

Vysoká škola technická a ekonomická

v Českých Budějovicích

**Studijní opora pro prezenční a kombinovanou
formu studia**

2021

České Budějovice

Vysoká škola technická a ekonomická

v Českých Budějovicích

**Kontaktní a optické 3D měření
a virtualizace objektů**

Ústav technicko – technologický

Environmentální výzkumné pracoviště

Doc. Ing. Karel Gryc, Ph.D.

Obsah

1	<i>Kapitola: Úvod do 3D měření</i>	1
1.1	Klíčová slova	1
1.2	Cíle kapitoly	1
1.3	Úvod do kapitoly	1
1.4	Výklad	2
1.5	Kontrolní otázky	20
1.6	Doporučená studijní literatura	20
2	<i>Definice a měření prvků na CAD datech, vyrovnání na CAD model, tvorba souřadných systémů</i>	21
2.1	Klíčová slova	21
2.2	Cíle kapitoly	21
2.3	Úvod do kapitoly	21
2.4	Výklad	21
2.5	Kontrolní otázky	34
2.6	Doporučená studijní literatura	34
3	<i>Vyhodnocení naměřených hodnot, GD&T, finalizace programu, protokol</i>	36
3.1	Klíčová slova	36
3.2	Cíle kapitoly	36
3.3	Úvod do kapitoly	36
3.4	Výklad	36
3.5	Kontrolní otázky	42
3.6	Doporučená studijní literatura	42
4	<i>Komplexní měření objektů podle zadaných požadavků</i>	43
4.1	Klíčová slova	43
4.2	Cíle kapitoly	43

4.3	Úvod do kapitoly	43
4.4	Výklad	43
4.5	Doporučená studijní literatura	48
5	<i>Vytvoření kompletní sekvence měření bez zařízení.....</i>	50
5.1	Klíčová slova	50
5.2	Cíle kapitoly	50
5.3	Úvod do kapitoly	50
5.4	Výklad	50
5.5	Doporučená studijní literatura	57
6	<i>Prezentace týmových projektů k 3D měřicímu přístroji THOME Präzision RAPID – Plus CNC, konzultace, rekapitulace</i>	59
6.1	Klíčová slova	59
6.2	Cíle kapitoly	59
6.3	Úvod do kapitoly	59
7	<i>Základní seznámení s mobilním měřícím systémem ROMER Absolute Arm.....</i>	60
7.1	Klíčová slova	60
7.2	Cíle kapitoly	60
7.3	Úvod do kapitoly	60
7.4	Výklad	62
7.5	Kontrolní otázky	70
8	<i>Skenování laserovým skenerem, základní práce s programem, GD&T a hodnocení naměřených hodnot.....</i>	71
8.1	Klíčová slova	71
8.2	Cíle kapitoly	71
8.3	Úvod do kapitoly	71
8.4	Výklad	71
8.5	Kontrolní otázky	84

9	<i>Aplikace pokročilých postupů při práci s mobilním skenerem ROMER</i>	85
9.1	Klíčová slova	85
9.2	Cíle kapitoly	85
9.3	Úvod do kapitoly	85
9.4	Výklad	85
9.2	Kontrolní otázky	97
9.3	Doporučená studijní literatura	97
10	<i>Tvorba měřicího programu na zadaných dílech v prostředí PolyWorks. Simulace průběhu měření a odladění programu včetně přípravy protokolu</i>	98
10.1	Klíčová slova	98
10.2	Cíle kapitoly	98
10.3	Úvod do kapitoly	98
10.4	Výklad	100
10.5	Doporučená studijní literatura	102
11	<i>Tvorba měřicího programu na zadaných dílech v prostředí PolyWorks. Simulace průběhu měření a odladění programu včetně přípravy protokolu</i>	103
11.1	Klíčová slova	103
11.2	Cíle kapitoly	103
11.3	Úvod do kapitoly	103
11.4	Výklad	105
12	<i>Základní seznámení se software SpaceClaim</i>	108
12.1	Klíčová slova	108
12.2	Cíle kapitoly	108
12.3	Úvod do kapitoly	108
12.4	Výklad	109
12.5	Kontrolní otázky	113

13	<i>Prezentace týmových projektů k měření systémem ROMER, konzultace, rekapitulace.....</i>	114
13.1	Cíle kapitoly	114
13.2	Výstup výukového bloku.....	114

PODĚKOVÁNÍ

Autoři by chtěli touto cestou poděkovat za poskytnutí podkladů a technickou podporu při zpracování této opory společnosti PolyWorks Europa CZ s.r.o., Křižovnická 86/6, Praha-Staré Město

Název: Analýza, digitalizace a rozměrová kontrola objektů pomocí moderních metod 3D měření a hodnocení

Autor: doc. Ing. Karel Gryc, Ph.D., doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.,

Vydání: první, 2021

Počet stran: 115

1. vydání

© Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2021

Vydala: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 10, 370 01 České Budějovice

Za obsahovou a jazykovou správnost odpovídají autoři a vedoucí příslušných kateder.

Anotace předmětu

Student je v průběhu semestru hodnocen na základě splnění dílčích požadavků pro udělení zápočtu, mezi které patří ústní prezentace na odborné téma (až 30 bodů), písemný zápočtový test (až 70 bodů) a účast na cvičeních. Písemný test je složen z otázek, které budou zaměřeny na probrané učivo v rámci přednášek, seminářů a jednotlivých laboratorních praktik. Absence v maximálním rozsahu 30 % musí být omluvena a omluva musí být vyučujícím akceptována (o důvodnosti omluvy rozhoduje vyučující).

Cíl předmětu

Předmět poskytuje teoretické i praktické poznatky z oblasti 3D měření a 3D skenování. Předmět je zaměřen na seznámení s programem PolyWorks, základy skenování ramenem a měření na 3D měřicím stroji. Dalším důležitým cílem je samostatná práce s programy a vytváření programů. Poslední oblast je specializována na vytváření CAD modelu v reverzním inženýrství, který vychází z mračna bodů. Tento návrh je realizován v rámci programu SpaceClaim.

Výstupy z učení

Student bude umět pracovat s programem PolyWorks a SpaceClaim, dále zvládne naměřit data z dílu a převést je do již zmiňovaných programů. Student zvládne pokročilejší operace jako vytvořit CAD model z mračna bodů reverzním inženýrstvím v programu SpaceClaim.

Student bude umět teoreticky charakterizovat z jakých částí se skládá 3D skener a 3D měřicí stůl. Dále zvládne samostatně navrhnout postup měření určitého dílu. V neposlední řadě bude umět vytvořit protokol o měření z naměřených a zpracovaných dat. Student tedy v rámci využití svých teoretických znalostí bude umět zvolit vhodný postup měření, proměřit daný díl, následně zpracovat naměřená data, a nakonec vytvořit protokol o měření.

Základní okruhy studia

1. Úvod do 3D měření
2. Definice a měření prvků na CAD datech, vyrovnání na CAD model, tvorba souřadných systémů.
3. Vyhodnocení naměřených hodnot, GD&T, finalizace programu, protokol.
4. Komplexní měření objektů podle zadaných požadavků
5. Vytvoření kompletní sekvence měření bez zařízení.
6. Základní seznámení s mobilním měřicím systémem ROMER Absolute Arm.
7. Skenování laserovým skenerem, základní práce s programem, GD&T a hodnocení naměřených hodnot

8. Aplikace pokročilých postupů při práci s mobilním skenerem ROMER
9. Základní seznámení se software SpaceClaim

Povinná literatura

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*

1 Kapitola: Úvod do 3D měření

1.1 Klíčová slova

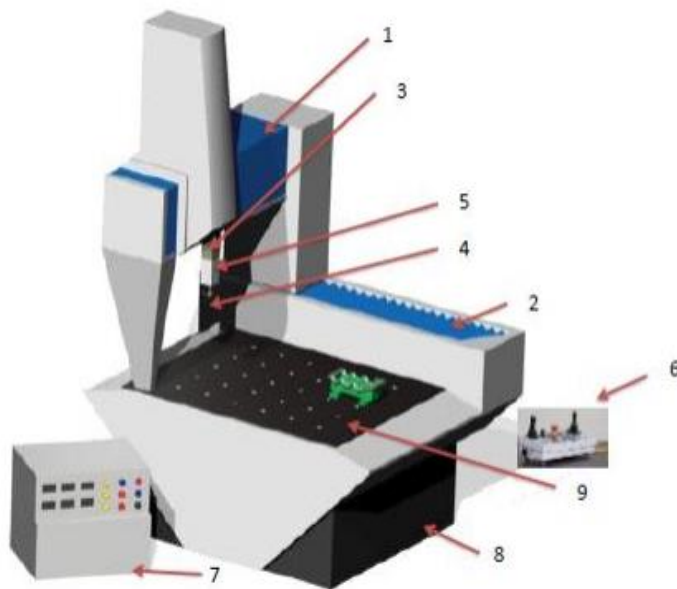
stroj, měření, CMM, grafické uživatelské rozhraní, označování

1.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je seznámit se souřadnicovým měřením a jeho hlavními parametry. Dále se kapitola věnuje seznámení s programem PolyWorks.

1.3 Úvod do kapitoly

Souřadnicový měřicí stroj je měřicí systém, jehož součástí jsou nástroje pro pohyb snímacího systému se schopností zjistit prostorové souřadnice povrchu obrobku. Typické uspořádání souřadnicového měřicího stroje je zobrazeno na obrázku. Mezi nejdůležitější části CMM zahrnujeme pohyblivou konstrukci stroje, odměřovací systém, měřicí hlavu a měřicí software.



1. Osa Y
2. Osa X
3. Osa Z
4. Měřicí sonda
5. Otočná hlava
6. Ovládací panel
7. Řízení stroje
8. Podstava
9. Stůl pro upnutí měřené součásti

1.4 Výklad

Konstrukce CMM

Každá konstrukce CMM se skládá ze základny stroje, stolu pro umístění součástí, pohybujících se pilířů, vodících ploch a pinoly. Souřadnicový měřicí stroj by měl splňovat následující požadavky:

- rozměrová stabilita
- nízká hmotnost
- vysoká schopnost tlumení vibrací
- nízký koeficient teplotní roztažnosti
- vysoká tepelná vodivost

Mezi nejvíce používané materiály pro konstrukci CMM patří ocel, granit (žula), slitiny hliníku, keramika a kompozitní materiály. Granit je základním materiálem pro výrobu desky pracovního stolu, neboť je vysoce odolný proti opotřebení a poškrábání. Mezi jeho další výhody patří nízký koeficient teplotní roztažnosti a dobré tlumení vibrací. Naopak nevýhodou je jeho vysoká hmotnost. Dalším konstrukčním materiálem je ocel. Tento materiál se vyznačuje tím, že to je nejdostupnější konstrukční materiál. Bohužel jeho nevýhodou je velká hmotnost a teplotní roztažnost. Slitiny hliníku se využívají pro jejich nízkou hmotnost a vysokou odolností proti korozi. Proto je to vhodný materiál pro konstrukce. Keramika je materiál vyznačující se nízkou hmotností, vysokou pevností a teplotní stabilitou. Výraznou nevýhodou je cena tohoto materiálu. Kompozitní materiály jsou hitem posledních let. Jsou vysoce pevné, teplotně stabilní a jejich hlavní předností je jejich výrazně nízká hmotnost. Bohužel cena kompozitních materiálů je v porovnání s ostatními dostupnými konstrukčními materiály velice vysoká. Příkladem kompozitního materiálu jsou uhlíkové kompozitní materiály.

Snímací dotek

Je to součást měřicího systému, který zprostředkovává kontakt mezi součástí a sondou, naváže tedy mechanickou interakci s obrobkem, a způsobí sepnutí mechanismu sondy. Signál, který je přitom generován, umožňuje zaznamenání souřadnic sejmutého bodu. Typ a rozměr doteku závisí na snímaném prvku. Pro měření obecných tvarových ploch s využitím CMM doteku je potřeba zajistit co nejnižší odchylku tvaru doteku, jeho vysokou tuhost a vysokou odolnost proti opotřebení. Proto je nejčastěji použitým materiálem pro výrobu doteků syntetický rubín. Rubínové doteky mají výjimečně hladký povrch, vynikající pevnost v tlaku a vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení. Dalším materiálem pro snímací dotek je nitrid křemíku, který se používá při měření hliníkových dílů skenováním. Mezi rubínem a hliníkem dochází k adhezivnímu otěru a hliník se následně usazuje na rubínovém doteku. Proto je lepší použít dotek z nitridu křemíku, kde adhezivní otěr nevzniká, a tudíž nedochází k usazování hliníku na

snímacím doteku. Materiálem používaným pro snímací dotek je také oxid zirkoničitý. Ten je vhodný při měření dílů z litiny skenováním. Vzniká zde abrazivní otěr, který způsobuje výrazné opotřebení snímacího doteku z rubínu.

Typy snímacích doteků:

- přímé doteky
- hvězdicové doteky
- diskové doteky
- válcové doteky
- špička a dutá polokoule

Princip souřadnicového měření

Hlavní funkce CMM je změření tvaru aktuálního dílce a porovnání s nominálním CAD modelem. Následně vyhodnotit naměřené výsledky (tvar, pozice otvorů, kruhovitost, ostřih). Body se nasnímají snímacím systémem na aktuální měřený dílec a naměřené hodnoty se převedou do softwaru PolyWorks. Zde si vytvoříme report.

Důležité při měření je upnutí měřeného dílce. Dílec musíme upnout tak, abychom se dostali ke všem plochám a bodům určeným k měření. Dílec musí být na stole upnut pevně, aby se nepohnul (Možnost použití stavebnicového upínacího systému)



Kalibrace měřícího systému

Kvalifikace snímacího systému spočívá v zaměření polohy kalibrační koule referenčním snímačem a následnou kalibrací snímačů zvolených pro dané snímání. Kalibrovat znamená, že snímač snímá kalibrační kouli a z výsledků jsou zjištěny hodnoty korekce snímače. Zaměření kalibrační koule referenčním snímačem Kalibrační koulí CMM se rozumí koule se známým průměrem, která je dřikem spojená s měřícím stolem. Pro určení její polohy je potřeba využít

referenční snímač. Tyto snímače jsou obvykle značeny červenou tečkou. U spínacích hlav jsou tyto snímače vertikální, jejichž délka a průměr rubínové kuličky jsou známy. Průměr kuličky bývá 8 mm. Kalibrační kouli je nutné snímat referenčním snímačem vždy, když došlo ke změně její polohy, k tepelné změně od posledního určení polohy nebo když stroj najížděl do referenčního bodu.



**ČSN EN ISO 1101: Geometrické specifikace výrobků (GPS) -Geometrické tolerování –
Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení**

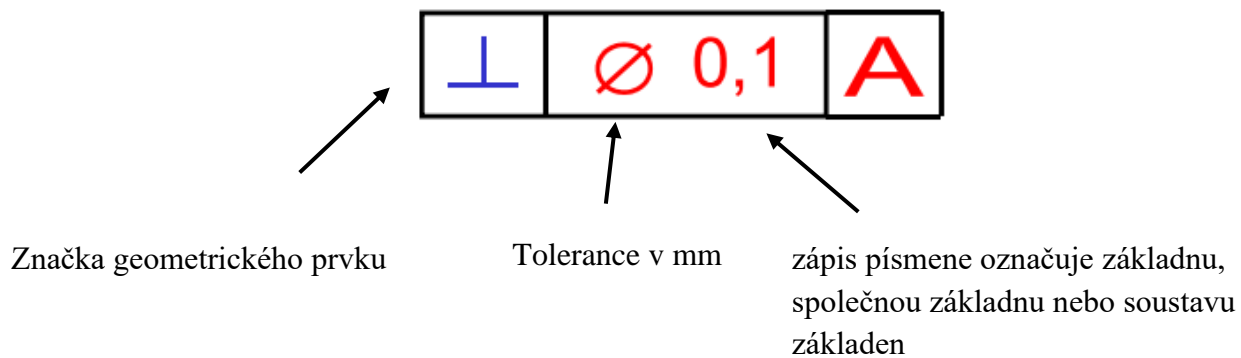
Norma obsahuje definice tolerancí tvaru, orientace, umístění a házení a pravidla pro předepisování těchto tolerancí ve výrobní dokumentaci.

Při výrobě jednotlivých prvků je nutné dodržet nejen určité přesnosti rozměrů, ale i přesnosti geometrické – polohy, tvaru apod.

Z hlediska dodržení funkce některých prvků je nutné předepsat přímo na výkresu číselně velikost tolerancí.

Druh tolerance se vyznačí grafickou značkou:

Tolerance geometrických prvků:



Označování struktury povrchu

Grafická značka

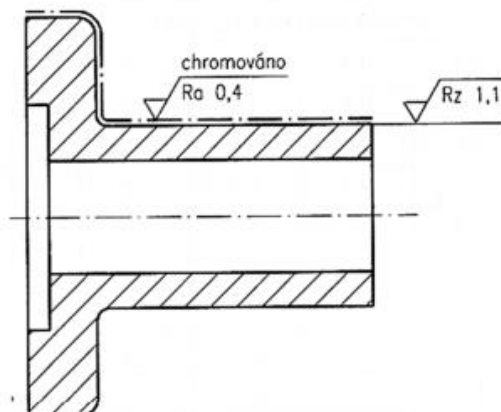
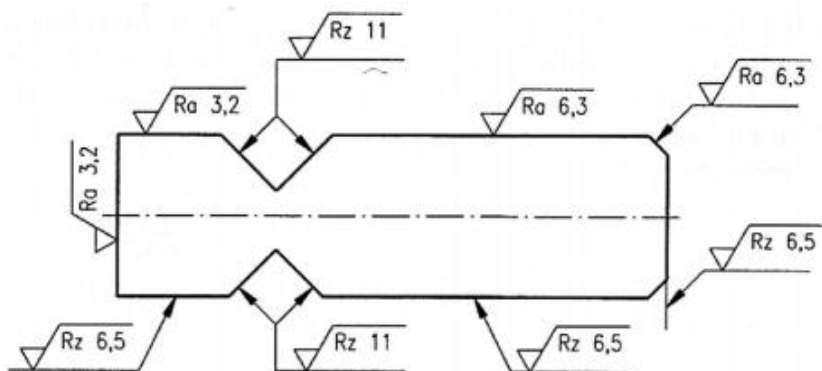


Není definováno, jak je povrchu dosaženo

Dosažení povrchu obráběním (odebráním povrchu)

Ubírání materiálu není povoleno

• Poloha značek



Tolerance	Charakteristika	Značka	Základna	Tolerance	Charakteristika	Značka	Základna
tvaru	přímost	—	ne	umístění	poloha		ano či ne
	rovinnost		ne		soustřednost		ano
	kruhovitost		ne		souosost		ano
	válcovitost		ne		souměrnost		ano
	profil libovolné čáry		ne		profil libovolné čáry		ano
	profil libovolné plochy		ne		profil libovolné plochy		ano
orientace	rovnoběžnost	//	ano	házení	obvodové házení		ano
	kolmost		ano		celkové házení		ano
	sklon		ano		čelní házení ¹⁾		ano
	profil libovolné čáry		ano		1) není v normě uvedeno		
	profil libovolné plochy		ano				

Drsnosti povrchu

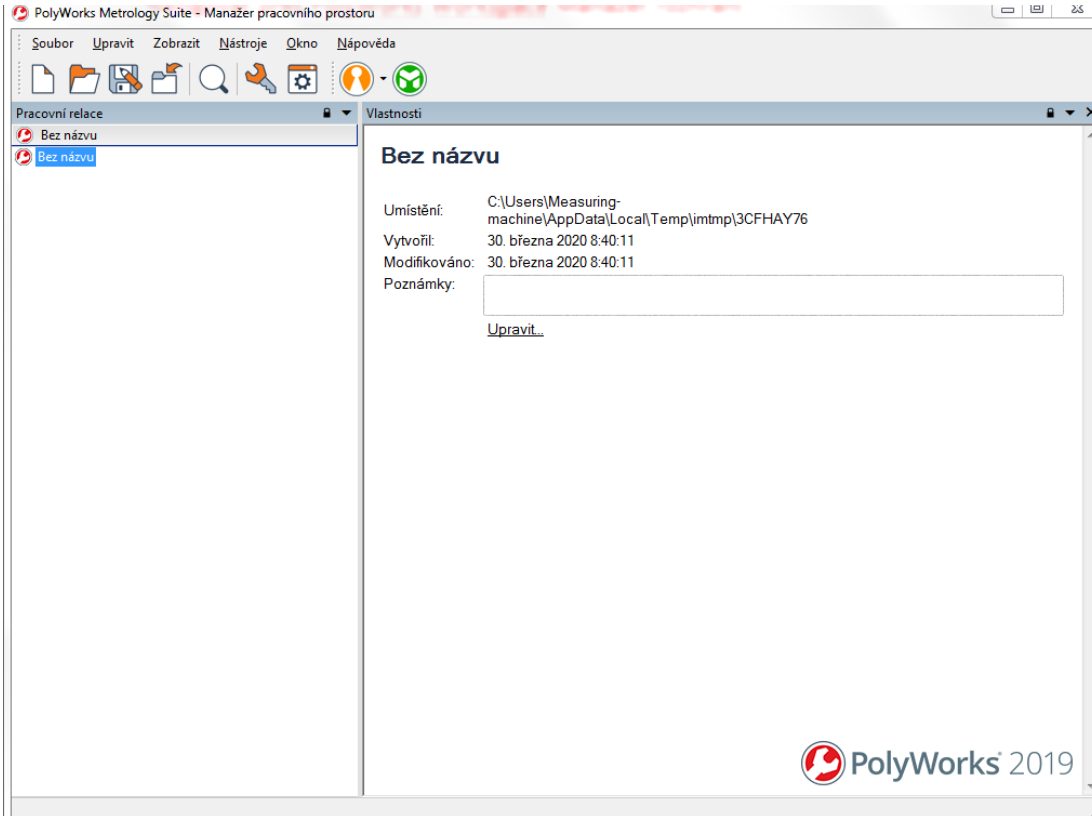
Parametr	Praktická řada hodnot											
Ra	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025

Střední aritmetická úchylka povrchu Ra [μm]	Typická metoda výroby povrchu
0,012 0,025 0,05 0,1 0,2 0,4 0,8	Dokončovací metody (broušení, lapování, apod.)
1,6 3,2 6,3 12,5	Běžné obrábění (soustružení, frézování, apod.)
25 50 100 200 400	Povrch polotovarů (výkovky, odlitky, apod.)

Správce souborů a navigace přes PolyWorks rozhraní

Navigovat přes PolyWorks Workspace Manažer rozhraní

Pracovní prostor Manager je hlavním rozhraním PolyWorks. To umožňuje přímý přístup ke všem PolyWorks modulům, spravuje soubory a projekty, a další.



Vyhledání nástroje

Z nabídky Start systému Windows: **PolyWorks MS 2019**



Přehled

Workspace manager

Workspace Manager řídí proces PolyWorks od začátku do konce. To zahrnuje následující úkoly:

- Přidávání software licenčních klíčů.
Správa všech příchozích datových souborů a výsledků vytvořených moduly PolyWorks Metrology Suite. Postupem práce se soubory a projekty ukládají do rozhraní nazvaného „pracovní prostor“.
- Nabízí jednoduchou navigaci mezi moduly.

Správce licencí PolyWorks

Licenční klíče jsou povinné používat v PolyWorks Suite Licence jsou spravovány prostřednictvím manažera licencí PolyWorks metrologie Suite.



Nástroje → Správce licencí PolyWorks

Nastavit možnosti projektu

Určité výchozí hodnoty a parametry použité v sadě PolyWorks Metrology Suite lze nastavit v položkách Možnosti pracovního prostoru.

Zvolit nástroje → nastavení



Na kartě **Obecné**:

- **Výchozí jednotky:** nastavit jednotky délky, které budou používány ve výchozím nastavení pro jednotlivé moduly.

Výchozí délkové jednotky: Milimetry

Na stránce **Zobrazit**:

- **Jazyk:** Nastavte jazyk zobrazený v uživatelském rozhraní
Sekce **fonty, Znaková sada:** Určete sadu znaků, které lze zadat do textových polí. Toto nastavení je zvláště užitečné, pokud používáte například asijské znaky.

Jazyk: Czech

Na stránce **Doplňky**:

- Vyberte jeden nebo více doplňků v seznamu.
Pouze vybrané! pluginy budou načteny, když bude spuštěn.

Soubor znaků: Central European Alphabet

Vytvořit a uložit pracovní plochu

Workspace Manager používá formát pracovního prostoru, který je navržen tak, aby zpracoval všechny výsledky projektu zpracování cloudových bodů.

- Vyberte soubor → **uložit jako a vytvořit nový pracovní prostor.**



- Když je pracovní prostor uložen, vytvoří jeden soubor XML pomocí. pwk soubor a jedna složka se soubory Suffix. Soubor i
Složka obsahuje název pracovního prostoru. Soubor. pwk je pouze index – složka obsahuje všechna data.

Workspace Part A_Files

Workspace Part A.pwk


Název

Pracovní relace 1_Files

Pracovní relace 1

Uložení komprimované kopie pracovního prostoru

Pokud je třeba pracovní prostor sdílet nebo exportovat, je možné vytvořit komprimovanou kopii tohoto pracovního prostoru přímo ve Workspace Manager.

- **Vybrat složku exportovat → komprimovat do Workspace** 

kopie pracovního prostoru je komprimována.pwzip.

• **pwzip soubor může být otevřen jako:**

- Pracovní prostor Manažer
- PolyWorks Reviewer

Je také možné vytvořit komprimovanou kopii jednoho nebo více projektů PolyWorks | Inspector z Workspace Manager.

Navigace v rozhraní PolyWorks|Inspektor

PolyWorks|Inspector je softwarový nástroj, který umožňuje provádět datové vyrovnání na referenční objekty, měření odchylek mračen bodů dat a polygonálních modelů na referenční plochy, měření rozměrů, specifické rysy, a generování srovnání a ověřovacího reportu. Data lze získávat v reálném čase pomocí sondy a skenování části.



