

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Mahovský David

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Petr Mikeš, Ph.D.

Praha

2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mahovský** Jméno: **David** Osobní číslo: **437226**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací 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 specifikace produktů - tolerování rozměrů - základny a soustavy základen

Název bakalářské práce anglicky:

Geometrical product specifications - dimensional tolerancing - datums and datum systems

Pokyny pro vypracování:

1. Analýza normy ČSN EN ISO 5459
2. Vytvoření modelových součástí pro realizaci měřicích úloh
3. Vypracování modelových úloh pro kontrolu součástí 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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením pana Ing. Petra Mikeše, Ph.D. Použité zdroje a podkladové materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji panu Ing. Petru Mikešovi, Ph.D. za důležité rady, připomínky, proškolení v softwaru Calypso a odborné vedení při práci.

Anotace

Cílem bakalářské práce je analýza normy ČSN EN ISO 5459 a ukázka praktického použití této normy na modelových příkladech s poukázáním na chybu při nevhodném zvolení základen. Modelové příklady budou řešeny teoretickým výpočtem a zároveň měřeny v počítačovém programu Calypso.

Klíčová slova

Geometrické specifikace produktu, GPS, základna, soustava základen

Abstract

The aim of the Bachelor thesis is an analysis of the standart ČSN EN ISO 5459 and example of the practical application of this standart on model situation with reference to a fault in inappropriate selection on datums. The model examples will be solved by a theoretical calculation and measured in the software Calypso.

Keywords

Geometrical product specifications, GPS, datum, datum systems

Obsah

Obsah.....	6
Úvod.....	8
1. Analýza normy ČSN EN ISO 5459.....	9
1.1 Základní termíny a definice.....	9
1.2 Značky.....	14
1.3 Všeobecné pojmy.....	16
1.3.1 Všeobecně.....	16
1.3.2 Vlastní charakteristiky povrchů.....	17
1.3.3 Jednotlivé základny, společné základny a soustavy základen.....	19
1.4 Úloha základen.....	21
1.5 Grafický jazyk.....	21
1.5.1 Indikátor základního prvku.....	21
1.5.2 Cílené základny.....	22
1.5.3 Značka cílené základny.....	22
1.5.4 Odkazová čára.....	23
1.5.5 Specifikace základen a soustavy základen.....	24
1.6 Pravidla.....	24
1.6.1 Pravidlo 1- Základní prvky.....	24
1.6.2 Pravidlo 2 – Přiřazené rozměrové prvky s fixním nebo variabilním rozměrem.....	26
1.6.3 Pravidlo 3 – Základní prvky ustavení z kompletního prvku.....	26
1.6.4 Pravidlo 4 – Základní prvky ustanovené z jedné nebo více cílených základen.....	27
1.6.5 Pravidlo 5 – Přiřazený prvek s jiným typem, než je jmenovitý základní prvek.....	27
1.6.6 Pravidlo 6 – Uspořádání orámované tolerance se základnou nebo soustavou základny.....	28
1.6.7 Pravidlo 7 – Indikace jednotlivé nebo společné základny v části orámované tolerance.....	29
1.6.8 Pravidlo 8 – Uzavřené nebo uvolněné stupně volnosti.....	29
1.6.9 Pravidlo 9 – Speciální indikace pro společnou základnu.....	30
1.6.10 Pravidlo 10 – Aplikace geometrických modifikátorů v orámované toleranci.....	31
2. Vytvoření modelových součástí pro realizaci měřících úloh.....	32
2.1 Úloha 1.....	32
2.1.1 Úloha 1a.....	33
2.1.2 Úloha 1b.....	34
2.1.3 Úloha 1 porovnání výpočtů.....	35
2.2 Úloha 2.....	36

2.2.1 Úloha 2a	36
2.2.2 Úloha 2b	38
2.2.3 Úloha 2 porovnání výsledků	39
2.3 Úloha 3	40
2.3.1 Úloha 3a	40
2.3.2 Úloha 3b	41
2.3.3 Úloha 3 porovnání výsledků	42
3. Příprava simulace měření	44
3.1 Vytvoření 3D modelů	45
3.2 Základní vyrovnání	46
3.3 Bezpečnostní kvádr	47
3.4 Příprava snímače	48
3.5 Synchronizace souřadného systému stroje a měřené součásti, umístění součásti do měřicího prostoru	49
4. Vytvoření úloh pro kontrolu součástí v softwaru Calypso	50
4.1 Úloha 1	50
4.2 Úloha 2	51
4.3 Úloha 3	52
5. Simulace měření	53
5.1 Protokol úloha 1	54
5.2 Protokol úloha 2	55
5.3 Protokol úloha 3	56
6. Závěr.....	57
Seznam použité literatury.....	58
Seznam obrázků	59
Seznam tabulek	60

Úvod

V dnešní době neustále rostou nároky na geometrickou přesnost obrobků. I přes moderní technologické postupy nelze tyto požadavky splnit bez správného určení základny nebo soustavy základen. Správné určení geometrické základny má zásadní vliv na velikost geometrických nepřesností, tudíž i na opakovatelnost měření a funkčnost výrobku.

