřadnicové měřicí stroje nabízejí široký sortiment upínacích desek různých velikostí. Díky tomu lze najít vhodné řešení pro celou řadu měřených dílů od velmi malých a jemných součástí až po velké a těžké obrobky. [22]

Upínací desky

Upínací desky Renishaw jsou velmi přesně broušeny a jsou klíčovým prvkem pro dosažení vysoké kvality celého upínacího systému. Upínací desky jsou dodávány se třemi typy závitových otvorů: M4, M6 nebo M8. Desky jsou vyrobeny z hliníkové slitiny a opatřeny teflonovou povrchovou úpravou, která je činí odolnými proti opotřebení a poškrábání. Upínací desky jsou dodávány v mnoha velikostech až do rozměru 1 500 mm × 3 000 mm. Polohu upínací desky na stole stroje zajistíte pomocí speciálních upínek. Dvojice upínek je součástí všech upínacích desek až do velikosti 600 mm × 600 mm. [22]

Upínací sady

Renishaw nabízí dva typy souprav: • Standardní upínací sada • Magnetická upínací sada Magnetické upínací sady obsahují mechanické a magnetické upínací prvky a jsou vhodné k upínání feromagnetických dílců, např. ocelových nebo litinových. Sady jsou dodávány ve třech velikostech podle provedení závitů: M4, M6 nebo M8. [22]

M4, M6: Standardní sady Upínací stavebnice

Upínací sady se závitěm M6 jsou vhodné pro upínání dílců z většiny materiálů, včetně mosazných, titanových, hliníkových, plastových a jiných neželezných součástí. Součástí sady je upínací deska se závitovými otvory M4 s roztečí 10 mm a M6 s roztečí 12,5 mm včetně páru upínek pro upevnění desky na stůl stroje. [22]

M8: Standardní sady Upínací stavebnice

Upínací sady se závitěm M8 jsou určeny k upínání hliníkových, plastových a jiných neželezných dílců. Součástí sady je upínací deska se závitovými otvory M8 s roztečí 15 mm včetně páru upínek pro upevnění desky na stůl stroje a sada upínacích prvků v rozsahu setu A, B nebo C. [22]

M6, M8: Magnetické sady Upínací stavebnice

Magnetické upínací sady se závitěm M8 jsou velmi vhodné k upínání feromagnetických, například ocelových dílců, ale lze je použít i pro upínání neželezných dílců. Součástí sady je upínací deska se závitovými otvory M6 s roztečí 12,5 mm a M8 s roztečí 15 mm včetně páru upínek pro upevnění desky na stůl stroje. [22]

Upínací elementy

Přehled nastavitelných prvků



Obr. 25: Stavitelný sloupek [22]



Obr. 26: Stavitelný kloub [22]

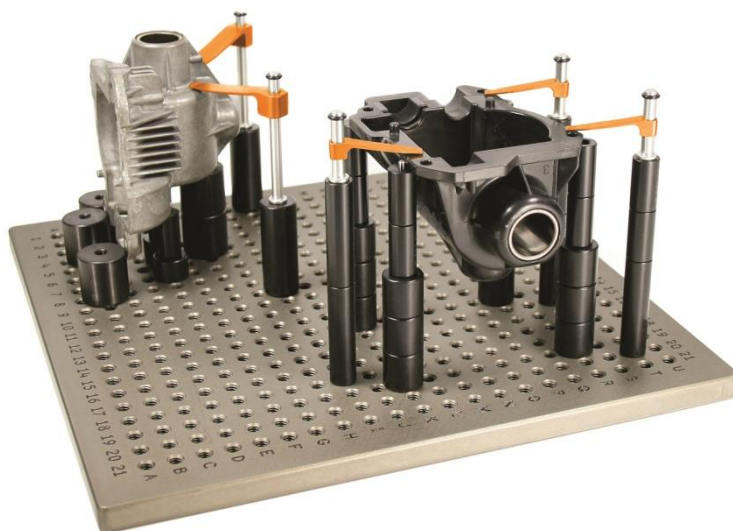


Obr. 27: Stavitelná základna [22]



Obr. 28: Úhlově stavitelná základna [22]

Upínky



Obr. 29: Možnost upnutí součásti pomocí upínek [22]

Přehled upínek



Obr. 30: Pružná upínka [22]



Obr. 31: Tlačná upínka [22]



Obr. 32: Otočné sklíčidlo [22]



Obr. 33: Přidržovací upínka [22]

Magnety



Obr. 34: Možnost upnutí pomocí magnetů [22]

Přehled magnetů



Obr. 35: Magnet [22]

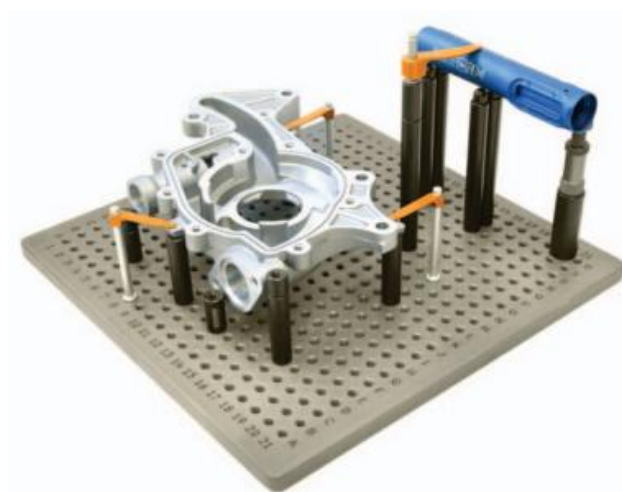


Obr. 36: V-magnet [22]



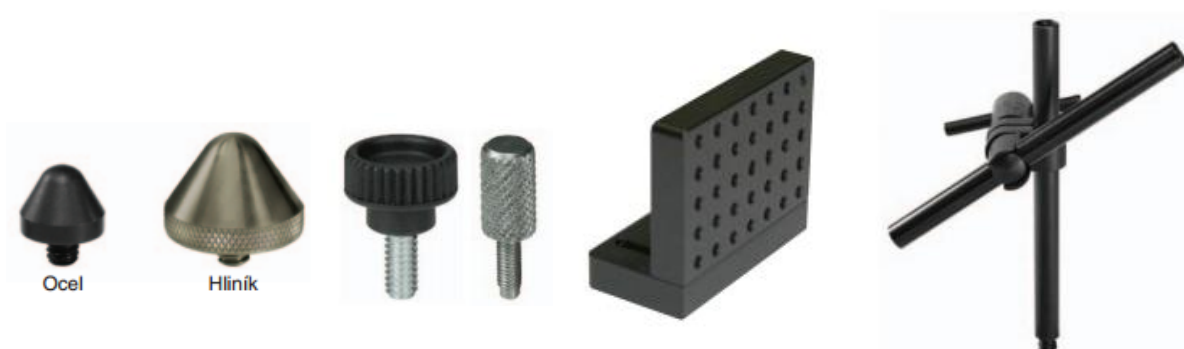
Obr. 37: V-magnet se základnou [22]

Příslušenství



Obr. 38: Upnutí součásti pomocí příslušenství [22]

Přehled příslušenství



Obr. 39: Kužely [22]

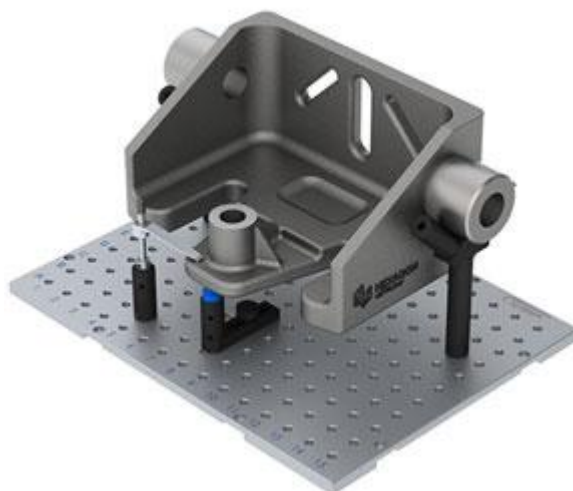
Obr. 40: Šrouby
a adaptéry [22]

Obr. 41: Svislá
upínací deska [22]

Obr. 42: Stavitelné T-
rameno [22]

2.5.4 Upínací systém: Swift-fix HEXAGON METROLOGY

Složitost řady aktuálně vyráběných komponent dnes vyžaduje, aby bylo upnutí dílů konstrukčně úsporné a co nejméně prostorově náročné. Cílem je dosažení dostatečného prostoru pro měřicí sondu a maximální přístupnost měřených prvků. K uchycení všech typů dílů je k dispozici široká nabídka příslušenství. [23]



Obr. 43: Součást upnutá v upínacím systému Swift-fix [23]

Základem systému jsou distanční prvky šroubované k základové desce, jež jsou nabízeny v nejrůznějších průměrech a délkách. K dosažení přesných výšek lze tyto prvky rovněž vzájemně spojovat. Na konec distančních prvků lze namontovat připravené fixační prvky, jež zajistí ještě vyšší flexibilitu upevnění. Patří sem distanční trny, magnety, kužely, univerzální klouby, vidlicová lůžka, výškové nastavovací prvky atd. K zabezpečení bohaté rozmanitosti řešení bez ohledu na tvarovou složitost dílu jsou k dispozici další prvky systému Swift-Fix: křídlaté šrouby, rychloupínky, rozpěry a pružinové rozpínací podpěry. [23]

Dalším důležitým požadavkem současnosti je flexibilita, a to zvláště v případech, kdy dochází ke změnám velikosti dílů. Jinou jedinečnou vlastností systému Swift-Fix je modulární konstrukce umožňující propojení základových desek tak, aby pojaly i rozměrnější díly při zachování rozteče otvorů mezi deskami. [23]

Systém Swift-Fix lze dodat spolu s kinematickou základovou deskou. Tato deska je trvale zajištěna v měřicím rozsahu a umožňuje snadnou výměnu přípravků k uchycení dílů. Kinematické horní desky se vyrábějí se závitovými otvory M 8 nebo v celistvém provedení umožňujícím vytvoření vlastního specializovaného přípravku. [23]