Vyhledání nástroje

Z **Workspace Manager:**



Přehled

Vytvořit a uložit inspekční projekt

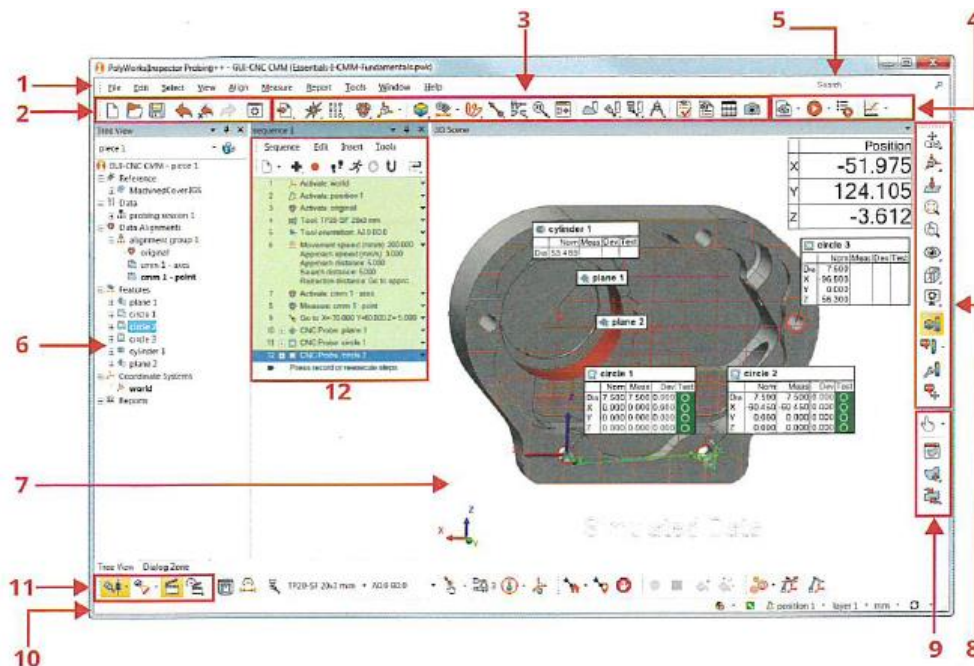
- **Zvolte Soubor> Uložit projekt**

Projekt je uložen v aktivním pracovním prostoru



Grafické uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní nabízí panel nabídek, panely nástrojů, stavový řádek a několik hlavních panelů.



1	Hlavní menu	Přístup ke všem funkcím inspektora PolyWorks
2	Standartní menu	Rychlý přístup k běžným operacím, jako je Otevřít, uložit a vrátit
3	Hlavní panel nástrojů	Rychlý přístup k nejběžnějším nástrojům pro kontrolu
4	Panel nástrojů pro vícečetné kontroly	Rychlý přístup k různým víceúčelovým nástrojům
5	Vyhledávací okno	Slouží k zadání dotazu a prohledávání položek nabídky stromových objektů
6	Stromové zobrazení	Podokno, kde jsou uloženy všechny objekty projektu
7	3D zobrazení	3D okno, kde se zobrazují objekty
8	Panel nástrojů 3D zobrazení	Slouží k navigaci ve 3D zobrazení, ke změně pohledu a k ovládání viditelnosti a zobrazování objektů.
9	Panel nástrojů pro výběr	Slouží k výběru objektů nebo prvků v projektu
10	Stavový řádek	Poskytuje informace a umožňuje měnit jednotky, vrstvy a stav automatické aktualizace
11	Panel nástrojů zařízení	Slouží k připojení k zařízení a pro sběr dat
12	Editor sekvencí	Umožňuje sestavení a provedení sledu kroků, které tvoří inspekci

Pohyb objektů ve 3D zobrazení

Pozice objektů může být upravována ve 3D, pomocí myši. Rotace, přetáčení a operace zoomu jsou vždy vázány na konkrétní tlačítko myši.

Otáčení



Otáčení kolem osy X a osy Y zobrazení os, klikněte a držte levé tlačítko myši uvnitř 3D zobrazení. Chcete-li omezit otáčení na svislou nebo vodorovnou osu pozorování, stiskněte klávesu Shift před kliknutím.

Posun



Posun podél osy X a osy Y, klepněte na tlačítko a držte prostřední tlačítko myši. Posun podél osy X nebo v ose Y se provádí pohybem myši ve směrech X a Y, v tomto pořadí, uvnitř 3D zobrazení

Přiblížení



Posun podél osy Z se rovná operaci přiblížení. Kliknutím a podržením pravého tlačítka myši, pak pohybem myši dopředu a dozadu. Když se myš bude pohybovat vpřed, zobrazení se přesune blíže k uživateli. Když se myš bude pohybovat dozadu, zobrazení se pohybuje dále od uživatele.

Zoom box



Přiblížení na část objektu vymezením obdélníkové oblasti:

- Stiskněte a podržte SHIFT.
- Prostředním tlačítkem vytvořte první obdélník na roh.
- Přetáhněte ukazatel do protějšího rohu obdélníku.
- Uvolněte prostřední tlačítko myši.

Otáčení kolem osy prohlížení



Otáčení kolem osy prohlížení stisknutím klávesy Shift, klepnutím a podržením pravého tlačítka myši, pak pohybem myši na pravé nebo levé straně

Tlačítko nabídka chování tlačítka myši



Všimněte si, že různé operace je možné přiřadit k různým tlačítkům myši zvolením příslušného tlačítka v menu „Nabídka chování tlačítka myši“, k dispozici na panelu nástrojů 3D zobrazení.



Vytvoření a Upravení konfigurace stroje

Konfigurace CNC CMM

Jedním z prvních kroků při práci s CNC CMM plug in spočívá ve specifikaci jedné nebo více konfigurací stroje, což znamená definování komponentů stroje (model CMM, ovládání, hlava sondy), výchozí a maximální rychlosti, výchozí poloha pro tastr a pracovní rozah, v němž se taster pohybuje



Můžete použít další vlastnosti, jako jsou referenční koule, nástroje, zásobník nástrojů a porty měničů nástrojů

Vyhledávání nástroje

Na panelu nástrojů sondy

Vlastnosti zařízení

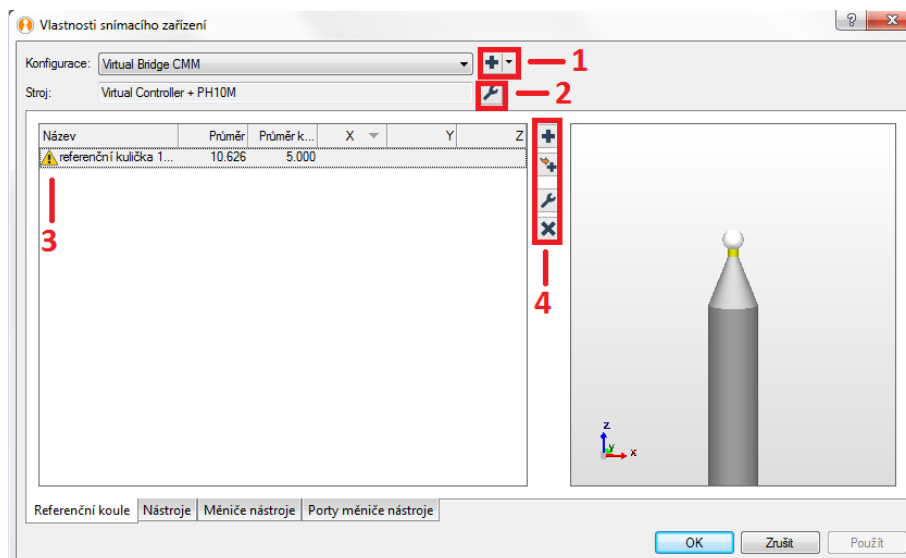


Přehled

Kroky ke konfiguraci CNC CMM

- Vytvořit konfiguraci stroje
- Upravte konfiguraci stroje
- Vytvořit referenční kouli
- Vytvářejte nástroje
- Vytvořit zásobník nástrojů
- Vytvoření orientace nástroje
- Kalibrace orientace nástroje
- Lokalizovat zásobník nástrojů

Grafické uživatelské rozhraní



Vytvoření referenční koule

Referenční koule je koule známého průměru ke kalibraci stroje
Je možné definovat jeden nebo více referenčních koulí (např. jeden pro měření sondou, jeden pro skenování).



Na kartě referenční koule klepněte na tlačítko **Vytvořit**



Vytvořit nástroje

Nástroj je sada částí, které CMM používá pro měření.
Konečná část je sonda nebo laserový skener



Na kartě Nástroje klepněte na tlačítko **Vytvořit**.

Vytvořte nástroj přidáním různých částí ze seznamu. Přidejte tolik dílů, kolik



Vytvořit	Umožňuje vytvoření nové konfigurace zařízení
Upravit	Umožňuje editaci konfigurace stroje
Stůl	Zobrazení různých objektů definovaných v konfiguraci, spolu se svými vlastnostmi. Seznam objektů je založen na aktivní kartě
Vertikální lišta	Umožňuje provádět následující operace: Vytvořit, duplikovat, editovat a vymazat. Tyto operace jsou spojeny s objekty aktivní kartě
3D zobrazení	Okno vykreslování 3D, ve kterém jsou zobrazeny vybrané objekty v tabulce

je třeba. Náhled nástroje by měl představovat fyzický nástroj namontovaný na stroji.

Vytvořit zásobník nástrojů

Zásobníkem nástrojů je stojan používán k častým změnám nástrojů používaných CMM



Na kartě zásobníku nástrojů klepněte na tlačítko **Vytvořit**

Připojit na CNC CMM



Připojení k CNC CMM znamená navázání komunikace s tímto zařízením.

Vyhledání nástroje

Na panelu nástrojů zařízení

Připojení k zařízení / odpojení zařízení




Přehled

Specifikace a konfigurace stroje

Jeden z prvních kroků při práci s plug-in CNC CMM spočívá v zadání jedné nebo více konfigurací stroje.

Na panelu nástrojů sondy klepněte na tlačítko **Vlastnosti zařízení**

V seznamu **Konfigurace** vyberte konfiguraci CMM a potom klepněte na tlačítko  **OK**

Připojit na zařízení

Jakmile je konfigurace dokončena, připojit k zařízení.

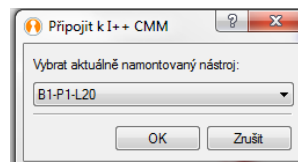
Kliknutím na tlačítko **Připojit k zařízení** se připojit k přístroji.



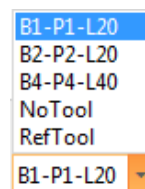
Vybrat z nástrojů

Při připojování k zásuvnému modulu CNC CMM musí být určen nástroj aktuálně namontovaný na stroji. Aktuální nástroj lze poté změnit pomocí panelu nástrojů **Snímací zařízení**.

Vyberte nástroj, který je právě namontovaný na stroji.



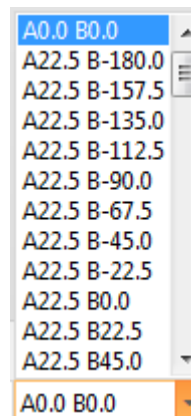
Nástroj je vždy možné změnit pomocí seznamu na Nástroji snímacího zařízení.



Vyberte orientaci nástroje

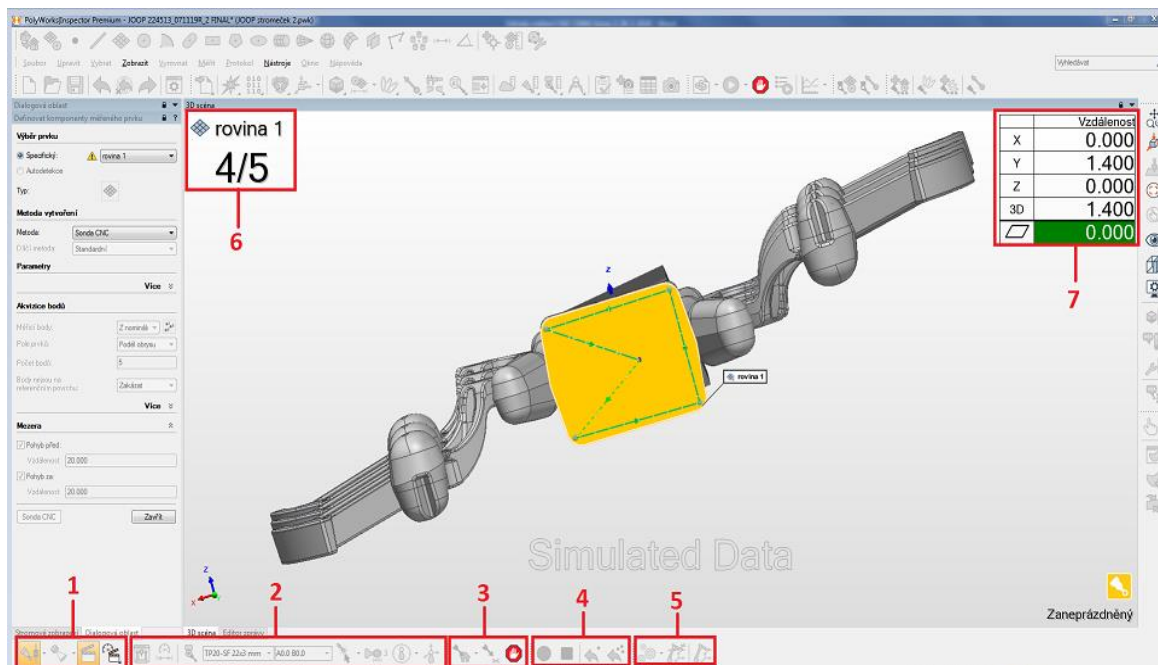
U každého nástroje musí být zadána orientace pomocí úhlu A a B. Úhel A odpovídá svislému pohybu nástroje, zatímco úhel B odpovídá vodorovnému pohybu nástroje.

- Na panelu nástrojů sondy vyberte ze seznamu orientaci nástroje.



Grafické uživatelské rozhraní pro snímání

Při měření tastrem nabízí uživatelské rozhraní různé panely nástrojů pro snímání, informace o stavu sond a digitální čtení.



1. Panel nástrojů zařízení Nabízí položky pro připojení k zařízení

2. Panel nástrojů sondy	Nabízí rychlý přístup k nastavení vlastností snímacího zařízení
3. Panel nástrojů pro ovládání snímacího zařízení	Slouží k ovládání snímacího zařízení (například k návratu do výchozí polohy, k určité poloze nebo k přerušení jakéhokoli pohybu zařízení)
4. Panel nástrojů kontroly sondy	Slouží k ovládání prováděné relace sondy
5. Panel nástrojů pro umístění zařízení	Nabízí rychlý přístup k činnostem souvisejícím s polohou zařízení, jako je definování cílů, přesunutí zařízení a správa pozic a cílů zařízení
6. Stav sondy	Zobrazuje průběh v zachycování bodů
7. Souřadnice sondy	Zobrazuje informace o poloze sondy v reálném čase a informace týkající se snímaného objektu

Vyhledání referenční koule a zásobníku nástrojů

Jakmile jsou vytvořeny referenční koule, musí se jejich pozice upřesnit na měřicím stole s ohledem na souřadný systém stroje před tím, než mohou být použity ke kalibraci nástrojů.



Vyhledání nástroje

Na panelu nástroje sondy

Najít referenční kouli nebo najít zásobník nástrojů



Přehled

Referenční koule

První referenční koule je automaticky umístěna, jakmile je kalibrována první orientace nástroje nebo jakmile je kalibrována hlava sondy; jakékoli další referenční koule musí být umístěny vzhledem k první referenční kouli.

Když se změní umístění referenční koule – například referenční koule se odstraní a znovu nainstaluje, přesune nebo změní, referenční koule se musí znovu umístit. Tato operace se používá k vyrovnání všech kalibrací provedených v referenční sféře. Tím se zabrání opětovné

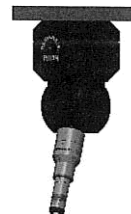
kalibraci všech orientací nástroje kalibrovaných pomocí referenční koule.

Zásobník nástrojů

Zásobník, nástrojů je umístěný snímáním pomocí kalibrované orientace nástroje. Musí být znovu umístěny, kdykoli se změní jejich umístění.

Vytvoření kalibrace a orientace nástroje

Inspekční projekt používající CNC CMM zařízení vyžaduje alespoň jeden nástroj a pravděpodobně více orientací nástroje pro dokončení měření součástí. Orientace nástrojů jsou spravovány v panelu Nástroje a orientace nástrojů, který poskytuje přístup k existujícím nástrojům, souvisejícím orientacím nástrojů a kalibračním informacím, pokud jsou k dispozici.



Vyhledání nástroje

Na panelu nástroje sondy:

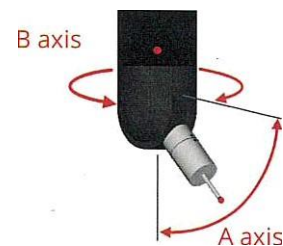
Nástroje a orientace nástrojů



Přehled

Úhel A a B

Pro každý nástroj musí být orientace zadána pomocí úhlu A a B. Úhel A odpovídá svislému pohybu nástroje, zatímco úhel B odpovídá vodorovnému pohybu nástroje.



Nástroje a orientace nástroje v tabulce

Nástroje a orientace nástrojů nabízí kartu **Seznam** a **Tabulka**, jakož i svislý panel nástrojů používaný k provádění různých operací.

Nástroje a orientace nástroje

Nástroj: [Vše]

Název	A	B	Typ kalibrace	Datum a čas kalibrace	Průměr hrotu	Odh. RMS
A67.5 B-22.5	67.5	-22.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:23	3.000	0.000
A67.5 B0.0	67.5	0.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:23	3.000	0.000
A67.5 B22.5	67.5	22.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:23	3.000	0.000
A67.5 B45.0	67.5	45.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A67.5 B67.5	67.5	67.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A67.5 B90.0	67.5	90.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A67.5 B112.5	67.5	112.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A67.5 B135.0	67.5	135.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A67.5 B157.5	67.5	157.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A67.5 B180.0	67.5	180.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-180.0	90.0	-180.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-157.5	90.0	-157.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-135.0	90.0	-135.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-112.5	90.0	-112.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-90.0	90.0	-90.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-67.5	90.0	-67.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-45.0	90.0	-45.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B-22.5	90.0	-22.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B0.0	90.0	0.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B22.5	90.0	22.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B45.0	90.0	45.0	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000
A90.0 B67.5	90.0	67.5	Dotekový spouštěč	1.4.2019 15:12:24	3.000	0.000

Seznam Mřížka

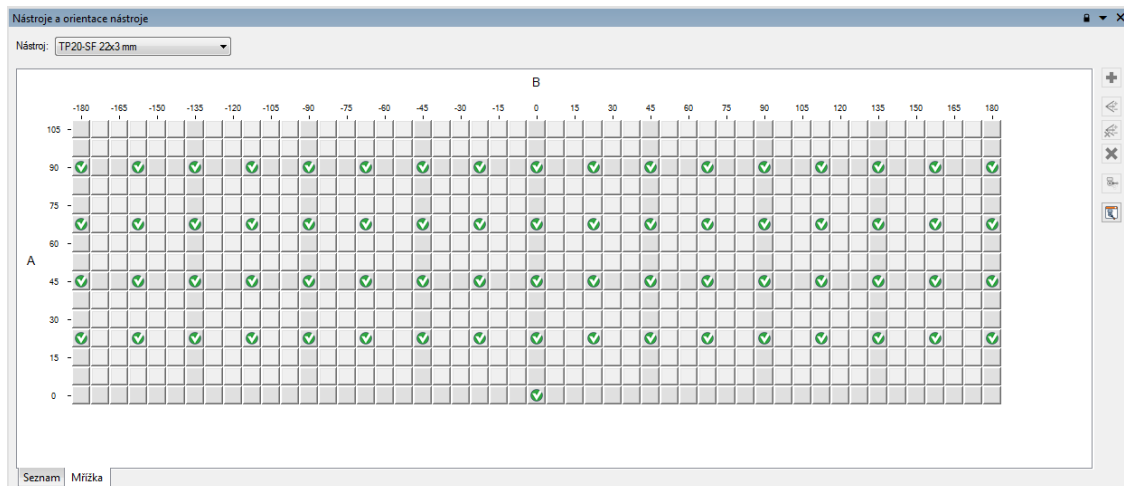
Karta seznamu

Karta Seznam představuje orientaci nástrojů pro všechny nástroje nebo pro vybraný nástroj ve formě seznamu, který ve výchozím nastavení zobrazuje následující informace: Název, Úhel A a B, Typ kalibrace, Datum a čas kalibrace, Průměr kuličky a RMS Dev.

Po připojení k CNC CMM se aktuální orientace nástroje a nástroje stroje zobrazí tučně.

Karta mřížky

Karta Mřížka představuje orientace nástroje pro vybraný nástroj ve formě mřížky pro možné kombinace úhlů A a B.



Orientace kalibrace

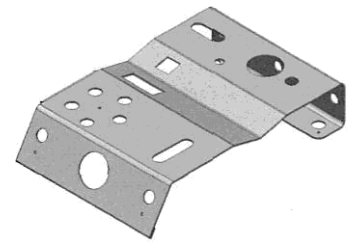
Aby bylo možné měření sondou nebo skenování s nástroji definovanými pro stroj, musí být orientace nástroje vytvořena a kalibrována na referenční oblast.

- Na kartě Seznam nebo Mřížka, vyberte orientaci nástroje, která má být kalibrována
- Klepněte na: **Kalibrovat orientaci**



Import CAD Modelu

CAD modely značně zjednodušují definování nominálních geometrií a rozměrů. Import CAD modelu je zásadní krok v procesu kontroly součástí.



Vyhledání nástroje

Soubor → **Nahrát** → **CAD model**



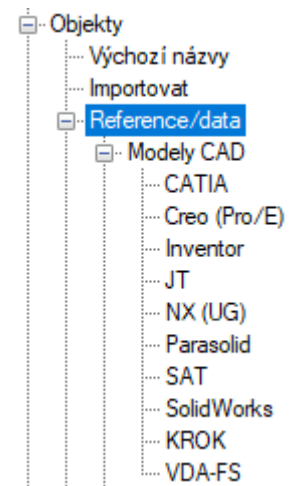
Přehled

Soubor CAD může být v neutrálním formátu (IGES nebo STEP souboru) nebo v nativním formátu (jako CATIA, NX, Pro / E, SolidWorks, nebo Inventor).

Některé CAD platformy mají možnost přidat do modelu geometrické kótovací a toleranční prvky. V závislosti na formátu souboru CAD mohou možnosti importu zahrnovat extrahování prvků a jejich vlastností a také import modelu s informacemi GD&T (geometric dimensions&tolerances).

V PolyWorks

Otevřete **objekty** → **Reference / Data** → **CAD modely** → **[Zvolit formát]** stránku souboru.



Vyberte možnost **Importovat vlastnosti přístroje**

Importovat prvky a vlastnosti

Určené povrchy použité pro výpočty

PolyWorks | Inspector zobrazí importovaný model CAD jako referenční objekt pomocí mozaikového polygonálního povrchu. Výpočty Data Reference mohou používat buď mozaikové polygonální povrchy nebo definici povrchu NURBS obsaženou v CAD modelu.

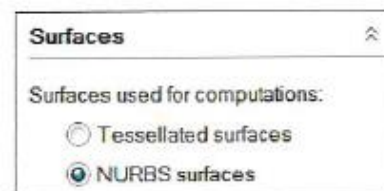
Výpočty odchylek mezi daty a referenčními hodnotami vůči povrchu NURBS jsou nejpresnější, ale přichází s delší dobou zpracování pro daný počet bodů.

NURBS plochy by měly být použity, pokud:

- Se používají zařízení s vysokou přesností, jako jsou CNC CMM.
- Se používají snímací zařízení, která sbírají nízký počet datových bodů.

Chcete-li nastavit parametr:

- Vyberte model CAD ve stromu
- Vyberte *Editovat* → *Vlastnosti objektu*
- Na záložce *reference* v sekci *Plochy*:
 - Nastavte plochy používané pro výpočty na *povrchy NURBS*.



1.5 Kontrolní otázky

1. Jak se provádí změna orientace nástroje tastru?
2. Jaké jsou způsoby upnutí dílce na měřicí stůl?
3. Jak lze importovat CAD model?
4. Jaké jsou požadavky na měřicí stůl?
5. Jaká jsou označení povrchu?
6. Jaká je značka kolmosti?

1.6 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.

2 Definice a měření prvků na CAD datech, vyrovnání na CAD model, tvorba souřadných systémů

2.1 Klíčová slova

měření, body, nástroje, prvky, CAD

2.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je postupně vysvětlit postup měření prvků. Dále student by měl pomocí této kapitoly být schopen základních úkonů přímo v programu.

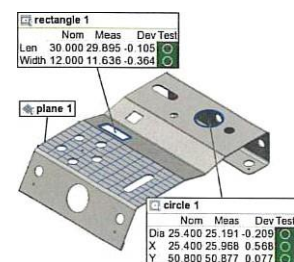
2.3 Úvod do kapitoly

Tato kapitola se věnuje definici a měření prvků na CAD datech, vyrovnání na CAD model a tvorba souřadných systémů. Pro snadné pochopení dané problematiky je text doplněn obrázky přímo z programu.

2.4 Výklad

Měření rozměrů součásti pomocí prvků

Prvky definují geometrické vlastnosti součásti, jako jsou díry a rovinné povrchy, a obvykle se používají pro účely zarovnání součásti a pro účely kontroly rozměrů.



Vyhledání nástroje

Měření → Vlastnosti → Vytvořit

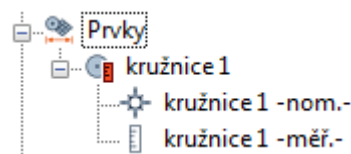


Součásti

Prvek obvykle obsahuje jmenovitou a / nebo měřenou složku, také označovanou jako primitiva.

Jmenovitý prvek představuje teoretické nebo ideální měření, jaké se nachází na modelu CAD.

