

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Geometrické tolerance tvaru, směru, polohy a házení

**Geometrical specifications of form, orientation, location
and runout**

Bakalářská práce

Autor: David Kunc
Vedoucí práce: Ing. Petr Mikeš Ph.D.
Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD
STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kunc Jméno: David Osobní číslo: 419982
Fakulta/ústav: Fakulta strojní
Zadávající katedra/ústav: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Studijní program: Teoretický základ strojního Inženýrství
Studijní obor: bez oboru

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Geometrické tolerance tvaru, orientace, směru a házení

Název bakalářské práce anglicky:

Geometrical specifications of form, orientation, location and runout

Pokyny pro vypracování:

1. Analýza normy ČSN EN ISO 1101
2. Vytvoření modelových součástí pro demonstraci geometrických tolerancí
3. Vypracování modelových úloh pro kontrolu vybraných geometrických tolerancí v softwaru Calypso
4. Simulace měření

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Petr Mikeš, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

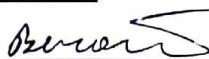
Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2018**

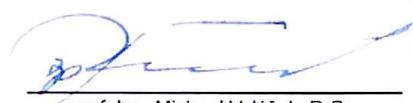
Platnost zadání bakalářské práce:



Ing. Petr Mikeš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27.4.2018,
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Velké poděkování patří všem zaměstnancům Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie, kteří mi věnovali svůj čas. Zvláště vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Mikešovi Ph.D., který mi dával cenné informace o problematice, stejně jako rady ke struktuře práce. Dále bych chtěl poděkovat lidem z oddělení kvality firmy Kamax, díky kterým jsem získal cenné zkušenosti v oblasti měření.

Dále je pro mě velice důležitá důvěra mé rodiny, která mi dává prostor a podporuje mě ve studiu.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce analyzuje normu ČSN EN ISO 1101. Cílem analýzy je stručné vysvětlení základních bodů normy se speciálním zaměřením na změny oproti starším vydáním. Další část této práce obsahuje vytvoření modelových součástí pro demonstraci geometrických tolerancí a následné vypracování modelových úloh pro kontrolu vybraných geometrických tolerancí na daných modelových součástech v softwaru Calypso.

Klíčová slova: GPS, Geometrické tolerance

Abstract:

This thesis analyzes standard ČSN EN ISO 1101. The main purpose of this analysis is to explain some of the basic points of this standard with focus on changes in the last update. The next part of this thesis involves the creation of model components for demonstration of geometric dimensioning and tolerancing. The model components are then used to construct model tasks, which are used to demonstrate the evaluation of specific geometrical specifications in Calypso software.

Keywords: GPS, Geometrical specifications

Obsah:

Úvod	7
1.1 Měření.....	7
1.1.1 Souřadnicové měřící stroje.....	7
1.1.2 Komunální měřidla.....	8
1.1.3 Kruhoměry.....	8
2 Základní pojmy	9
3 Přehled geometrických tolerancí	9
3.1 Tolerance tvaru.....	10
3.1.1 Tolerance přímosti	10
3.1.2 Tolerance rovinnosti.....	11
3.1.3 Tolerance kruhovitosti	11
3.1.4 Tolerance válcovitosti	11
3.1.5 Tolerance tvaru profilu.....	12
3.1.6 Tolerance tvaru plochy.....	12
3.2 Tolerance směru.....	13
3.2.1 Tolerance rovnoběžnosti.....	13
3.2.2 Tolerance kolmosti.....	14
3.2.3 Tolerance sklonu	14
3.3 Tolerance polohy.....	15
3.3.1 Tolerance umístění.....	15
3.3.2 Tolerance soustřednosti a souososti	15
3.3.3 Tolerance souměrnosti.....	16
3.4 Tolerance házení	16
3.4.1 Tolerance kruhového házení	16
3.4.2 Tolerance celkového házení.....	17
4 Toleranční zóna	18
4.1 Výchozí toleranční zóna.....	18
4.2 Toleranční zóna s proměnlivou šířkou.....	19

4.3	Cylindrická a sférická toleranční zóna	19
4.4	Toleranční zóna se stanovenou odchylkou.	19
5	Doplňkové indikátory	20
5.1	All around, all over	21
6	Specifikační prvky	23
6.1	Průsečíková rovina.....	23
6.2	Orientační rovina	24
6.3	Směrový prvek	24
6.4	Kolektivní rovina.....	25
7	Modelové úlohy v softwaru Calypso	26
7.1	Cíl práce	26
7.2	Modelová úloha č. 1.....	26
7.3	Modelová úloha č. 2.....	32
7.4	Modelová úloha č. 3.....	36
7.5	Modelová úloha č. 4.....	38
8	Závěr	41
1.	Seznam použité literatury:	45

Úvod

Společně s přesností rozměrů a jakostí povrchu má i geometricky přesný tvar funkčních ploch velký vliv na správnou funkčnost součástí. Geometrické tolerance určují přípustnost tolerovaných součástí na základě posuzování odchylek skutečných tvarů od geometricky přesných tvarů. S postupným technickým pokrokem a rozvojem strojního průmyslu přichází zvyšující se požadavek na vyšší přesnost vyráběných součástí. Například úchylky orientace upínacích a vodících ploch mají negativní vliv na přesnost obráběcích strojů nebo úchylky kruhovitosti u ložisek způsobují vyšší opotřebení a hlučnost chodu.

Způsob předepisování geometrických tolerancí podléhá normě ČSN ISO 1101, která obsahuje definice tolerancí tvaru, orientace, umístění a házení a pravidla pro předepisování těchto tolerancí ve výrobní dokumentaci. Za účelem jednotného definování a zpřesňování specifikací je norma aktualizována. Tato práce má snahu o stručné popsání normy (ČSN ISO 1101 srpen 2017) se speciálním zaměřením na změny, oproti starším vydáním této normy.

1.1 Měření

Důležitou součástí v oblasti GPS je ověřování přesnosti daných předepsaných tolerancí. To stejně jako u měření rozměrových přesností a jakosti povrchu vyžaduje specifické měřicí zařízení a specifické vyhodnocení.

1.1.1 Souřadnicové měřící stroje

Mezi nejuniverzálnější měřicí přístroje v oblasti měření geometrické přesnosti, patří souřadnicové měřicí stroje. Za použití kontaktních i bezkontaktních sond umožňují provádět četné druhy měření, podpořené analytickým softwarem, který zajišťuje interpretaci naměřených výsledků. Tato metoda umožňuje ověření převážně většiny geometrických tolerancí.



Obrázek 1: Souřadnicový měřící stroj [1]

1.1.2 Komunální měřidla

Naopak mezi ty nejjednodušší způsoby kontroly geometrické přesnosti patří komunální měřidla. Posuvné měřítka či mikrometr jsou primárně určené pro měření délek, je možné s nimi však měřit například odchylku umístění (posuvné měřítka) či orientační měření kruhovitosti a válcovitosti (mikrometr). Úchylkoměrem lze zase změřit odchylku házení. Výhodou komunálních měřidel je snadná manipulace a cena, jsou ovšem méně přesné a lze s nimi měřit pouze jednodušší geometrické přesnosti.

1.1.3 Kruhoměry

Kruhoměry jsou přístroje, které se primárně specializují na měření úchylek kruhovitosti, souososti či válcovitosti. Kruhoměry se vyrábí ve dvou provedeních. První provedení obsahuje rotující stůl a u druhého se využívá rotujícího měřicího zařízení. Použití konkrétního provedení závisí na velikosti a tvaru měřeného obrobku. V současnosti se jedná o nejpřesnější metodu měření kruhovitosti. Přesnost se pohybuje v řádu nanometrů, což převyšuje přesnost měření na souřadnicových měřících strojích



Obrázek 2 Kruhoměr RA-H5200 [4]

2 Základní pojmy

Prvek – Obecný název, který se využívá k popsání geometrických útvarů, jako jsou bod, čára či přímka, ale lze použít i k popsání konstrukčních útvarů jako je zkosená hrana či středící důlek.

Prvky mohou být **integrální** (např. vnější povrch válce) nebo **odvozené** (např. osa)

Jmenovitý tvar – ideální tvar geometrického prvku, který je určen výkresem nebo jinou technickou dokumentací.

Toleranční pole – oblast omezená jednou či dvěma ideálními křivkami nebo plochami, a která je charakterizována jedním či více lineárními rozměry.

3 Přehled geometrických tolerancí

Geometrické tolerance se dělí do 4 základních skupin. Konkrétně se jedná o tolerance tvaru, směru, umístění a házení. V tabulce je uvedeno základní rozdělení geometrických tolerancí spolu se specifikací, zda daná geometrická tolerance vyžaduje použití základny. [3]

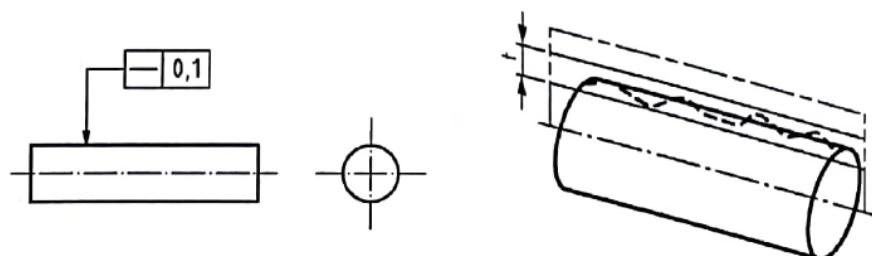
Geometrické tolerance		Značka	Potřeba základny
Tvaru	Přímosti	—	NE
	Rovinnosti	□	NE
	Kruhovitosti	○	NE
	Válcovitosti	◎	NE
	Tvaru profilu libovolné čáry	⌒	ANO/NE
	Tvaru profilu libovolné plochy	⌒	ANO/NE
Směru	Rovnoběžnosti	//	ANO
	Kolmosti	⊥	ANO
	Sklonu	↙	ANO
Umístění	Polohy	⊕	ANO
	Soustřednosti a souosostí	◎◎	ANO
	Souměrnosti	≡	ANO
Házení	Kruhového	↗	ANO
	Celkového	↙ ↗ ↘ ↖	ANO

Tabulka 1 Přehled geometrických tolerancí

3.1 Tolerance tvaru

3.1.1 Tolerance přímosti

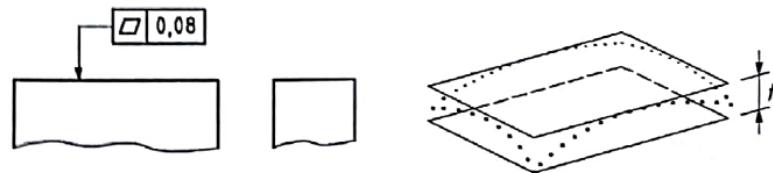
Tolerance přímosti vyhovuje tehdy, pokud tolerovaná čára (osa, hrana, jakákoli odvozená přímka z povrchu tolerované součásti) leží mezi dvěma rovnoběžnými přímkami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole.