Obr. 44: Obsah balení upínacího systému Sxift-fix [23]

2.5.5 Upínací systém: dk Präzisionstechnik

Společnost dk Präzisionstechnik se pohybuje na trhu od roku 1972 a upínacím přípravkům se věnuje téměř celou dobu své existence. Průlom ovšem nastal až s uvedením produktů SPANNFIX na trh v roce 1990, které se od té doby neustále vyvíjí. Díky tomuto vývoji nyní mají několik modelových řad pokrývajících široký záběr upínacích systémů a doplňkových přípravků. Z portfolia produktů upínacích systémů členěných do oborových řad je možné si zvolit vhodný systém upínání. Všechny oborové řady jsou navzájem kompatibilní a můžete elementy ze sad pro dotykové i optické měření různě kombinovat. [24]

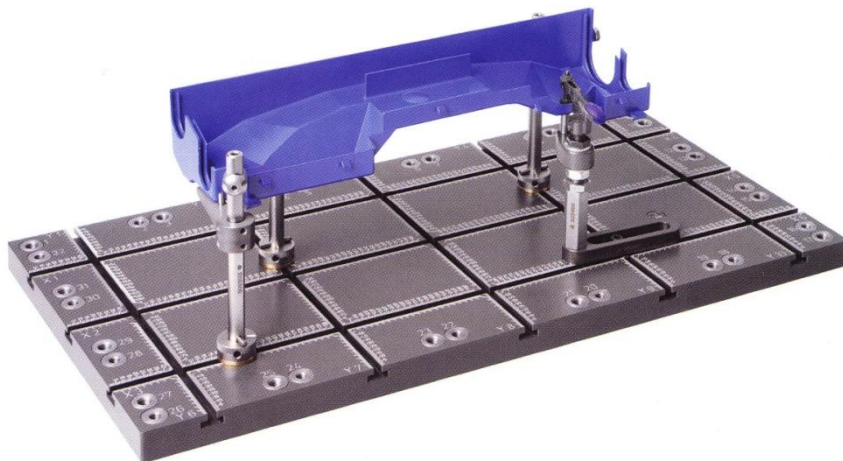
Výhody přípravků dk: [24]

- Univerzální a flexibilní systémy.
- Modulově stavitelné sestavy z jednoduchých elementů.
- Bezpečné uchycení i miniaturních dílů.
- Vysoká tuhost a stabilita elementů.
- Opakovatelnost sestav.
- Optimální přístupnost měřicí sondou.

Spannfix

Systém upínání pro dotykové měření na souřadnicových měřicích strojích. [25]

- Široká škála modulárních upínacích elementů. [25]
- Složité upínací problémy mohou být vyřešeny pomocí vhodných modulů. [25]



Obr. 45: Upínací systém Spannfix [31]

Schienenfix

System upínání pro měření na optických strojích. [25]

- Pro měření kontury na profilprojektoru. [25]
- Nesčetně možností sestavení a fixace dílu díky variabilnímu ozubenému rámu. [25]

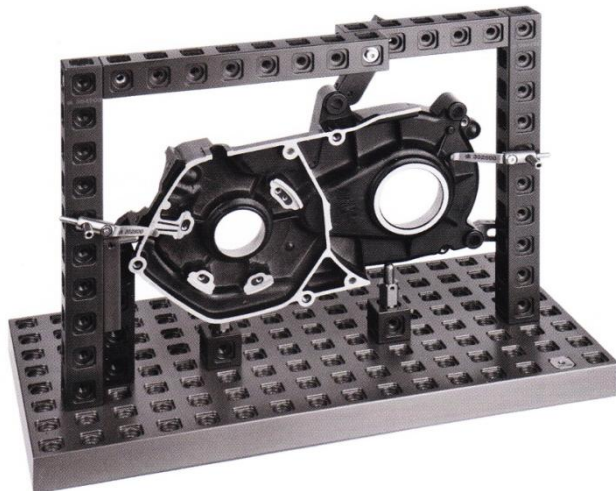


Obr. 46: Upínací systém Schienenfix [31]

Quaderfix

System upínání pro dotykové měření – Quader systém nosníků. [25]

- Skládání modulových sestav z kostek a nosníků. [25]
- Vysoká tuhost a stabilita. [25]
- Kompatibilní se systémem SPANNFIX. [25]



Obr. 47: Upínací systém Quaderfix [31]

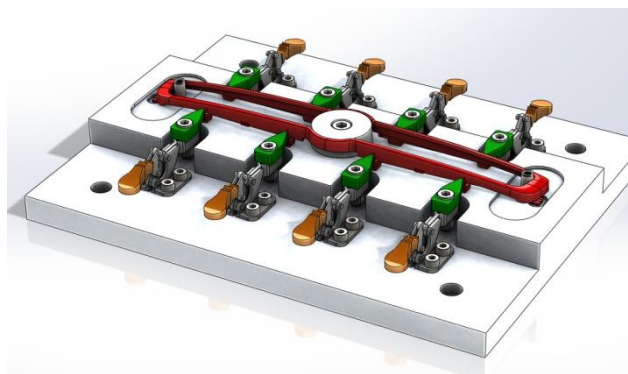
2.6 Jednoúčelové upínací přípravky

2.6.1 Použití jednoúčelových upínacích přípravků

Jednoúčelové upínací přípravky jsou určeny pro upínání jedné konkrétní součásti. Obvykle jsou konstrukčně jednodušší, nemají prakticky žádnou možnost změny geometrie ani upínacích segmentů a používají se zejména ve velkosériové výrobě. Nevýhodou jednoúčelových přípravků je potřeba velkého množství takových přípravků, nutnost jejich evidence a skladování v případě opakování měření. Při změně měřených součástí musíme změnit obvykle i přípravky. Výhodné jsou tyto přípravky hlavně díky své rychlosti upínání a jednodušší konstrukci, která je však dokonale přizpůsobena účelu použití jak po stránce tvarové, tak co se týká parametrů upnutí. Vzhledem k jednoduchosti konstrukce není vždy nutné, aby konstrukční návrh a výrobu prováděla specializovaná nástrojařská firma nebo pracoviště. [26]



Obr. 48: Jednoúčelový přípravek opatřený mikrometrem pro přesné ustavení součásti [27]

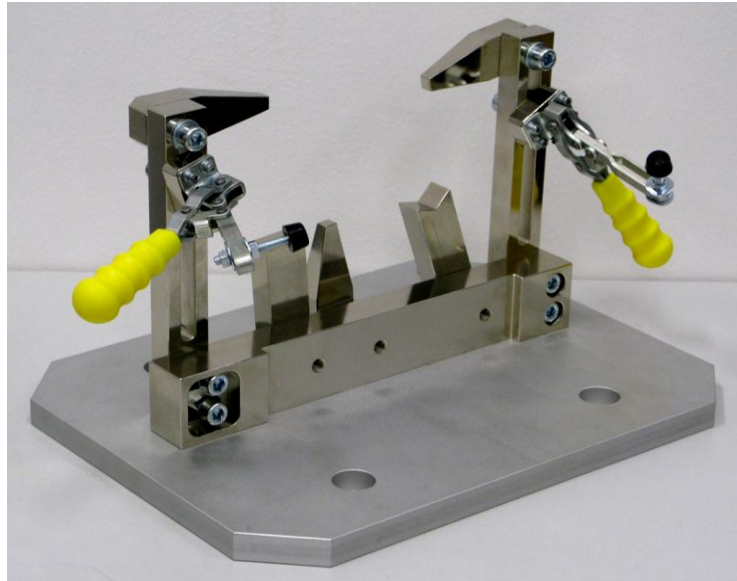


Obr. 49: Přípravek pro kontrolu plastového výlisku [27]

Tyto přípravky (Obr. 48, 49) jsou určeny pro měření a kontrolu například plastových výlisků a duralových či ocelových odlitků a výkovků. V případě plastových výlisků jsou tyto přípravky určeny k měření přesnosti výlisků zejména po lisování. V případě odlitků a výkovků mohou tyto přípravky být určeny jak pro kontrolu přesnosti odlitku a výkovku před obráběním, tak pro kontrolu přesnosti již obroběných odlitků či výkovků. [27]

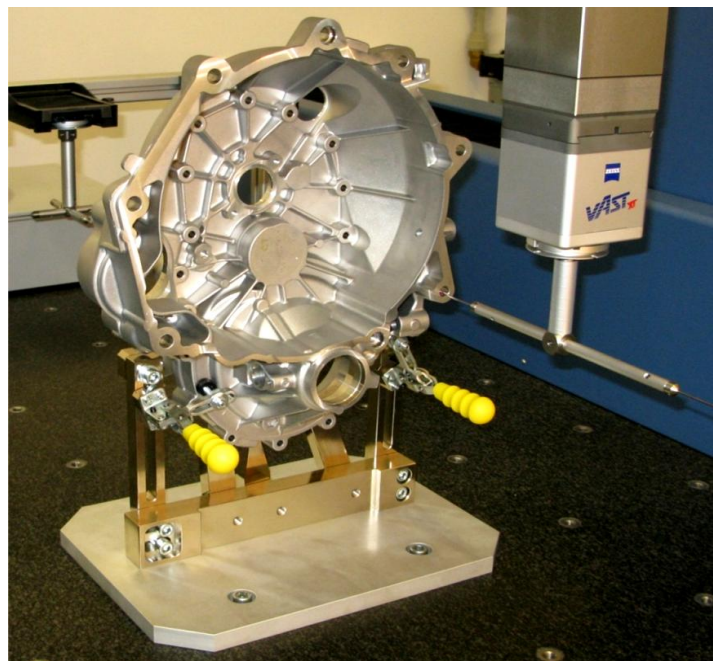
2.6.2 Jednoúčelový přípravek pro upnutí skříně spojky

Tento jednoúčelový upínací přípravek slouží k upnutí skříně spojky tedy součásti, kterou se zabývám v dalších části práce.



Obr. 50: Jednoúčelový upínací přípravek pro skříně spojky

Přípravek by vyroben tak aby bylo upnutí součásti co nejjednodušší a velmi rychlé. Rychlé ustavení součásti zde v tomto případě zajištění pomocí dvou rychloupínek, které jsou umístěn tak aby neznemožňovali proměření všech prvků. Pro správné ustavení polohy součásti slouží tři středící prvky. Nosná konstrukce je přichycena k základní desce čtyřmi šrouby s vnitřním šestihranem. Základová deska je při měření přichycena ke stolu měřicího stroje pomocí čtyř závrtných šroubů.