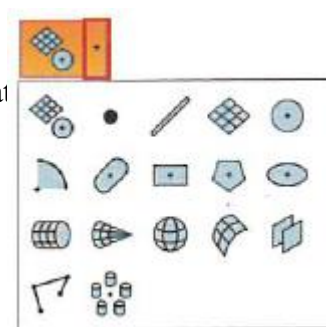
Měřený prvek je vytvořen z datových bodů naměřených na právě kontrolované části.



Druhy

Více typů: umožňuje extrahování primitiv automaticky nebo interaktivně z referenčních objektů založených na CAD nezávisle na jejich příslušných typech (kruhy, válce, roviny at

Individuální typ: rozbalte rozevírací nabídku typu prvku a vyberte, který typ prvku chcete vytvořit.



Způsob vytváření

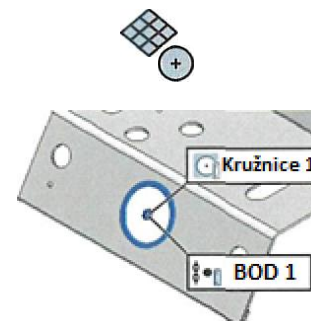
1. Kliknout na kružnici (střed, obvod kružnice), následně je zvýrazněna.
2. Stisknutím MEZERNÍKU přerušte režim a otočte / přeložit model.
3. Stisknutím MEZERNÍKU obnovíte režim výběru.

Numericky

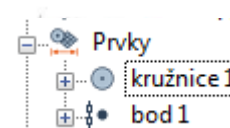
funkce lze vytvořit numericky pomocí matematických definic. Tato metoda vytváření nabízí parametry specifické pro typ vytvářeného primitiva.

Z objektů a od průsečíků

Při vytváření prvků pomocí konstrukčních metod, například z objektů nebo z průsečíků, se nabízí výběrové pole pro výběr metody. Pokud jsou objekty požadované pro konstrukci předem vybrány ve stromovém zobrazení, je automaticky určen odpovídající konstrukční objekt

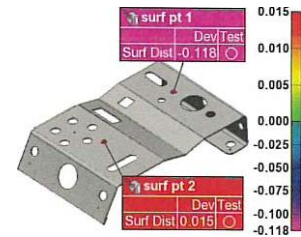


Když je prvek konstruován pomocí existujících objektů v projektu, nově vytvořené prvky jsou závislé na nadřazených objektech použitých k jejich vytvoření. To znamená, že jakékoli změny provedené v nadřazených objektech povedou k přepočtu závislých funkcí.



Měření povrchových odchylek na konkrétních místech

Srovnávací bod povrchu je měřicí objekt vytvořený ve specifických souřadnicích na povrchu referenčního objektu a měří odchylky datového objektu od referenčního objektu na těchto specifických souřadnicích.



Vyhledání nástroje

Měření → Srovnávací body → Vytvořit → Body povrchu

Vyvf



Přehled

Způsob vytváření

Srovnávací body povrchu jsou obvykle vytvářeny na povrchu referenčních objektů těmito způsoby:

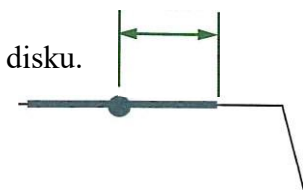
Ukotvení: Body jsou ukotveny přímo na povrchu referenčního objektu ve 3D scéně.

Numericky: Souřadnice dialogu se zadávají v dialogu pro vytváření.

Z textového souboru: .txt soubor je vyvolán z dialogu vytvoření výběrem tlačítka procházení.

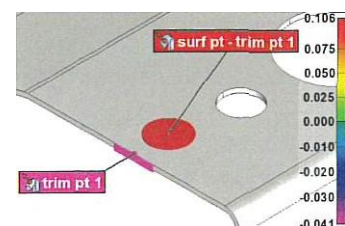
Klíčové informace

Každý srovnávací bod má ve výchozím nastavení kruhovou zónu, ve které bude měření. Měřicí oblast má poloměr, což odpovídá poloměru disku.



Srovnávací hranový bod

Srovnávací hranový bod je měřicí objekt. Je vytvořen pro získání odchylky na hraně měřené součásti, na konkrétních souřadnicích. Geometrie součásti může být získána sondou měřené komponenty srovnávacího bodu oříznuté hrany.



Vyhledání nástroje

Měření → Srovnávací body → Vytvořit → Bod hrany



Přehled

Jak vytvořit body

Srovnávací hranové body jsou obvykle vytvářeny na povrchu referenčních objektů pomocí:

Ukotvení: Tato metoda umožňuje vytvářet porovnávané body oříznutí hran ukotvením na ploše referenčního objektu.

Ukázková referenční křivka: Tato metoda umožňuje vytvořit rovnoměrně rozložené srovnávací body hrany pomocí matice referenčních objektů.

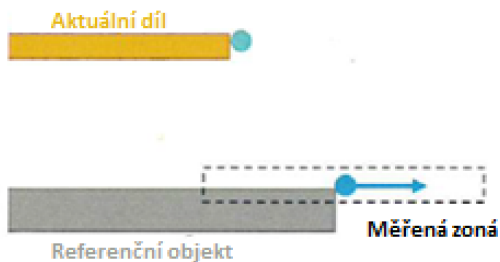
Klíčové parametry

Ve výchozím nastavení se při vytváření srovnávacích bodů okrajů vytvoří zadní bod. Zadní bod je srovnávací bod povrchu posunutý od okraje součásti.



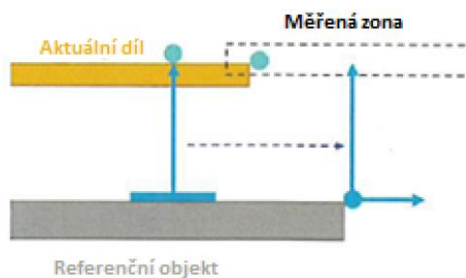
Zadní bod lokalizuje skutečnou plochu dílu před snímáním hranového bodu, čímž zajišťuje, že deformace skutečného tvaru součásti nezabrání kontrole hrany.

Bez zpětného bodu



Skutečná část je příliš vychýlená. Není možné změřit okraj skutečné části

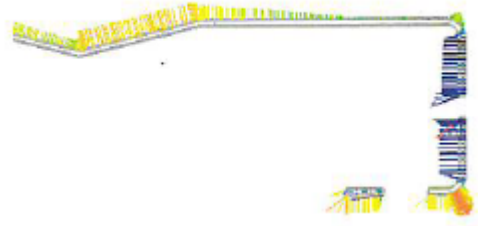
Se zpětným bodem



Měřicí zóna se pohybuje podle povrchové odchylky měřené pomocí zadního bodu. Potom je možné změřit okraj skutečné části

Analýza součásti podél roviny řezu

Průřezy jsou měřicí nástroje používané pro 2 D kontrolu povrchů. Umožňují vypočítat odchylky podél profilů získaných z rovin řezání.



Vyhledání nástroje

Měření → Průřezy → Vytvořit → Standardní průřez



Přehled

Standardní průřezy

Standardní průřez je vytvořen protínáním zarovnaných referenčních a datových objektů s rovinou průřezu, která je ohraničena měřicí zónou.

Způsob vytváření

K vytvoření průřezů použijte jednu z metod vytváření:

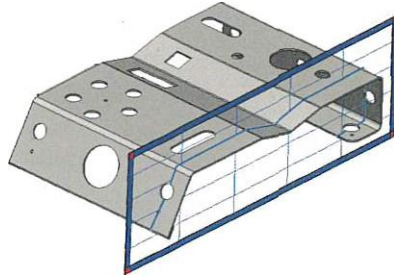
Podél standardní osy: Umožňuje vytvoření průřezu kolmého ke standardní ose systému, například k ose X. Pro dosažení očekávaných výsledků se doporučuje mít správně orientovaný souřadnicový systém.

Podélná křivka: Umožňuje vytvořit průřez kolmý na křivku. Zahrnuje určení typu křivky, která se má použít, a pak určení umístění průřezu podél křivky.

Radiální: umožňuje vytvořit průřez, který vyplývá z axiálního primitiva, jako je válec nebo kužel.

Zóna měření

Měřicí zóna definuje 3D limity procesu a vymezuje rovinu řezu. Jak je vidět napravo, je to modrý obdélník s červenými rohy. Rozměry měřicí zóny jsou definovány během vytváření průřezu a lze je upravovat přetažením stran obdélníku.

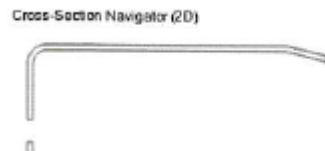


Zobrazit

Průřezový navigátor

Navigátory objektů jsou specializované nástroje, které umožňují prohlížení objektů jeden po druhém. Je užitečné zkontrolovat vytvoření a výsledky průřezů pomocí Navigátoru průřezů, aby bylo možné každý průřez vizualizovat samostatně.

Vybrat pohled → Navigátor objektů → Průř



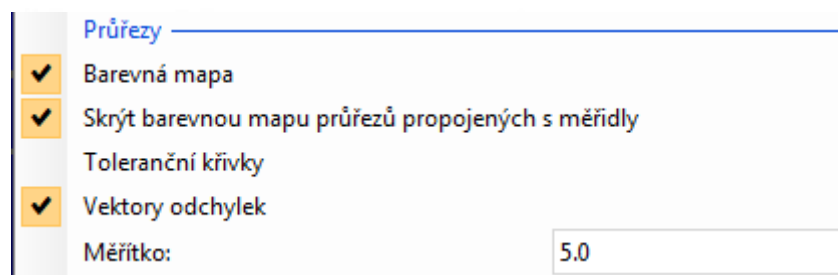
Volby zobrazení

K dispozici je řada možností zobrazení pro vizualizaci průřezů se zachycenou nominální a geometrií součásti.

Vyberte **možnosti zobrazení objektu**



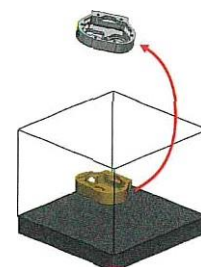
V průřezech je k dispozici několik možností zobrazení. Jsou k dispozici, pouze pokud je vybrána barevná mapa.



Zarovnání naměřené části na CAD model

Zarovnání pomocí předběžného zarovnání CMM

Metoda rychlého předběžného přiřazení CMM, která nejprve porovnává osy zařízení CMM s osami referenčního objektu (obvykle modelu CAD) a poté se měří bod zarovnání pro umístění součásti.



Vyhledání nástroje

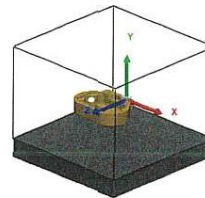
Zarovnění → CMM před zarovnění



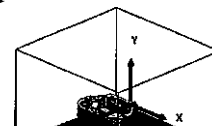
Přehled

Operace využívá referenční objekt, který by měl být umístěn vhodně vzhledem k osám souřadného systému, a odpovídající části instalovaná v pracovním objemu CMM. Toto zarovnění se provádí ve dvou krocích.

- **Shoda os:** Orientujte CMM výběrem správné shody osy s referenčním objektem

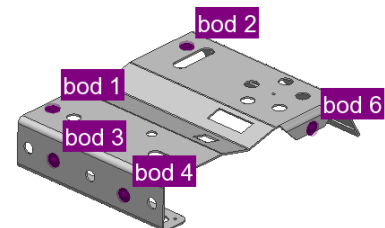


- **Bod zarovnění:** Pro umístění součásti je nutný bod zarovnění.



Srovnání pomocí snímání povrchových bodů

Způsob srovnání povrchových snímaných bodů se používá k srovnání snímaných bodů s body ve stejných místech na referenčním objektu. Tento nástroj předběžného srovnání velmi usnadňuje vizualizaci a přístup k dalším operacím.



Vyhledání nástroje

Srovnání → Povrchové body

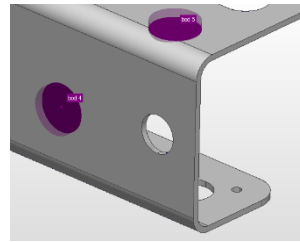


Přehled

Způsob vytváření

- **Ukotvit:** Ukotvit šest bodů v referenčním objektu, které budou použity pro srovnání

Všech šest stupňů volnosti by mělo být omezeno použitím metody 3-2-1 srovnání.



Metoda měření

- o **Zdrojové body sondy:** Na fyzické součásti sondujte stejných šest bodů ve stejném pořadí



Srovnání měřené součásti k referenčnímu objektu

Srovnání pomocí povrchů objektu

Srovnání je operace, která přenesení datový objekt do souřadnicového systému referenčního objektu. Neboli, dostupná naskenovaná data vybraných datových objektů na povrch referenčních objektů (model CAD).



Vyhledání nástroje

Srovnání → Best-Fit Datové objekty → Data do referenčních objek



Přehled

Toto srovnání se provádí ve dvou krocích. Za prvé, předběžné srovnání se provádí pro přiblížení naskenovaných dat k referenčnímu objektu. Poté se provede samotné srovnání, což je optimalizační krok pro minimalizaci odchylek datových bodů ve vztahu k povrchu referenčního objektu.

Předběžné srovnání


Pro správnou funkci automatického předběžného srovnání musí datový objekt pokrýt většinu referenčního objektu a referenční objekt nesmí mít symetrický tvar.

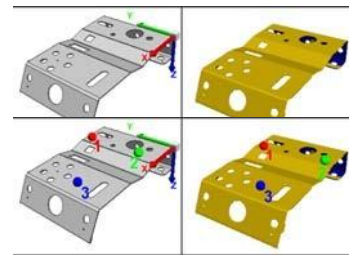
Dostupné metody jsou:

- **Automatické:** Toto je standardní metoda.
- **Bodové páry:** V případě, že automatické předběžné srovnání nepřinese výsledek, je možné předběžné srovnání provést ručně, pomocí jedné z metod **Bodových párů**.

Srovnání bodových párů

Po vstupu do režimu se referenční objekt a datový objekt zobrazí v samostatných oknech.

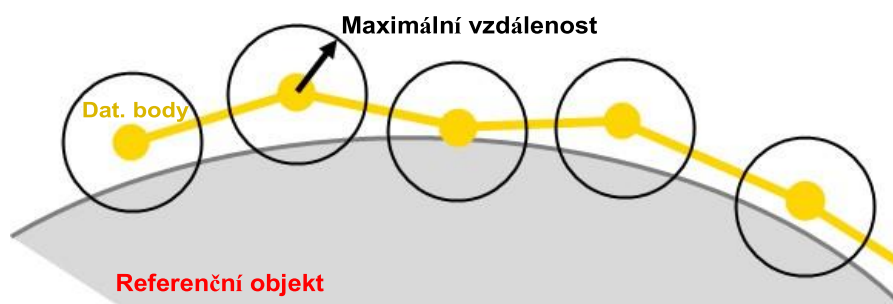
- Klepněte na tlačítko **N Bodových párů**. 
- Přesunutím referenčního objektu (vlevo) a objektu Data (vpravo) budou mít objekty podobnou orientaci. To usnadňuje výběr párů bodů v podobných oblastech.
- Ukotvíte odpovídající body na obou objektech pomocí stejného pořadí. Jsou požadovány minimálně tři páry bodů. Body jsou zobrazeny pomocí stejné barvy a stejného čísla v dolním indexu.
- Klepněte pravým tlačítkem myši pro dokončení operace.



Maximální vzdálenost

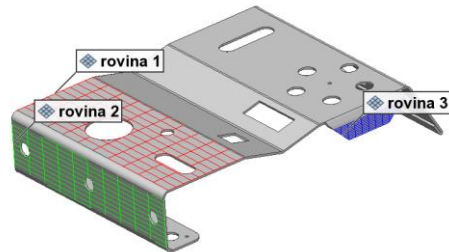
Maximální vzdálenost je poloměr vyhledávání používaný k přiřazení datových bodů k povrchu referenčního objektu.

Pokud je datový objekt výrazně odchýlen od referenčního objektu, zvyšte maximální vzdálenost tak, aby odpovídala datovým bodům povrchu referenčního objektu



Srovnání pomocí kolmých rovin

Metoda srovnání kolmých rovin srovná datový objekt k referenčnímu objektu tím, že srovná tři roviny (rovinné prvky).



Vyhledání nástroje

Srovnání → Prvkově založené → Založené na kolmých rovinách



Přehled

Roviny se musí protínat v prostoru, aby mohly být použity pro toto srovnání.

Pořadí, ve kterém jsou roviny uvedeny, je důležité. První rovina je primární rovina a má přednost před druhou a třetí rovinou při srovnávání.

- **Zdroj**

Měřené části rovinných prvků použité pro srovnání by měly být ve sloupci **Zdroj**.

	Zdroj	Váha
1. rovina:	rovina 1 -nor	1,000
2. rovina:	rovina 2 -nor	1,000
3. rovina:	rovina 3 -nor	1,000

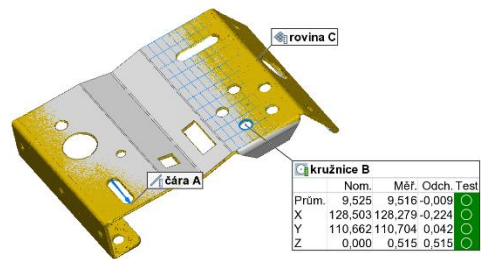
- **Destinace**

Odpovídající nominální části rovinných prvků by měly být ve sloupci **Destinace**.

	Cíl
<input checked="" type="radio"/>	rovina 1 -nor
<input type="radio"/>	rovina 2 -nor
<input type="radio"/>	rovina 3 -nor

Srovnání pomocí roviny, osy a středového bodu

V metodě srovnání pomocí roviny, osy a středového bodu je používána k srovnání datových objektů na referenční objekty dvojice rovinných prvků: směrové prvky a prvky středových bodů.



Vyhledání nástroje

Srovnání → Založené na prvcích → Rovina, osa, středový bod



Přehled

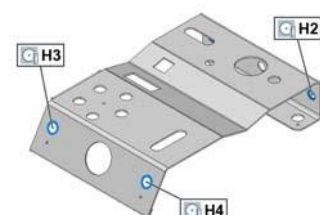
Měřená součást objektu je přiřazena jako zdrojový objekt, zatímco jeho nominální součást je přiřazena jako cílový objekt.

- **Sekvence:** Nastavuje posloupnost, v jakém pořadí jsou prvky upřednostňovány.
- **Zdroj:** Měřené prvky součásti použitých pro srovnání by měly být specifikovány jako zdrojové objekty.
- **Destinace:** Nominální (jmenovité) prvky součásti k srovnání by měly být uvedeny jako destinace.

Název:	rovina_osa_stredovy_bod_1
Sekvence:	Rovina, vektor, středový bod
Parametry	
Rovina	
Zdroj:	rovina C - nom. -
Cíl:	rovina C - měř. -
Osa	
Zdroj:	čára A - nom. -
Cíl:	čára A - měř. -
Středový bod	
Zdroj:	kružnice B - nom. -
Cíl:	kružnice B - měř. -
<input type="button" value="Potvrdit"/> <input type="button" value="Zrušit"/>	

Best-fit

Tato metoda srovná měřené prvky objektu měření s odpovídajícími nominálními prvky. Může být použita celá řada měřených objektů.



Srovnání → *Best-Fit měřené objekty*



Přehled

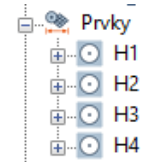
Tato metoda srovnání minimalizuje vzdálenost mezi měřenými datovými body nebo změřenou geometrií měřených objektů k nominální geometrii měřených objektů.

Součást by měla být před-srovnána k referenčnímu objektu. Je však možné specifikovat předběžnou úpravu před provedením srovnání Best-fit měřených objektů.

K dispozici je několik technik srovnání na základě typů použitých objektů měření. Je možné použít:

- **Prvky** (všechny typy s výjimkou vzdálenosti, úhlů, desek a křivek)
- **Srovnání bodů**

Je doporučeno vybrat objekty, které budou použity pro srovnání ve stromovém zobrazení před přístupem k srovnání měřicích objektů Best-Fit.



Vybrané objekty jsou automaticky přidány do podokna.

Klíčové parametry

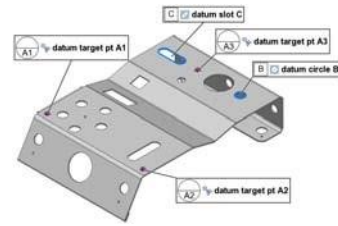
- **Automatické před-srovnání:** Proveďte automatické před-srovnání za účelem lepšího výsledku v situacích kdy jsou objekty daleko od sebe a jsou možná různá optimalizační řešení.
- **Určete směr srovnání (X, Y, Z)** pro každý objekt.
- Best-fit měření objektů – Panel s Nastavením a výsledky

Použití X, Y, Z viz obr.

Srovnání pomocí datového referenčního rámce

Datový Referenční rámec (DRF) je odkaz, který slouží k orientaci

a lokalizaci objektů v prostoru. DRF se může skládat z datových prvků s nominálními a měřenými primitivy. Může se také skládat z datových bodů. DRF slouží k orientaci a lokalizaci tolerančních zón, které jsou kontrolovanými prvky geometrického kótování a tolerance (GD&T).



Vyhledání nástroje

Srovnání → **Datový referenční rámeček** → **Srovnání**



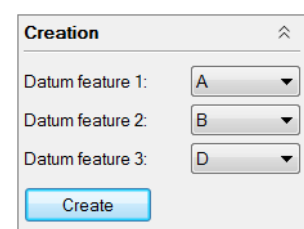
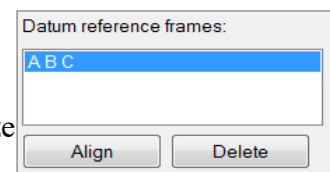
Přehled

Tato metoda umožňuje srovnat datové objekty na definovanou DRF pomocí vztažných bodů nebo pomocných cílů, které jsou již změřené, a to buď s použitím metody extrakce, nebo metody snímání.

- **Vybrat:** **Srovnání** → **Datový referenční rámeček** → **Srovnání**
- DRF je již specifikováno v rámci kontroly prvků GD & T, kontrolované prvky se automaticky objeví v seznamu. Vyberte existující DRF a proveďte srovnání.

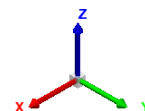


- Vytvořte novou DRF z dialogového okna. Poté ji vyberte ze seznamu a proveďte srovnání



Vytvoření souřadnicového systému

Souřadnicový systém popisuje nulový bod a orientaci měřícího objektu.



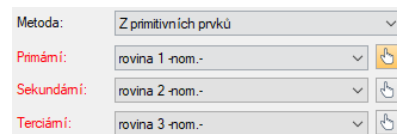
Nástroje → Souřadnicové systémy → Vytvořit Kartézský



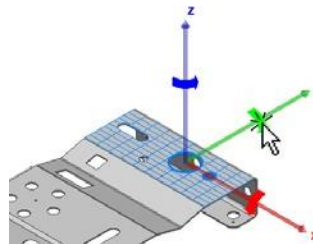
Přehled

Kartézské souřadnicové systémy mohou být vytvořeny následujícím způsobem:

- Z primitiv: Vybrané primitivy definují souřadnicový systém.



- Volitelné: kliknutím na barevnou šipku na ose se ostatní osy kolem ní otočí o 90 stupňů, čímž se změní jejich směr.



2.5 Kontrolní otázky

1. Jaké jsou způsoby vyrovnání na CNC CMM?
2. Definujte souřadnicový systém.
3. V čem spočívá zarovnání pomocí Best-fit?
4. V čem spočívá srovnání bodových párů?
5. K čemu slouží průřez dílcem?

2.6 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.

- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.
- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM. Praha 2016. Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. Bakalářská práce (Bc.) VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.

3 Vyhodnocení naměřených hodnot, GD&T, finalizace programu, protokol

3.1 Klíčová slova

měření, program, protokol, kontrola, nástroj

3.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je správně vyhodnotit naměřené hodnoty a následně vytvořit protokol o měření.

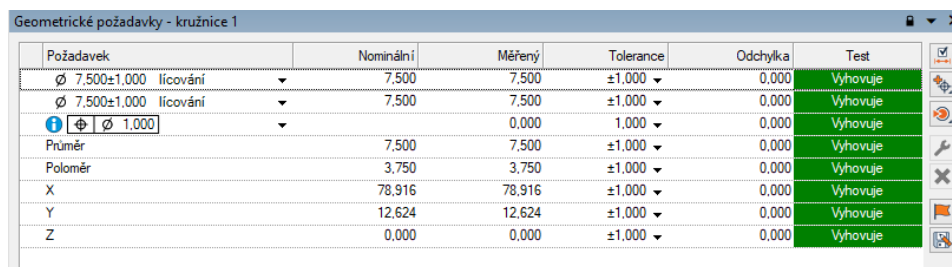
3.3 Úvod do kapitoly

V rámci této kapitoly je podrobně rozebráno vyhodnocení naměřených hodnot a vytvoření protokolu. Jednotlivé úkony v programu jsou doplněny obrázky přímo z programu.

3.4 Výklad

Nastavení rozměrových a GD&T kontrolních prvků a tolerancí

Panel Geometrické požadavky umožňuje přidávat, odebírat a upravovat kontrolované prvky geometrických charakteristik měřených objektů.



Požadavek	Nominální	Měřený	Tolerance	Odchylka	Test
∅ 7.500±1.000 lícování	7.500	7.500	±1.000	0.000	Vyhovuje
∅ 7.500±1.000 lícování	7.500	7.500	±1.000	0.000	Vyhovuje
∅ 1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	Vyhovuje
Průměr	7.500	7.500	±1.000	0.000	Vyhovuje
Poloměr	3.750	3.750	±1.000	0.000	Vyhovuje
X	78.916	78.916	±1.000	0.000	Vyhovuje
Y	12.624	12.624	±1.000	0.000	Vyhovuje
Z	0.000	0.000	±1.000	0.000	Vyhovuje

Vyhledání nástroje

Měření → Geometrické požadavky



Druhy kontrol

Kontrola rozměrů: kontroluje různé geometrické charakteristiky měřených objektů V rámci tolerance.

Kontrolní prvky GD&T (pouze prvky): kontroluje přesné geometrické rozměry prvků podle norem ASMEY 14.5 a ISO.