Obrázek 3 Tolerance přímosti

3.1.2 Tolerance rovinnosti

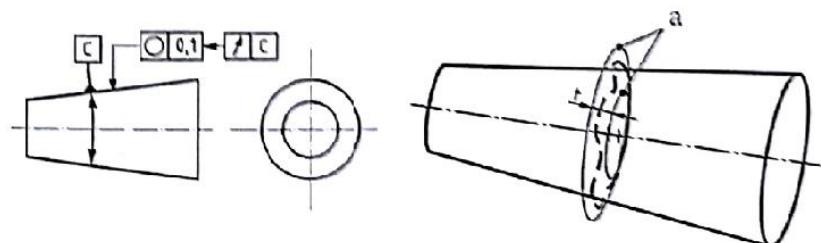
Tolerance rovinnosti je vyhovující, pokud odvozená rovina leží mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole.



Obrázek 4 Tolerance rovinnosti

3.1.3 Tolerance kruhovitosti

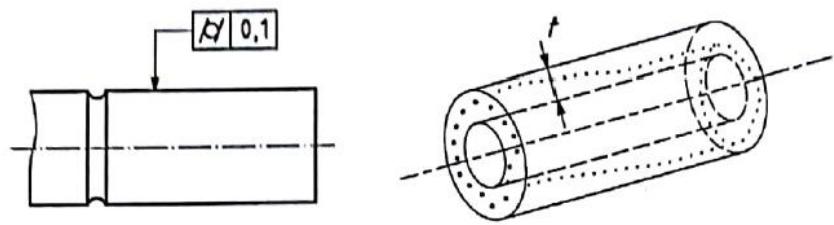
Odvozená obvodová čára z kuželového nebo válcového povrchu v jakémkoliv průřezu musí ležet mezi dvěma koplanárními (ležícími ve stejně rovině) a soustřednými kruhy vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole.



Obrázek 5 Tolerance kruhovitosti

3.1.4 Tolerance válcovitosti

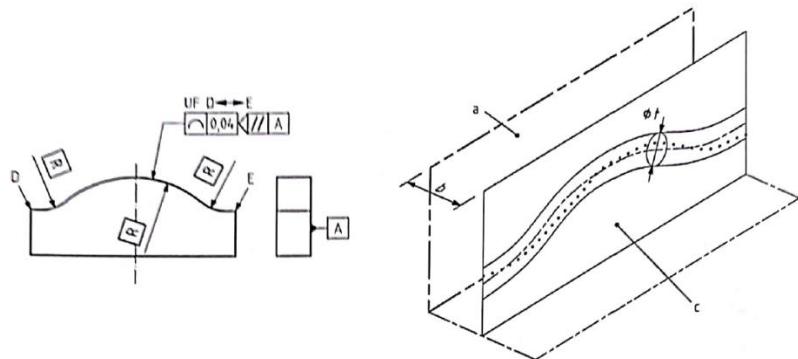
Odvozený cylindrický povrch musí ležet mezi dvěma souosými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole.



Obrázek 6 Tolerance válcovitosti

3.1.5 Tolerance tvaru profilu

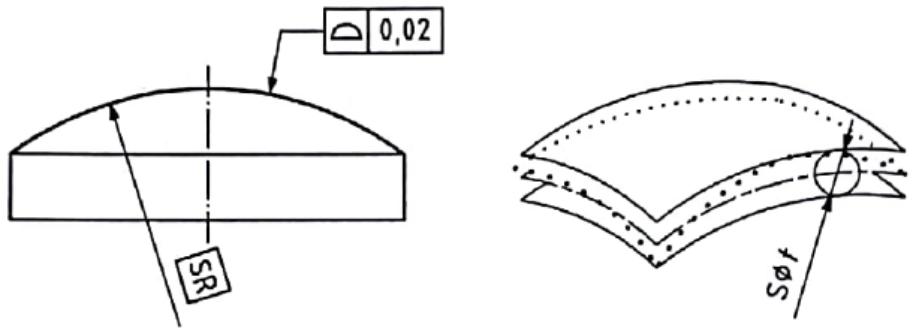
Odvozená čára profilu musí ležet mezi dvěma ekvidistantami, ležícími v rovině řezu kolmě k tolerovanému povrchu a vzdálenými od jmenovitého profilu o polovinu hodnoty tolerančního pole. V závislosti na účelu a posouzení dané tolerance lze předepsat základnu, ale její použití není nutné.



Obrázek 7 Tolerance tvaru profilu

3.1.6 Tolerance tvaru plochy

Odvozený povrch musí ležet mezi dvěma ekvidistantními povrhy ohraňující koule o průměru rovnému hodnotě tolerančního pole. V závislosti na účelu a posouzení dané tolerance lze předepsat základnu, ale její použití není nutné.



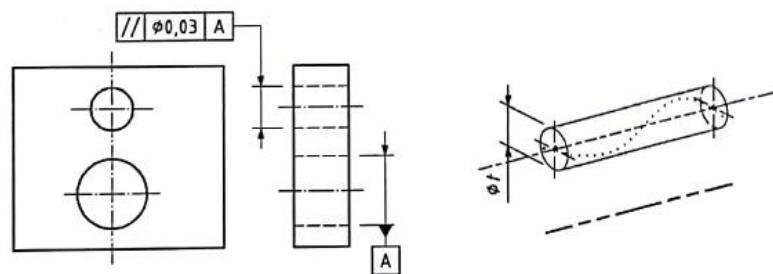
Obrázek 8 Tolerance tvaru plochy

3.2 Tolerance směru

3.2.1 Tolerance rovnoběžnosti

Odvozený tolerovaný prvek musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami, vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole, a které jsou rovnoběžné s předepsanou základnou.

Pokud hodnotě tolerančního pole předchází symbol \emptyset , pak se toleranční zóna nachází uvnitř válce o průměru rovném hodnotě tolerančního pole. Válec je rovnoběžný s předepsanou základnou. Toto lze použít pouze za předpokladu tolerování lineárního prvku.

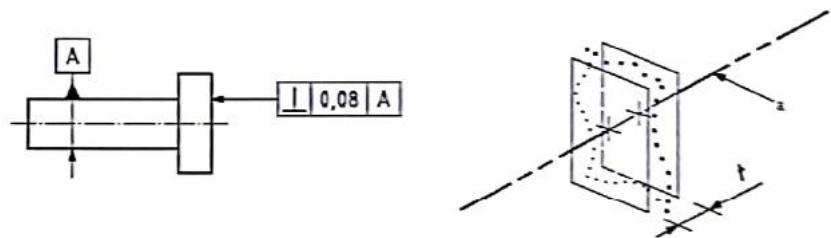


Obrázek 9 Tolerance rovnoběžnosti

3.2.2 Tolerance kolmosti

Odvozený tolerovaný prvek ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami, vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole, a které jsou kolmé na předepsanou základnou.

Opět lze změnit tvar toleranční zóny na válec použitím symbolu \emptyset před hodnotou tolerančního pole. (viz 4.2.1)

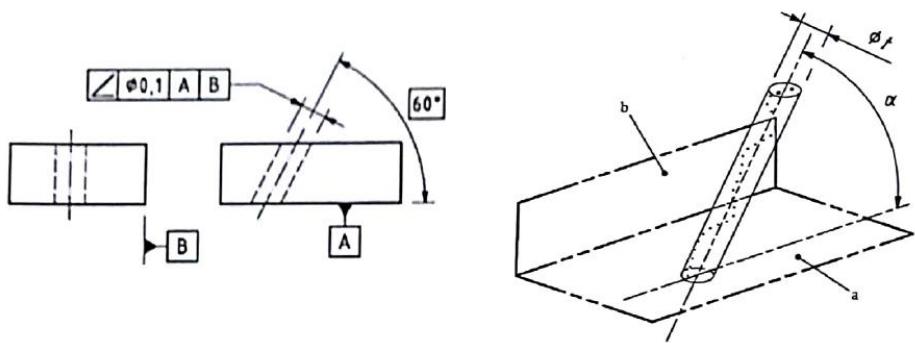


Obrázek 10 Tolerance kolmosti

3.2.3 Tolerance sklonu

Odvozený tolerovaný prvek musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami, vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole, a které jsou natočeny oproti předepsané základně o specificky zadанou, teoreticky přesnou hodnotu úhlu (TED).

Tvar toleranční zóny lze jako v předchozích případech změnit na válec použitím symbolu \emptyset před hodnotou tolerančního pole. (viz 3.2.1)



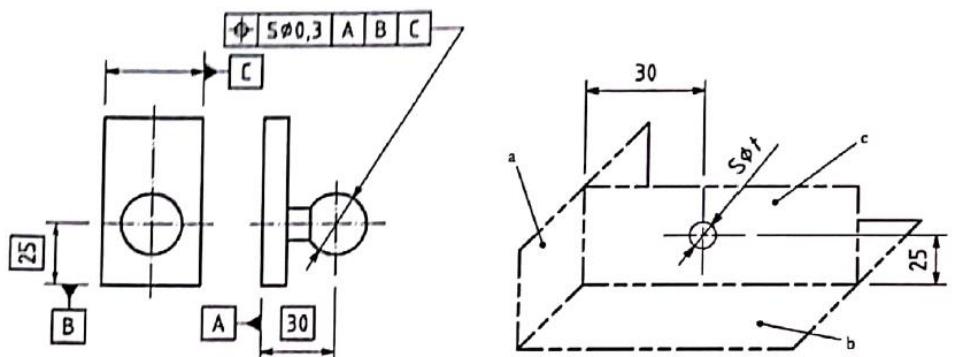
Obrázek 11 Tolerance sklonu

3.3 Tolerance polohy

3.3.1 Tolerance umístění

Odvozený tolerovaný prvek musí ležet mezi dvěma rovnoběžnými rovinami, vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole. Poloha toleranční zóny je dána teoreticky přesnou vzdáleností od předepsaných základen.

Pokud hodnotě tolerančního pole předchází symbol \emptyset , pak se toleranční zóna nachází uvnitř válce o průměru rovném hodnotě tolerančního pole. Toto lze použít pouze za předpokladu tolerování lineárních prvků. Pro případ tolerovaní bodových prvků, lze použít symbol $S\emptyset$. Toleranční zóna se pak nachází uvnitř kulové plochy o průměru rovném hodnotě tolerančního pole.

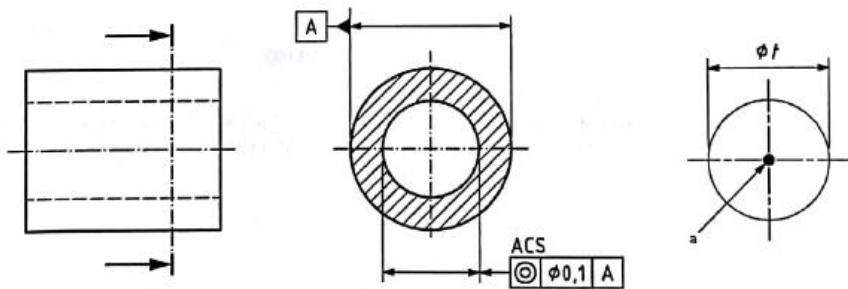


Obrázek 12 Tolerance umístění

3.3.2 Tolerance soustřednosti a souososti

Odvozená tolerovaná osa musí ležet uvnitř tolerančního pole tvaru válce o průměru rovném hodnotě tolerančního pole. Osa toleranční zóny tvaru válce je shodná s osou předepsané základny.