Obr. 51: Upnutá skříně spojky v upínacím přípravku

3. Rozbor geometrických specifikací vybraného komponentu

3.1 Tolerance délkových a úhlových rozměrů.

Tolerování je předepsání rozměru v určitých mezích. Tolerování klade zvýšené nároky na výrobu, a proto je účelné tolerovat pouze rozměry funkční. Znalost tolerování je základem pro tvorbu výkresové dokumentace, která popisuje nejen geometrii součásti, ale je současně podkladem pro volbu vhodné technologie výroby. [33] □

3.2 Geometrické specifikace

Na správné funkci součásti se kromě přesnosti rozměrů a jakosti povrchu významně podílí také geometricky přesný tvar funkčních ploch. [30]

3.2.1 Druhy geometrických specifikací

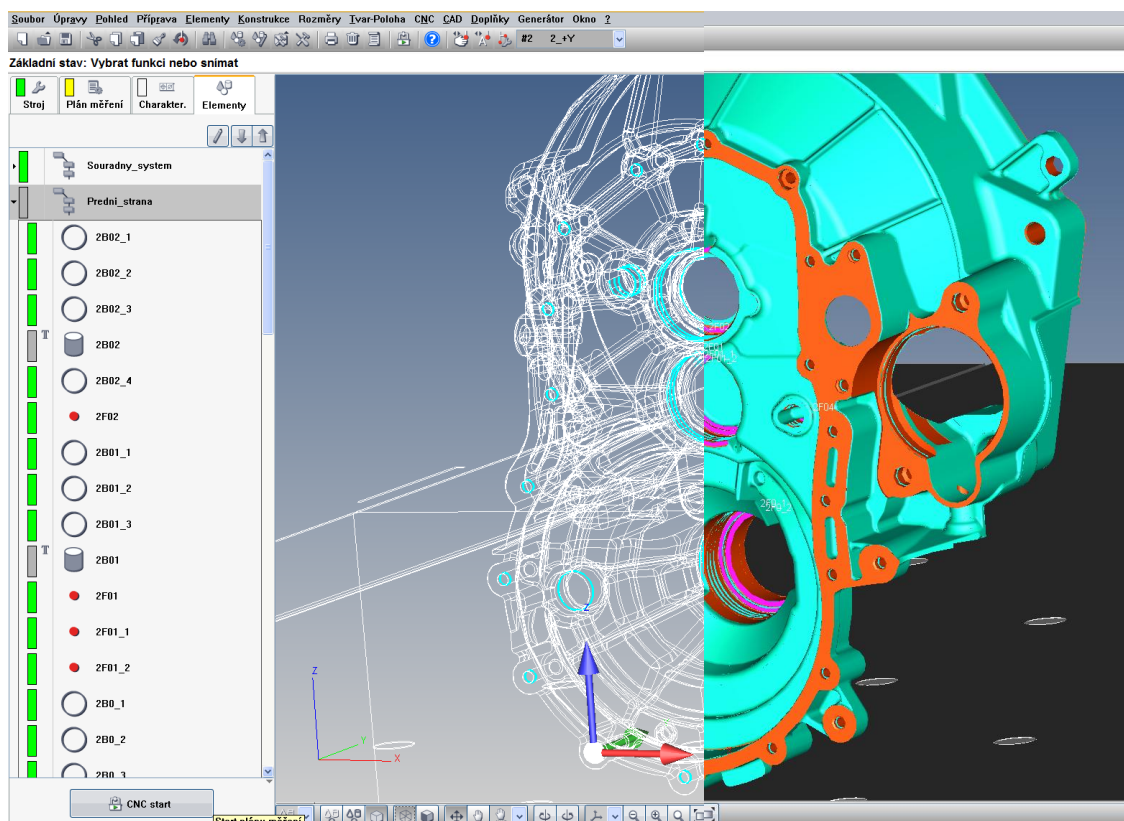
Geometrické tolerance definují přípustné odchylky skutečných tvarů a poloh od tvarů a poloh teoreticky přesných. Předepisují se pouze tehdy, jsou-li důležité z hlediska požadavku na funkci součásti. [30]

Geometrické tolerance		Značka
Tvaru	Přímosti	—
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	
	Válcovitosti	
	Tvaru profilu	
	Tvaru plochy	
Směru	Rovnoběžnosti	//
	Kolmosti	⊥
	Sklonu	∠
Polohy	Umístění	⊕
	Soustřednosti a souososti	⊙
	Souměrnosti	≡
Házení	Kruhového	
	Celkového	

Obr. 52: Přehled geometrických specifikací [30]

3.3 Rozbor geometrických specifikací skříně spojky

Součástí, s kterou pracuji v praktické části mé práce, je skříň spojky z vozu Škoda Fabia druhé generace. Jedná se o duralový odlitek s obráběnými částmi. Z důvodu zachování firemního tajemství není možné výkres spojky prezentovat v úplném formátu, proto z něj vyberu pouze některé části.

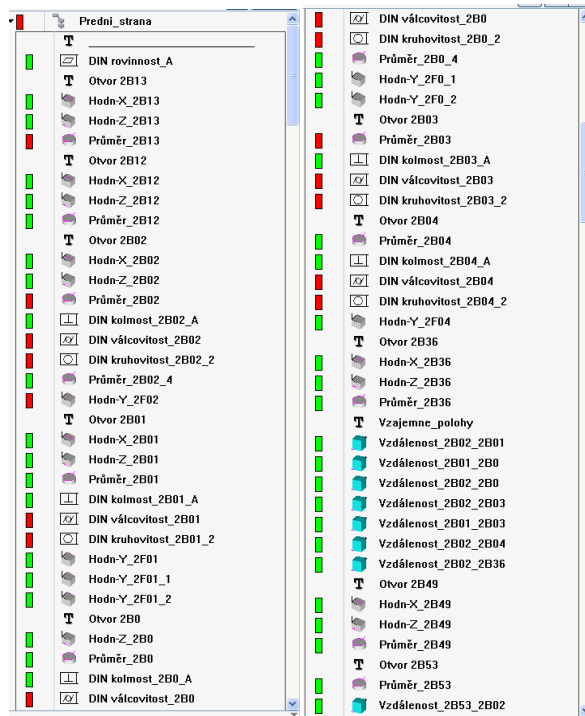


Obr. 53: Řez skříní spojky

3.2.1 Analýza měřených charakteristik

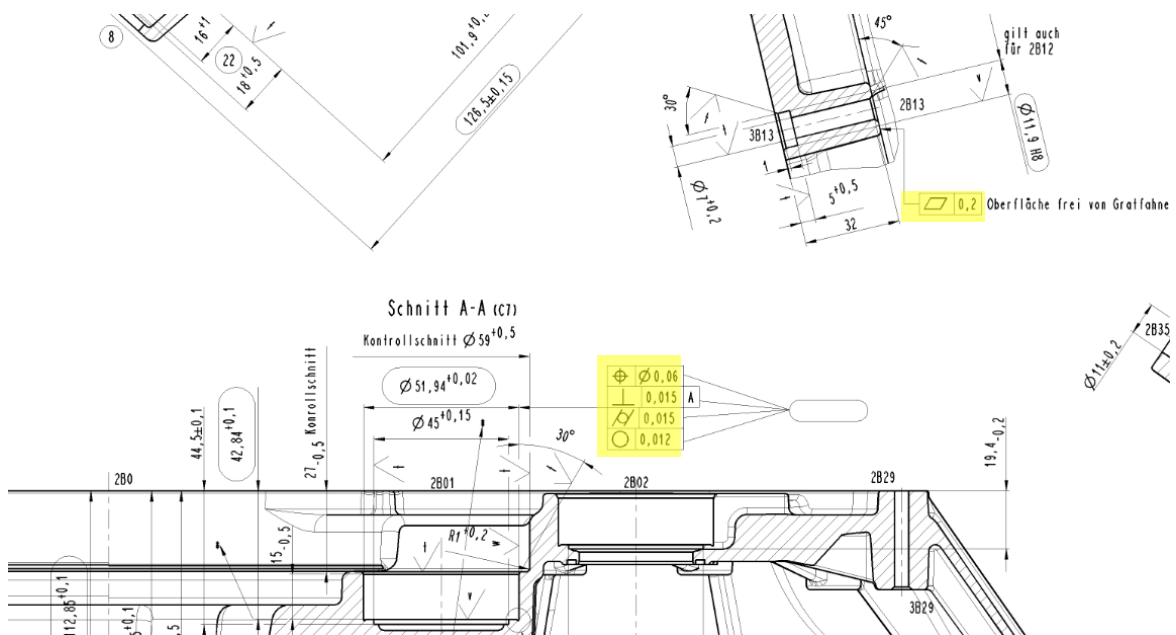
Skříň spojky se skládá z otvorů, rovin a obecných tvarových ploch. Z výkresové dokumentace vyčteme, že prvky které kontrolujeme, jsou válcové otvory, kružnice a roviny a vzájemné polohy jednotlivých prvků v prostoru nebo vůči sobě.

Na součásti je celkem 123 elementů, které měříme. Z těchto elementů pak sestavujeme charakteristiky, které potřebujeme určit dle výkresu. Kontrolované charakteristiky vycházejí z technických výkresů. Určujete pomocí nich, jaká je velikost, tvar nebo poloha elementu s uvedením jmenovitých hodnot a tolerancí (např. průměr otvoru, kolmost nebo rovinnost).



Obr. 54: Ukázka charakteristik

Na této součásti se vyhodnocuje celkem 176 charakteristik. Ukázka některých charakteristik je na části výkresu vyznačena žlutě. Charakteristiky, které vyhodnocujeme nejčastěji jsou: rozměrové charakteristiky, celkem 156 charakteristik. Z toho 81x určení hodnoty X,Z,(poloha středu otvoru) 53x průměr, 19x vzdálenost středů děr, 3x vzdálenost rovin. Charakteristiky tvaru, celkem 12x. Z toho 5x válcovitost, 5x kruhovitosť a 2x rovinnost. Charakteristiky směru, celkem 8x. Z toho 5x kolmost a 3x rovnoběžnost.