Klíčové informace

Podokno kontrolních prvků geometrie umožňuje pro objekt měření následující:

- Revizi všech rozměrů, kontrolu nominálních hodnot, kontrolu naměřených hodnot a jejich odpovídajících úchylek
- Vybrat rozměry pro toleranci
- Vytvořit kontrolní prvky GD&T pro prvky
- Upravit toleranci kontrolních prvků

Upravení tolerance kontrolních prvků

Podokno kontrolních prvků geometrie umožňuje vybrat, které rozměry se použijí jako kontrolní. Kontrolní prvky jsou zobrazené v okně a lze je odpovídajícím způsobem reportovat.

- V rozbalovacím seznamu vyberte požadované kontrolní prvky.



Toleranční hranice


Každému jednotlivému kontrolnímu prvku je přiřazena tolerance, sestávající z horních a dolních mezí tolerance.

Pro každý kontrolní prvek, se mohou hodnoty:

- editovat ručně zadáním hodnoty.
- editovat přiřazením šablony tolerance, která obsahuje předdefinované limity tolerance.

Toleranční hranice:

Horní tolerance:	<input type="text" value="1.000"/>
Spodní tolerance:	<input type="text" value="-1.000"/>



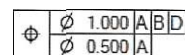
Přidání kontrolní prvků GD & T

Kontrolní prvky GD&T jsou k dispozici prostřednictvím ovládacího panelu geometrie. Lze je přidat pouze k funkcím. Vyberte funkci a klikněte na **Přidat kontrolu GD&T**. Zobrazí se



seznam nástrojů GD&T, které lze k vybrané funkci přidat, spolu s jejich příslušnými symboly.

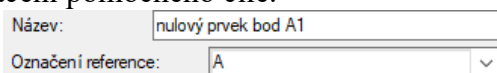
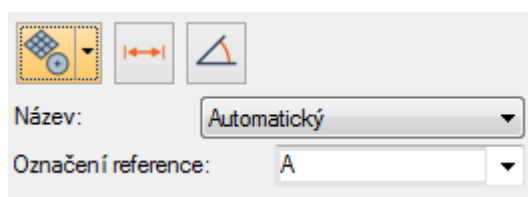
Vyplňte kontrolní rámeček prvku na technickém výkresu



Přiřazení počátku štítků

Počátky musí být definovány před tím, než budou použity v okně pro ovládání prvků

- K funkcím lze přiřadit označení počátku.
- Přiřaďte pomocný štítek v seznamu vlastností
- Vlastnosti. **Vybrat editovat** → **Vlastnosti objektů**.
- Cílová data lze přiřadit referenčním cílům, referenčním čárám nebo referenčním oblastem.
- Při vytváření referenčního cíle přiřaďte označení pomocného cíle.
- Přiřaďte označení pomocného cíle pomocí listu vlastností referenčního cíle. Zvolte **Úpravy** → **Vlastnosti objektu**.



Revize, report, a sdílení výsledků měření

Control Reviewer nabízí stručný pohled na měřené prvky geometrie. Zobrazuje tabulku kontrolních prvků a nabízí operace k jejich filtrování, třídění a seskupování v okně.

Název objektu	Yr	Požadavek	Yr	Odchyka	Test	Yr
kružnice 1		∅ 25.400±1.000	lokální	0.808	Vyhovuje	
kružnice 1		∅ 1.000		1.048	Nevyhovuje	
kružnice 1		∅ 1.000		0.446	Vyhovuje	
kružnice 1		Průměr		0.386	Vyhovuje	
kružnice 1		X		-0.225	Vyhovuje	
kružnice 1		Y		-0.473	Vyhovuje	
kružnice 1		Z		0.518	Vyhovuje	
válec 1		∅ 9.525±1.000	licování	-0.174	Vyhovuje	
válec 1		∅ 1.000		1.040	Nevyhovuje	
válec 1		∅ 1.000		0.339	Vyhovuje	
válec 1		Průměr		0.050	Vyhovuje	
válec 1		Střední bod X		-0.300	Vyhovuje	
válec 1		Střední bod Y		0.069	Vyhovuje	
válec 1		Střední bod Z		0.000	Vyhovuje	

Vyhledání nástroje

Report → **Control Reviewer**



Přehled

Control Reviewer může být použit pro:

- Přezkoumání výsledků měření různých hodnot.
- Seřídění sloupců pomocí záhlaví sloupce.
- Filtrování sloupců na základě jejich hodnot
- Nastavení 3D zobrazení pro zobrazení vybraného kontrolního prvku
- Vytvářet kontrolní zobrazení z vybraných kontrolovaných prvků nebo všech kontrolovaných prvků.



nebo



nebo



Zobrazení výsledků měření pomocí kontrolního zobrazení

Kontrolní zobrazení lze použít ke kontrole výsledků měření přehledným a strukturovaným způsobem. Kontrolní zobrazení obsahuje seznam měřených prvků a odpovídající 3D zobrazení.

Název objektu	Y	Požadavek	T	Odhledka	Test	T
dráha 1		Délka		1,535	Výsledek	
dráha 1		Šířka		0,262	Výsledek	
dráha 1	X			-0,206	Výsledek	
dráha 1	Y			0,128	Výsledek	
dráha 1	Z			0,453	Výsledek	
krůtice 1		Poměry		0,277	Výsledek	
krůtice 1	X			-0,206	Výsledek	
krůtice 1	Y			-0,227	Výsledek	
krůtice 1	Z			0,526	Výsledek	
krůtice 2		Poměry		0,306	Výsledek	
krůtice 2	X			-0,225	Výsledek	
krůtice 2	Y			-0,473	Výsledek	
krůtice 2	Z			0,519	Výsledek	
pravoúhelník 1		Délka		0,430	Výsledek	
pravoúhelník 1		Šířka		-0,038	Výsledek	
pravoúhelník 1	X			0,089	Výsledek	
pravoúhelník 1	Y			0,163	Výsledek	
pravoúhelník 1	Z			0,913	Výsledek	
krůtice 3		Poměry		0,386	Výsledek	
krůtice 3	X			-0,225	Výsledek	
krůtice 3	Y			-0,473	Výsledek	
krůtice 3	Z			0,519	Výsledek	
vodírna 1		Vzdálenost Y		-0,247	Výsledek	

Vyhledání nástroje

Ze 3D zobrazení:

Report → **Vytvořit kontrolní zobrazení z 3D zobrazení**

Alternativně z Control Reviewer



Kontrolní zobrazení → **Vytvořit**



nebo



Vytvoření kontrolního zobrazení ze 3D zobrazení

Kontrolní zobrazení mohou být vytvořena z objektů zobrazených ve 3D zobrazení.

- Vybrat *Report* → *Vytvořit Kontrolní pohled z 3D zobrazení*



- Volba měřených prvků přidanych ke kontrolnímu zobrazení záleží na viditelnosti popisků objektů. Snímek a tabulka reportu je automaticky generována.

Vytváření kontrolních pohledů z Control Reviewer

- **Vytvořit kontrolní zobrazení z vybraných měřených prvků:**
Vytvoří kontrolní zobrazení z vybraných kontrolovaných prvků v panelu.
- **Vytvořit kontrolní zobrazení:** Vytvoří kontrolní zobrazení ze všech kontrolovaných prvků, také zachovává filtrování listu.



Vytvoření snímků a reportovacích tabulek

Reportování pomocí kontrolních pohledů umožňuje generovat snímky a formátované tabulky sestav, které jsou synchronizovány a propojeny s kontrolními pohledy. Snímky 3D zobrazení a tabulky sestav vytvořené z objektů měření mohou také vhodně zakončit report z měření.



Vyhledání nástroje

Report > → [vyberte volbu níže]

Vytvořit kontrolní snímek a reportovací tabulku z kontrolního 3D zobrazení

Kontrolní pohled vytvořen z 3D zobrazení automaticky generuje snímek a reportovací tabulku, které se přidávají do zformátovaného reportu.

Vytvořit kontrolní snímek a tabulku ze všech kontrolních zobrazení.

Jakmile jsou všechny kontrolních pohledy vytvořeny pomocí nástroje Control Reviewer, je možné vytvářet snímky a tabulky ze všech kontrolních pohledů.



- Vybrat: *Report* → *Vytvoření snímků a tabulek* > → *Ze všech kontrolních Zobrazení*

Vytvoření snímků a tabulek pro specifický kontrolní pohled.

- Vyberte požadované kontrolní zobrazení z kontrolního výběru.
- Klepněte na tlačítko Vytvořit snímek a tabulku pro aktivní kontrolní pohled.



Vytvoření snímku

Reportovací snímky jsou snímky pořízené z 3D zobrazení k reportování modelu a výsledků měření v plném detailu.

- Vybrat **Vytvořit→Reportovací Snímky→Zachycení 3D zobrazení**



Vytvoření reportovací tabulky

Reportovací tabulka je seznam požadovaných informací o jakémkoli objektu měření, jako jsou jmenovité a měřené hodnoty, tolerance, odchylky a stav Vyhovuje / nevyhovuje. Tabulky jsou velmi užitečným nástrojem prezentace výsledků měření.

Vybrat **Report→Vytvořit tabulky→ z objektů.**



Report o výsledcích měření pomocí formátovaných reportů

Vytváření reportů je klíčem k analýze a komunikaci v oblasti kontrolního měření. Report se obvykle sestává z tabulek sestav a snímků součástí, doplněných pozorováním, komentáři a závěry, vše naformátované do tisknutelného dokumentu.






Vyhledání nástroje


Report→Vytvořit formátovaný report


Vytváření formátovaných reportů

Formátované reporty jsou automaticky vytvořeny pokud:

- Jsou reportovací snímek a tabulka vytvořeny z kontrolního 3D zobrazení .
- Jsou snímky a tabulky sestav vytvořeny ze všech kontrolních zobrazení. .

- Jsou reportovací snímek a tabulka vytvářeny z konkrétního kontrolního zobrazení. 

- Jsou vytvořeny reportovací snímky 3D zobrazení. 

- Jsou vytvořeny reportovací tabulky z měřených objektů. 

Jakmile je sestava vytvořena a aktivní, lze do ní přidat další snímky a tabulky. Po dokončení sestavy ji lze exportovat do formátu PDF, a tudíž sdílet libovolným způsobem.

3.5 Kontrolní otázky

1. Jak probíhá nastavení tolerance?
2. Jakým způsobem se vytváří protokol o měření?
3. Jakým způsobem se vytváří snímky a tabulky?
4. Jak lze přidat kontrolní prvky GD & T?
5. Jakým způsobem lze vytvořit reportovací tabulka?

3.6 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.
- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM. Praha 2016. Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. Bakalářská práce (Bc.) VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.

4 Komplexní měření objektů podle zadaných požadavků

4.1 Klíčová slova

měření, CMM, kroky, CNC, CAD model

4.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je pochopit měření zadaného dílu a požadavků.

4.3 Úvod do kapitoly

Měření objektu dle zadaného dílu a jeho výkresové dokumentace. Měření je realizováno podle klíčových kroků, které jsou doplněny obrázky.

4.4 Výklad

Měření a ovládání funkcí pomocí GD&T

Předmětem pro toto cvičení je obrobený kryt. Specifické vlastnosti obrobené součásti je třeba řídit pomocí GD&T, jak je uvedeno na výkresu.

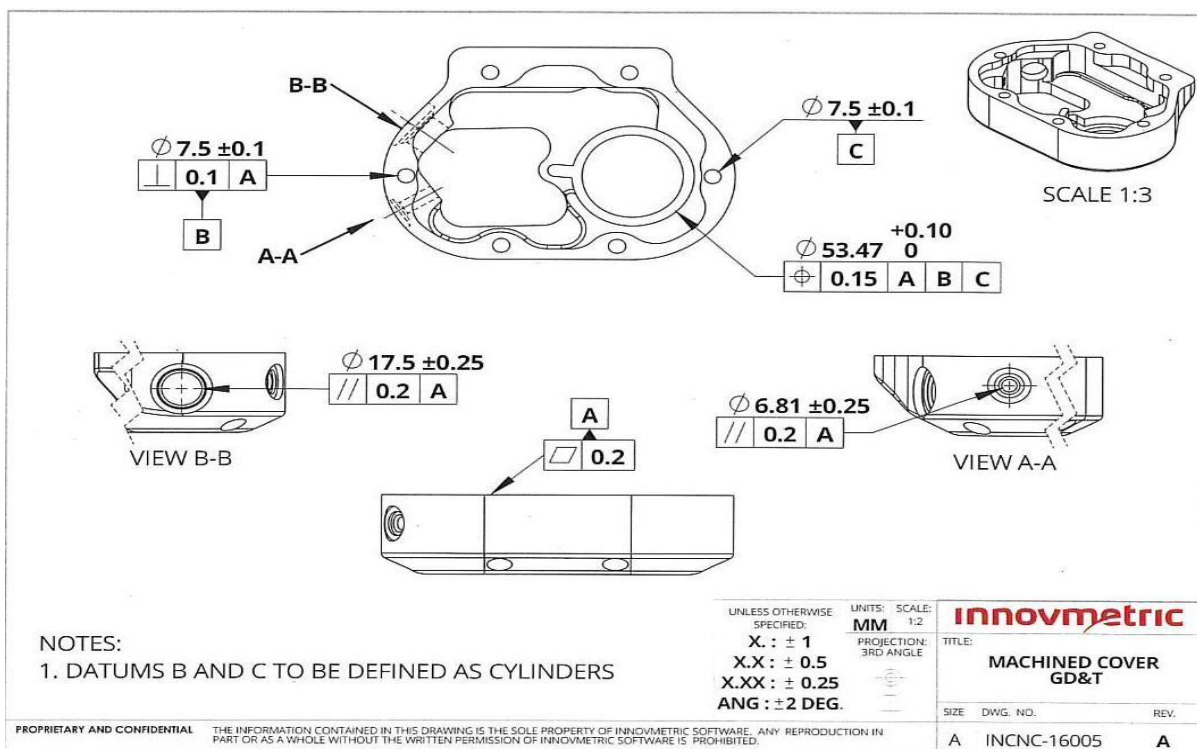
Nejprve pomocí předběžného přiřazení povrchových bodů vyhledejte součást v pracovním objemu CMM. Poté vytvořte funkce pro provedení požadovaného zarovnání referenčního rámce a získejte měření GD&T specifikovaná na výkresu pomocí metody měření CNC snímání. Nakonec zkontrolujte výsledky měření.



Soubor dat

Referenční objekt: CNC Machined Cover.igs

Technický výkres

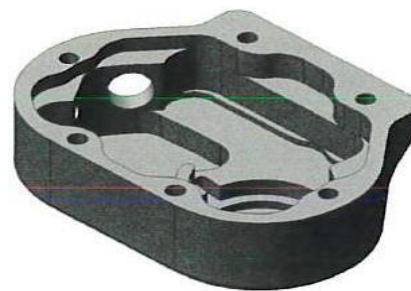
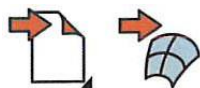


Klíčové kroky

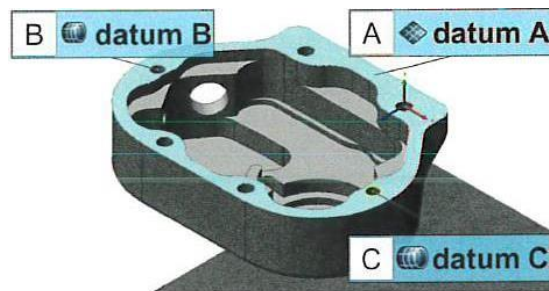
1. Umístěte obrobený kryt na stůl CMM, jak je znázorněno napravo, a před snímáním se ujistěte, že je zajištěný na svém místě. Pro toto cvičení nemusí být orientace součásti čtvercová vzhledem k souřadnému systému CNC CMM, protože pro předběžnou úpravu bude použito zarovnání povrchových bodů.



-
2. Vytvořte nový projekt PolyWorks Inspektor a importujte CAD model CNC obráběného krytu.




-
3. Vytvořte funkce potřebné k provedení zarovnání rámečku „Datum Reference Frame“ a získejte měření specifikovaná na technickém výkresu. Označení vztažných bodů lze přiřadit při vytváření funkce nebo v parametrech funkce.



Přiřazení referenčních bodů k příslušným prvkům je

nutné k tomu, aby bylo možné na ovládaných prvcích vytvářet symetrické GD&T ovládací prvky.

4. Nastavte požadované rozměrové kontrolní prvky, stejně jako kontrolní prvky GD & T a tolerance pro nově vytvořené prvky.

Geometrické požadavky - datum A			
Požadavek	Nominální	Měřený	Tolerance
 0.200			0.200





Při přiřazování kontrolních prvků GD & T jsou nabízeny pouze relevantní kontrolní prvky.

5. Z panelu nástrojů Zařízení se připojte k CNC CMM.



6. Vytvořte novou měřicí sekvenci otevřením Editoru sekvencí a stisknutím tlačítka StartRecording.

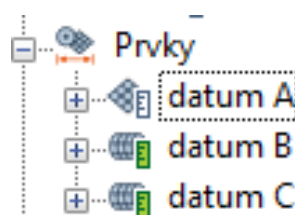
sekvence 1	
Sekvence Upravit Vložit Nástroje	
	
1	Aktivovat: Obecný
2	Posunout zařízení: pozice 1
3	Aktivovat: původní
4	Nástroj: B1-P1-L20



-
7. Aktivujte zaměření „Surface Points“ pro vyhledání části na stole CMM.



-
8. CNC sondujte pomocné prvky po kontrole parametrů bodu a jejich úpravě podle potřeby.



-
9. Proved'te požadované zarovnání referenčního rámce, které používá vztažné body A, B a C.



-
10. Vytvořte a CNC sondujte zbývající funkce válce potřebné k získání měření pro Nástroje GD&T uvedené na technickém výkresu. Upravte parametry získávání bodů a vkládejte do poloh a orientace nástroje změny podle potřeby.



11. Dokončete vlastní sled měření pomocí tlačítka Stop Recording v editoru sekvencí.



12. (Doplňkové) Pomocí Navigátoru funkcí vizualizujte, jak se počítají měření, jako je Pozice nebo Rovinnost.

Navigátor funkcí je přístupný z nabídky Zobrazit > Navigátor objektů nebo kliknutím pravým tlačítkem myši na vybrané funkce.

13. Zkontrolujte výsledky měření

Název ob...	Požadavek	Odchyl...	Test
datum A	0.200		
datum B	Průměr	0.000	Vyhovuje
datum B	Střední bod X	0.000	Vyhovuje
datum B	Střední bod Y	0.000	Vyhovuje
datum B	Střední bod Z	0.000	Vyhovuje
datum C	Průměr	0.000	Vyhovuje

14. Uložte svůj projekt pro použití v následných cvičeních.



4.5 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.

- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.
- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM. Praha 2016. Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. Bakalářská práce (Bc.) VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.

5 Vytvoření kompletní sekvence měření bez zařízení

5.1 Klíčová slova

díl, CAD model, CNC, CMM, 3D

5.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je pochopit měření zadaného dílu a požadavků.

5.3 Úvod do kapitoly

Měření objektu dle zadaného dílu a jeho výkresové dokumentace. Měření je realizováno podle klíčových kroků, které jsou doplněny obrázky.

5.4 Výklad

Předmětem pro toto cvičení je obrobek kryt. Je-li stroj nedostupný, musí být připraven plán měření, který je nutný k provádění automatizované kontroly dílu.

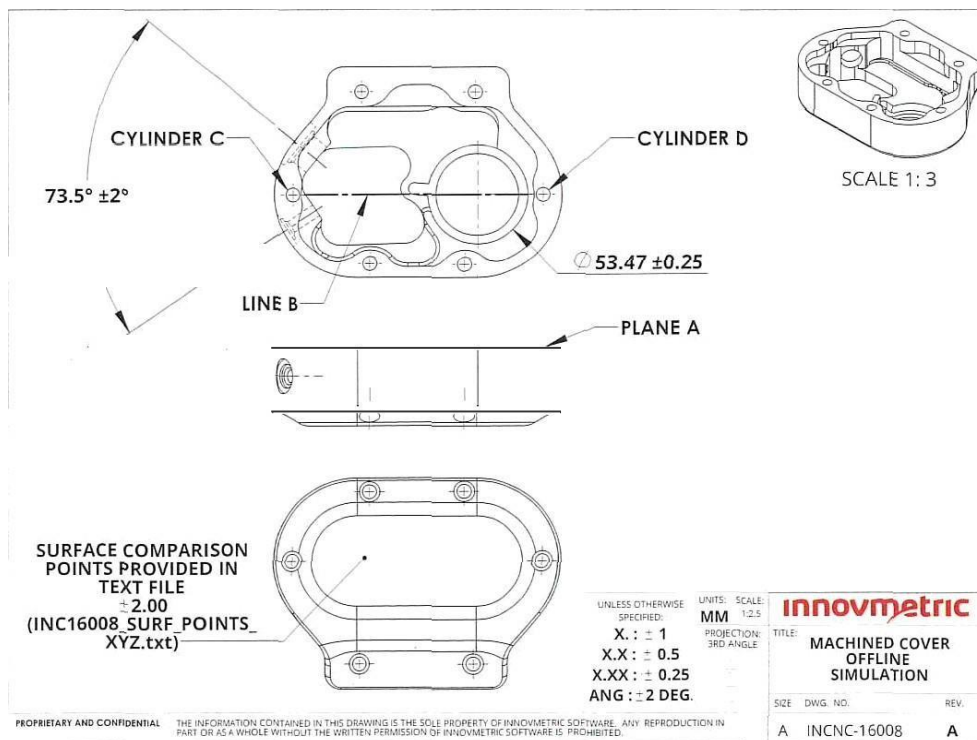
V režimu offline simulace lze plně plně připravit plán měření pro součást bez připojení ke skutečnému stroji. Plán zahrnuje definici požadovaných měřicích objektů, kontrolních prvků a tolerancí, akvizitních parametrů, zarovnání, posloupnosti použité k provedení automatizovaného měření a vytvoření formátované zprávy obsahující výsledky kontroly.



Soubor dat

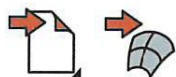
Referenční objekt: CNC Machined Cover.igs

Technický výkres



Klíčové kroky

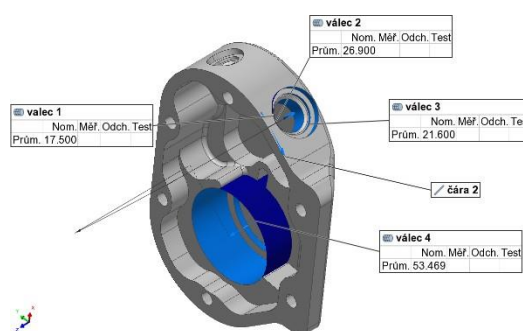
1. Vytvořte nový projekt PolyWorks Inspector a importujte CAD model obráběného krytu.



2. Vytvořte funkce potřebné k provedení zarovnání a získajte měření specifikovaná na technickém výkresu.



Body 1 a 2 jsou vytvořeny z průsečíku os válců a roviny A. Přímka B je přímka, která spojuje body 1 a 2.



1. Pomocí poskytnutého textového souboru vytvořte srovnávací body povrchu potřebné k ověření odchylky na různých místech specifikovaných na technickém výkresu.



Nastavte příslušné tolerance pro rozměrové kontrolní prvky pomocí informací uvedených na výkresu.



Geometrické požadavky - válec 3			
Požadavek	Nominální	Měřený	Tolerance
Průměr	21.600		±1.000

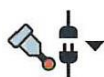
Pro kontrolní prvky a srovnávací body musí být nastaveny tolerance.

2. Aktivujte režim offline simulace a simulujte připojení ke skutečnému CNC CMM.



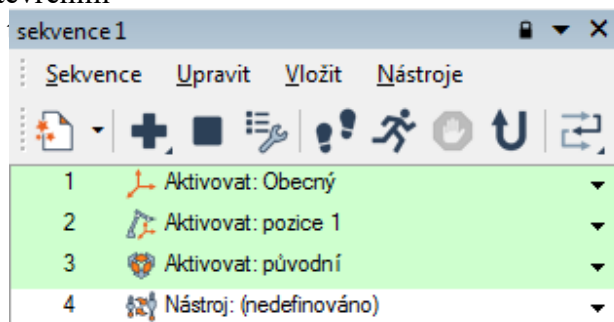
Ve spodní části 3D scény se zobrazí vodoznak simulovaného Data. Chcete-li odstranit tento vodoznak, musí být z projektu odstraněna všechna simulovaná data.

6. Na panelu nástrojů Zařízení se připojte k CNC CMM.

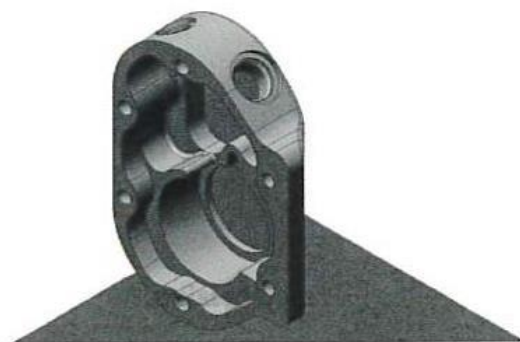


7. Vytvořte novou měřicí sekvenci otevřením

„Sequence Editor“ a stisknutím „Start Recording“.

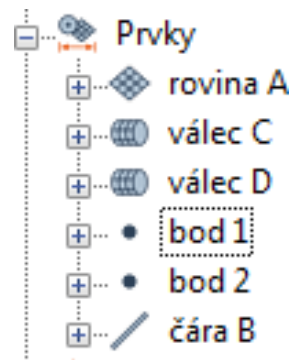


8. Proved'te CMM předzarovnání tak, že nejprve porovnáte osy zařízení s osami modelu CAD na základě toho, jak je součást orientována na tabulku CMM. Za druhé, sondujte jeden bod a vyhledejte součást v tabulce CMM.