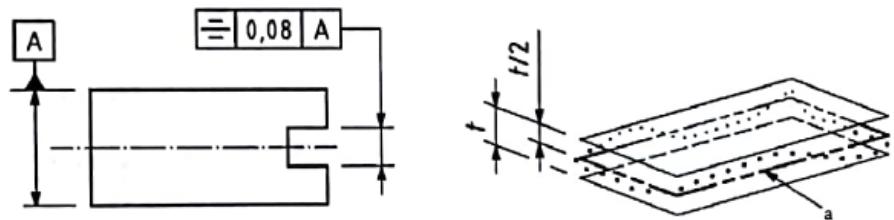
V případě, že jsou předepsané dvě základny, pak osa tolerančního válce je totožná s osou nejmenšího možného opsaného válce, vytvořeného osami předepsaných základen.



Obrázek 13 Tolerance soustřednosti

3.3.3 Tolerance souměrnosti

Odvozená tolerovaná rovina souměrnosti musí ležet mezi dvěma rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole. Tyto roviny jsou rovnoběžné s rovinou souměrnosti ploch předepsaných základnou.



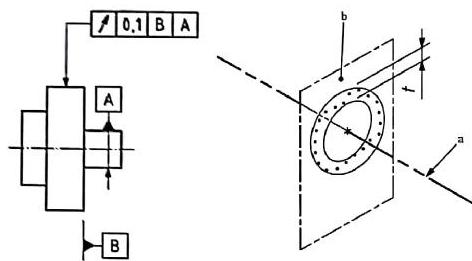
Obrázek 14 Tolerance souměrnosti

3.4 Tolerance házení

3.4.1 Tolerance kruhového házení

Obvodové (radiální) házení

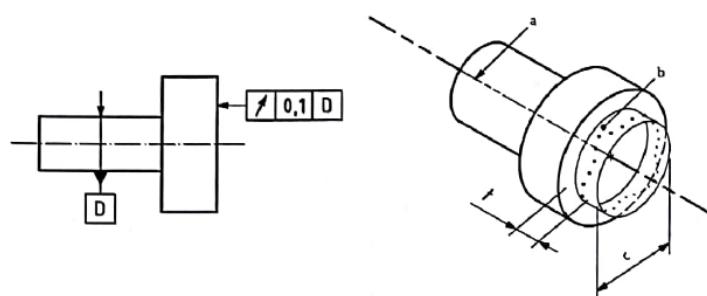
Všechny body tolerované plochy musí v libovolné rovině řezu, kolmé na osu předepsané základny, ležet mezi dvěma koplanárními a soustřednými kružnicemi s rozdílem poloměru rovným hodnotě tolerančního pole.



Obrázek 15 Radiální házení

Čelní (axiální) házení

Všechny body tolerované plochy musí v libovolném řezu válcovou plochou, jejíž osa je totožná s osou předepsané základny, ležet mezi dvěma kružnicemi, které jsou axiálně posunuté o hodnotu tolerančního pole a které jsou součástí válcové plochy s osou totožnou k ose základny.

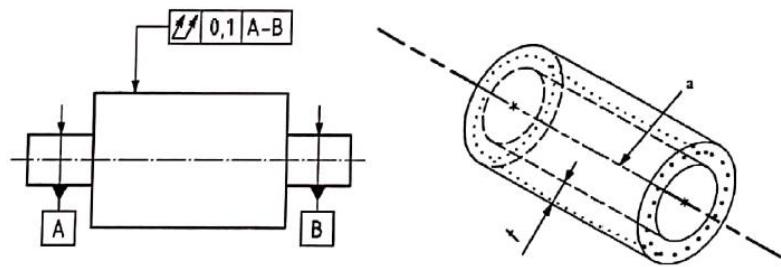


Obrázek 16 Axiální házení

3.4.2 Tolerance celkového házení

celkové obvodové házení

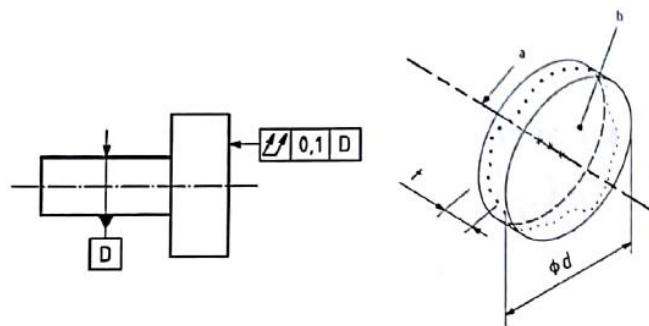
Všechny body tolerované plochy musí ležet mezi dvěma soustřednými válci, jejichž poloměry se liší o hodnotu tolerančního pole. Osa válců ohraničující toleranční pole je totožná s osou předepsané základny.



Obrázek 17 Celkové radiální házení

Celkové čelní (axiálnní) házení

Všechny body tolerované plochy musí ležet mezi dvěma rovinami kolmými k ose předepsané základy a vzdálenými od sebe o hodnotu tolerančního pole.



Obrázek 18 Celkové axiální házení

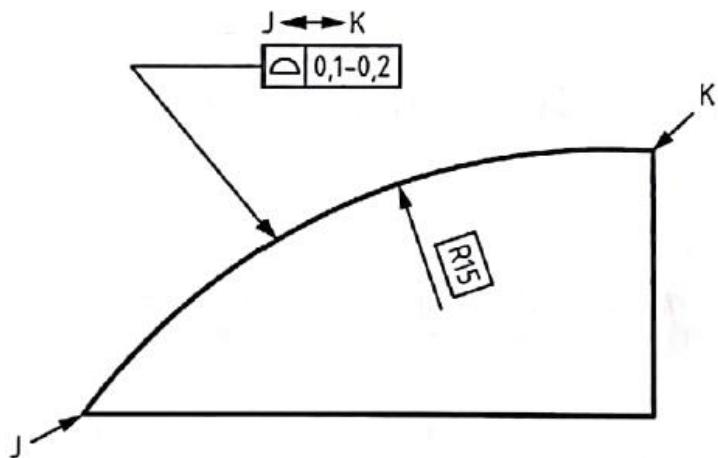
4 Toleranční zóna

4.1 Výchozí toleranční zóna

Toleranční zóna je umístěna symetricky v okolí referenčního prvku, pokud to není jinak specifikováno. Toleranční hodnota udává šířku tolerančního pole.

4.2 Toleranční zóna s proměnlivou šířkou

Hodnota tolerančního pole je konstantní napříč celou délkou uvažovaného prvku. Lze však použít indikátor značící proporcionalní změnu z jedné hodnoty na druhou mezi dvěma specifikovanými lokacemi. To funguje tak, že hodnota šířky tolerančního pole se lineárně mění v závislosti na specifikované dráze a pohybuje se v rozmezí hodnot předepsaných daným indikátorem.



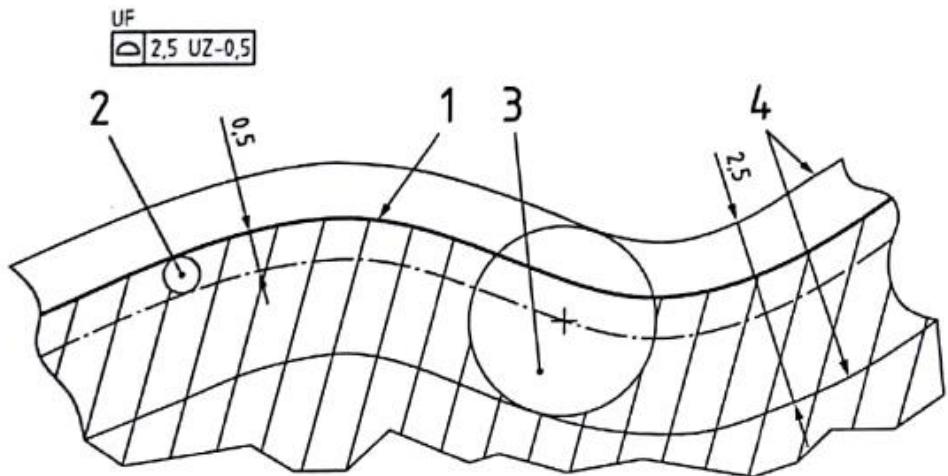
Obrázek 19 Toleranční zóna s proměnlivou šířkou

4.3 Cylindrická a sférická toleranční zóna

V případě, že hodnotu tolerančního pole předchází symbol \emptyset , pak se toleranční zóna nachází uvnitř válce. Pro případ použití symbolu $S\emptyset$, se toleranční zóna nachází uvnitř kulové plochy.

4.4 Toleranční zóna se stanovenou odchylkou.

Jak již bylo zmíněno, pro výchozí stav toleranční zóny platí, že je umístěno symetricky v okolí teoreticky přesného prvku, který zároveň představuje prvek referenční. Použití indikátoru UZ umožňuje posunout polohu tolerančního pole vůči referenčnímu prvku o zadanou hodnotu. Princip indikátoru UZ je ukázán na obr. 20.



Obrázek 20 Toleranční zóna se stanovenou odchylkou

Legenda:

- 1 teoretický přesný prvek reprezentující povrch součásti
- 2 jedna z nekonečného množství koulí definující odchylku od teoreticky přesného prvku
- 3 jedna z nekonečného množství koulí definující toleranční zónu.
- 4 hranice toleranční zóny

Pro zadání z obr. 20 platí, že odvozený povrch musí ležet mezi dvěma ekvidistantními povrhy ohraničující koule o průměru rovnému hodnotě tolerančního pole. Středy koulí jsou posunuty oproti referenčnímu prvku představující povrch o předepsanou hodnotu UZ. Směr posunutí určuje znaménko „+“ nebo „-“. Plusové znaménko určuje směr posunutí mimo materiál a mínušové určuje směr do materiálu.

5 Doplňkové indikátory

Doplňkové indikátory lze použít v případě, že tolerovaný prvek je pouze částí jednoho prvku nebo se skládá z více souvislých prvků.

5.1 All around, all over

Indikátor „All around“ se použije v případě, kdy geometrická specifikaci je uplatněna na kompletní křivku vzniklou řezem nebo, kdy specifikace uplatněna na všechny prvky reprezentované uzavřenou linií, avšak tato specifikace je aplikována pouze na prvky definované kolektivní rovinou. Indikátor se značí kroužkem na průsečíku referenční a vedoucí linie.