Obr. 55: Část výkresu skříně spojky

4. Analýza plánu měření pro vybranou součást

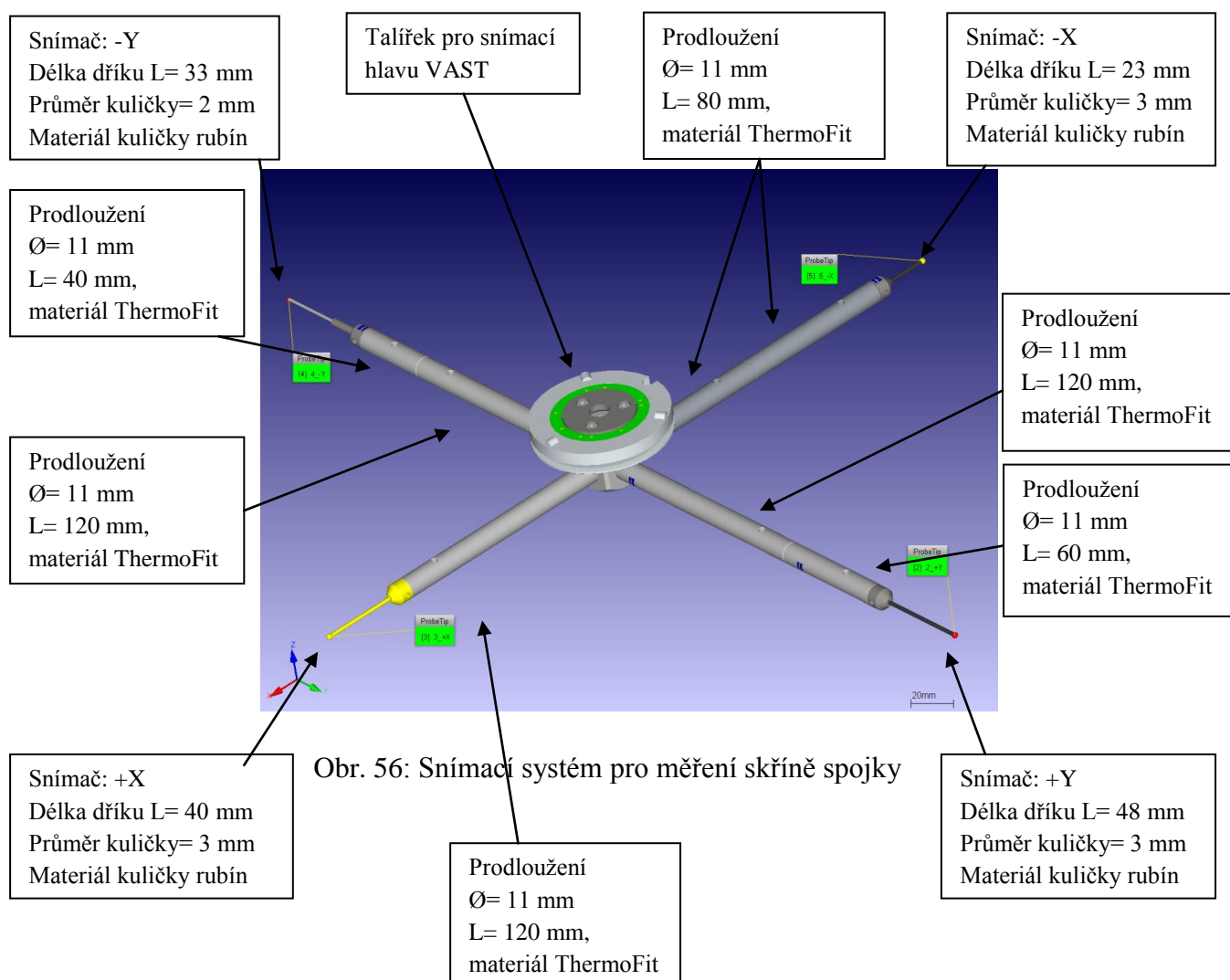
4.1 Upnutí součásti

Skříň převodovky byla upnuta do jednoúčelového upínacího systému (Obr. 51), který byl speciálně pro tuto součást vyvinut. Toto řešení bylo voleno, proto aby bylo zajištěno stabilní, opakovatelné a vhodné upnutí tak aby měření proběhlo na jedno upnutí a bylo možné změřit všechny elementy potřebné pro vyhodnocení charakteristik.

4.2 Konfigurace snímacího systému

Součást byla měřena na stroji s pevným snímacím systémem. Snímací systém je sestavený z talířku pro snímací hlavu, ze sedmi prodloužení pro snímače a ze čtyř snímačů ve směrech +X, -X, +Y, -Y.

Takto konfigurovaný snímací systém byl proto, aby bylo možné změřit všechny potřebné elementy.



Snímací systém je potřeba před započítím měření klasifikovat (kalibrovat) pomocí kalibrační koule.

- 1) Upnutí kalibrační koule
- 2) Zaměření polohy KK pomocí referenčního snímače
- 3) Kontrola výsledků zaměření KK.
- 4) Klasifikace snímacího systému
- 5) Kontrola výsledků klasifikace snímacího systému

Odchytky v klasifikace mohou být způsobeny:

- Špatné sestavení snímacího systému
- Znečištění doteků
- Špatně nastavená kalibrace
- Nedostatečná tuhost snímacího systému
- Poškození snímače

4.3 Analýza plánu měření

Pro měření zadané součásti, pro minimalizaci časů při přejezdech a celkové zkrácení času měření (přibližně 35 minut), byl zvolen tento logický postup:

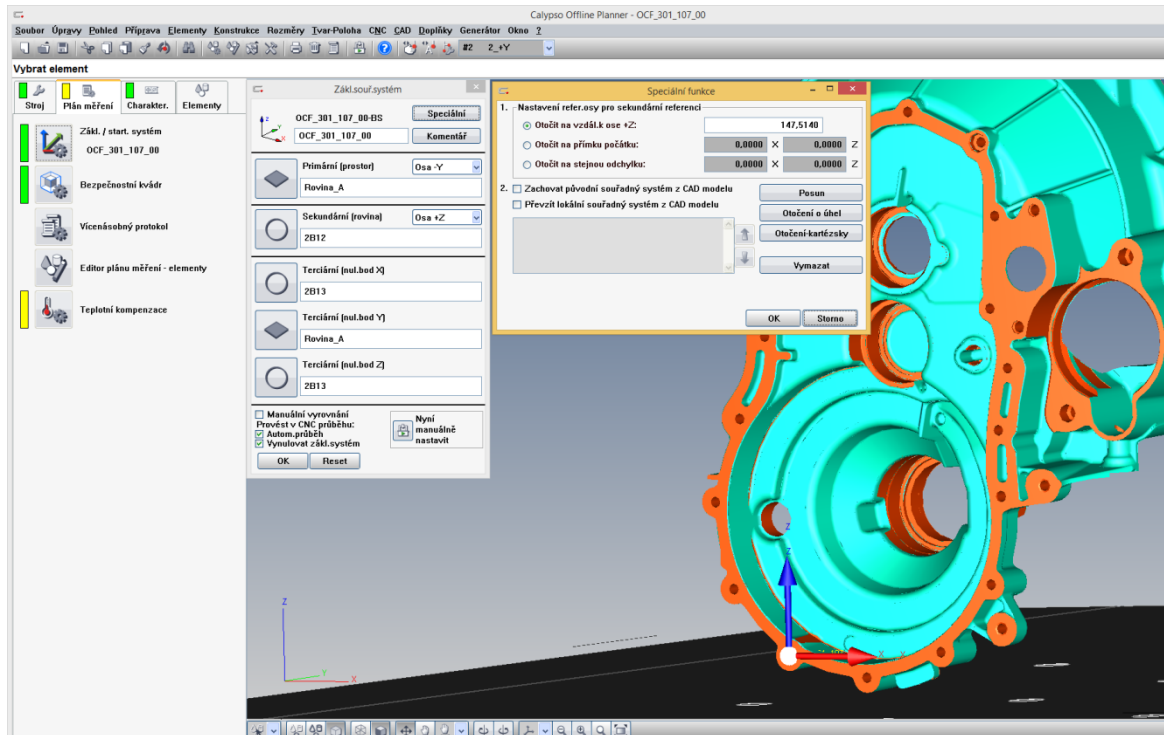
- Změření elementů potřebných pro určení souřadného systému.
- Změření elementů, které je možné měřit z přední strany (+Y).
- Změření elementů, které je možné měřit ze zadní strany (-Y).
- Změření elementů, které je možné měřit z pravé strany (-X).
- Změření elementů, které je možné měřit z levé strany (+X).



Obr. 57: Plán měření

5. Komentovaný postup měření

5.1 Nastavení základního souřadnicového systému



Obr. 58: Nastavení souř. systému v SW Calypso

Před započítím měření je třeba nejprve nastavit základní souřadnicový systém. U této součásti se vyrovnání součásti provádělo za pomoci roviny a středů dvou kružnic. Základní souřadnicový systém součásti je určen pomocí tzv. referencí, jež omezí stupně volnosti součásti.

Primární reference omezuje otáčení v prostoru, v případě této součásti se jedná o rovinu (Rovina_A).

Sekundární reference omezuje otáčení v rovině. Element, který definuje tuto podmínku je střed kružnice (2B12).

3 terciární reference zajišťují posun součásti do prostoru, kde chceme, aby byl nulový bod.

- Osa X- vybíráme osu kružnice (2B13).
- Osa Y- čelní rovinu součásti (Rovina_A).
- Osa Z- umístěna do středu kružnice (2B12).

V možnosti „speciální funkce“ se nastaví referenční osa pro sekundární referenci tak, že se nastaví hodnota daná dle výkresu (tedy: 147,514 mm) a dojde k otočení na vzdálenost k ose +Z. Touto speciální definicí dostaneme souřadnicový systém do správného natočení.