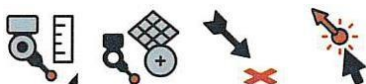
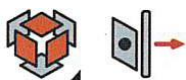


Nástroj osy výběru referenčního objektu lze použít k výběru vlastní osy referenčního objektu přímo na modelu CAD v 3

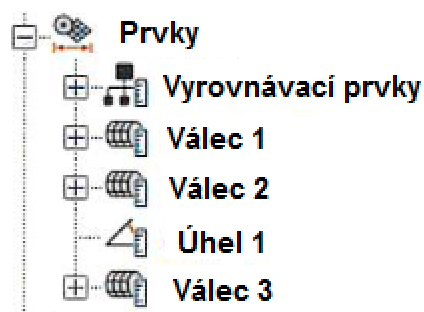
9. Vyberte funkce zarovnání ve stromovém zobrazení a CNC sondujte jejich měřené komponenty. Podle potřeby upravte parametry získávání bodů. Ikona stavu měření potvrdí úspěšnost měření funkce.



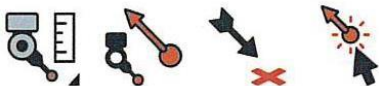
10. Proveďte požadované zarovnání podle funkcí, nejprve pomocí PLANE A, LINE B a bodu vytvořeného průsečíkem CYLINDER C a PLANE A.



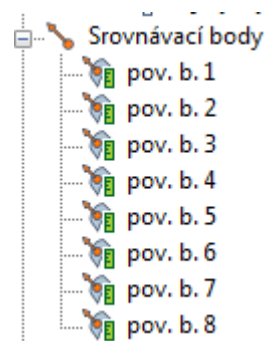
11. Vyberte všechny zbývající funkce ve stromovém zobrazení a CNC sondujte jejich měřené komponenty. Ikona měřeného stavu potvrzuje, že funkce byla úspěšně změřena. Vložte „go to position“ a orientace nástroje se změní podle potřeby.



12. CNC sondujte všechny porovnávací



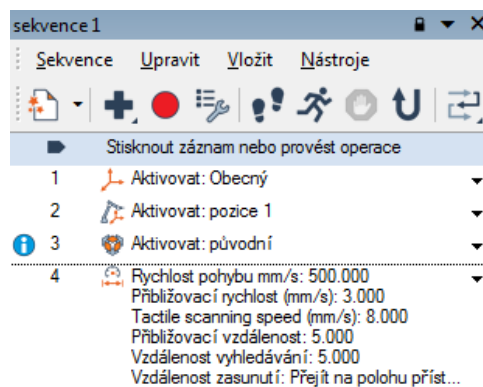
body. Upravte parametry tak, aby byl proveden jeden pohyb před snímáním prvního porovnávacího bodu a snímáním pouze jednoho pohybu za posledním porovnávacím bodem. Vložení přejde do pozic a podle potřeby se změní orientace nástroje.



-
13. Dokončete vlastní sled měření pomocí tlačítka „Stop Recording“ v editoru sekvencí.



-
14. Resetujte stav provádění, který přesouvá sekvenční značku na začátek sekvence a proveďte kroky, k ověření, že všechny požadované kroky jsou v sekvenci.



-
15. Odpojte se od simulovaného CNC CMM a deaktivujte režim offline simulace.

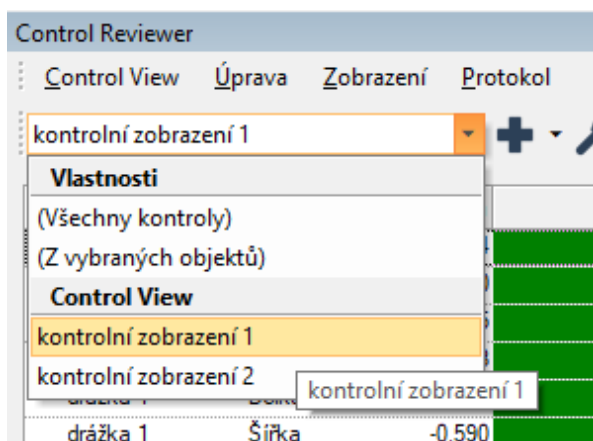


-
16. Zkontrolujte výsledky měření.



Název ob...	Požadavek	Odchyl...	Test
pov. b. 1	Povrchová vzdál...	0.035	Vyhovuje
pov. b. 2	Povrchová vzdál...	0.025	Vyhovuje
pov. b. 3	Povrchová vzdál...	-0.020	Vyhovuje
pov. b. 4	Povrchová vzdál...	0.081	Vyhovuje
pov. b. 5	Povrchová vzdál...	0.070	Vyhovuje
pov. b. 6	Povrchová vzdál...	0.049	Vyhovuje

17. Vytvořte požadované kontrolní prvky podle toho, jak jsou měření specifikována na technickém výkresu. Snímek a tabulka jsou automaticky přidány do formátované sestavy.



Kontrolní pohledy mohou být editovány z rozhraní „Control Reviewer“, jakmile byly vytvořeny.

18. Smažte všechna simulovaná data v aktuální práci zvolením „Edit> Delete> All Measurements.“

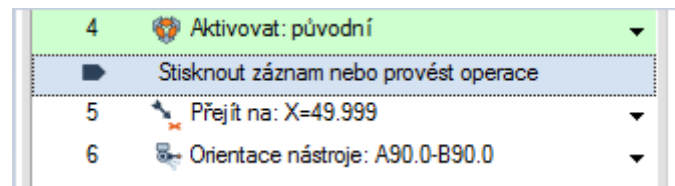
19. Pokud je k dispozici skutečný CNC CMM stroj, připojte se k němu a použijte vytvořený projekt.,



20. Umístěte obrobený kryt na stůl CMM, jak je znázorněno napravo, a před snímáním se ujistěte, že je zajištěný na svém místě. Orientace součásti by měla být čtvercová vzhledem k souřadnému systému CNC CMM.



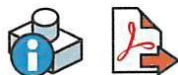
20. Proveďte kroky sekvence, které byly zaznamenány v režimu offline simulace. Při prvním spuštění sekvence buďte opatrní na měřicí stroj, ujistěte se, že žádné kroky nebyly při nahrávání projektu v režimu offline simulace přehlíženy.



Kdykoli je třeba kroky opravit nebo upravit v měřicí sekvenci, zobrazí se v sekvenci vedle konkrétního kroku chybové ikony, které vyžadují akci. Umístěním ukazatele myši na ikonu se zobrazí popis možných akcí, které problém vyřeší.



22. Podle potřeby aktualizujte vlastnosti sestavy, kusu a projektu. Exportujte sestavy z Editoru sestav ve formátu PDF.



Snímek modelu CAD lze přidat do titulní stránky zprávy před exportem.

23. Uložte svůj projekt pro použití v následných cvičeních.



5.5 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.

- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM*. Praha 2016. *Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. *Bakalářská práce (Bc.)* VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.

6 Prezentace týmových projektů k 3D měřicímu přístroji THOME Präzision RAPID – Plus CNC, konzultace, rekapitulace

6.1 Klíčová slova

Prezentace, 3D, CNC, CAD, přístroj

6.2 Cíle kapitoly

Cílem tohoto výukového bloku je umožnit studentům prezentovat výsledky zadaných týmových projektů realizovaných v předcházejících výukových blocích na 3D měřicím přístroji THOME Präzision RAPID-Plus CNC.

Dalším cílem je na základě prezentace výsledků vyhodnotit jejich kvalitu, konzultovat získané poznatky z měření a vyhodnocování, jakož i z vlastní prezentace. Součástí bloku je rovněž finální diskuse se studenty k práci na 3D měřicím přístroji a rekapitulace klíčových parametrů práce.

6.3 Úvod do kapitoly

Po tomto výukovém bloku by studenti měli porozumět principům:

- základů 3D měření pomocí souřadnicových měřicích přístrojů,
- manipulace a ovládání moderních 3D měřicích dotykových nástrojů,
- základů práce s importem a exportem virtuálních objektů a CAD dat,
- základů práce s profesionálním softwarem pro rozměrovou analýzu a digitalizaci objektů.

Po tomto výukovém bloku by studenti měli umět:

- na základě konkrétního zadání posoudit vhodnost aplikovatelnosti souřadnicového měřicího přístroje pro danou měřicí úlohu,
- připravit měřený objekt, souřadnicový 3D měřicí přístroj pro práci,
- ovládat souřadnicový 3D měřicí přístroj při vlastním měření,
- v základním rozsahu využívat profesionální řídicí a vyhodnocovací software,
- komparovat naskenovaný model s podkladovým modelem a vyhodnotit odchylky.

7 Základní seznámení s mobilním měřícím systémem ROMER Absolute Arm

7.1 Klíčová slova

skenery, CAD model, prvky, 3D, skenovací rameno

7.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je seznámení s mobilním měřícím systémem ROMER Absolute Arm. Dále 3D skenery charakterizovat a uvést základní rozdělení. Postup základních úkonů s 3D skenerem.

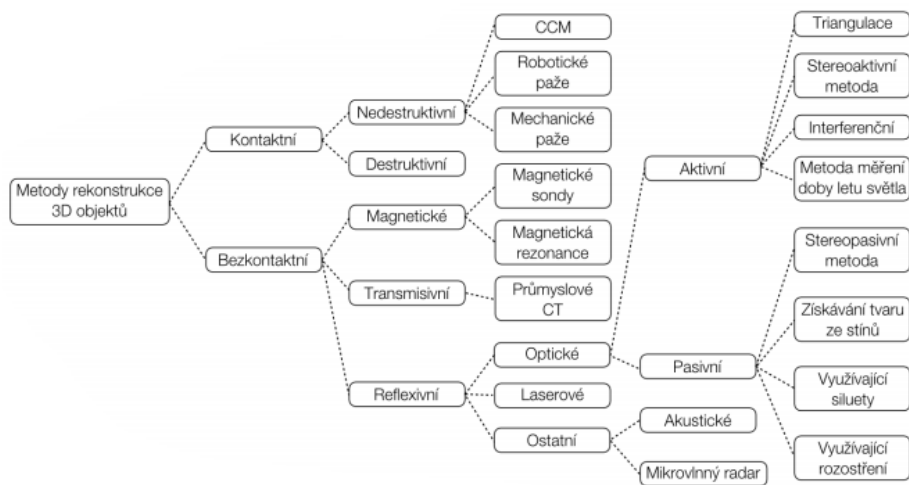
7.3 Úvod do kapitoly

3D skenery

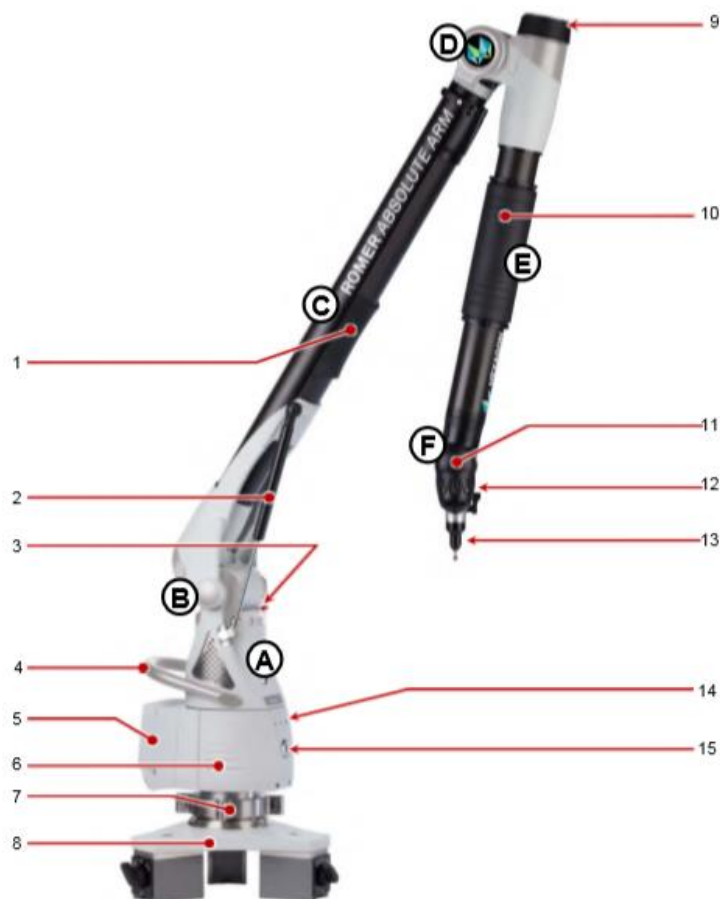
jsou zařízení pro zachycení tvarů a textur fyzických objektů a následného převedení do digitální podoby pro další zpracování v počítači. Ve většině případů je princip metody založený na snímání jednotlivých bodů na povrchu objektu a vytvoření velkého počtu těchto bodů, tj. mračna bodů. Poté využitím těchto bodů zrekonstruuje (extrapoluje z jednotlivých bodů) prostorový počítačový model použitím vhodné polygonové sítě. K získání těchto bodů se využívá mnoho různých technologií kamery, rentgeny, magnetické mikrotomografy, lasery, dotykové snímače. Od použitých technologií se pak i nazývají jednotlivé metody skenování tzn. například rentgenové, ultrazvukové, laserové, optické nebo mechanické 3D skenery. Nejčastěji se používají nedestruktivní metody, které snímanou součást nezničí. Každá metoda má ovšem svoje omezení, výhody a nevýhody, včetně celé škály cen.

Rozdělení 3D skenerů

3D skenery je možné rozdělit mnoha způsoby. Vybrané rozdělení bere jako hlavní kritérium dotykové a bezdotykové metody skenování. Nejpoužívanější skenery jsou ve větvi reflexivních. Laserové metody mohou spadat i do metod aktivních optických využívající triangulaci nebo metodu měření doby letu. Na Obr.1 jsou laserové metody vyčleněny zvlášť.



Měřicí rameno ROMER Absolute Arm



Obr. 17: ROMER Absolute Arm 77 - přehled

1. Vyvažovací podpěra
2. Protizávaží "Zero-G"
3. Zámek protizávaží
4. Držadlo ramene
5. Feature Pack
6. Základna ramene
7. Upevňovací kruhová matice
8. Magnetická základna
9. Otočný knoflík
10. Otočný úchop
11. Zápěstí ramene
12. Tlačítka
13. Kontaktní sonda
14. Kontrolky LED
15. Tlačítko Zap/Vyp



Obr. 18: Držadlo SEI

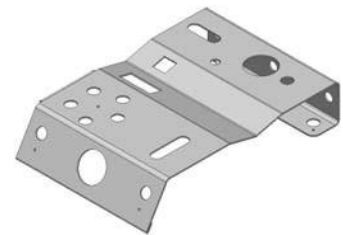
Laserové skenery pracují na principu záření laseru. Skenovací hlavu, ve které je umístěn laser, posuneme nad měřenou součást. Ze skenovací hlavy září laserový paprsek na měřený prvek. Odražené světlo zachycuje objektiv a velice citlivá kamera. Díky tomu nám umožňuje vyhodnotit polohu nasnímaných bodů od skeneru. Využívá se princip triangulace bodů. Skener může mít jednu nebo tři skenovací roviny.

3D laserové skenování patří do nedotkových měřicích metod. U laserového skenování nedochází ke kontaktu mezi měřenou součástí a skenovací hlavou. Laserové skenery jsou vhodné pro skenování velmi rozměrných součástí, jelikož snímají několik tisíc bodů za sekundu. Díky tomu vytváří dokonalý tvar součástí. To je oproti dotykovému měření obrovský rozdíl. Dovolují nám měřit měkké součásti jakéhokoliv materiálu. Na druhou stranu toto skenování nevypovídá takovou přesnost jako dotykové měření. Další nevýhodou je zdlouhavé zpracování mračna bodů a nemožnost nasnímání lesklých ploch. Také existuje problém se snímáním hran. Často se laserové skenování využívá u reverzního inženýrství.

7.4 Výklad

Importování CAD modelu

CAD modely výrazně zjednodušují definování jmenovité geometrie a rozměrů, což je nezbytný krok v procesu kontroly dílů.



Vyhledání nástroje

Soubor → **Import** → **CAD modely**



Přehled

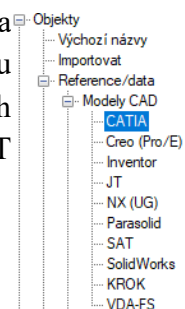
Soubor CAD může být v neutrálním formátu (IGES nebo STEP souboru) nebo nativním formátu (jako CATIA, NX, Pro / E, SolidWorks, nebo Inventor).

Možnosti

Některé CAD platformy mají možnost přidat do modelu geometrické kótovací a toleranční prvky, které mohou být začleněny do souboru. V závislosti na formátu souboru CAD mohou možnosti importu zahrnovat exportované prvky a jejich ovládacích panelů pro import modelu s kontrolními informacemi GD&T (Geometric dimensioning and tolerancing).

V PolyWorks | Inspector:

Nástroje → **Možnosti** → **Otevřít Objekty** → **Reference / Data** → **CAD modely** →

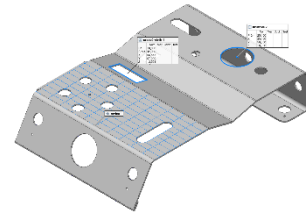


→ [vybrat formát souboru].

- Vyberte možnost **Importovat prvky a vlastnosti**. Importovat prvky a vlastnosti

Měření rozměrů součástí pomocí prvků

Prvky definují geometrické vlastnosti součásti, jako jsou díry a rovinné povrchy, a obvykle se používají pro účely srovnání součásti a pro účely kontroly rozměrů.



Vyhledání nástroje

Měřit → Prvky → Vytvořit

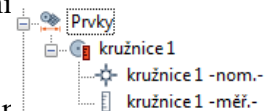


Primitivní prvek

Prvek obvykle obsahuje jmenovitou a/nebo měřenou složku, také označovanou jako primitivní prvek.

- Nominální primitivní prvek představuje teoretické nebo ideální měření takové, které se nachází v CAD modelu.

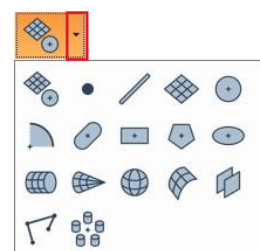
- Naměřený primitivní prvek je vytvořen z datových bodů naměřených na měřené součásti.



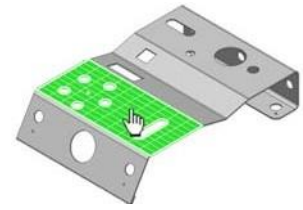
Typy

Množství typů: Umožňuje extrakci primitivních prvků automaticky nebo výběrově z CAD referenčních objektů, nezávisle na jejich typech (kruhy, válce, roviny atd.).

Individuální typ: Umožňuje z rozevírací nabídky zvolit, jaký typ prvku vytvořit.



Způsob vytváření



- Výběr na CAD modelu

Prvky mohou být vytvořeny výběrem geometrií na modelu v CAD.

Přesuňte kurzor myši na povrch CAD modelu a vyberte ten požadovaný, když je zvýrazněn.

Stiskněte MEZERNÍK k přerušení režimu a otočení / posunu modelu.

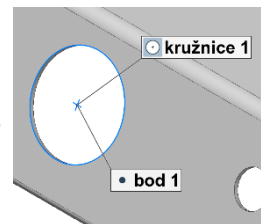
Stisknutím MEZERNÍKU obnovíte režim výběru.

- Numericky

Prvky lze vytvořit numericky pomocí matematických definic. Tato metoda vytváření nabízí parametry specifické pro typ vytvářeného primitivního prvku.

- Z objektů a z průniku.

Při vytváření prvků pomocí konstrukčních metod, například z objektů nebo z průniku, se nabízí výběrové pole pro výběr metody.



Pokud jsou objekty požadované pro konstrukci předem vybrány

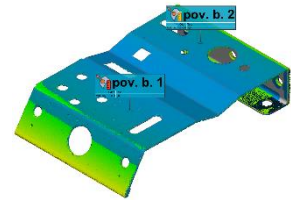
ve stromovém zobrazení, automaticky se určí odpovídající dílčí metoda konstrukce podle typu vybraných objektů.

Když je prvek vytvořen s využitím stávajících objektů v rámci projektu, nově vytvořené prvky jsou závislé na původních (nadřazených) objektech použitých pro jejich tvorbu. To znamená, že všechny změny provedené v nadřazených objektech povedou k rekalkulaci závislých podřazených objektů.



Měření povrchových odchylek v konkrétních lokalitách

Srovnávací bod povrchu je měřicí objekt vytvořený ve specifických souřadnicích na povrchu referenčního objektu a měří odchylky od datového objektu v konkrétním místě.



Vyhledání nástroje

Měřit → **Srovnávací Body** → **Vytvořit** → **Body povrchu**



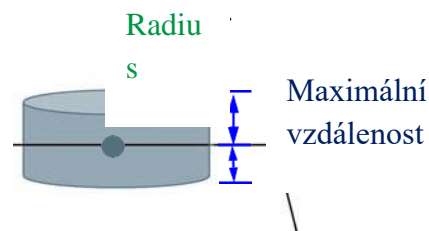
Způsob vytváření

Srovnávací povrchové body jsou obvykle vytvořeny na povrchu referenčního objektu takto:

- Kotva: Body jsou ukotveny přímo na povrchu referenčního objektu ve 3D zobrazení.
- Numericky: Souřadnice bodu jsou uvedeny v dialogovém okně vytvoření.
- Z textového souboru: Txt soubor je načten z dialogu vytvoření výběrem tlačítka Procházet.

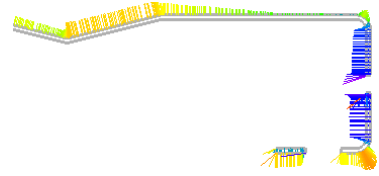
Klíčová informace

Každý srovnávací bod má měřicí pásmo, který je ve výchozím nastavení válcovitý, v něm se shromažďují naměřená data. Měřicí zóna má poloměr, což je poloměr válce, a maximální vzdálenost, což je výška válce. Viz obr.



Analýza součásti podél roviny příčného řezu

Měření pomocí průřezů je měřicí způsob používaný pro 2 D kontrolu povrchů. Umožňuje vypočítat odchylky podél profilů získaných z rovin řezu.



Vyhledání nástroje

Měření → Průřezy → Vytvořit → Standardní průřezy



Standardní průřezy

Standardní průřez je vytvořen protínáním srovnaných referenčních a datových objektů s řezovou rovinou ohraničenou měřicí oblastí.

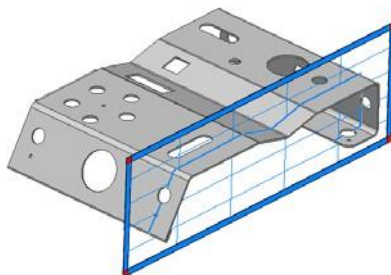
Způsob vytváření

Použijte jednu z metod vytváření průřezů:

- Podél standardní osy: Umožňuje vytvořit průřez kolmý ke standardní ose systému, jako je osa X. Pro dosažení očekávaných výsledků se doporučuje mít správně orientovaný souřadnicový systém.
- Podélná křivka: Umožňuje vytvořit průřez kolmý na křivku. Zahrnuje to určení typu křivky, která se má použít, a pak určení umístění průřezu podél křivky.
- Radiální: Umožňuje vytvořit průřez, který vystupuje z axiálního primitivního prvku, jako je válec nebo kužel.

Oblast měření

Měřicí oblast definuje 3D limity procesu řezu a vymezuje rovinu řezu. Jak je vidět níže, je to modrý obdélník s červenými rohy. Rozměry měřené zóny jsou definovány během vytváření průřezu a lze je upravovat přetažením stran obdélníku.



Zobrazení Průřezového navigátoru

Navigátory objektů jsou specializované nástroje, které umožňují prohlížení objektů jeden po druhém. Je užitečné zkontrolovat vytvoření a výsledky průřezů pomocí Navigátoru průřezů, aby bylo možné každý průřez vizualizovat samostatně.

Vybrat: Zobrazit → Průřezové objekty → Průřezy

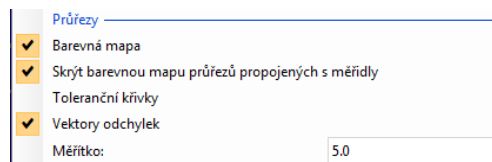


Volby zobrazení

K dispozici je řada možností zobrazení pro vizualizaci průřezů se zachycenou nominální geometrií a geometrií součástí.

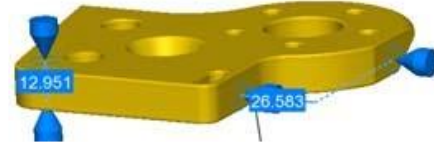


- Vybrat Možnosti zobrazení objektu.
- V části Průřezy je k dispozici několik možností zobrazení. Jsou k dispozici, pouze pokud je vybrána barevná mapa.



Měření rozměrů pomocí posuvného měřítka

Posuvné měřítko je měřicí zařízení široce používané ve výrobním průmyslu k měření vzdálenosti mezi dvěma protilehlými stranami předmětu nastavením jeho špiček tak, aby odpovídal měřeným součástem. V nástroji PolyWorks | Inspector je softwarová simulace fyzického posuvného měřítka.



Vyhledání nástroje

Měřit → Měřidla → Vytvořit → Standardní posuvná měřidla



Přehled

Standardní posuvné měřítko změří vzdálenosti na 3D povrchu měřeného objektu.

Typy osy

Existují dva typy os pro posuvné měřítko:

- Jednoosý: Umožňuje měřit posuvným měřítkem za použití jediné osy pro oba koncové body.



- Offset os: Umožňuje měřit posuvným měřítkem jednu osu pro každý koncový bod.



Způsob vytváření

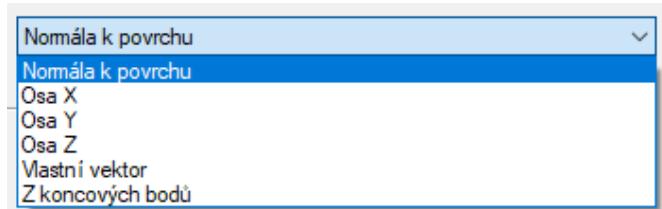
Standardní posuvná měřítka mohou být vytvořena za použití jedné z následujících metod:

- Kotva: Tato metoda umožňuje interaktivní ukotvení koncových bodů posuvného měřítka.
- Numericky: Tato metoda umožňuje zadávat číselné hodnoty pro souřadnice koncových bodů posuvného měřítka.