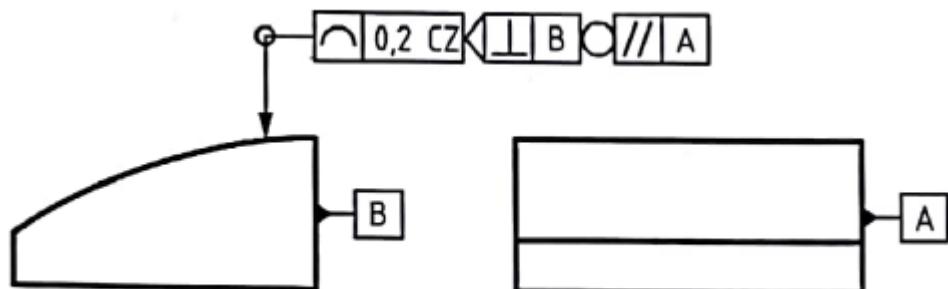
Indikátor „all over“ se použije v případě, kdy geometrická specifikace je aplikována na všechny integrální prvky dané součásti. Indikátor se značí dvěma soustřednými kroužky na průsečíku referenční a vedoucí linie.

Indikátory „all around“ a „all over“ musí být vždy kombinovány s označením SZ (separate zones), CZ (combined zone) nebo UF (united feature).

SZ (neboli separátní zóny) říká, že všechny charakteristiky označené symboly „all around“ nebo „all over“ jsou vyhodnocovány individuálně. Jejich toleranční zóny nejsou vzájemně jakkoliv závislé.

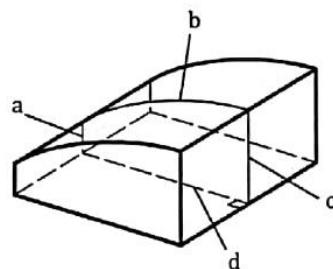
CZ (neboli kombinované zóny) říká, že všechny charakteristiky označené symboly „all around“ nebo „all over“ jsou posuzovány jednotně. Toleranční zóna se při přechodu na sousední prvek rozšiřuje a zachovává svůj tvar.

UF (spojený prvek) se použije v případě, kdy jsou všechny prvky vyhodnocovány jako jeden stejný prvek.

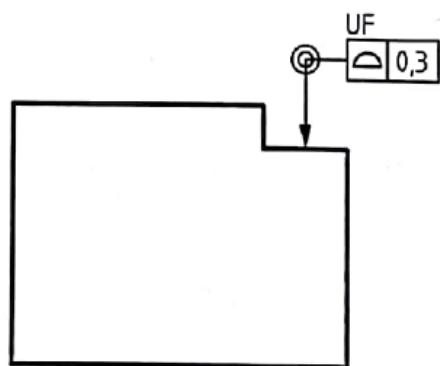


Obrázek 21 Příklad použití all around

Pro zadání na obr. 22 platí, že předepsaná specifikace se aplikuje jako kombinovaná zóna pro křivky a, b, c a d ve všech řezech součásti viz obr. 22.



Obrázek 22 Interpretace



Obrázek 23 Příklad použití all over

Pro zadání na obr. 23 platí, že předepsaná tolerance tvaru profilu plochy je aplikována na všechny plochy této součásti, které jsou zároveň vyhodnocovány jako jediný spojitý prvek. Bez použití UF, by se jednotlivé plochy posuzovali nezávisle na sobě.

6 Specifikační prvky

6.1 Průsečíková rovina

Jedná se o rovinu určující křivku na odvozeném povrchu, či bod na odvozené křivce

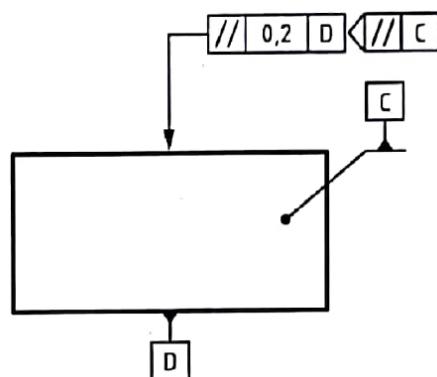
Pro plošné povrhy může být průsečíková rovina použita k definování orientace vyhodnocovací oblasti.

V případě, že se tolerovaný prvek skládá ze souboru čar v daném směru a charakteristický symbol explicitně nevyjadřuje, zda tolerovaný prvek je rovinný či se skládá ze souboru čar, pak průsečíková rovina je použita k označení souboru čar a jejich směru.



Obrázek 24 Značení průsečíkových rovin

Pro určení průsečíkové roviny se používá indikátor umístěný napravo od indikátoru tolerance. Symbol pro rovnoběžnost, kolmost, natočení nebo souměrnost se umisťuje do první příhrádky a písmeno určující základnu, ke které se orientační rovina vztahuje, do druhé.



Obrázek 25 Příklad použití průsečíkové roviny

Použití průsečíkové roviny umožňuje definovat tolerovaný prvek nezávisle na pohledu.

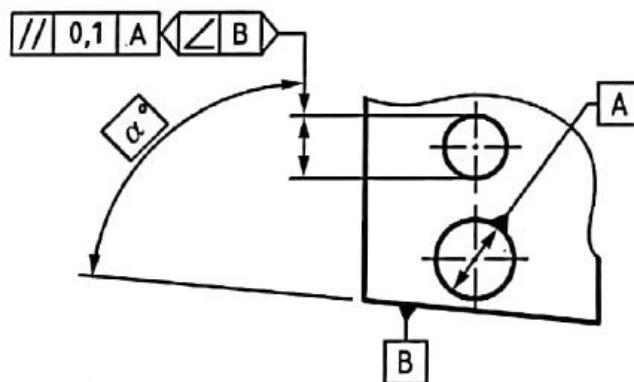
6.2 Orientační rovina

Jedná se o rovinu, určující směr (natočení) tolerančního pole. Použití orientační plochy umožňuje definovat směr rovin či válců, které omezují toleranční pole nezávisle na rozměrech definující tolerance polohy či použití základen.



Obrázek 26 Značení orientačních rovin

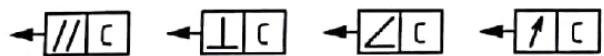
Pro určení orientační roviny se používá indikátor umístěný napravo od indikátoru tolerance. Symbol pro rovinnost, kolmost nebo natočení se umisťuje do první příhrádky a písmeno určující základnu, ke které se orientační rovina vztahuje, do druhé.



Obrázek 27 Příklad využití orientační roviny natočené pod specifickým úhlem

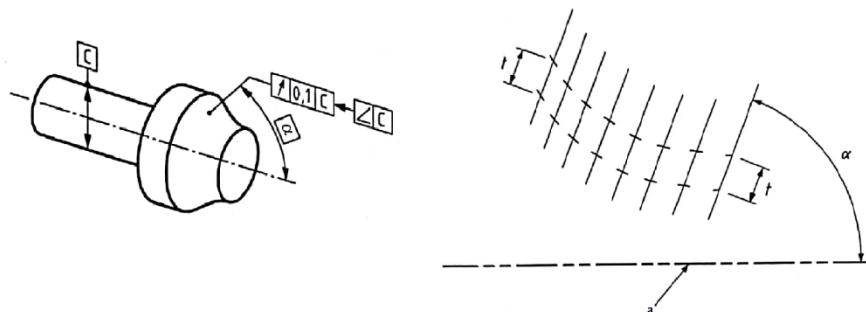
6.3 Směrový prvek

Směrový prvek mění směr šířky tolerančního pole. Použitím směrového prvku lze nastavit směr tolerančního pole tak, aby byl natočený pod konstantním úhlem, nezávislým na směru aktuální tečny povrchu, viz obr. 29.



Obrázek 28 Značení směrových prvků

Pro určení směrového prvku se používá indikátor umístěný napravo od indikátoru tolerance. Symbol pro rovnoběžnost, kolmost natočení nebo házení se umisťuje do první příhrádky a písmeno určující základnu, ke které se orientační rovina vztahuje, do druhé.



Obrázek 29 Příklad použití směrového prvku

6.4 Kolektivní rovina

Kolektivní rovina se používá v případě, kdy je současně použit symbol „all around“, k označení, že daná specifikace je aplikována na větší množství prvků. Kolektivní rovina určuje soubor jednotných prvků, které vzniknou průsečíkem s kteroukoliv rovinou rovnoběžnou s rovinou kolektivní.



Obrázek 30 Značení kolektivních rovin

7 Modelové úlohy v softwaru Calypso

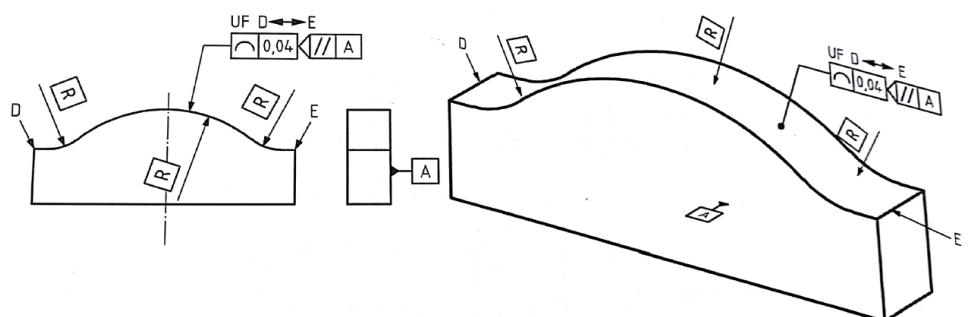
7.1 Cíl práce

Cílem této části práce je vytvoření modelových součástí pro demonstraci geometrických tolerancí a následné vypracování modelových úloh pro kontrolu vybraných geometrických tolerancí na daných modelových součástech v softwaru Calypso. Calypso je software určený pro ovládání souřadnicových měřících strojů od firmy Zeiss. V rámci tohoto softwaru popíšu postupy pro nastavení měření zvolených geometrických tolerancí na vytvořených 3D modelech, včetně simulace měření. Vzhledem k tomu, že budu pracovat pouze s vytvořenými 3D modely a nebudu fyzicky nic měřit, pro vyhodnocení použiji počítačem náhodně vygenerované hodnoty. Je nutné si tedy uvědomit, že tyto hodnoty neodpovídají realitě a slouží pouze pro demonstraci.

Pro každou skupinu geometrických tolerancí (tvar, směr, poloha a házení) vyberu jeden konkrétní příklad zadání a popíši na něm způsob vyhodnocení.