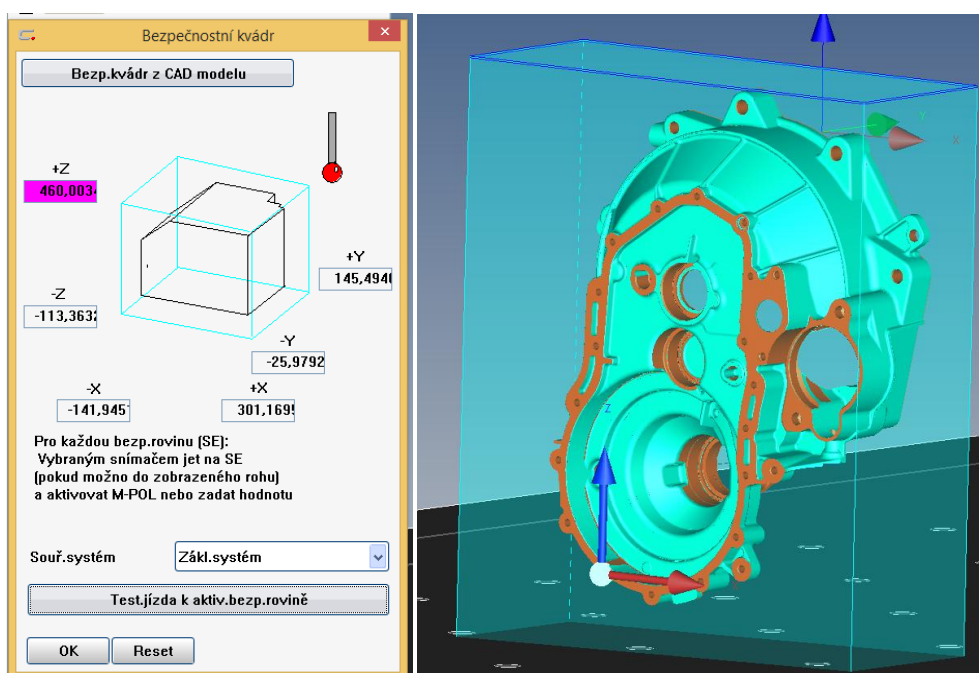
5.2 Zadání bezpečnostního kváдру a nastavení teplotní kompenzace

5.2.1 Stanovení bezpečnostního kváдру

Bezpečnostní kvádr definuje vzdálenost kolem součásti, která zajišťuje bezkolizní nájezdy, odjezdy a pojezdy okolo součásti. V tomto postupu měření byl bezpečnostní kvádr vytvořen automaticky. Při tomto způsobu definice zadáváte jen bezpečnostní vzdálenost (hodnota Offset) v milimetrech.

Byl vybrán referenční systém pro souřadnice. Podle tohoto referenčního systému se vyrovnají boční stěny bezpečnostního kváдру. Vybrala se ikona Bezpečnostní kvádr z CAD modelu. Zadala se hodnota pro offset 10 mm. Bezpečnostní kvádr se ukáže v CAD modelu.

Bezpečnostní roviny byly aktualizovány pro nově definovaný bezpečnostní kvádr.



Obr. 59: Nastavení bezpečnostního kváдру

5.2.2 Nastavení teplotní kompenzace

Základním předpokladem pro kvalitní přesná délková měření je odpovídající monitoring teploty. Je tedy nutné dbát na vhodný a dostačující způsob měření teploty materiálu a okolí. Během měření se obvykle zaznamená určitá odchylka od stanovené teploty, např. pro tuto hodnotu se předpokládá rovnoměrné rozdělení s koeficientem typickým pro daný typ rozdělení $k = \dots$. [32]

Referenční teplota pro měření je $(20 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$, v případě odchylky od této hodnoty používáme koeficient teplotní kompenzace pro danou součást.

Tab. 1: Koeficienty teplotní kompenzace pro vybrané materiály

Materiál	Koeficient (mikrometr/stupeň) k
hliník	24,3
litina	11,7
měď	16,6
magnezium	25,2
nikl	13,0
ocel	15,5
titan	9,4

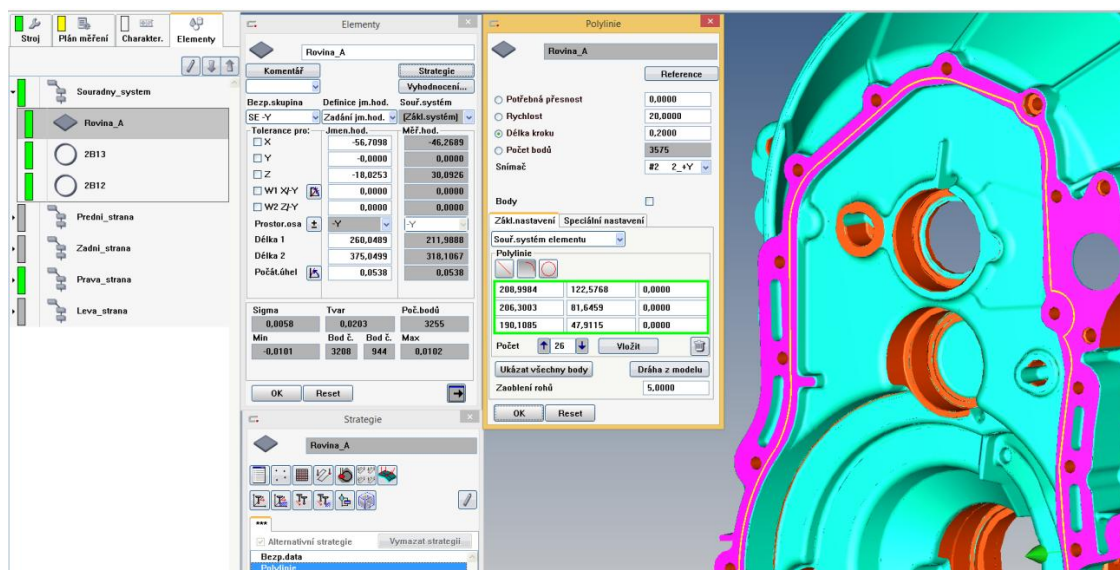
Pro úplné definování teplotní kompenzace je třeba v programu zadat teplotu součásti a koeficient roztažnosti pro daný materiál součásti. Teplotu součásti je možné změřit přímo na stroji pomocí teplotních čidel, nebo ručně. [32]

5.3 Měření elementů pro stanovení základního souřadnicového systému

Měření roviny (Rovina_A)

Pro určení základního souřadnicového systému potřebujeme změřit rovinu (Rovina_A). Tato rovina byla měřena scanningem, za použití strategie „Polylinie“. Touto strategií je možné měřit roviny, které jsou načtené z CAD modelu. Polylinie pro tuto rovinu musela být definována ručně tak, aby dráha při scanování nevedla přes otvory, které jsou na rovině umístěny. V případě, že by senzor při scanningu přejížděl přes otvor, mohlo by dojít k poškození senzoru nebo k velkým nepřesnostem při měření.

Pro scanning byl nastaven velikost kroku 0,2 mm, proto bude výsledná počet bodů při měření 3575. Při použití scanningu je vhodné použít velký počet snímaných bodů, pro dosažení přesného a opakovatelného měření. Rychlost scanování byla 20 bodů/sekundu.

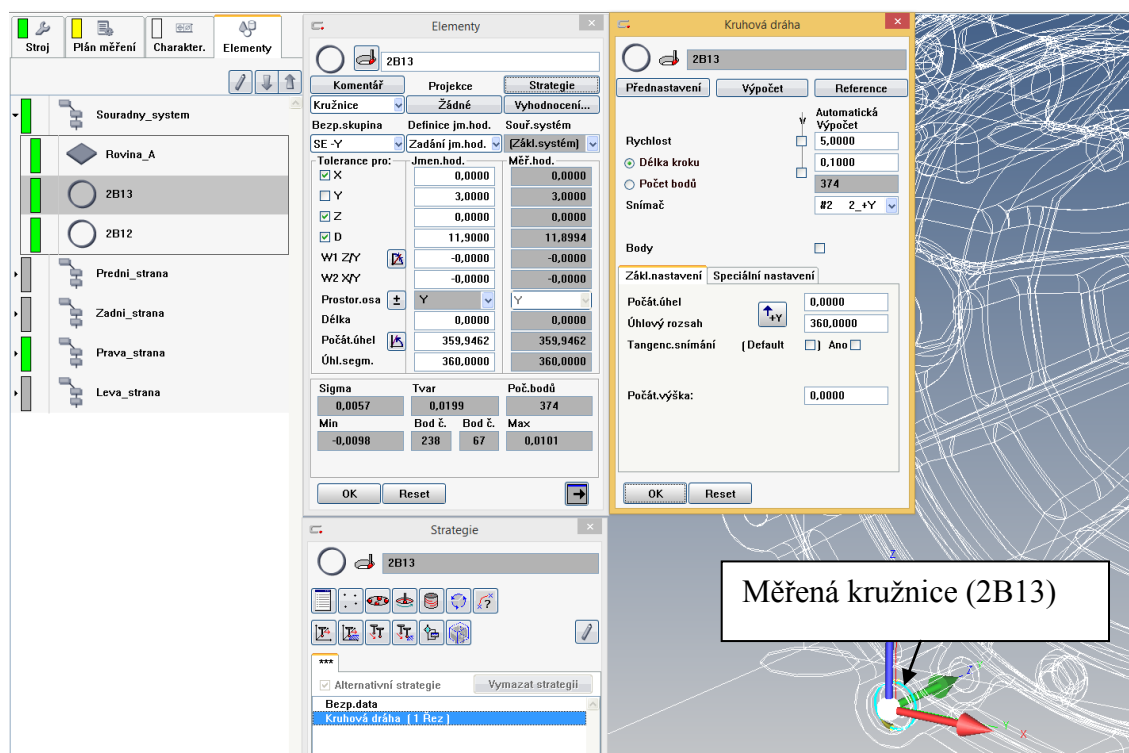


Obr. 60: Strategie měření Roviny_A

Měření kružnice (2B13)

Dalším elementem pro určení ZSS byla kružnice (2B13), u které byla použita strategie „kruhová dráha“. Tato kružnice se měřila scanningem, pro který byl volen velikost kroku 0,1. Výsledný počet bodů pro tento otvor bude 374. Rychlost scannování byla 5 bodů/sekundu.