Nastavení klíčových parametrů během vytváření posuvného měřítka

- Orientace osy

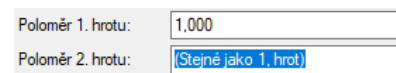
Osa posuvného měřítka může být kolmá k povrchu, může následovat osu systému, vlastní vektor nebo být definována koncovými body.



- Velikost špičky a štítu

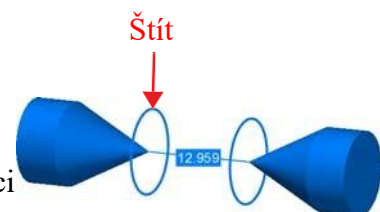
Více v dialogovém okně vytvoření:

- Nastavení velikosti špiček: Poloměr 1. špičky a poloměr 2. špičky.



Velikost hrotů nastavuje velikost štítu.

Štít na každé špičce posuvného měřítka může být použit k detekci prvním kontaktu střetu s datovým bodem nebo povrchem.



- Typ extrakce

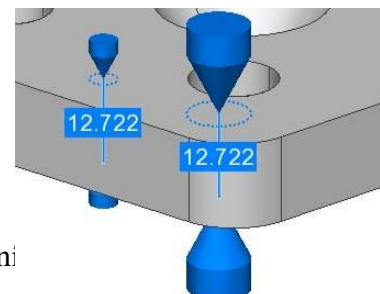
Na polygonálním modelu:

- U typu extrakce Min / Max:

Čím větší je štít, tím větší je detekční zóna.

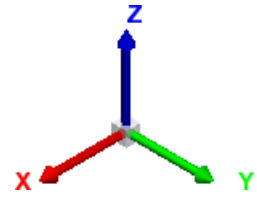
- Pro standardní typ extrakce:

Štít je ignorován a průsečík s povrchem je bod použitý pro měření



Vytvoření souřadnicového systému

Souřadnicový systém popisuje nulový bod a orientaci měřicího projektu.



Vyhledání nástroje

Nástroje → **Souřadnicové systémy** → **Vytvořit Kartézský**



Přehled

Kartézské souřadnicové systémy mohou být vytvořeny následujícím způsobem:

- Z primitivních prvků: Vybrané primitivní prvky definují souřadnicový systém.



- Volitelné: kliknutím na barevnou šipku na ose se ostatní osy kolem ní otočí o 90 stupňů, čímž se změní jejich směr.

7.5 Kontrolní otázky

1. Jaký je princip skenování laserovým 3D skenerem?
2. Jak probíhá měření rozměrů pomocí posuvného měřidla?
3. Jakým způsobem probíhá vytváření prvků?
4. Jak se dělí snímací skenery?
5. Z čeho se skládá konstrukce skenovacího ramene?

8 Skenování laserovým skenerem, základní práce s programem, GD&T a hodnocení naměřených hodnot

8.1 Klíčová slova

skenování, hodnocení, 3D, nástroje, body

8.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je ukázat postup skenování laserovým skenerem a základní práce s programem. Dále naučit se vyhodnotit naměřené hodnoty.

8.3 Úvod do kapitoly

Skenování polygonálního modelu pomocí metrik kvality

PolyWorks | Inspector nabízí možnost získávat data pomocí skenovacích plug-in modulů. Při skenování je možné zachytit povrch části nebo hranice vnějšího oříznutí a hranice vnitřních děr tenkých částí.

Tato data jsou získávána ve formě polygonálního modelu nebo mračna bodů.

8.4 Výklad

Vyhledání nástroje

Nástroje → *Plug-in moduly* → *[název zařízení]*



Snímání plochy

Povrchové skenování shromažďuje datové body napříč celým materiálem v rozsahu digitizéru. Pokud používáte technologii sítování v reálném čase, jsou tyto datové body převedeny na polygonální model.



- Vybrat *Nástroje* → *Plug-in moduly* → [název zařízení]

Alternativně, když je zařízení vybráno, klikněte na tlačítko Scan na panelu zařízení.

- Vyberte typ skenování pro skenování povrchu.
- Vyberte sítování v reálném čase.
- Zvolte polygonální model jako konečný datový typ.



- Metriky kvality

Při použití sítování v reálném čase je kvalita skenování monitorována a nekvalitní oblasti jsou detekovány pomocí čtyř měření kvality:

- Velký úhel skeneru k povrchu

Tato metrika kvality se řídí úhlem mezi digitalizačním vektorem (směr, kterým je laserové světlo promítáno) a kolmým vektorem skenovaného povrchu.



Nejkvalitnější data se získají, když je laser ke skenovanému povrchu kolmý.

- Nízká hustota skenování pro zakřivení sítě

Tato metrika kvality identifikuje problematické oblasti, kde lokální rozlišení datových bodů není dostatečné k řádnému získání plynulého přechodu zakřivení.



V oblastech s nízkým zakřivením je přijatelná nízká hustota skenovaných datových bodů, zatímco v oblastech s vysokým zakřivením je vyžadována vyšší hustota.

- Vysoká hladina šumu

Tato metrika kvality detekuje vysokou hladinu šumu na skenovaných datech, která je často výsledkem odrazu světla (lesklý materiál), tmavých materiálů (méně odraženého světla) nebo strukturovaných povrchů (výstup z obrábění).



- Detekce nesrovnalostí při snímání

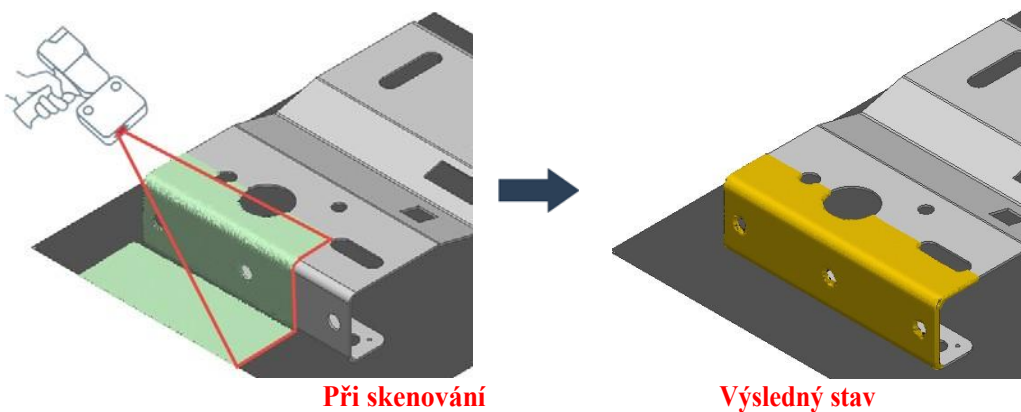
Tato metrika kvality analyzuje každé skenování, tak jak je zachyceno. Za určitých okolností, jako jsou nesprávné kalibrace ramen, posunutí součástí nebo změny teploty, může dojít k

nesprávnému srovnání příchozích skenovaných vstupů, které jsou nepřijatelné na základě stanovené maximální průměrné odchylky.

Rovina ořezu

Při skenování součásti se často skenuje i část podložky, na které tato součást leží. V těchto situacích je rovina ořezu užitečná pro automatické mazání bodů, které vznikly skenováním podložky.

Datové body jsou zobrazeny během průchodu skeneru, ale jsou trvale smazány poté, co skener projde viz obr.



- V dialogovém okně skenování zapněte Rovinu ořezu.
- Stiskněte tlačítko **Definovat roviny ořezu** pro definování ořezové roviny.
- Vyberte metodu: Sonda nebo Z roviny.



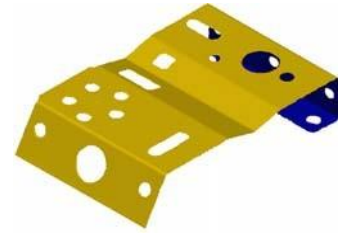
Profily skenování

Profily skenování jsou nabízeny v dialogovém okně plug-in. Po výběru profilu se hodnota parametrů skenování odpovídajícím způsobem změní, což zjednodušuje nastavení nové relace laserového skenování. K dispozici jsou čtyři předdefinované profily, které jsou přizpůsobeny velikosti nejmenších detailů, které budou zachyceny:

- Hrubé rozlišení: Pro detaily větší než 2,0 mm.
- Standardní rozlišení: Pro detaily větší než 1,0 mm.
- Jemné rozlišení: Pro detaily větší než 0,5 mm.
- Extra jemné rozlišení: Pro detaily menší než 0,5 mm.
- Velký odstup: Pro skenery s odstupem větším než 500 mm.

Import skenu

V typickém procesu kontroly, Datové objekty představují objekty, které budou kontrolovány. Mohou být ve formě polygonálních modelů nebo mračen bodů.



Vyhledání nástroje

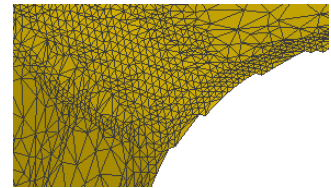
Soubor → *Importovat* → [vybrat typ objektu dat]



Import polygonálního modelu

Polygonální model je síť složená z trojúhelníků a vrcholů získaných z datových bodů naskenovaných na skutečné části.

Soubor polygonálního modelu může být ve formátu PolyWorks (například POL nebo PQQ) nebo v neutrálním formátu (jako je STL nebo OBJ).

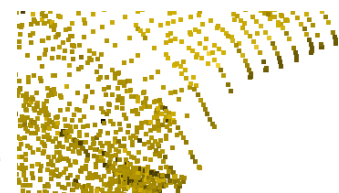


Soubor → *Importovat* → *Polygonální modely*



Import mračna bodů

Datový soubor může být ve formátu PolyWorks (PSL nebo PIF soubory), v nativním formátu nebo neutrálním formátu (například IGES nebo v textovém souboru).



Soubor → *Importovat* → *Mračna bodů*



Měření odchylky pomocí barevných datových map

Odchylky datových objektů z referenčních objektů mohou být měřeny. Výsledky jsou zobrazeny ve 3D pomocí barevné datové mapy.



Vyhledání nástroje

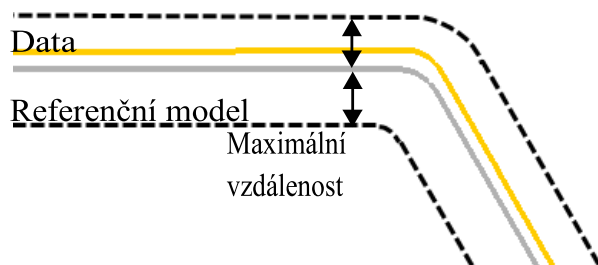
Měřit → Odchylky datových objektů → od povrchu referenčního objektu



Vytvoření

- Referenční objekty: Vyberte odpovídající referenční objekty.
- Datové objekty: Vyberte příslušné datové objekty.
- Maximální vzdálenost: Při nalezení odchylek datového objektu od referenčního objektu se považuje maximální vzdálenost hledání. Zajistěte, aby byla maximální vzdálenost větší než očekávané odchylky, aby byly započítány všechny odchylky.

Maximální vzdálenost (horní)



Úprava barevné škály



Limity rozsahu

Nastavení limitů zobrazené barevnou stupnicí.

Toto nastavení je vhodné pro zlepšení čitelnosti zobrazovaných odchylek.

- V části Limity rozsahu zvolte Vlastní.
- Zadejte maximální a minimální hodnoty.

Limity rozsahu

Automatický

Vlastní

Max. hodnota:

Min. hodnota:

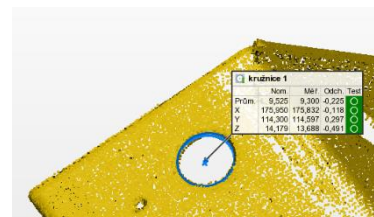
Skrýt a zobrazit barevnou mapu



Chcete-li skrýt zobrazení aktivní barevné datové mapy, klikněte na: Skrýt barevnou mapu.

Extrakce požadovaných údajů z nasnímaných dat

Metoda extrakce naměřených dat extrahuje měřené komponenty vybraných měřených objektů z dostupných datových objektů s použitím nominálních prvků objektu jako výchozího bodu.



Vyhledání nástroje

Měřit → *Extrahovat měřené*



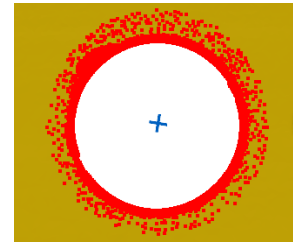
Přehled

Předpokládá se, že datové objekty byly srovnány do příslušných referenčních objektů.

Způsob extrakce naměřených dat je k dispozici z mnoha měřených objektů: prvků, průřezů, srovnávacích bodů, měřidel a referenčních cílů.

Operace extrakce používá parametry na kartě Měření v listu vlastností každého vybraného objektu k automatickému výběru prvků datového objektu. Poté je měřená komponenta vytvořena na základě vybraných prvků a typu Fit: Best-fit, Min nebo Max.

Výběr prvků pro měření objektu.

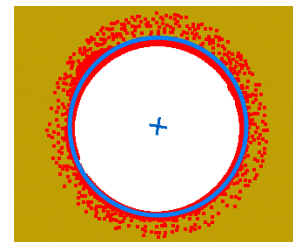


- Best-fit

Je-li vybrán typ Best-fit použije se standardní algoritmus nejlepšího přizpůsobení pro vygenerování objektu, který je průměrným přizpůsobením uvnitř se nacházejících datových prvků.

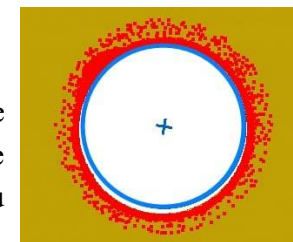
Tento výchozí typ přizpůsobení je nejvýhodnější pro mnoho typů prvků, například pro roviny je tato volba optimální.

V oblastech, kde se očekává, že je datový objekt obecně definován hladkým povrchem, je jakýkoli šum digitizéru rovnoměrně distribuován nad a pod povrchem.



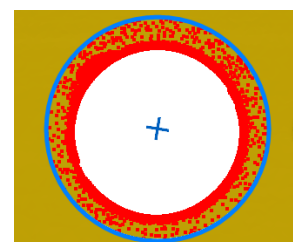
- Min fit

Pokud je vybrán typ Min fit, objekt je přizpůsoben tak, aby se komponenta nedotýkala žádného bodu. V případě kruhové díry by se kruhový prvek umístil k nejnvnitřnějším datovým bodům, zatímco u rovinné plochy by se rovina přizpůsobila k dolním datovým bodům.



- Max fit

Pokud je vybrán typ Max fit, použitý algoritmus přizpůsobení vytvoří nejmenší možnou komponentu, která uzavře všechny uvažované datové body. U válcové díry by se válec umístil k nejvzdálenějším datovým bodům, zatímco u rovinné plochy by se rovina přizpůsobila nejvyšším bodům.



Použití navigace při skenování

Použití navigace při skenování prvků vede uživatele k tomu, aby na základě naskenovaných prvků získal dostatek dat k provedení extrakce těchto prvků po provedení měření.



Vyhledání nástroje

Z panelu nástrojů pro skenování:



Navigace při skenování prvků

Přehled

Chcete-li využít navigaci, musí být snímací zařízení před-srovnáno s CAD modelem a musí být vytvořeny nominální rysy.

Pokyny jsou k dispozici pro všechny prvky, jejichž metoda měření je nastavena na:

- Nedefinováno: Vychází se z výchozích extrakčních parametrů.
- Extrakt: Vychází se z jednotlivých parametrů každého prvku.

Vizuální znaky navigační funkce

Oranžové kolíky označují umístění prvků.

Oranžové zvýraznění označuje místo, kde jsou požadovány dodatečné údaje.

Velikost a umístění zvýraznění jsou založeny na extrakčních parametrech stanovených pro každou funkci.

Šedý kolík pod šipkou označuje umístění prvku. Tyto prvky jsou však viditelné pouze ze zakryté strany.



Bílé zvýraznění označuje místo, kde jsou požadovány dodatečné údaje ve formě navazujícího Datového objektu.



Revize, report, a sdílení výsledků měření

Revize výsledků měření

Control Reviewer nabízí stručný pohled na měřené prvky geometrie. Zobrazuje tabulku kontrolních prvků a nabízí operace k jejich filtrování, třídění a seskupování v okně.

Název objektu	Požadavek	Odchyška	Test
kružnice 1	$\varnothing 25,400 \pm 1,000$ lokální	0,808	Vyhovuje
kružnice 1		1,048	Nevyhovuje
kružnice 1		0,446	Vyhovuje
kružnice 1	Průměr	0,386	Vyhovuje
kružnice 1	X	-0,225	Vyhovuje
kružnice 1	Y	-0,473	Vyhovuje
kružnice 1	Z	0,518	Vyhovuje
válec 1	$\varnothing 9,525 \pm 1,000$ lícování	-0,174	Vyhovuje
válec 1		1,040	Nevyhovuje
válec 1		0,339	Vyhovuje
válec 1	Průměr	0,050	Vyhovuje
válec 1	Střední bod X	-0,300	Vyhovuje
válec 1	Střední bod Y	0,069	Vyhovuje
válec 1	Střední bod Z	0,000	Vyhovuje

Vyhledání nástroje

Report → Control Reviewer



Přehled

Control Reviewer může být použit pro:

- Přezkoumání výsledků měření různých hodnot
- Setřídění sloupců pomocí záhlaví sloupce
- Filtrování sloupců na základě jejich hodnot



- Nastavení 3D zobrazení pro zobrazení vybraného kontrolního prvku

nebo



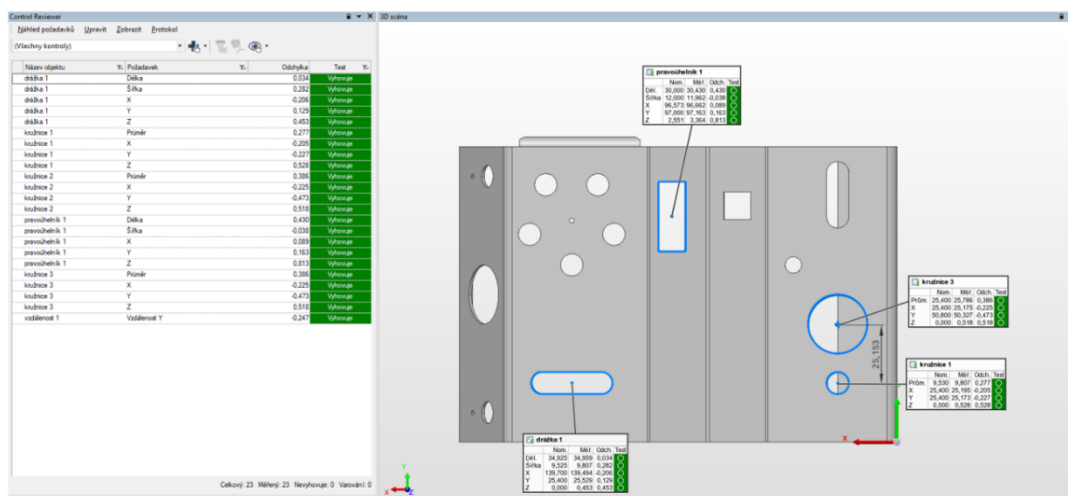
- Vytváření kontrolního zobrazení z vybraných kontrolovaných prvků všech kontrolovaných prvků.

nebo



Revize výsledků měření pomocí kontrolního zobrazení

Kontrolní zobrazení lze použít k přezkoumání výsledků měření účinným a strukturovaným způsobem. Kontrolní zobrazení obsahuje seznam měřených prvků a přidružené 3D zobrazení.



Vyhledání nástroje

Ze 3D zobrazení:

Report → Vytvořit kontrolní zobrazení z 3D zobrazení



Alternativní z Control Reviewer

Kontrolní zobrazení → Vytvořit



nebo

Vytvoření kontrolního zobrazení ze 3D zobrazení

Kontrolní zobrazení mohou být vytvořena z objektů zobrazených ve 3D zobrazení.

○ *Vybrat → Vytvořit Kontrolní pohled z 3D zobrazení*



- Volba měřených prvků přidanych ke kontrolnímu zobrazení záleží na viditelnosti popisků objektů.
- Snímek a tabulka protokolu je automaticky generována.

Vytváření kontrolních pohledů z Control Reviewer

○ Vytvořit kontrolní zobrazení z vybraných měřených prvků:
Vytvoří kontrolní zobrazení z vybraných kontrolovaných prvků v panelu.



○ Vytvořit kontrolní zobrazení: Vytvoří kontrolní zobrazení ze všech kontrolovaných prvků, také zachovává filtrování listu.



Vytvoření snímků a tabulek

Reportování pomocí kontrolních pohledů umožňuje generovat snímky a tabulky sestav, které jsou synchronizovány a propojeny s kontrolními pohledy. Snímky 3D zobrazení a tabulky sestav vytvořené z objektů měření mohou také zakončit protokol z měření.



Vyhledání nástroje


Report → [vyberte volbu]

Vytvořit kontrolní snímek a tabulku protokolu z kontrolního 3D zobrazení

Kontrolní pohled vytvořen z 3D zobrazení automaticky generuje snímek a reportovací tabulku, které se přidávají do zformátovaného reportu.

Vytvořit kontrolní snímek a tabulku ze všech kontrolních zobrazení

Jakmile jsou všechny kontrolní pohledy vytvořeny pomocí nástroje Control Reviewer, je možné vytvářet snímky a tabulky ze všech kontrolních pohledů.

- Vybrat: **Report**→**Vytvoření snímků a tabulek**→**Ze všech kontrolních zobrazení** 
- Z Control Reviewer, je možné vytvořit snímky a tabulky pro specifický kontrolní pohled.
- Vyberte požadované kontrolní zobrazení z kontrolního výběru.
- Klepněte na tlačítko Vytvořit snímek a tabulku pro aktivní kontrolní pohled.



Vytvoření snímku

Reportovací snímky jsou snímky pořízené z 3D zobrazení k reportování modelu a výsledků měření v plném detailu.

- Vybrat **Vytvořit**→**Reportovací snímky**→**Zachycení 3D zobrazení**



Vytvoření reportovací tabulky

Reportovací tabulka je seznam požadovaných informací o jakémkoli objektu měření, jako jsou jmenovité a měřené hodnoty, tolerance, odchylky a stav úspěšnosti / selhání. Tabulky jsou velmi užitečným nástrojem prezentace výsledků měření.

- Vybrat **Report**→**Vytvořit tabulky**→**z objektů**



Report o výsledcích měření pomocí formátovaných reportů






Vytváření reportů je klíčem k analýze a komunikaci v oblasti kontrolního měření. Report se obvykle sestává z tabulek sestav a snímků součástí, doplněných pozorováními, komentáři a závěry, vše naformátované do tisknutelného dokumentu.



Report→Vytvořit formátovaný report

Vytváření formátovaných reportů

Formátované reporty jsou automaticky vytvořeny pokud:

- Jsou reportovací snímek a tabulka vytvořeny z kontrolního 3D zobrazení. 
- Jsou snímky a tabulky sestav vytvořeny ze všech kontrolních pohledů. 
- Jsou reportovací snímek a tabulka vytvářeny z konkrétního kontrolního zobrazení. 
- Jsou vytvořeny reportovací snímky 3D zobrazení. 
- Jsou vytvořeny reportovací tabulky z měřených objektů. 

Jakmile je sestava vytvořena a aktivní, lze do ní přidat další snímky a tabulky. Po dokončení sestavy ji lze exportovat do formátu PDF a tudíž sdílet libovolným způsobem.

Vlastní projekt

Vlastnosti projektu lze zadat ke kategorizaci projektu, jako je číslo dílu, číslo výrobní zakázky a další.

Vybrat: **Soubor→Vlastnosti projektu**

Dostupné vlastnosti:

- Organizace
- Název dílu
- Jméno zákazníka
- Číslo výkresu dílu
- Číslo výrobní zakázky
- Vlastní vlastnosti
- Číslo dílu

Nastavitelné vlastnosti mohou být definovány ve vlastnostech projektu.

Určení kusových vlastností

Každý kus má některé unikátní vlastnosti, například datum a čas, ve kterém je kus měřen atd.

○ **Vybrat Soubor→Vlastnosti projektu**

Dostupné vlastnosti:

- Počet kusů
- Číslo objednávky
- Stav schválení



- Jméno pracovníka
- Datum
- E-mailová adresa
- Čas
- Přístroj
- Sériové číslo
- Další vlastnosti

Poznámky: Nastavitelné vlastnosti mohou být definovány pro jednotlivé kusy

Určení vlastnosti sestavy

Formátované reporty mohou mít také jedinečné vlastnosti, jako je například název a autor.

Uvnitř editoru přehledů:

- Vybrat **Soubor**→*Vlastnosti*

Dostupné vlastnosti:

- Název
- Autor

Poznámky:

Nastavitelné vlastnosti mohou být definovány pro vlastnosti sestavy.

8.5 Kontrolní otázky

1. Jak se provádí extrakce prvků z mračna bodů?
2. Jak se provádí nastavení barevné mapy?
3. Jak nastavím detail skenování pro „Jemné skenování“?
4. Jak se provádím extrakce dat z mračna bodů?
5. Jak lze Vytvořit snímky a vložit je do protokolu?

9 Aplikace pokročilých postupů při práci s mobilním skenerem ROMER

9.1 Klíčová slova

postup, pozice, data, rameno, osa, rovina

9.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je seznámit srovnání a vyrovnání měřeného dílu. Dále se kapitola zabývá přemístěním ramene.

9.3 Úvod do kapitoly

Získávání dat z více poloh zařízení

Získání datových bodů na velkých objektech vyžaduje překonání mnoha překážek. Některé objekty jsou větší než měřicí objem zařízení. Někdy musí být data získána na povrchu součásti, která je skryta před měřicím zařízením. Tyto situace vyžadují, aby se zařízení pro získání dat pohybovalo kolem součásti. V PolyWorks | Inspector se pozice zařízení zabývají touto konkrétní potřebou.