7.2 Modelová úloha č. 1

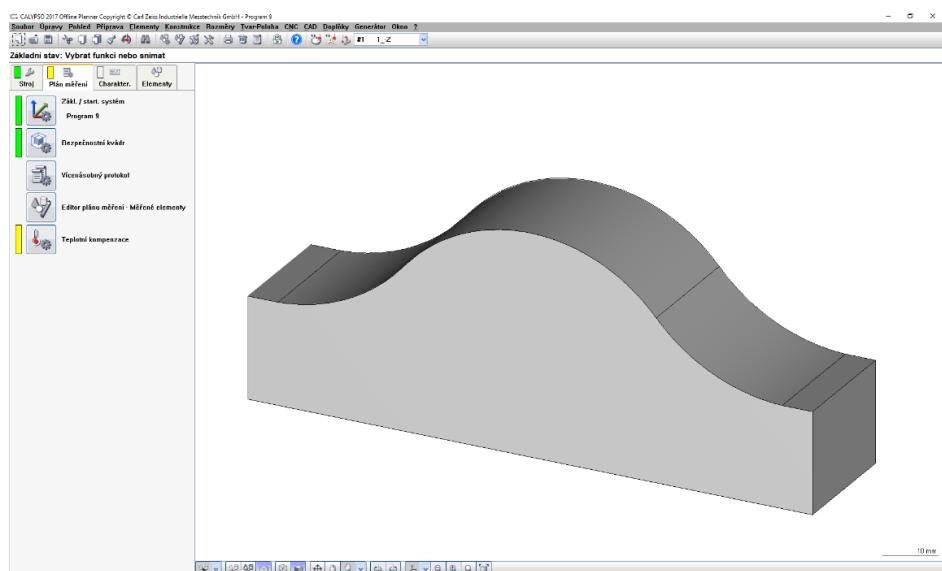
V první modelové úloze je za úkol vyhodnotit geometrickou toleranci tvaru profilu dle následujícího zjednodušeného výkresu.



Obrázek 31 Zadání modelové úlohy č. 1

Důležité je si uvědomit, že se jedná o toleranci profilu tvořeného křivkou, která je specificky definovaná použitím indikátoru UF (united feature). V tomto případě indikátor UF značí, že křivka vede lineárně po povrchu součásti z vyznačeného bodu D do vyznačeného bodu E. Dále je důležité si všimnout indikátoru průsečíkové roviny, který značí, že rovina, v které se nachází výsledné toleranční pole křivky, je rovnoběžná s referenční rovinou základny A.

Práci v softwaru Calypso zahájím tím, že si vytvořím nový program a dále načtu 3D model, reprezentující měřenou součást.



Obrázek 32 CAD model měřené součásti

3D model součásti lze vytvořit téměř v jakémkoliv programu pro 3D modelování, avšak je potřeba jej vyexportovat do formátu kompatibilního pro software Calypso. V tomto případě jsem model vytvořil v programu Autodesk Inventor a následně jsem jej vyexportoval do datového formátu STEP, který Calypso může bez problému načíst.

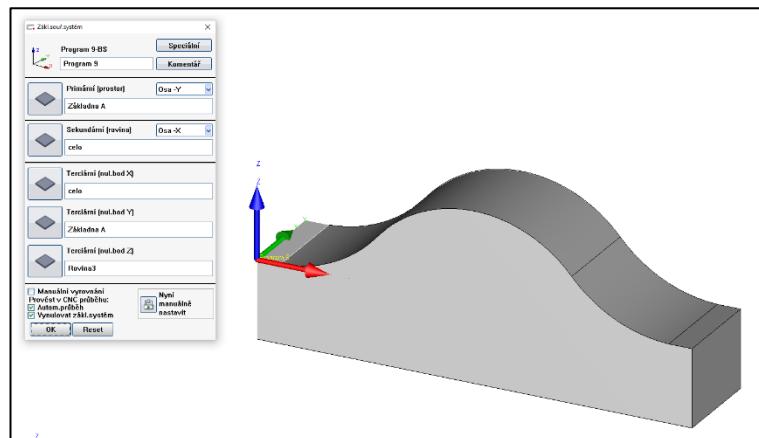
V následujícím kroku je potřeba si zvolit vhodný snímací systém, který lze použít na souřadnicovém měřícím stroji ke změření všech potřebných parametrů. Pro tuto úlohu jsem zvolil snímací systém, který obsahuje otočný upínací talířek a

prodloužený snímač s kuličkou upnutý v talířku ve směru osy z a o průměru kuličky 5 mm.



Obrázek 33 Snímač upnutý v talířku

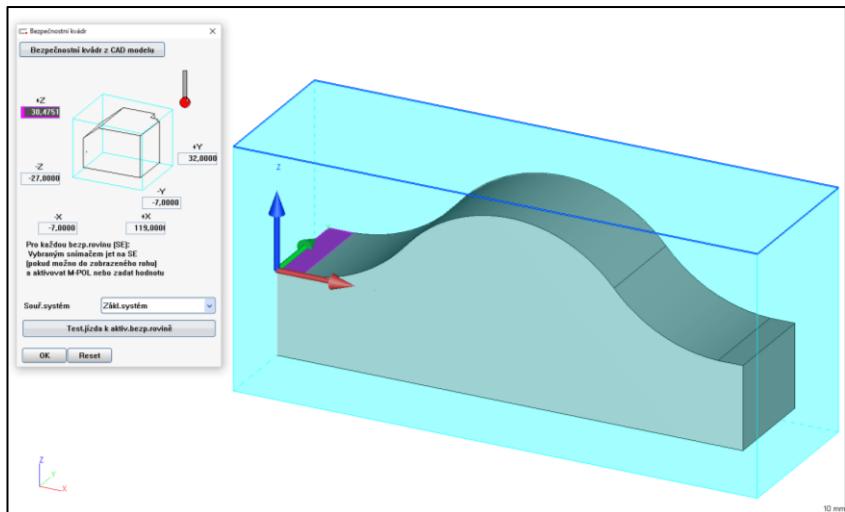
Dále je potřeba zvolit základní souřadný systém, který umožňuje jednoznačně popsat polohu jednotlivých bodů na součásti. K tomu je potřeba určit nulový referenční bod neboli počátek. Ten určím například jako průsečík tří definovaných rovin z povrchu součásti.



Obrázek 34 Souřadný systém

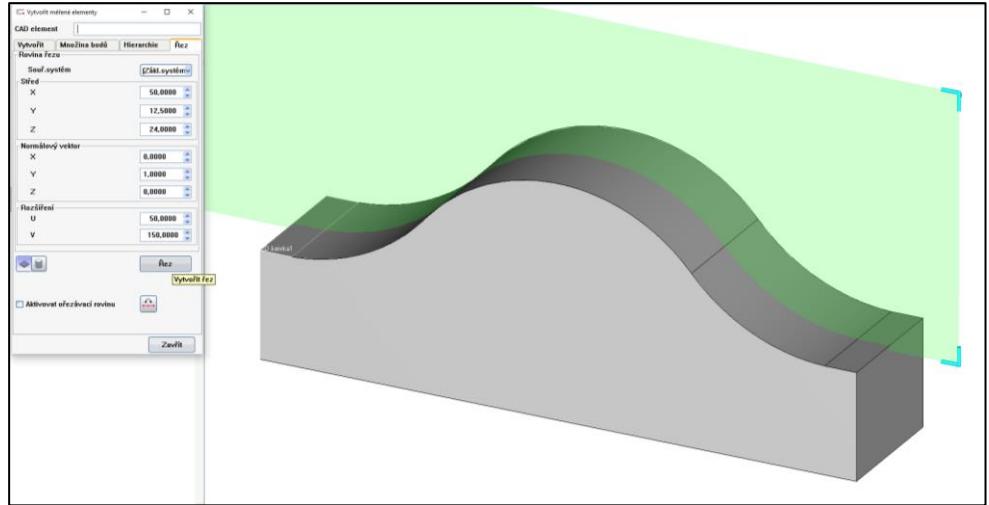
Dalším důležitým krokem je stanovení bezpečnostního kvádru. Bezpečnostní kvádr je kvádr obklopující součást, který má za cíl ochránit snímač před kolizemi. Stanovení bezpečnostního kvádru lze provést několika způsoby.

Pro tuto úlohu použijí metodu automatického vytvoření z CAD modelu. Při této metodě stačí pouze zadat hodnotu bezpečnostní vzdálenosti. Na základě této hodnoty se vytvoří kvádr, který ve všech částech přesahuje součást minimálně o hodnotu bezpečnostní vzdálenosti.



Obrázek 35 Bezpečnostní kvádr

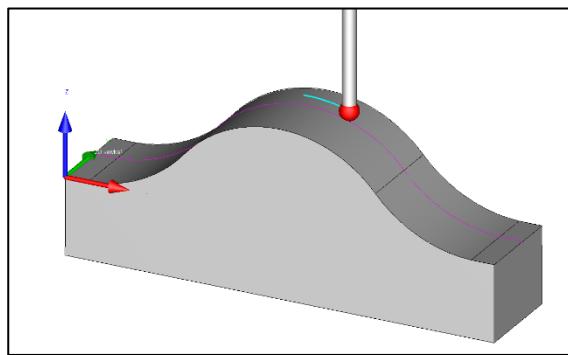
Nyní je potřeba se zpětně zaměřit na zadání úlohy. Úkolem je změřit toleranci tvaru profilu, který je tvořen křivkou, odsazenou od čela o určitou hodnotu. Je tedy potřeba nadefinovat tuto křivku. Vzhledem k tomu, že požadovaná křivka kopíruje povrch více elementů, jedním z možných způsobů by bylo vytvořit nový měřený element skrze rovinu řezu CAD modelu. Nadefinuji tedy rovinu řezu pomocí souřadnic středu a normálového vektoru a nastavím její polohu tak, aby její průnik s CAD modelem tvořil požadovanou křivku, která splňuje veškeré parametry ze zadání.



Obrázek 36 Vytváření křivky

Následně musím pro získanou křivku nastavit strategii měření. Pro tento případ je pravděpodobně nevhodnější zvolit skenovací režim. Jedná se o režim, při kterém dochází k tažení snímače po předepsané dráze a cestou vytváří vysoký počet bodů. Lze zvolit libovolnou rychlosť, či libovolný počet bodů.

Calypso také umožňuje simuloval vybraná měření. Tato funkce zobrazí pohyb snímače vůči měřené současti v rámci daného měření a tím je možné ukázat i případné kolize. Je to také užitečný nástroj pro celkovou optimalizaci průběhu měření.