Stejným způsobem bude měřena i druhá kružnice (2B12), kterou potřebujeme pro úplné definování souřadného systému.

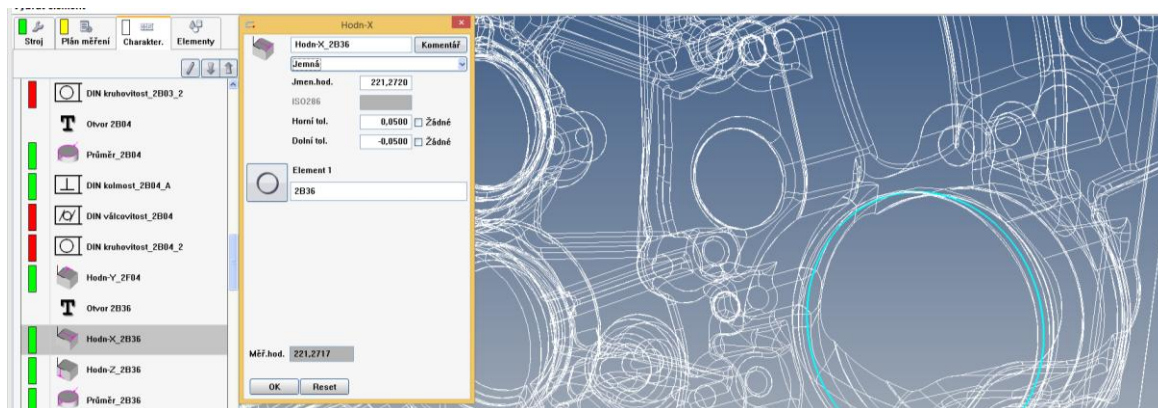


Měřená kružnice (2B13)

Obr. 61: Strategie měření kružnice

Charakteristika polohy

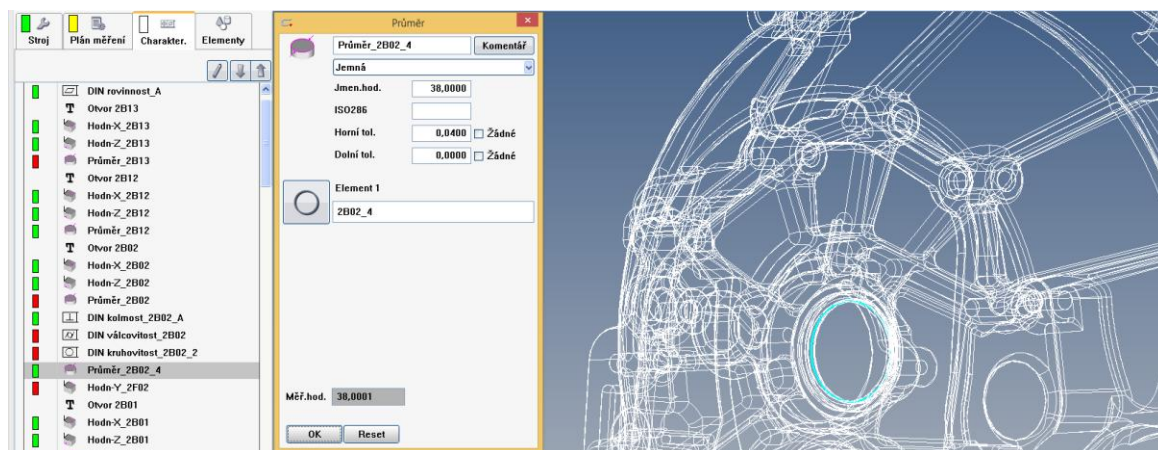
Na obrázku můžeme vidět určení charakteristiky polohy středu otvoru v ose X (Obr. 63). Element, pro který charakteristiku vyhodnocujeme je kruhová dráha (2B36). Do kolonky pro charakteristiku zadáme požadované tolerance dané výkresovou dokumentací. Program po změření vyhodnotí, zda měřená hodnota vyhovuje toleranci.



Obr. 63: Určení charakteristiky polohy

Charakteristika průměru

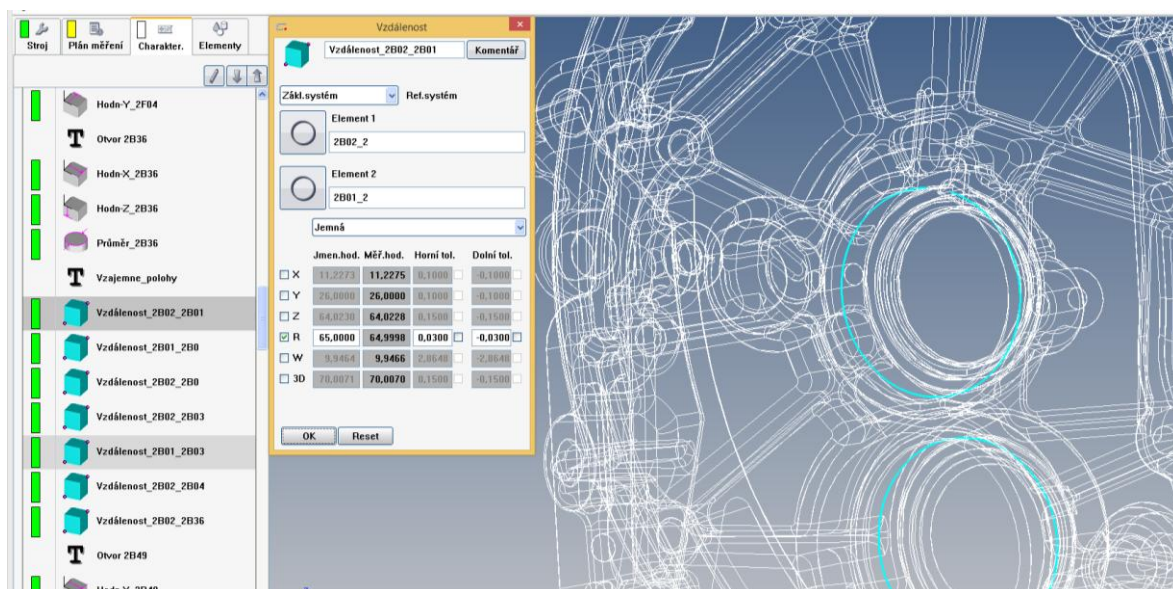
Další často vyhodnocovanou charakteristikou je průměr (Obr. 64). U této charakteristiky se zadává pouze jeden element, v tomto případě kružnice (2B02_4). Znovu zadáme tolerance dle výkresu, potřebné pro vyhodnocení.



Obr. 64: Určení charakteristiky průměru

Charakteristika vzdálenosti středů

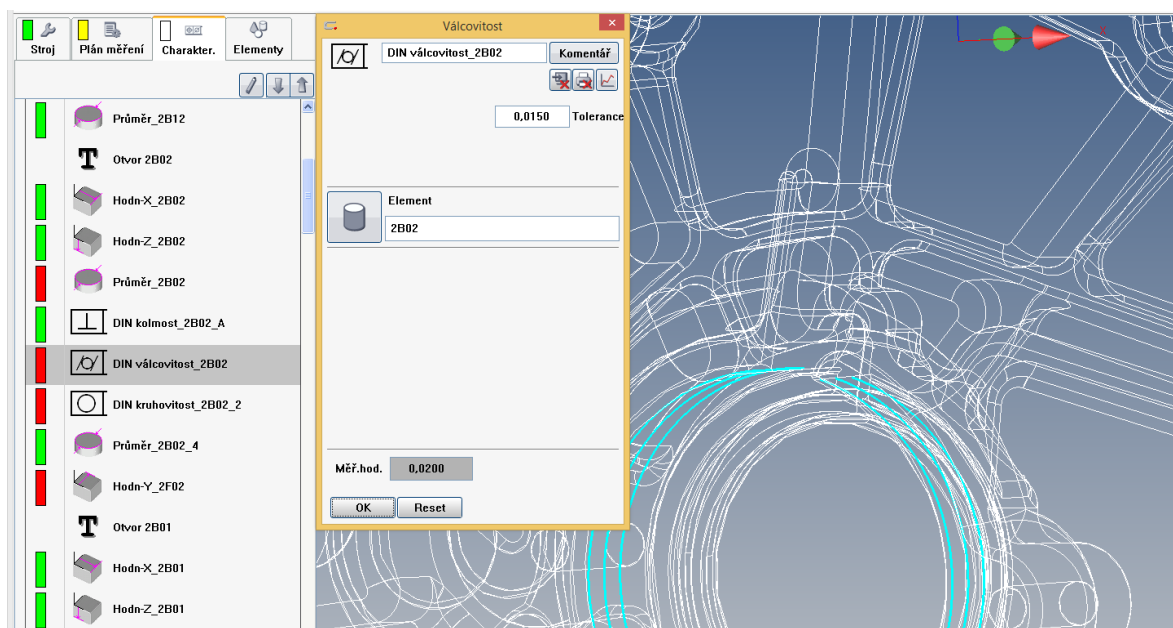
Charakteristikou, kterou určujeme v tomto případě je vzdálenost dvou elementů (Obr. 65), tedy dvou kružnic (2B02_2, 2B01_2). V okně je vidět, že můžeme určovat vzdálenost elementu „ve tvaru bodu“ od počátku souřadného systému resp. vzájemné vzdálenosti dvou elementů. V tomto případě vyhodnocujeme nejmenší vzdálenost středů kružnic a porovnáváme jí s výkresovou jmenovitou hodnotou (65mm).