9.4 Výklad

Vyhledání nástroje

Nástroje → Polohy zařízení → Pohyb zařízení



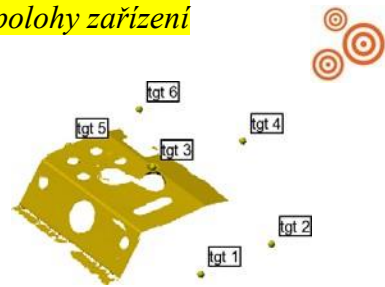
Srovnání pozice zařízení pomocí cíle

Sondované cíle se používají pro srovnání různých pozic zařízení. Cíle mohou být definovány z fyzických cílů strategicky umístěných na součásti a / nebo kolem součásti, nebo to mohou být prvky (body, kruhy, koule) na součásti. Pamatujte, že lze použít kombinaci fyzických cílů a funkcí na součásti.

- Pozice 1

○ **Vybrat Nástroje → Pozice zařízení → Definovat měřené cíle polohy zařízení**

- Nastavte způsob: Sonda
- Snímejte potřebné cíle.
- Získejte data o části.



- Pozice 2

- Přesuňte zařízení nebo měřenou součást.

- Vyberte **Přesunout zařízení**



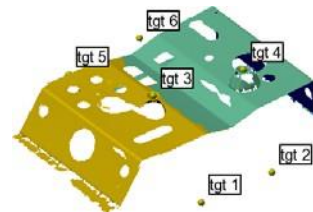
- Nastavte způsob srovnání na Cíle.

- Snímejte požadované plochy.

- Získejte data o části.

- Pozice n

- Opakujte výše uvedené kroky podle potřeby.



Propojení pozic zařízení pomocí informací o povrchu

Díl je digitalizován a skenované povrchy jsou použity pro srovnání, což zahrnuje srovnání mezi objekty (nasmínaným a výchozím). Tato technika vyžaduje následující kroky:


- Získat data na různých pozicích zařízení.
- Srovnejte rozdílné datové objekty pomocí srovnání dat Best-fit k datovému objektu.
- Jakmile jsou datové objekty těsně srovnány, globálně optimalizujte srovnání.
- Sjednoťte polygonální modely do jednoho datového objektu.

Získávání dat

- Pozice 1

- Získávání údajů ze součásti.



- Pozice 2
- Přesuňte zařízení nebo část.
- Vybrat **Přesunout zařízení** 
- Nastavte způsob srovnání na Vlastní (Custom).
- Získejte údaje ze součásti.
- Pozice n
- Opakujte výše uvedené kroky podle potřeby.



Srovnání různých datových objektů k sobě

Na základě informací o povrchu použijte srovnání objektů Data-Data Best-Fit k srovnání datových objektů k sobě. Vyžadují se překrývající se údaje.

Srovnat → **Best-Fit Datové Objekty** → **Data do datových objektů**



- Klepněte na srovnání datových objektů



Globální optimalizace srovnání

Pokud jsou přítomny tři nebo více datových objektů z různých pozic zařízení, lze srovnání všech datových objektů optimalizovat pomocí metody globálně optimalizovaného srovnání, aby se zajistily nejlepší výsledky, pokud jde o srovnání mezi naskenovanými datovými objekty. Obvykle by tato metoda měla být použita v poslední poloze zařízení.

Srovnat → **Best-Fit Datové Objekty** → **data do datových objektů**



- Klepněte na Globálně optimalizovat srovnání.



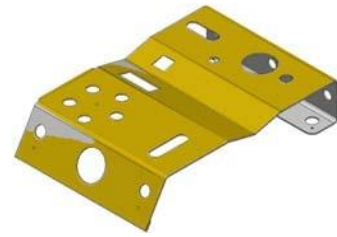
Sjednocení polygonálních modelů

Před prohlídkou součásti se doporučuje sjednotit polygonální modely do pouze jednoho datového objektu.

Nástroje → **Datové objekty** → **Vytvořit polygonální model**



Srovnání měřené součásti k referenčnímu objektu



Srovnání pomocí povrchů objektu

Srovnání je operace, která přenese datový objekt do souřadnicového systému referenčního objektu. Dostupná naskenovaná data vybraných datových objektů na povrch referenčních objektů (model CAD).

Vyhledání nástroje

Srovnání → Best-Fit Datové objekty → Data do referenčních objektů



Přehled

Toto srovnání se provádí ve dvou krocích. Za prvé, předběžné srovnání se provádí pro přiblížení naskenovaných dat k referenčnímu objektu. Poté se provede samotné srovnání, což je optimalizační krok pro minimalizaci odchylek datových bodů ve vztahu k povrchu referenčního objektu.

Předběžné srovnání

Pro správnou funkci automatického předběžného srovnání musí datový objekt pokrýt většinu referenčního objektu a referenční objekt nesmí mít symetrický tvar.

Dostupné metody jsou:

- Automatické: Toto je standardní metoda.
- Bodové páry: V případě, že automatické předběžné srovnání nepřinese výsledek, je možné předběžné srovnání provést ručně, pomocí jedné z metod Bodových párů.

Srovnání bodových párů

Po vstupu do režimu se referenční objekt a datový objekt zobrazí v samostatných oknech.

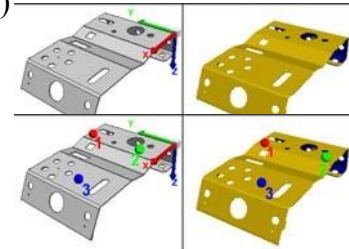
- Klepněte na tlačítko N Bodových párů.



- Přesunutím referenčního objektu (vlevo) a objektu Data (vpravo) budou mít objekty podobnou orientaci. To usnadňuje

výběr párů bodů v podobných oblastech

- Ukotvíte odpovídající body na obou objektech pomocí stejného pořadí. Jsou požadovány minimálně tři páry bodů.



Body jsou zobrazeny pomocí stejné barvy a stejného

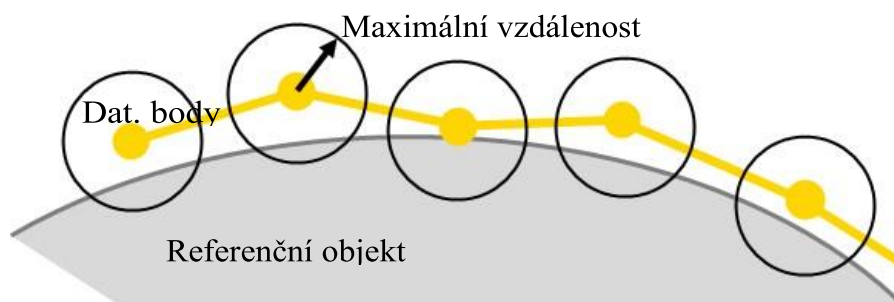
čísla v dolním indexu.

- Klepněte pravým tlačítkem myši pro dokončení operace.

Maximální vzdálenost

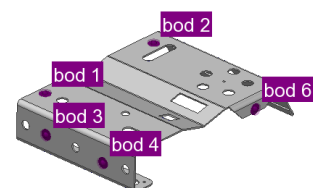
Maximální vzdálenost je poloměr vyhledávání používaný k přiřazení datových bodů k povrchu referenčního objektu.

Pokud je datový objekt výrazně odchýlen od referenčního objektu, zvyšte maximální vzdálenost tak, aby odpovídala datovým bodům povrchu referenčního objektu.



Srovnání pomocí sondování povrchových bodů

Způsob srovnání povrchových sondovaných bodů se používá k srovnání sondovaných bodů s body ve stejných místech na referenčním objektu. Tento nástroj předběžného srovnání velmi usnadňuje vizualizaci a přístup k dalším operacím.



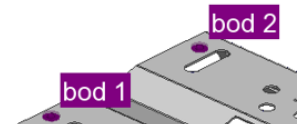
Vyhledání nástroje

Zarovnání → **Zarovnání bodů povrchu**



Způsob vytváření

- Ukotvit: Ukotvit šest bodů v referenčním objektu, které budou použity pro srovnání
Všech šest stupňů volnosti by mělo být omezeno použitím metody 3-2-1 srovnání.



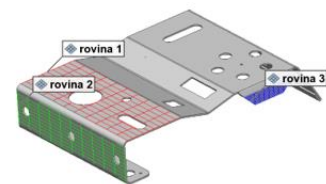
Metoda měření

- Zdrojové body sondy: Na fyzické součásti sondujte stejných šest bodů ve stejném pořadí.



Srovnání pomocí kolmých rovin (Srovnání na tři roviny)

Metoda srovnání kolmých rovin srovná datový objekt k referenčnímu objektu tím, že srovná tři roviny (rovinné prvky).



Vyhledání nástroje

Zarovnání → **Prvkově založené** → **Zarovnání kolmých rovin**



Přehled

Roviny se musí protínat v prostoru, aby mohly být použity pro toto srovnání.

Pořadí, ve kterém jsou roviny uvedeny, je důležité. První rovina je primární rovina a má přednost před druhou a třetí rovinou při srovnávání.

- Zdroj
Měřené části rovinných prvků použitých pro srovnání by měly být ve sloupci Zdroj.

Destinace

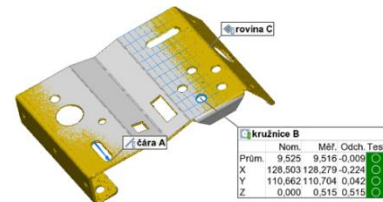
	Zdroj	Váha
1. rovina:	rovina 1 -nor	1,000
2. rovina:	rovina 2 -nor	1,000
3. rovina:	rovina 3 -nor	1,000

Odpovídající nominální části rovinných prvků by měly být ve sloupci Destinace.



Srovnání pomocí roviny, osy, a středového bodu

V metodě srovnání pomocí roviny, osy a středového bodu je používána k srovnání datových objektů na referenční objekty dvojice rovinných prvků: směrové prvky a prvky středových bodů.



Vyhledání nástroje

Zarovnání → Založené na prvcích → Pomocí roviny, vektoru a středového bodu



Přehled

Měřená součást objektu je přiřazena jako zdrojový objekt, zatímco jeho nominální součást je přiřazena jako cílový objekt.

- Sekvence: Nastavuje posloupnost, v jakém pořadí jsou prvky upřednostňovány.
- Zdroj: Měřené prvky součásti použitých pro srovnání by měly být specifikovány jako zdrojové objekty.
- Destinace: Nominální (jmenovité) prvky součásti k srovnání by měli být uvedeny jako destinace.

Název: rovina_osa_středový_bod_1

Sekvence: Rovina, vektor, středový bod

Parametry

Rovina

Zdroj: rovina C -nom.-

Cíl: rovina C -měř.-

Osa

Zdroj: čára A -nom.-

Cíl: čára A -měř.-

Středový bod

Zdroj: kružnice B -nom.-

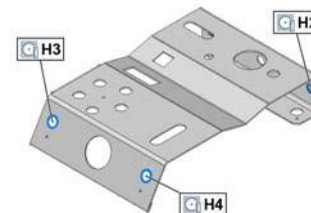
Cíl: kružnice B -měř.-

Potvrdit Zrušit

Best-fit

Tato metoda srovná měřené prvky objektu měření s odpovídajícími nominálními prvky.

Může být použita celá řada měřených objektů.



Vyhledání nástroje

Zarovnání → Nejlepší proložení na měřené objekty



Přehled

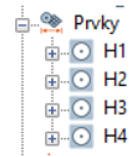
Tato metoda srovnání minimalizuje vzdálenost mezi měřenými datovými body nebo změřenou geometrií měřených objektů k nominální geometrii měřených objektů.

Součást by měla být před-srovnána k referenčnímu objektu. Je však možné specifikovat předběžnou úpravu před provedením srovnání Best-fit měřených objektů.

K dispozici je několik technik srovnání na základě typů použitých objektů měření. Je možné použít:

- Prvky (všechny typy s výjimkou vzdálenosti, úhlů, desek a křivek)
- Srovnání bodů

Je doporučeno vybrat objekty, které budou použity pro srovnání ve stromovém zobrazení před přístupem k srovnání měřicích objektů Best-Fit.



Vybrané objekty jsou automaticky přidány do podokna.

Klíčové parametry

○ Automatické před-srovnání: Proveďte automatické před-srovnání za účelem lepšího výsledku v situacích kdy jsou objekty daleko

od sebe a jsou možná různá optimalizační řešení.

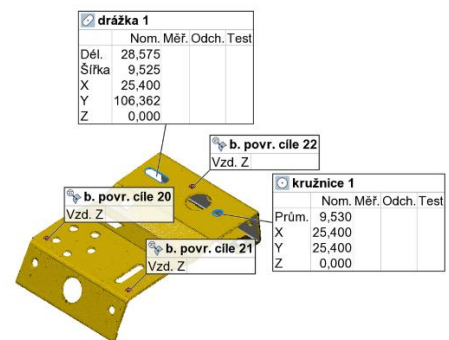
○ Určete směr srovnání (X, Y, Z), pro každý objekt.

○ Best-fit měření objektů – Panel s Nastavením a výsledky.

○ Použití X, Y, Z viz. obr.

Srovnání pomocí referenčních hodnot

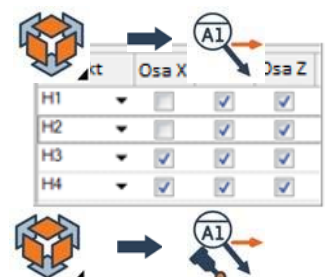
Referenční cíle jsou body, čáry nebo oblasti, které lze použít k omezení srovnání podél určeného směru. Obvykle se vyskytují ve výkresech plechových součástí, jakož i ve výkresech forem a zápustek, ve kterých jsou stanoveny specifické souřadnice součásti a jsou stanoveny směry podél standardních os pro srovnání součástí.



Vyhledání nástroje

Zarovnání → Referenční Cíle → Srovnání

Zarovnání → Referenční Cíle → Srovnání sondováním



Vytvoření referenčních hodnot

- **Vybrat: Měření → Referenční Cíle → Vytvořit → [vybrat typ]**

Referenční body: Jsou umístěny v přesných souřadnicích a srovnávají Datový objekt podél směrů srovnání. Existují podtypy referenčních cílových bodů.



- Povrchové referenční body: Jsou umístěny v přesných souřadnicích na povrchu referenčních objektů.



- Prvkové referenční body: Jsou vytvořeny z přesných souřadnic referenčního objektu a jsou spojeny s jednotlivými prvky,



jako je kruh, díra nebo rovina.



Referenční přímky: Jsou vytvořeny z přímkových prvků a jsou omezeny výstupky nebo ostrými hranami.

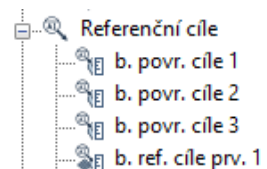
Referenční cílové oblasti: Srovnávají datový objekt v závislosti na určité oblasti s referenčním objektem.

- Nastavte směr srovnání cílového bodu. To může být nastaveno Automaticky, Normálový bod, + X, -X, + Y, -Y, + Z, -Z nebo směr XYZ.

Srovnání

Tato metoda vyrovnání je pro referenční cíle, které jsou měřeny pomocí metod extrakce měření nebo snímání. Umožňuje provedení srovnání po změření referenčních cílů, jakož i prvků navázaných nebo specifikovaných na referenční cílové body prvku.

- Po provedení měření, vyberte referenční cíle ve stromové nabídce.

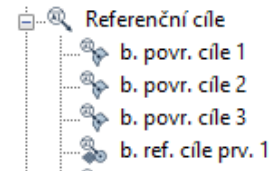


- **Vybrat: Zarovnání → Referenční Cíle → Zarovnání**
Srovnání sondováním



Tento způsob srovnání je pro referenční cíle, které se měří pomocí metod měření sondy. Je určeno pro snímání referenčních povrchových cílových bodů přímo i vázaných prvků nebo pro prvkové referenční cílové body. Toto srovnání se provádí tím, že bude každý cílový bod naskenován.

- Vyberte referenční cílové body ve stromové nabídce.



- Vybrat: **Srovnání → Referenční Cíle → Srovnání sondováním**

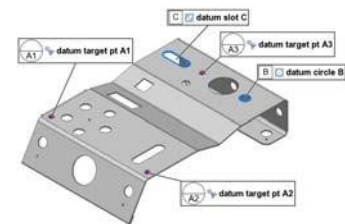


- V podokně srovnání referenčních cílových bodů sondováním klepněte na tlačítko Sondováno.



Srovnání pomocí datového referenčního rámce

Datový Referenční rámec (DRF) je odkaz, který slouží k orientaci a lokalizaci objektů v prostoru. DRF se může skládat z datových prvků s nominálními a měřenými primitivními prvky. Může se také skládat z datových bodů. DRF slouží k orientaci a lokalizaci tolerančních zón, které jsou kontrolovanými prvky geometrického kótování a tolerance (GD&T).



Vyhledání nástroje

Srovnání → Datový referenční rámec → Srovnání



Srovnání → Datový referenční rámec → Srovnání sondováním



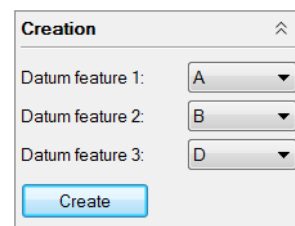
Srovnání

Tato metoda umožňuje srovnat datové objekty na definovanou DRF pomocí referenčních bodů nebo pomocných cílů, které jsou již změřené, a to buď s použitím metody extrakce, nebo metody sondování.

- Vybrat: **Srovnání** → **Datový referenční rámec** → **Srovnání**



- DRF je již specifikováno v rámci kontroly prvků GD & T kontrolované prvky se automaticky objeví v seznamu. Vyberte existující DRF a proveďte srovnání.
- Vytvořte novou DRF z dialogového okna. Poté ji vyberte ze seznamu a proveďte srovnání.



Srovnání sondováním

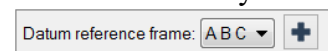
Tato metoda umožňuje srovnávat datové objekty na definovanou DRF pomocí vztažného bodu nebo pomocného cíle, který se změří pomocí sondy. Pořadí, ve kterém jsou data sondována, je založen na jejich pořadí v Datovém referenčním rámci.

- Vybrat: **Srovnání** → **Datový referenční rámec** → **Srovnání sondováním**.



Ve srovnávacím referenčním rámci v panelu Sondování:

- DRF je již uvedeno v rámci kontrolních prvků funkcí GD & T a tudíž se automaticky objeví v seznamu. Vyberte existující DRF.



- Vytvořte novou DRF z podokna. Klepněte na tlačítko Vytvořit datový referenční rámec. Po vytvoření, jej vyberte ze seznamu.



- Klepněte na tlačítko Měřeno sondou.



9.2 Kontrolní otázky

1. Popište srovnání pomocí kolmých rovin (na tři roviny).
2. Popište přemístění ramene.
3. Jaké jsou druhy vyrovnání?
4. Jak se provádí Vytvoření položek: „Nový dílec“ a „Nová šablona“?
5. Jak se provádí srovnání pomocí: roviny, osy a středového bodu?

9.3 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.
- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM. Praha 2016. Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. Bakalářská práce (Bc.) VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.

10 Tvorba měřicího programu na zadaných dílech v prostředí PolyWorks. Simulace průběhu měření a odladění programu včetně přípravy protokolu

10.1 Klíčová slova

CAD, model, měření, komponenta, výkres

10.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je kontrola škrticího ventilu, tak aby byla zajištěna správná montáž a provoz.

10.3 Úvod do kapitoly

Předmětem v tomto cvičení je tělo škrticího ventilu. Aby byla zajištěna jeho správná montáž a provoz, musí být kontrolovány jeho specifické vlastnosti pomocí rozměrů uvedených na výkresu. Nejprve získáte požadovaná měření vytvořením prvků a nastavením příslušných rozměrových kontrolních prvků. Poté pomocí nástroje Control Reviewer zkontrolujte výsledky měření.



Soubory dat

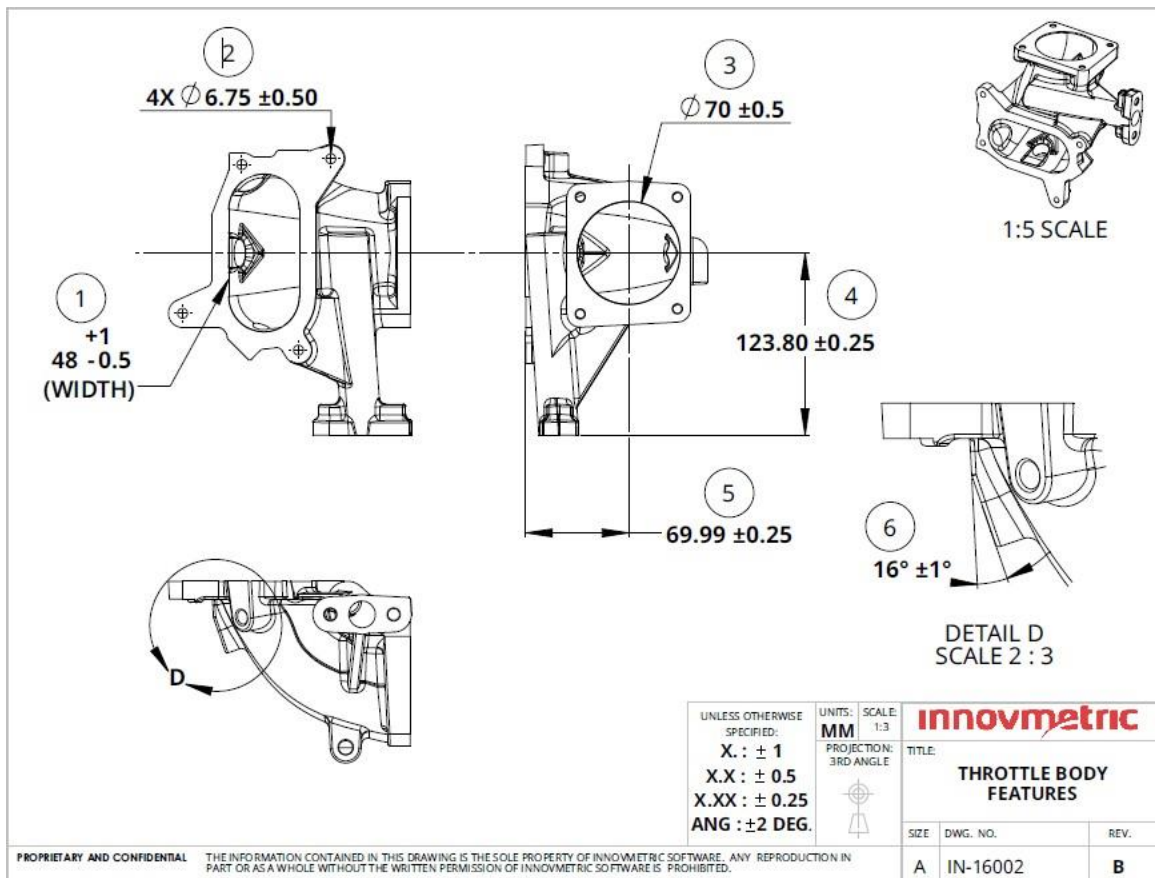
Refereční objekt:

ThrottleBody.stp

Datový objekt:

ThrottleBody.stl

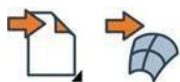
Technický výkres:



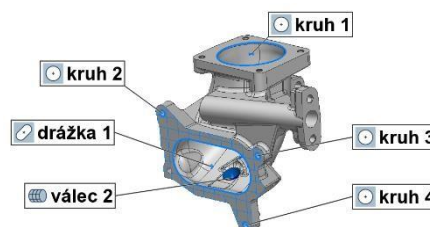
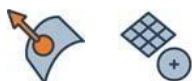
10.4 Výklad

Klíčové kroky

1. Vytvořte nový projekt a importujte CAD model součásti



2. Vytvořte prvky roviny, kružnice a drážky potřebné k získání měření specifikovaných na výkresu.

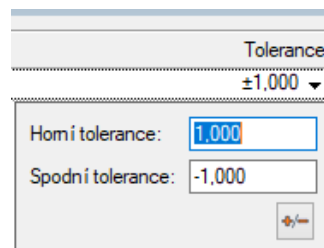


3. Vytvořte prvky vzdálenosti a úhlu potřebné k získání měření specifikovaných na výkresu.



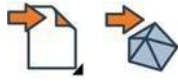
Jména prvků lze upravit tak, aby byla snáze identifikovatelná ve stromovém zobrazení.

4. Nastavte příslušné tolerance pro rozměrové kontrolní prvky pomocí informací uvedených na technickém výkresu.



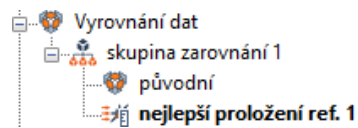
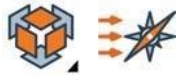
Charakteristické číslo lze také přiřadit ke konkrétnímu kontrolnímu prvku, jak je uvedeno v technickém výkresu.

5. Importujte skenované součásti do projektu

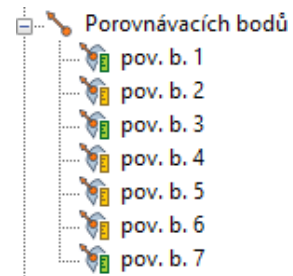


6. Srovnajte sken součásti s CAD modelem za použití metody best-fit. Může

být použito automatické před srovnání.



7. Vyberte srovnávací body ve stromovém zobrazení a extrahujte jejich změřené komponenty.



Ikona Měřeno potvrzuje, že měřená komponenta byla extrahována.

8. Zkontrolujte výsledky měření

Název objektu	Vlastnost	Odchyka	Test
pov. b. 1	Povrchová vzdálenost	-0,064	Vyhovuje
pov. b. 2	Povrchová vzdálenost	-0,161	Vyhovuje
pov. b. 3	Povrchová vzdálenost	0,045	Vyhovuje
pov. b. 4	Povrchová vzdálenost	-0,276	Vyhovuje
pov. b. 5	Povrchová vzdálenost	-0,342	Vyhovuje
pov. b. 6	Povrchová vzdálenost	-0,311	Vyhovuje
pov. b. 7	Povrchová vzdálenost	-0,056	Vyhovuje

9. Uložte projekt pro použití v následujících cvičeních.



10.5 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.
- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM. Praha 2016. Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. Bakalářská práce (Bc.) VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.