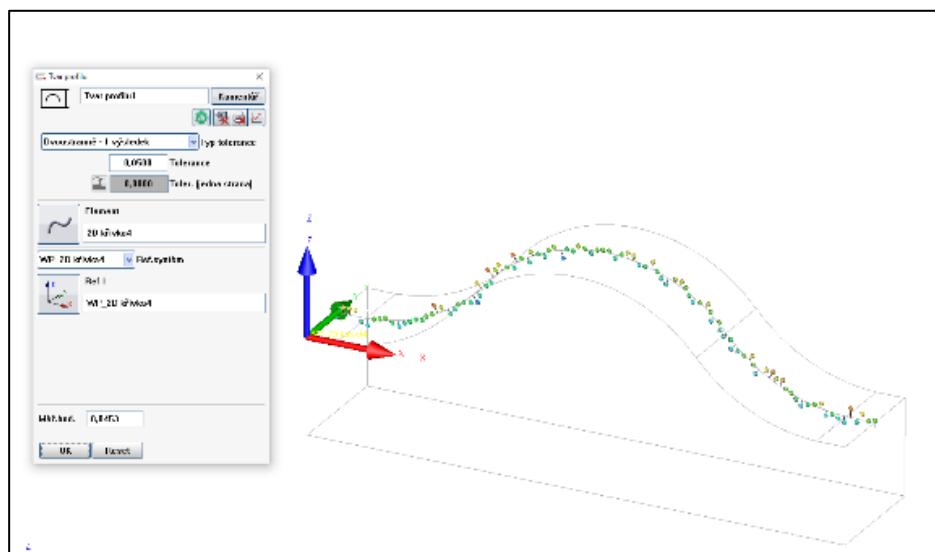


Obrázek 37 Simulace měření

V momentě kdy mám definované všechny elementy, můžu se zabývat samotnou geometrickou tolerancí. Přepnu tedy do záložky charakteristik a vložím

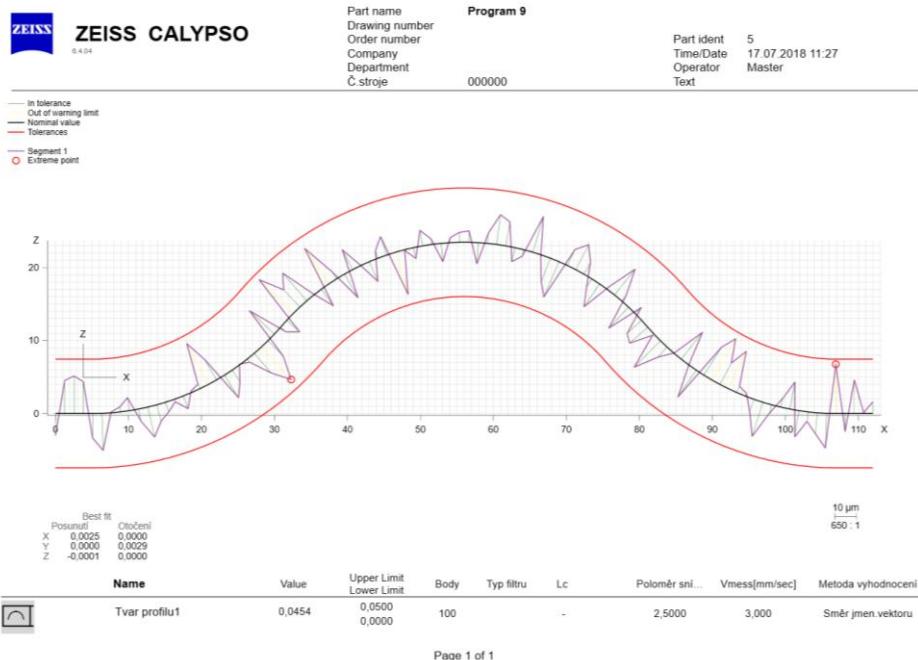
charakteristiku tvar profilu. Pro správně vyhodnocení požaduje tato charakteristika 3 vstupní parametry. Konkrétně se jedná o měřený element, referenci a hodnotu tolerančního pole. Jako element zadám 2D křivku a vyplním hodnotu tolerančního pole ze zadání. Vzhledem k tomu, že v zadání není předepsaná referenční základna, je potřeba nadefinovat pomocný souřadný systém, který vytvoříme připasováním pomocné křivky na jmenovitou geometrii zkoumané křivky. Použití této reference bude mít za následek eliminaci chyby polohy. To znamená, že charakteristika bude zkoumat pouze tvar profilu, aniž by celkové vyhodnocení bylo ovlivněno posunem všech bodů křivky vůči jmenovité geometrii.

Pro změření samotné charakteristiky, je možné využít funkce rychlého měření, které spustí měření pouze těch elementů, na kterých je tato charakteristika závislá a tím je možné následné vyhodnocení.



Obrázek 38 Charakteristika tvaru profilu

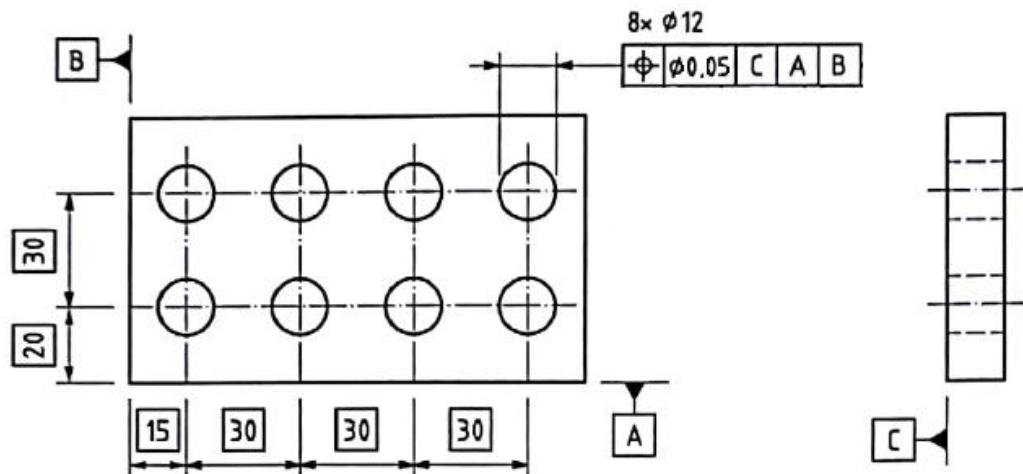
Vyhodnocení lze v Calypsou provést mnoha způsoby. Z každého měření lze vytvořit protokol o měření. Obsah protokolu jde upravovat dle potřeby. V tomto případě jsem zvolil grafický výstup, který zobrazuje jednotlivé naměřené body na křivce a jejich polohu vůči tolerančnímu poli. Vyhodnocení hodnot naměřených bodů lze ovšem provést i na CAD modelu, viz obr. 38.



Obrázek 39 Protokol s grafickým výhodnocením

7.3 Modelová úloha č. 2

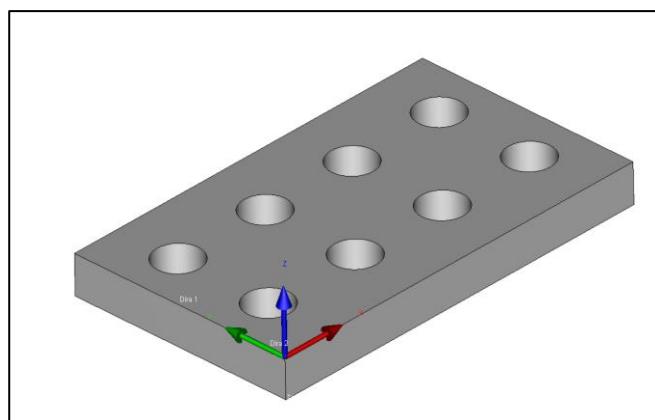
Zadání modelové úlohy č. 2 obsahuje toleranci umístění. Konkrétně se jedná o toleranci umístění osmi děr.



Obrázek 40 Zadání modelové úlohy č. 2

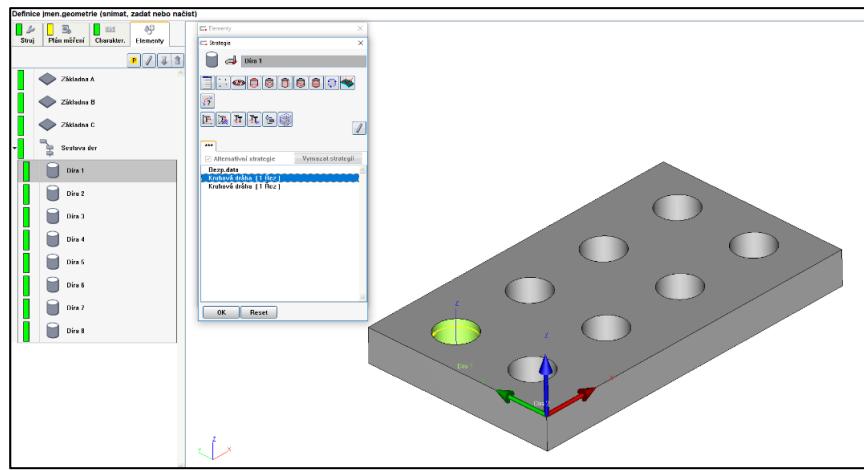
Ze zadání je zřejmé, že odvozené osy jednotlivých děr musí ležet ve válcové zóně o průměru 0,05 mm a osy válcové zóny se musí shodovat s teoreticky přesnými rozměry s ohledem na základny A, B a C.

Postup je ze začátku obdobný jako v modelové úloze č. 1. Vytvořím nový program a načtu vytvořený CAD model dle zadání. Snímací systém, který jsem použil v předchozí úloze, vyhovuje svou geometrií i pro tento případ měření, lze ho tedy použít znovu. Při definování souřadného systému je vhodné použít roviny základen A, B a C, tím lze zároveň definovat tyto roviny jako elementy a následně je možné jim nastavit strategii měření.



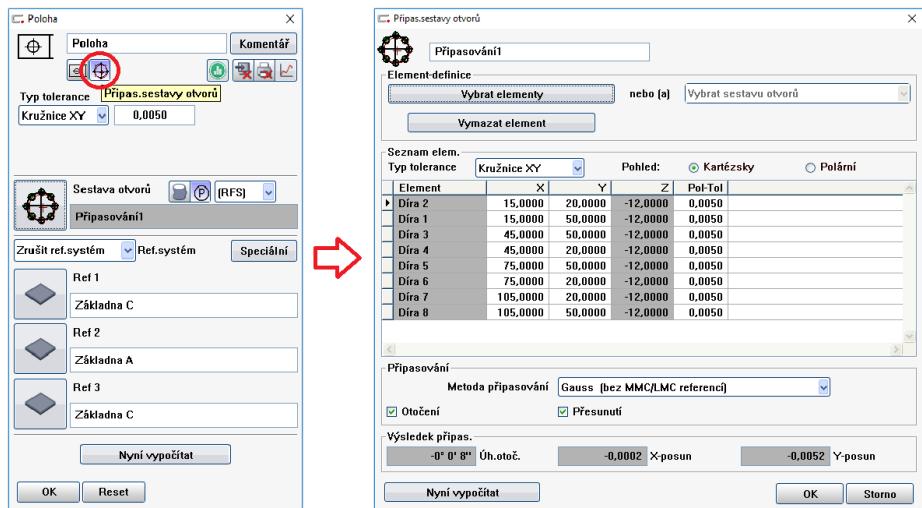
Obrázek 41

Pro vyhodnocení žádané tolerance je potřeba změřit všechny díry. Definuji si tedy jejich jmenovitou geometrii a tím je přidám do seznamu elementů. Jako strategii měření jsem pro tyto případy zvolil kruhovou dráhu ve dvou řezech a aplikoval ji na všechny díry.



Obrázek 42 Strategie měření

Nyní jsou všechny potřebné elementy definované, můžu se tedy přesunout k práci s charakteristikami. Začnu tím, že přidám charakteristiku „poloha“. Otevřu si ji dvojitým kliknutím a rozkliknu možnost „připasování sestavy otvorů“. To umožní vybrat všech 8 elementů dér a přidat je do soustavy pro hromadné vyhodnocení. Na závěr určím referenční systém přidáním základen A, B a C.