Obr. 65: Charakteristiky vzdálenosti středů

Charakteristika válcovitosti

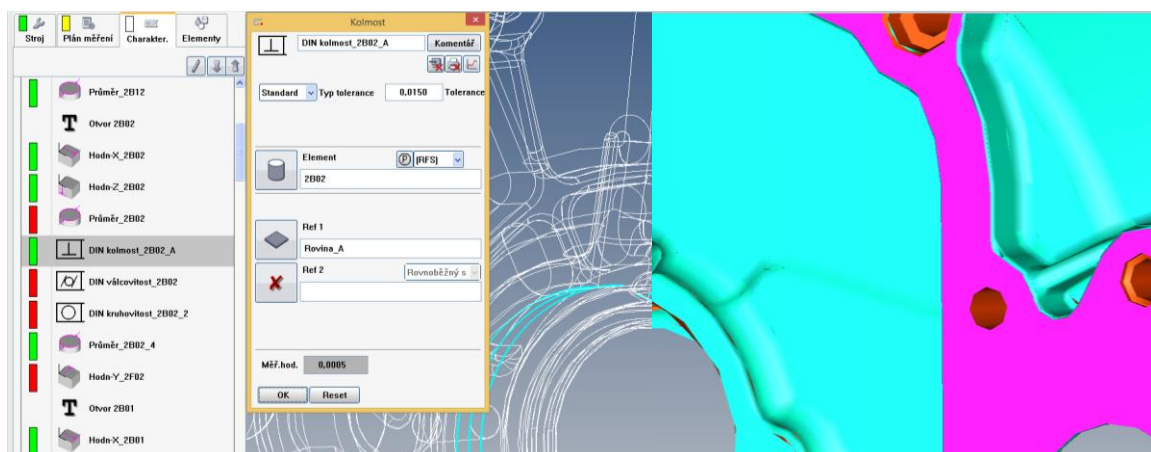
V tomto případě vyhodnocujeme válcovitost pro element válec (2B02). Jedná se o zpětně vyvolaný válec (Obr. 66). Zadaná tolerance 0,015 mm byla určena dle výkresu.



Obr. 66: Charakteristika válcovitosti

Charakteristika kolmosti

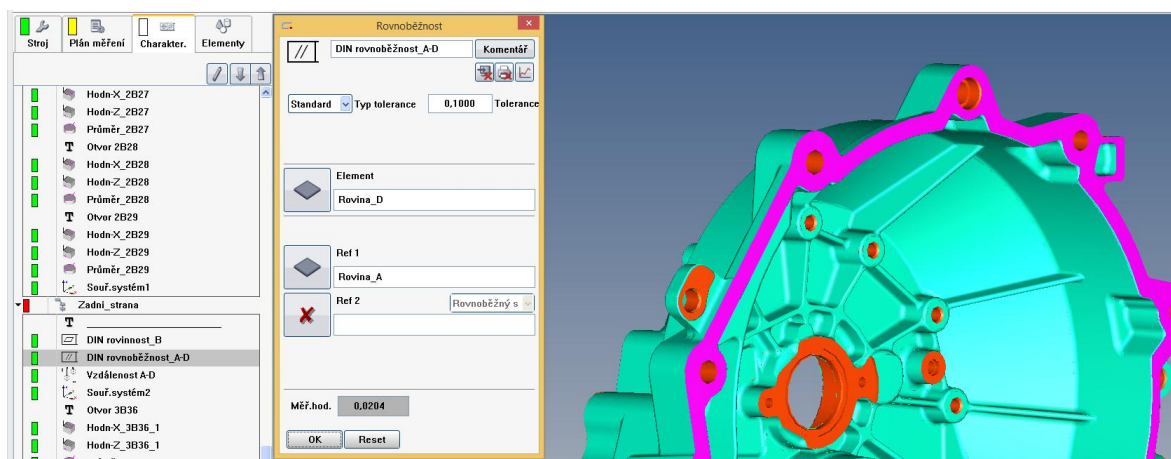
Kolmost měřeného elementu určujeme z roviny, válce, kuželu nebo přímky vzhledem k jednomu nebo dvěma referenčním elementům (Obr. 67). V tomto případě je jedná o kolmost válce (2B02) k referenčnímu elementu tedy rovině (Rovina_A).



Obr. 67: Charakteristika kolmosti

Charakteristika rovnoběžnosti

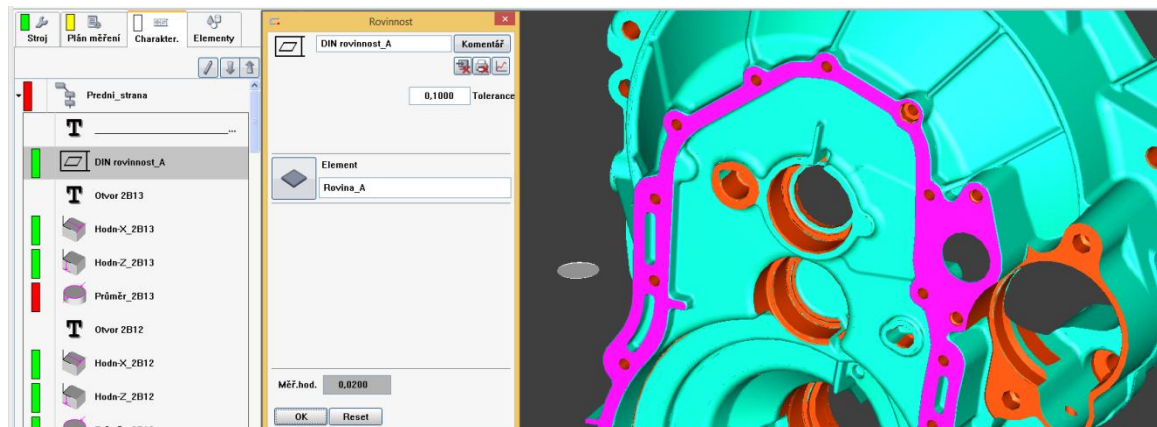
Určuje rovnoběžnost měřeného elementu rovina, válec, kužel nebo přímka vzhledem k jednomu nebo ke dvěma referenčním elementům. Pro tuto součást se jedná o vyhodnocení dvou rovin (Rovina_A, Rovina_D). Druhá reference není zadána. Pro tuto charakteristiku opět zadáme požadovanou toleranci.



Obr. 68: Charakteristika rovnoběžnosti

Charakteristika rovinnosti

Určuje rovinnost rovin (Obr. 69). Na obrázku vidíme rovinu (Rovina_A, vyznačena fialově) pro kterou vyhodnocujeme rovinnost. Tato charakteristika je důležitá pro další funkci součásti.

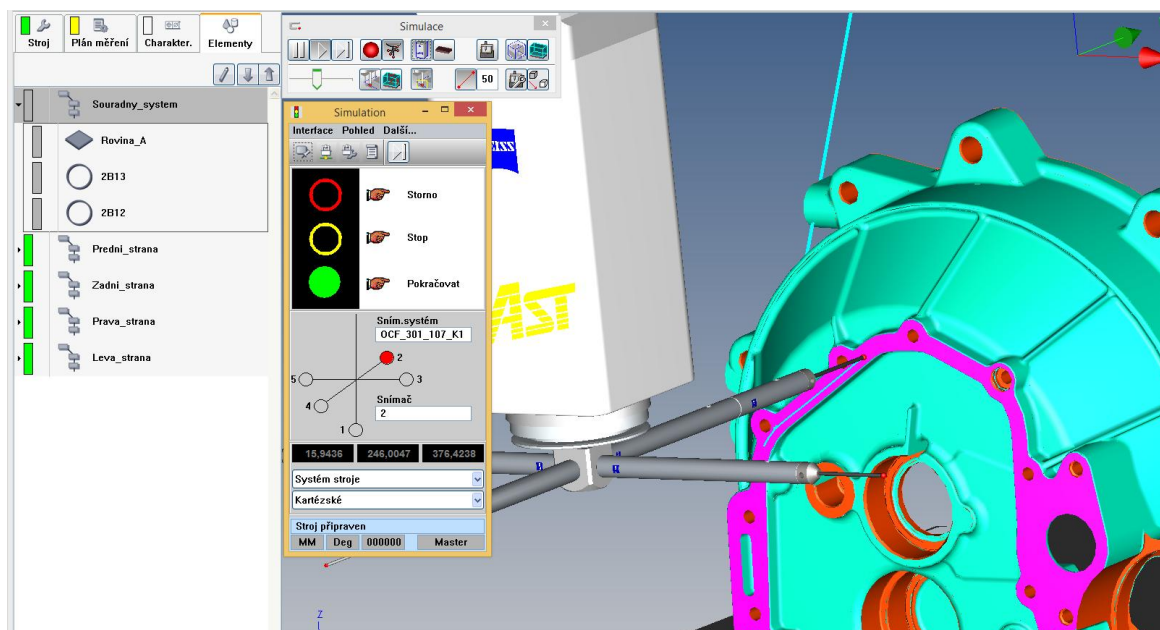


Obr. 69: Charakteristika rovinnosti

5.6 Simulace měření

V programu je možné přesně simulovat postup měření. Tato výhoda se využívá především při offline programování. Program je schopen simulovat celý souřadnicový stroj včetně snímacího systému a dráhy snímačů. Při simulaci je možné odstranit problémy, které by v reálném měření znamenaly chybný výsledek nebo poškození snímače či součásti.

Na obrázku (Obr. 70) můžeme vidět simulaci měření roviny (Rovina_A). Rovina je měřena scanningem, snímačem +Y.



Obr. 70: Simulace měření

5 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit analýzu postupu kontroly obráběného dílu na CMM.

V úvodní části jsem se zaměřil na možnosti měření souřadnicové měřicí techniky. Základní přehled strojů, snímacích systémů a softwarů pro měření. Hlavním cílem mé práce bylo vytvořit ucelený přehled způsobů upínání součástí při měření na CMM. Zvláštní pozornost jsem věnoval upínacím systémům, které jsou v současné době velice rozšířené a umožňují velkou flexibilitu.

V další části práce jsem provedl rozbor geometrických specifikací měřené součásti, tedy skříně spojky. Geometrické specifikace jsem rozdělil do základních skupin a uvedl jsem všechny charakteristiky, které se na dané součásti měří. Dále jsem uvedl způsob, jakým byla součást upnutá, provedl jsem rozbor konfigurace snímacího systému a analýzu plánu měření.