11 Tvorba měřicího programu na zadaných dílech v prostředí PolyWorks. Simulace průběhu měření a odladění programu včetně přípravy protokolu

11.1 Klíčová slova

měření, výkres, ventil, 3D, report

11.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je kontrola škrticího ventilu, tak aby byla zajištěna správná montáž a provoz. Dalším cílem je vytvořit požadované kontrolní prvky, tak aby bylo možné prohlédnout výsledky ve 3D.

11.3 Úvod do kapitoly

Předmětem v tomto cvičení je tělo škrticího ventilu. Byl proveden kontrolní projekt pro měření a kontrolu rozměrů součástí, podle informací poskytnutých na výkresu.

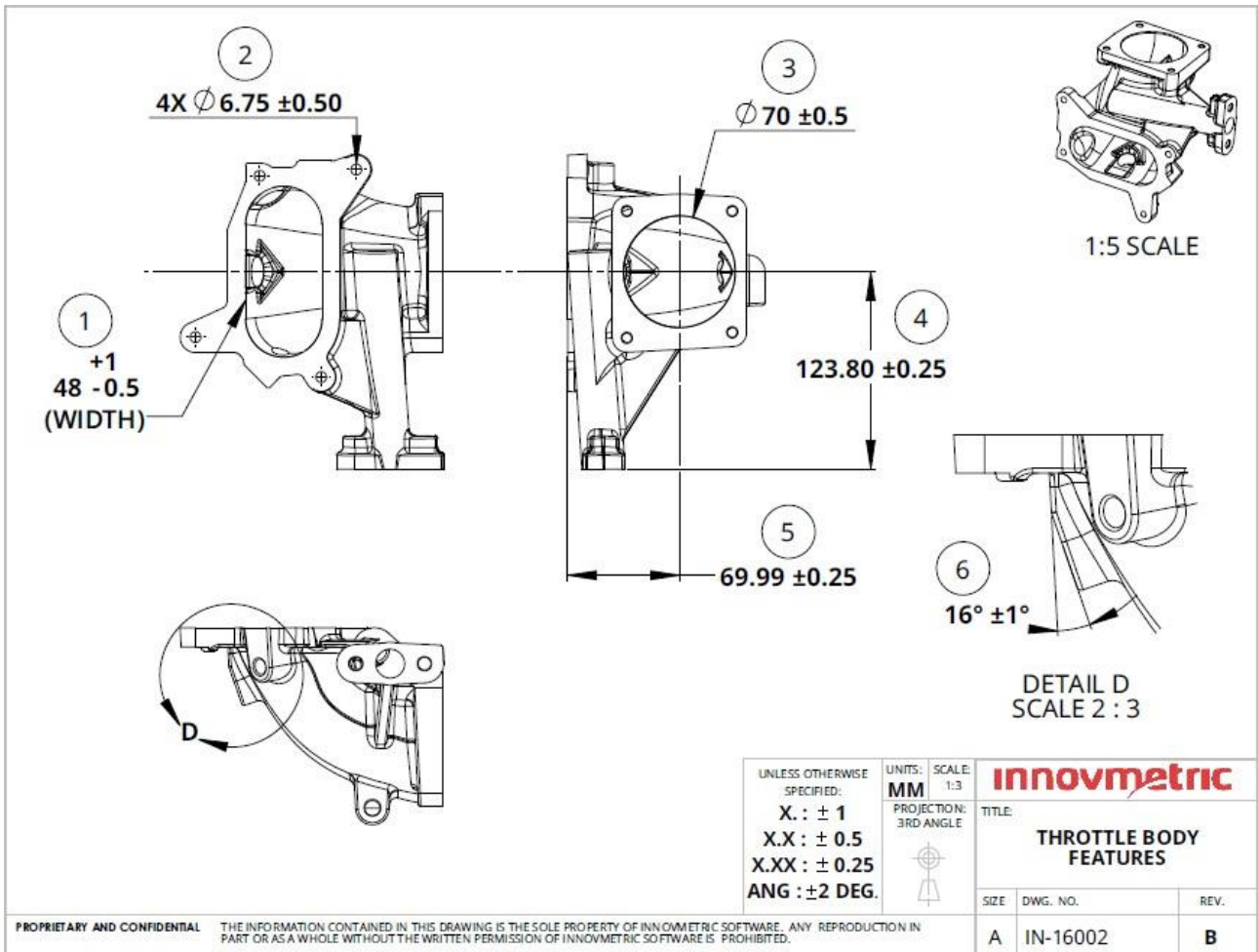
Nejprve se pomocí Control Reviewer podívejte na všechny výsledky měření. Poté vytvořte všechny požadované kontrolní prvky, abyste si mohli prohlédnout výsledky ve 3D, jakož i ve formátu sestavy, která obsahuje snímky a tabulky.



Soubory dat

Projekt: (Start) Review report- Throttle body

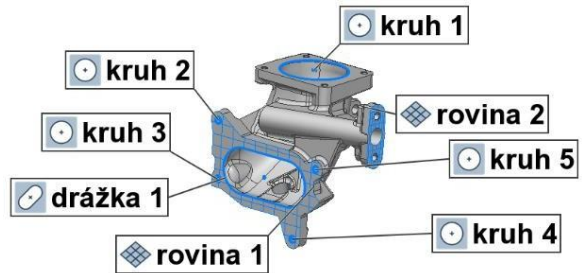
Technický výkres



11.4 Výklad

Klíčové kroky

1. Otevřete dokončený projekt ze cvičení 3 nebo alternativně, vytvořte projekt prototo cvičení.

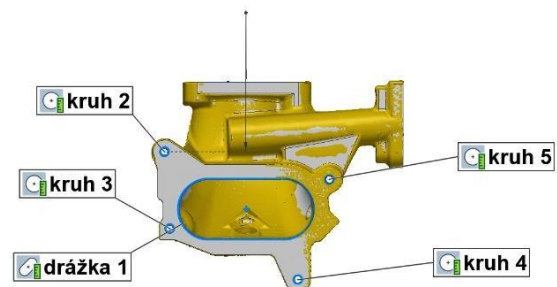


2. Zkontrolujte výsledky měření.



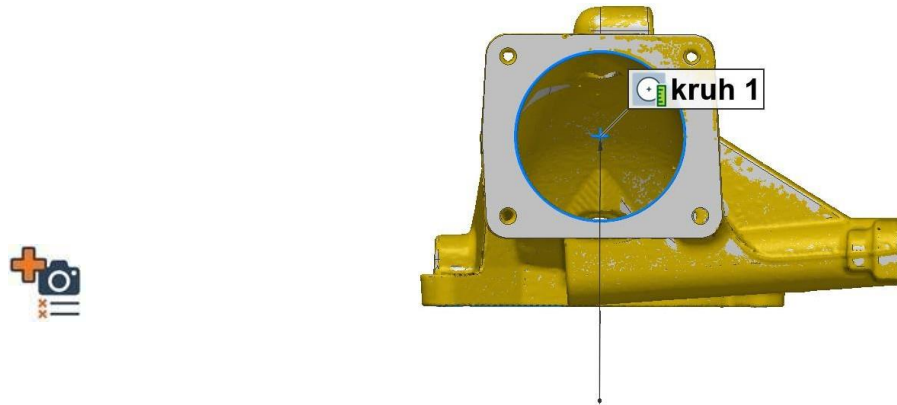
Control Reviewer				
Control View Úprava Zobrazení Protokol				
(Všechny kontroly)				
Název obje...	Vlastnost	Odchylka	Test	
kruh 1	Průměr	-0,204	Vyhovuje	
kruh 1	X	0,140	Vyhovuje	
kruh 1	Y	-0,225	Vyhovuje	
kruh 1	Z	-0,173	Vyhovuje	

3. Vytvořte první kontrolní pohled na základě toho, jak jsou specifikována měření na technickém výkresu. K formátovanému

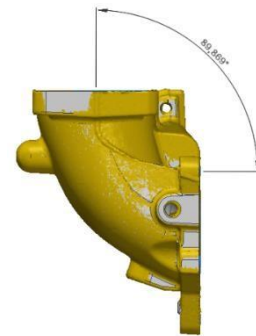


reportu se automaticky přidá snímek a tabulka.

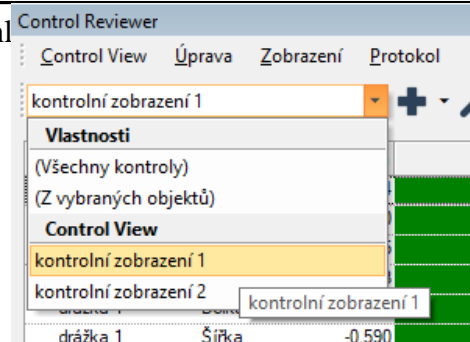
4. Vytvořte druhý kontrolní pohled na základě toho, jak jsou specifikována měření na technickém výkresu. K formátovanému reportu se automaticky přidá snímek a tabulka.



5. Vytvořte třetí kontrolní pohled na základě toho, jak jsou specifikována měření na technickém výkresu. K formátovanému reportu se automaticky přidá snímek a tabulka.

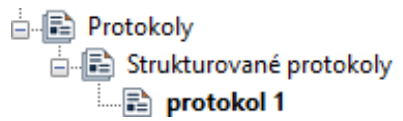


6. Zkontrolujte vytvořené kontrolní pohledy



Názvy kontrolních pohledů lze po vytvoření upravovat z rozhraní Control Reviewer.

7. Otevřete formátovaný report ve stromovém výběru



8. Aktualizujte report, součást nebo vlastnosti projektu podle potřeby



9. Exportujte report z Report editoru ve formátu PDF.



Snímek CAD modelu lze přidat na titulní stranu reportu před exportem.

10. Uložte projekt pro použití v následujících cvičeních.



12 Základní seznámení se software

SpaceClaim

12.1 Klíčová slova

náčrt, 2D, 3D, těleso, nástroj, funkce

12.2 Cíle kapitoly

Cílem této kapitoly je studenty seznámit se softwarem SpaceClaim. To znamená tvorba náčrtu a další funkce potřebné pro měření.

12.3 Úvod do kapitoly

Základní nástroje pro práci ve SpaceClaim

Náčrt

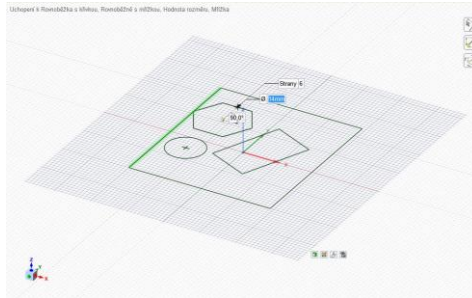
Náčrt je důležitá fáze modelování v případě, že chcete vytvořit zcela novou geometrii. Pro úpravy stávající geometrie není, ve většině případů, nutné náčrt využívat.



Pro náčrt můžete použít základní konstrukční prvky, jako je bod, úsečka, kružnice nebo křivka. Můžete využít i zjednodušených nástrojů jako např. mnohoúhelník, obdélník, obdélník třemi body, elipsa a další.

Náčrt lze provádět na 2 D mřížku nebo na plochu či stěnu modelu.

Úpravy



Funkce pro úpravy slouží k editaci stávající geometrie nebo k vytváření nové geometrie z náčrtu. Většina funkcí a možností úprav je reprezentována těmito čtyřmi nástroji:



Vybrat



Touto funkcí lze provádět výběry bodů, úseček, oblouků, křivek, kružnic, hran, ploch, těles, sestav, os, výběry ve 2D nebo 3D, výběry v okně kreslení nebo v panelech sestavy modelu, výběry dle vlastností prvků a mnoho dalšího.

Při označování lze použít jednoduché, dvojitě nebo trojitě kliknutí, přičemž se vybere jeden prvek, řetězec nebo celá součást. Samozřejmostí je také možnost výběru oknem nebo pomocí klávesové zkratky Ctrl+A.

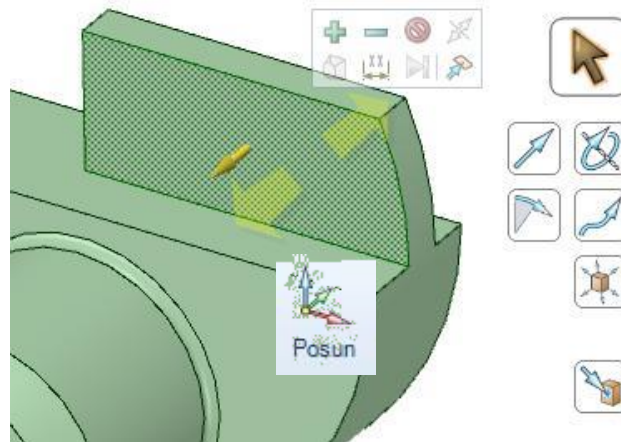
12.4 Výklad

Vytáhnout



Funkce slouží pro offsetování, prodloužení, rotaci, tažení, náklon, propojení ploch, zaoblení nebo sražení rohů a prodloužení hran ploch. Funkci lze použít mimo jiné i k uchopení a tažení bodu v rovině a vytvoření křivky.

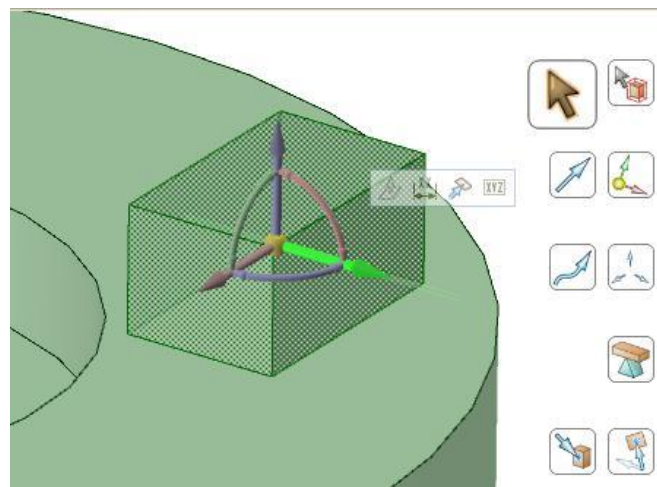
Při použití této funkce je zobrazena nabídka rozšiřujících funkcí a při označení prvků i kontextová nabídka pro úpravu daného prvku.



Posun

Tuto funkci lze opět využít jak ve 2D, tak i ve 3D. Chování funkce se mění v závislosti na tom, jaký typ prvku je označen.

Označíte-li těleso, můžete jej posouvat nebo rotovat.

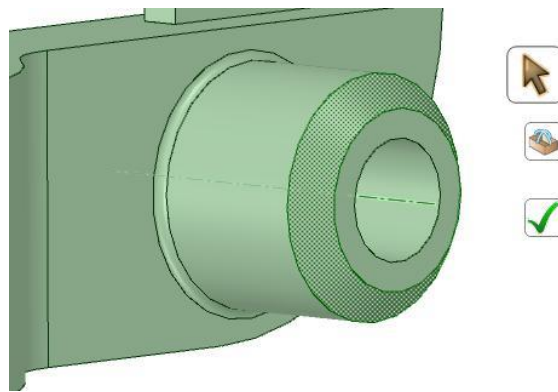


Při označení stěny tělesa můžete těleso zvětšovat nebo zmenšovat. Můžete také naklánět stěnu atd. Při posouvání lze tvořit pole.

Vyplnit



Touto funkcí lze zrušit některé útvary na modelu nebo ploše či křivce. Můžete například odstranit otvory, zaoblení nebo sražení hran, přechodové rádiusy, kapsy, nálitky, vybrání a mnoho dalšího.

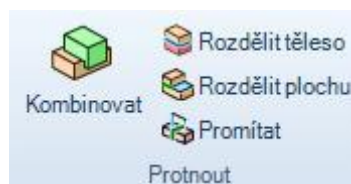


Tyto čtyři funkce jsou základními nástroji SpaceClaim, kterými budete schopni provádět naprostou většinu potřebných úkonů. Všechny tyto funkce mají široké možnosti využití a díky doplňkovým funkcím a nabídkám vám umožní pracovat rychle a efektivně, bez nutnosti detailní znalosti prostředí a panelů. To vše je doplněno českou kontextovou nápovědou pro ještě lepší orientaci.

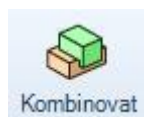
Všechny tyto základní funkce mají vlastní klávesové zkratky. V menu SpaceClaim pak lze nastavit, zda budou tyto zkratky viditelné na panelech.

Prolnutí

Pro práci se sčítáním nebo rozdělováním ploch a těles lze využít funkce z panelu Protnout, mezi které patří:



Kombinovat

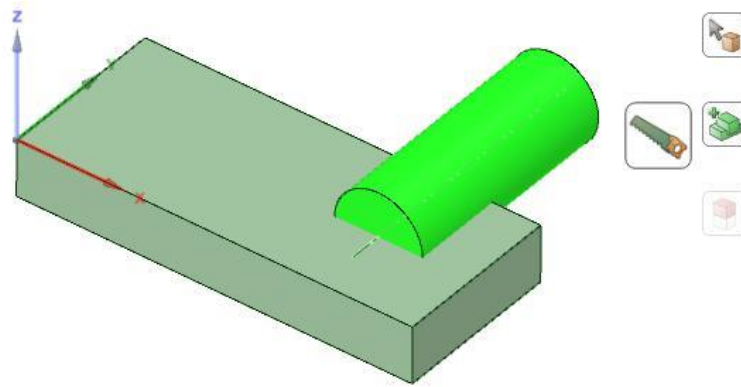


Tato funkce poskytuje nástroje pro:

Sčítání těles – tělesa jsou sečtena do jednoho

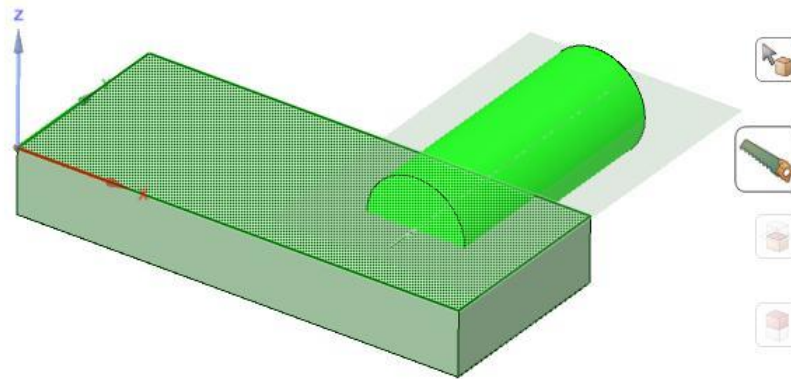
Rozdíly těles – tělesa jsou odečtena. Jejich průniky mohou být ponechány nebo automaticky odstraněny.

Tvorba 3D křivek průniků ploch – na průnicích ploch lze vytvořit 3D křivku, která může dále sloužit například pro tvorbu plochy apod.

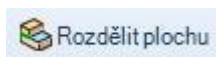


Rozdělit těleso

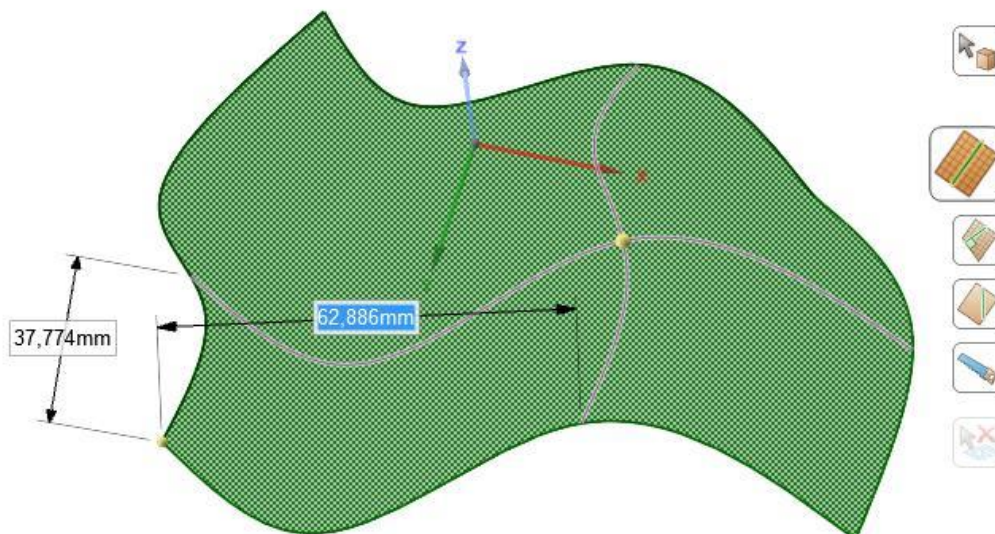
Tato funkce umožňuje velmi rychlé rozdělení součásti dle označené plochy či roviny. Mezi doplňkové podfunkce patří například automatické sečtení zbylých těles po odstranění jejich nepotřebných částí.



Rozdělit plochu



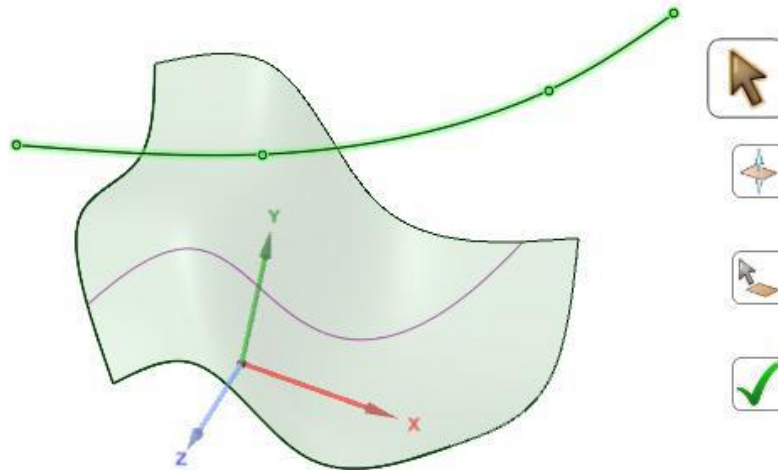
Tímto nástrojem lze rozdělit plochy nebo plochy na tělesech jedním až dvěma kliknutími. Stačí pouze vybrat plochu a zvolit způsob rozdělení – například dle jiné plochy, křivky na ploše, mezi dvěma body, automatické rozdělení rotačních ploch apod.



Promítat



Tato funkce slouží pro průmět skic, křivek nebo hran ploch a těles na plochu, těleso nebo do roviny.



Všechny funkce pro prolnutí těles a průměty opět disponují velkým množstvím doplňkových funkcí, které vám pomohou rychle a snadno dosáhnou požadovaného výsledku.

12.5 Kontrolní otázky

1. Popište využití náčrtu.
2. Jak lze vytáhnout náčrt do 3D?
3. Jak lze provést Posun (rotaci)?
4. Jak rozdělit těleso?
5. Jak rozdělit plochu?

13 Prezentace týmových projektů k měření systémem ROMER, konzultace, rekapitulace

13.1 Cíle kapitoly

Cílem tohoto výukového bloku je umožnit studentům prezentovat výsledky zadaných týmových projektů realizovaných v předcházejících výukových blocích pomocí 3D měřicího systému ROMER Absolute Arm včetně základů práce transformace naskenovaných dat do plnohodnotného CAD modelu s aplikovatelností v reverzním inženýrství.

Dalším cílem je na základě prezentace výsledků vyhodnotit jejich kvalitu, konzultovat získané poznatky z měření a vyhodnocování, jakož i z vlastní prezentace. Součástí bloku je rovněž finální diskuse se studenty k práci na 3D měřicím přístroji a na CAD modely transformačním software a rekapitulace klíčových parametrů práce.

13.2 Výstup výukového bloku

Po tomto výukovém bloku by studenti měli porozumět principům:

- základů 3D měření pomocí 3D měřicího systému kombinující dotykovou sondu a laser,
- manipulace a ovládání moderních 3D měřicího systému kombinující dotykovou sondu a laser,
- základů práce s importem a exportem virtuálních objektů a CAD dat,
- základů práce s profesionálním softwarem pro rozměrovou analýzu, digitalizaci objektů a softwaru pro transformaci naskenovaných dat do CAD modelů.

Po tomto výukovém bloku by studenti měli umět:

- na základě konkrétního zadání posoudit vhodnost aplikovatelnosti 3D měřicího systému kombinující dotykovou sondu a laser pro danou měřicí úlohu,
- připravit měřený objekt, 3D měřicí systém kombinující dotykovou sondu a laser pro práci,
- ovládat 3D měřicí systém kombinující dotykovou sondu a laser při vlastním měření,
- v základním rozsahu využívat profesionální řídicí a vyhodnocovací software,
- komparovat naskenovaný model s podkladovým modelem a vyhodnotit odchylky,
- převést původní 3D model objektu na plnohodnotný 3D CAD datový objekt,
- v základu pracovat s CAD modely v 2D a 3D pro přípravu na další aplikace, např. reverzní inženýrství nebo 3D tisk.

Doporučená studijní literatura

Problematicku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ŠTRONER, M., 2013. *3D skenovací systémy*. 1. Vydání. Praha: ČVUT. ISBN 9788001053713.
- DĚDIČ, M., 2019. *3D scanning and analysis of acquired data of historically and culturally significant objects referring to the work of Adalbert Stifter*. MATEC Web of Conferences.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for Portable Metrology*. Québec QC Canada, 2014.
- MANUÁL firmy INNOVMETRIC. *PolyWorks Inspector Training Workbook: Basic Probing and Scanning Applications for CNC CMM*. Québec QC Canada, 2014.
- HRBKOVÁ Eliška. *Problematika měření obecných tvarových ploch s využitím CMM. Praha 2016. Bakalářská práce (Bc.)*. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta strojní Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- ČERMÁK Jan. *Metody 3D skenování objektů*. Brno 2015. Bakalářská práce (Bc.) VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta strojního inženýrství ústav automatizace a informatiky.
- ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS)*
- SPACECLAIM. *První kroky ve SpaceClaim: Průvodce pro seznámení se SpaceClaim*. Tř. T. Bati 2112 Zlín, 2019.