Obrázek 43 Připasování sestavy otvorů

Pro to abych mohl vyhodnotit danou toleranci, potřebuju naměřené hodnoty. Na Souřadnicovém měřícím stroji bych v této fázi mohl již spustit měření. Je dobré však nejdříve spustit simulaci měření a ujistit se, že průběh měření bude probíhat

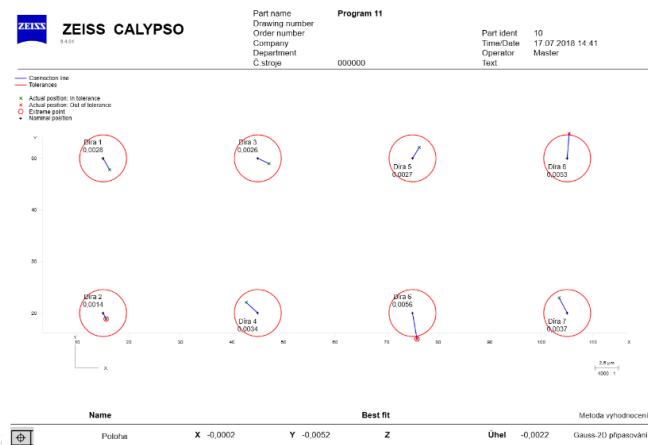
bez žádných kolizí a přesně podle naší představy. V opačném případě se dá vše ještě upravit.

Výsledný protokol lze nastavit tak, aby zobrazoval seznam všech charakteristik spolu s informací, zda splňují zadanou toleranci, viz obr. 44.

ZEISS CALYPSO						
Part name	Program 11					
Drawing number						
Order number						
Variant	Last 1 measurements					
Company	► Approval # Blocked					
Department						
Typ stroje	Part ident					
Cstroje	10					
Operator	Time/Date					
Master	17.07.2018 14:41					
Text	Run					
	Aktuální výběr					
	No. measured values					
	9					
	No. values: red					
	2					
Name	Value	Nominal Value	Upper Allowance	Lower Allowance	Odhylka	+/-
Poloha	0,0056					
Poloha ^a 1	0,0014	0,0000	0,0050	0,0000	0,0014	███████
Poloha ^a 2	0,0028	0,0000	0,0050	0,0000	0,0028	███████
Poloha ^a 3	0,0028	0,0000	0,0050	0,0000	0,0028	███████
Poloha ^a 4	0,0034	0,0000	0,0050	0,0000	0,0034	███████
Poloha ^a 5	0,0027	0,0000	0,0050	0,0000	0,0027	███████
Poloha ^a 6	0,0056	0,0000	0,0050	0,0000	0,0056	██████████
Poloha ^a 7	0,0037	0,0000	0,0050	0,0000	0,0037	███████
Poloha ^a 8	0,0053	0,0000	0,0050	0,0000	0,0053	██████████

Obrázek 44 Protokol

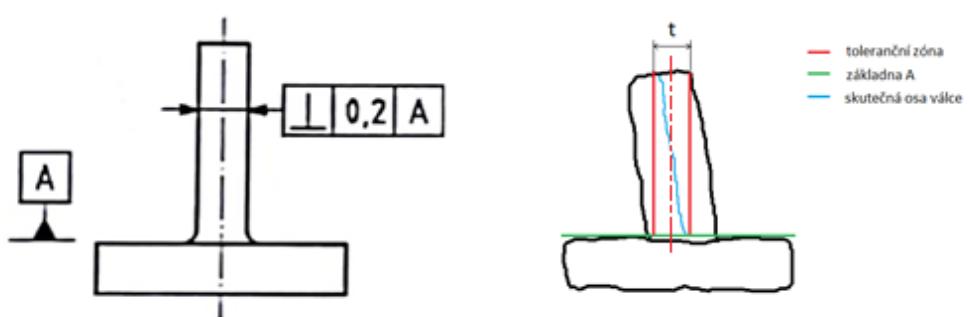
Z protokolu je patrné, že předepsanou toleranci nesplňují dvě díry, které mají vyšší odchylku, než kterou dovoluje tolerance. V případě potřeby pro detailnější zobrazení lze použít grafický výstup, který vykreslí polohu os vůči toleranční zóně.



Obrázek 45 Protokol s grafickým výstupem

7.4 Modelová úloha č. 3

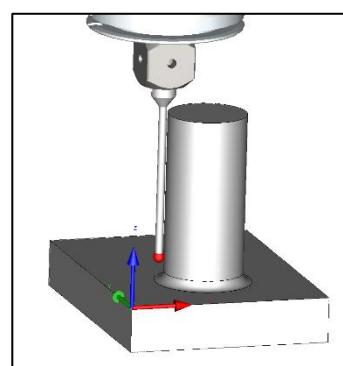
Zadání modelová úloha č. 3 obsahuje toleranci kolmosti. K vyhodnocení je potřeba přeměřit povrch určený referenční základnou A a povrch tolerovaného válce. Z Povrchových bodů je program již schopen odvodit polohu osy válce. Výsledná osa válce musí ležet uvnitř toleranční zóny ve tvaru válce, který má osu kolmou na referenční základnu A.



Obrázek 46 Zadání Modelové úlohy č. 3

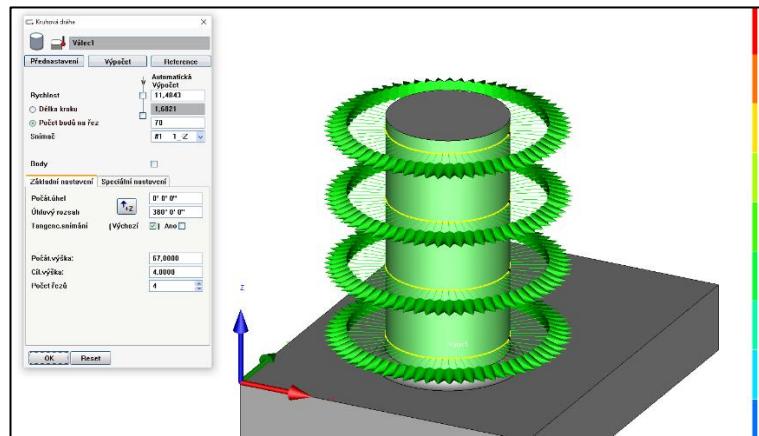
Obrázek č. 46 vpravo ilustruje, jak se na reálné součásti s výrobními nepřesnostmi vyhodnocuje kolmost.

Postup měření bude opět obdobný jako u předchozích úloh. Při výběru snímače je třeba si dát pozor, aby byl dostatečně dlouhý a nedošlo ke kolizi s dříkem. To lze ověřit porovnáním délky dříku snímače s výškou válce nebo ověřením skrze simulační program.



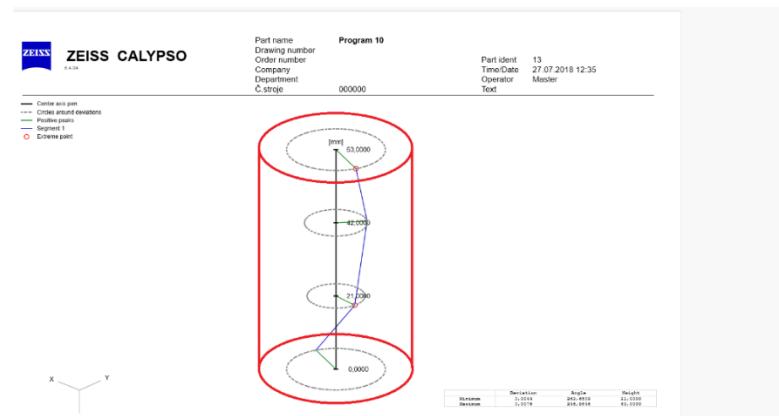
Obrázek 47 Snímač

Následně si zvolím souřadný systém, definuji geometrii válcové části a zvolím vhodnou strategii měření. Jako strategii měření pro válec jsem zvolil kruhovou dráhu ve čtyřech řezech a počet vytvořených bodů v jednom řezu nastavím na 70. Následně přidám charakteristiku kolmosti a zadám její vnitřní parametry. Jako měřený element zvolím osu válce, do reference přidám základnu A a na závěr vyplním hodnotu tolerance.



Obrázek 48 Strategie měření válcového povrchu

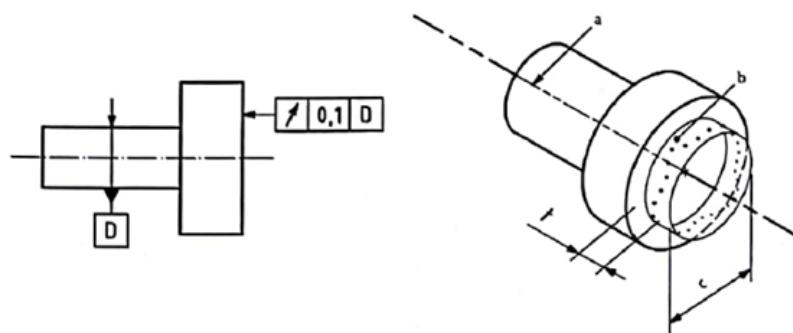
Pro vyhodnocení lze opět zvolit protokol s grafickým výstupem, který v případě kolmosti zobrazí polohu osy válce vypočítanou z naměřených bodů z povrchu válce. Pro přehlednost jsem červenou barvou naznačil toleranční zónu ve tvaru válce. Výsledná osa leží ve všech řezech uvnitř toleranční zóny. Tolerance kolmosti je tedy vyhovující.



Obrázek 49 Protokol s grafickým výstupem

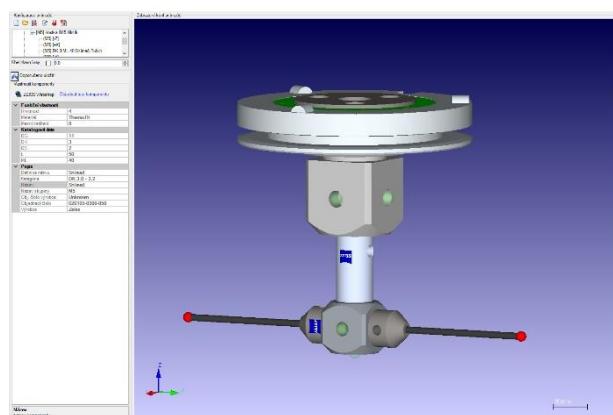
7.5 Modelová úloha č. 4

Zadání poslední modelové úlohy obsahuje toleranci čelního házení. Aby byla tolerance čelního házení vyhovující, musí všechny body tolerované plochy v libovolném řezu válcovou plochou, jejíž osa je totožná s osou předepsané základny, ležet mezi dvěma kružnicemi, které jsou součástí válcové plochy s osou totožnou k ose základny. To znamená, že je potřeba změřit povrch válce, abych získal referenční osu D, a dále přejedu čelo součásti snímačem po kruhové dráze se středem v místě referenční osy a libovolným poloměrem.