V závěru mé práce jsem vytvořil komentovaný postup měření dané součásti. Vzhledem k velkému počtu opakujících se charakteristik jsem vybral základní a ty, které se často opakují, a k těm jsem vytvořil komentář. Komentoval jsem charakteristiky polohy, průměru, vzdálenosti, válcovitosti, kolmosti, rovnoběžnosti a rovinnosti. Pro zajímavost jsem uvedl možnost simulace měření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PERNIKÁŘ, Jiří. Strojírenská metrologie II. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 180 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-3338-8.
- [2] Příprava plánu měření pro přírubu: Školní prezentace: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie; České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní; Průmyslová metrologie [online]. [cit. 2015-06-09]. Dostupné z: <http://utopm.fsid.cvut.cz/?udaj=predmet&id=C41702>
- [3] CALYPSO, Základní program: Návod k obsluze [online]. 2012. [cit. 2015-06-01].
- [4] Firemní prezentace firmy Prima Bilavčík s. r. o. [online]. [2015] [cit. 2015-16-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.merici-pristroje.cz/>>.
- [5] CHRISTOPH, Ralf, NEUMANN, Hans Joachim. Multisenzorová souřadnicová měřicí technika. Uherské Hradiště: L.V.Print, 2008. 106 s.
- [6] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora [online]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 125 s. [cit. 2015-06-10]. ISBN 978-80-248-2514-4. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/METROLOGIE_FINAL.pdf
- [7] PC-DMIS CMM: Transformace metrologie CMM [online]. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/PC-DMIS-CMM_418.htm#.VW2zPs-8PGc
- [8] Measuring software Metrosoft CM: An indispensable link in the manufacturing process [online]. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z: http://www.wenzel-group.com/praezision/en/products/software/measuring-software-metrosoft-cm.php?we_ID=869
- [9] CRYSTA-APEX S, Vysoce výkonný SMS: Firemní katalog: Mitutoyo [online]. In: . [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: http://www.w-t.cz/pdf/Crysta_Apex_S.pdf
- [10] MCOSMOS MANUAL, Vysoce výkonný software pro ruční souřadnicové měřicí stroje.: Firemní katalog: Mitutoyo [online]. In: . [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: <http://www.tauricon.sk/sk/prospekty-mitutoyo-pdf/09-prc1336.pdf>
- [11] Calypso Software pro snadné programování měření součástí [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/smetrologia/prospekty/calypso.pdf>
- [12] ROITHMEIER, summarized by Robert. Measurement strategies in contact coordinate metrology a publication of Carl-Zeiss-3D-Akademie. Ellwangen: Opferkuch, 2007. ISBN 978-398-1142-228.
- [13] Měřicí sonda v systémech SolidCAM a InventorCAM [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: <http://www.caxmix.cz/2015/02/01/merici-sonda-v-systemech-solidcam-a-inventorcam/>

- [14] HUMÁR, Anton. Technologie I: Technologie obrábění - 1. část [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003, 138 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [15] KAMENICKÁ, PAVLÍNA. ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ A OBROBKŮ [online]. BRNO, 2013 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65180. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce ING. MILAN KALIVODA.
- [16] Complete Solutions for Quality Assurance and Inspection Fixtures [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://downloads.german-pavilion.com/downloads/pdf/exhibitor_21116.pdf
- [17] Upínací systémy: Integrovaná a individuální řešení pro měřicí přípravky [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy.html
- [18] ESPERANTO s.r.o. [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://esperantomb.cz/>
- [19] Modular Clamping Systems: ALUFIX CLASSIC [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.horst-witte.de/cms-downloads/en/MoSpa12-Screen-E.pdf>
- [20] WITTE: inventing solutions [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.horst-witte.de/en/index.php>
- [21] WITTE. Modular Clamping Systems: ALUFIX CLASSIC. [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.horst-witte.de/cms-downloads/en/ALUFIX-07-2014-englisch-screen.pdf>
- [22] RENISHAW. Upínací stavebnice: Upínací systémy pro měřicí stroje. [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/upinaci-pripravky--20748>
- [23] HEXAGON METROLOGY: Upínací systém Swift-Fix [online]. [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/Upinaci-system-Swift-Fix_454.htm#.VXiRHc_tmko
- [24] Katalog PRIMA BILAVČÍK: Přístroje pro měření a metrologii [online]. 2015 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor/kestazeni/KATALOG_PRIMA_2015.pdf
- [25] *Dk Präzisionstechnik - upínací systémy: Upínací systémy* [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/dk-prazisionstechnik-0/>
- [26] *UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY* [online]. [cit. 2015-06-11]. Dostupné z: <http://www.spssol.cz/~vyuka/CAD%204%20UPINACI%20PRIPRAVKY.pdf>
- [27] *Upínací přípravky pro měření* [online]. [cit. 2015-06-11]. Dostupné z: http://www.elakov.cz/upinaci_pripravky_pro_mereni.php
- [28] *Dotykové a optické senzory: ZEISS* [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/senzory.html

[29] *Renishaw* [online]. [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/renishaw-acquires-leader-in-fixtures-for-the-global-metrology-market--17860>

[30] PLACATA, Jiří. Předepisování tolerancí: Kreslení výrobních výkresů [online]. [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: file:///C:/Users/Endy/Downloads/VY_32_INOVACE_04307dum.pdf

[31] *FIXTURING SYSTEMS: Fixturing systems for measurement technology* [Firemní katalog dk FIXIERSYSTEME č.k.:Z200100-515-]. 2015, 242 s

[32] LYSÝ, ZBYNĚK Bc. *MANAGEMENT KALIBRACE SOUŘADNICOVÉHO MĚŘICÍHO STROJE (SMS)* [online]. BRNO, 2012 [cit. 2015-06-07]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53766. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.

[33] ZEMAN, David. *Technické kreslení: Pracovní sešit* [online]. [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: http://www.sosnejdek.cz/predmety/files/ok/ok_technickekresleni.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CMM	Coordinate Measuring Machines - souřadnicový měřicí stroj
CNC	Computer Numerical Control - číslicové řízení pomocí počítače
CAD	Computer Aided Design - počítačová podpora konstruování
3D	Three Dimensional – Trojrozměrný
US	Upínací systém
SW	Software

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Typy CMM [1] a) sloupový, b) výložníkový, c) mostový, d) portálový	7
Obr. 2: Dotykový senzor s otočnou hlavicí [28]	8
Obr. 3: Dotykový senzor s pevnou hlavicí [28].....	8
Obr. 4: Bezdotykový senzor laserový[28].....	9
Obr. 5: Bezdotykový senzor kamerový (optický) [28].....	9
Obr. 6: Přehled metod připasování [3]	12
Obr. 7: Volné upnutí bez použití upínek [13].....	17
Obr. 8: Přehled upínacích pomůcek [14].....	18
Obr. 9: Universální sklíčidlo	19
Obr. 10: Strojní svěráky	19
Obr. 11: Upínací systém CARFIT CMF [17].....	21
Obr. 12: Upínací systém CARFIT CBM [17]	21
Obr. 13: Upínací systém CARFIT CMP [17].....	22
Obr. 14: Upínací systém CARFIT CMK [17]	22
Obr. 15: Upínací systém CARFIT CME [17]	23
Obr. 16: Upínací systém CARFIT CML [17]	23
Obr. 17: Upnutí součásti pomocí US Alufix Classic [18]	24
Obr. 18: Přehled komponentů US Alufix [20]	25
Obr. 19: Přehled základních desek Alufix [21]	26
Obr. 20: Odlehčené bary (tyče) [21].....	26
Obr. 21: Klasické bary (tyče) [21].....	26
Obr. 22: Přehled speciálních komponent US Alufix [21]	27
Obr. 23: Ukázka použití vzpěr Alufix [21].....	27
Obr. 24: Možnost upnutí součásti pomocí upínacího systému Renishaw [29]	28
Obr. 29: Možnost upnutí součásti pomocí upínek [22]	30
Obr. 25: Stavitelný sloupek [22]	30
Obr. 26: Stavitelný kloub [22].....	30
Obr. 27: Stavitelná základna [22].....	30
Obr. 28: Úhlově stavitelná základna [22].....	30
Obr. 30: Pružná upínka [22]	30
Obr. 31: Tlačná upínka [22]	30
Obr. 32: Otočné sklíčidlo [22].....	30
Obr. 33: Přidržovací upínka [22].....	30
Obr. 34: Možnost upnutí pomocí magnetů [22]	31
Obr. 38: Upnutí součásti pomocí příslušenství [22].....	31
Obr. 35: Magnet [22]	31
Obr. 36: V-magnet [22]	31
Obr. 37: V-magnet se základnou [22]	31
Obr. 43: Součást upnutá v upínacím systému Sxift-fix [23]	32
Obr. 39: Kužely [22].....	32
Obr. 40: Šrouby a adaptéry [22]	32
Obr. 41: Svislá upínací deska [22].....	32

Obr. 42: Stavitelní T-rameno [22]	32
Obr. 44: Obsah balení upínacího systému Sxift-fix [23].....	33
Obr. 45: Upínací systém Spannfix [31].....	34
Obr. 46: Upínací systém Schienenfix [31]	35
Obr. 47: Upínací systém Quaderfix [31]	35
Obr. 48: Jednoučelový přípravek s mikrometrem pro přesné ustavení součásti [27].....	36
Obr. 49: Přípravek pro kontrolu plastového výlisku [27].....	36
Obr. 50: Jednoučelový upínací přípravek pro skříň spojky.....	37
Obr. 51: Upnutá skříň spojky v upínacím přípravku.....	37
Obr. 52: Přehled geometrických specifikací [30].....	38
Obr. 53: Řez skříní spojky	39
Obr. 54: Ukázka charakteristik.....	40
Obr. 55: Část výkresu skříně spojky.....	40
Obr. 56: Snímací systém pro měření skříně spojky.....	41
Obr. 57: Plán měření.....	42
Obr. 58: Nastavení souř. systému v SW Calypso.....	43
Obr. 59: Nastavení bezpečnostního kvádru	44
Obr. 60: Strategie měření Roviny_A	46
Obr. 61: Strategie měření kružnice.....	46
Obr. 62: Zpětné vyvolání elementů	47
Obr. 63: Určení charakteristiky polohy	48
Obr. 64: Určení charakteristiky průměru.....	48
Obr. 65: Charakteristiky vzdálenosti středů	49
Obr. 66: Charakteristika válcovitosti.....	49
Obr. 67: Charakteristika kolmosti	50
Obr. 68: Charakteristika rovnoběžnosti.....	50
Obr. 69: Charakteristika rovinnosti	51
Obr. 70: Simulace měření.....	51