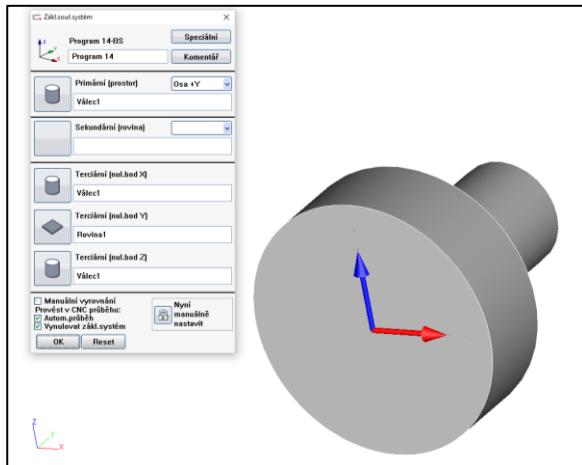
Obrázek 50 Zadání modelové úlohy č. 4

Postup přípravy měření v Calypsu bude obsahovat obdobné kroky jako v předchozích úkolech, ale bude se lišit ve výběru snímacího systému. Pro změření potřebných elementů vyberu snímač s kuličkou upnutý v kostce ve směru osy y, viz obr. 51.



Obrázek 51 Snímací systém modelové úlohy č. 4

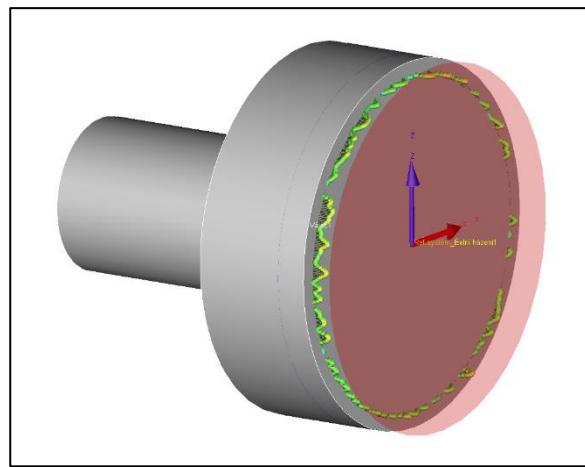
Souřadný systém jsem v tomto případě definoval pomocí referenčního válce a počátek jsem umístil do průsečíku jeho osy a čela, tak aby osa y byla ve směru os válců.



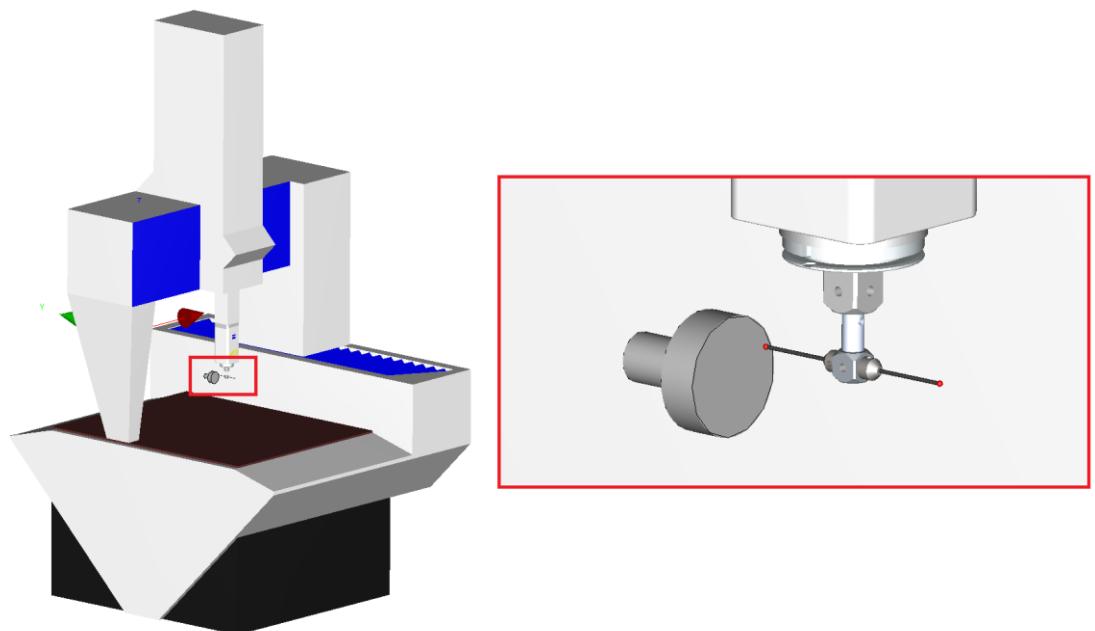
Obrázek 52 Souřadný systém

Poté co si nadefinuji jmenovitou geometrii všech potřebných elementů, nastavím vhodnou strategii měření. Pro referenční válec jsem zvolil kruhovou dráhu ve dvou řezech a pro čelo kruhovou dráhu o průměru 50 mm. V momentě, kdy je toto hotové, můžu přidat charakteristiku čelního házení. Jako vyhodnocovací element zvolím kruhovou dráhu z čela, jako referenci zvolím osu D a vyplním hodnotu tolerančního pole. Nyní už je program připravený pro měření. V tomto případě pouze vygeneruji hodnoty a následně můžu začít s vyhodnocením.

Pro vyhodnocení jsem v tomto případě použil zobrazení polohy měřených bodů na čele součástí. Hnědá rovina značí horní hranici tolerančního pole. Je tedy patrné, že všechny body v daném řezu leží uvnitř toleranční zóny a tolerance lze tedy prohlásit za vyhovující.



Obrázek 53 Vyhodnocení čelního házení



Obrázek 54 Ukázka simulace měření

8 Závěr

První část této práce se věnovala obecně odvětví měření, hodnotila důležitost geometrického tolerování a také zde byly popsány zařízení, které se používají k ověření geometrických tolerancí v praxi.

V následující části byla analyzována norma ČSN ISO 1101. Tato norma má vysoký význam v oblasti strojírenství, protože pokládá důležité základy geometrického tolerování. První část analýzy je věnována vysvětlení základních geometrických tolerancí a pravidlům pro jejich předpis ve výrobní dokumentaci. Norma obsahuje oproti dřívější verzi řadu nových ustanovení, proto se v další části značná pozornost soustředila na nové prvky, jejichž znalost umožňuje přesnější vyjádření požadavků na funkční plochy součásti a jejich jednoznačný výklad. Celkový obsah této analýzy může zahrnovat užitečné informace pro osoby, které se věnují metrologii, konstrukci či výrobní technologii.

V Poslední části byly vytvořeny čtyři 3D modely součástí určených pro demonstraci geometrických tolerancí. Na základě těchto součástí byly v software Calypso vypracovány modelové úlohy. V rámci software byly pro modelové úlohy vysvětlovány postupy pro měření a vyhodnocení vybraných geometrických tolerancí na souřadnicové měřicí technice. Dále byly pro vybrané charakteristiky zobrazeny simulace měření. Obsah této části může sloužit jako metodický návod pro měření na souřadnicové měřicí technice, určený zejména pro pracovníky oddělení metrologie obsluhující tuto techniku.

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Souřadnicový měřící stroj [1]	8
Obrázek 2 Kruhoměr RA-H5200 [4]	9
Obrázek 3 Tolerance přímosti.....	10
Obrázek 4 Tolerance rovinnosti.....	11
Obrázek 5 Tolerance kruhovitosti.....	11
Obrázek 6 Tolerance válcovitosti	12
Obrázek 7 Tolerance tvaru profilu	12
Obrázek 8 Tolerance tvaru plochy	13
Obrázek 9 Tolerance rovnoběžnosti.....	13
Obrázek 10 Tolerance kolmosti.....	14
Obrázek 11 Tolerance sklonu	14
Obrázek 12 Tolerance umístění	15
Obrázek 13 Tolerance soustřednosti	16
Obrázek 14 Tolerance souměrnosti.....	16
Obrázek 15 Radiální házení.....	17
Obrázek 16 Axiální házení	17
Obrázek 17 Celkové radiální házení	18
Obrázek 18 Celkové axiální házení.....	18
Obrázek 19 Toleranční zóna s proměnlivou šírkou	19
Obrázek 20 Toleranční zóna se stanovenou odchylkou	20
Obrázek 22 Příklad použití all around.....	21
Obrázek 23 Interpretace	22

Obrázek 24 Příklad použití all over	22
Obrázek 25 Značení průsečíkových rovin	23
Obrázek 26 Příklad použití průsečíkové roviny	23
Obrázek 27 Značení orientačních rovin	24
Obrázek 28 Příklad využití orientační roviny natočené pod specifickým úhlem ..	24
Obrázek 29 Značení směrových prvků.....	25
Obrázek 30 Příklad použití směrového prvku	25
Obrázek 31 Značení kolektivních rovin	25
Obrázek 32 Zadání modelové úlohy č. 1	26
Obrázek 33 CAD model měřené součásti	27
Obrázek 34 Snímač upnutý v talířku.....	28
Obrázek 35 Souřadný systém	28
Obrázek 36 Bezpečnostní kvádr	29
Obrázek 37 Vytváření křivky	30
Obrázek 38 Simulace měření.....	30
Obrázek 39 Charakteristika tvaru profilu	31
Obrázek 40 Protokol s grafickým vyhodnocením	32
Obrázek 41 Zadání modelové úlohy č. 2	32
Obrázek 42	33
Obrázek 43 Strategie měření	34
Obrázek 44 Připasování sestavy otvorů	34
Obrázek 45 Protokol	35
Obrázek 46 Protokol s grafickým výstupem	35

Obrázek 47 Zadání Modelové úlohy č. 3	36
Obrázek 49 Snímač	36
Obrázek 50 Strategie měření válcového povrchu	37
Obrázek 51 Protokol s grafickým výstupem	37
Obrázek 52 Zadání modelové úlohy č. 4.....	38
Obrázek 53 Snímací systém modelové úlohy č. 4	38
Obrázek 54 Souřadný systém	39
Obrázek 55 Vyhodnocení čelního házení.....	40
Obrázek 56 Ukázka simulace měření.....	40

1. Seznam použité literatury:

- [1] ZEISS ACCURA with High-dynamic Package. In: *Zeiss* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.zeiss.ca/metrology/products/systems/bridge-type-cmms/accura.html>
- [2] ČSN EN ISO 1101 (014120). Geometrické specifikace výrobků (GPS) – Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. 2017.
- [3] BÍLÝ, Martin. Vliv filtrace a metody výpočtu na výsledek měření rozměru a chyby tvaru při měření kruhovitosti. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Libor Beránek, Ph.D.
- [4] ROUNDTEST® RA-H5200. In: Mitutoyo [online]. 2017 [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: https://www.mitutoyo.com/press_releases/new-mitutoyo-roundtest-ra-h5200/