Volba základny či soustavy základen má zásadní vliv na technologii výroby, kde od samotného začátku až do konce naznačuje správné upnutí v obráběcím stroji.

V moderní metrologii se setkáváme se souřadnicovými měřicími stroji, které dokáží měřit v řádech mikrometrů, ty nejpřesnější pak na desetiny mikrometru. Stroj je nutno správně naprogramovat, zvolit strategii měření jednotlivých elementů a nastavit předepsané charakteristiky tvaru a polohy. Jednotlivé elementy součásti (díra, rovina atd.) jsou sice měřeny zvlášť, ale charakteristika tvaru a polohy těchto elementů je vyhodnocována právě ke zvoleným základnám.

Znalost správné volby základny a soustavy základen není tedy jen práce konstruktérů, ale i technologů a metrologů. Vhodnou volbu základny nebo soustavy základen popisuje norma ČSN ISO EN 5459.

V první části své práce se budu zabývat analýzou normy ČSN ISO EN 5459. Nejdříve objasním základní a všeobecné pojmy. Dále uvedu grafické značení dané problematiky a na závěr shrnu pravidla pro používání této normy.

V druhé části vytvořím modelové úlohy, na kterých aplikuji normu ČSN ISO EN 5459. U každé úlohy ukážu rozdílné zvolení základny nebo soustavy základen. Tyto možnosti pak ověřím teoretickým výpočtem úloh.

Další část věnuji vypracování úloh v měřicím softwaru Calypso. Pro každou úlohu vytvořím 3D model. Popíši přípravu měření a sestavení měřícího systému. Pro každou úlohu pak navrhnu strategii měření jednotlivých elementů součásti a nastavím vyhodnocení tvaru a polohy pro předepsané geometrické tolerance.

V závěrečné části práce se budu věnovat simulaci měření jednotlivých úloh.

1. Analýza normy ČSN EN ISO 5459

Norma ČSN ISO EN 5459 je oficiální českou verzí evropské normy EN ISO 5459:2011 a nahrazuje normu ČSN ISO 5459 (01 4402) z října roku 1994.

[1]

1.1 Základní termíny a definice

Situační prvek

„Bod, přímka, rovina nebo šroubovice, kterými je určeno umístění orientace prvků.“

Základní prvek

„Skutečný (neideální) prvek integrální prvek použitý pro ustavení základny. Základním prvkem může být celý povrch nebo rozměrový prvek.“

Přiřazený prvek

„Ideální prvek, který je ustaven k základnímu prvku specifickým kritériem přiřazení.“

Typy přiřazeného a jmenovitého integrálního prvku sloužícího k ustavení základny se obvykle shodují. Přiřazený prvek simuluje styk skutečného povrchu tělesa s jeho dalšími částmi.

[1]

Základna

Základnu tvoří jeden nebo více situačních prvků, které jsou odvozeny od prvků přiřazených ke skutečným integrálním prvkům. Tyto prvky mohou určovat umístění nebo orientaci, případně obojí, tolerančního intervalu nebo virtuální podmínky převzaté z ideálního prvku. Základna je stanovena plochou, přímkou, bodem, nebo jejich kombinací. Proto pojetí základen úzce souvisí s koncepcí invariance. Při určování základny ze souborů povrchu skládajících se z roviny, přímky bodu a jejich kombinace, mohou se k písmenu základny připojit modifikátory [SL], [PL] a [PT], nebo

jejich kombinace pro omezení situačního prvku vzhledem k povrchu. Výjimku tvoří základny s podmínkou maxima materiálu (MMC), nebo minima materiálu (LMC). Na tyto se základny se vztahuje norma ISO 2692.

[1]

Primární základna

„Základna, která není ovlivněna omezením od dalších základen.“

Sekundární základna

„Základna v soustavě základen, která je v soustavě základen ovlivněna omezením orientace od primární základny.“

Terciální základna

„Základna v soustavě základen, která je ovlivněna omezením od primární a sekundární základny v soustavě základen.“

[1]

Jednotlivá základna

Základna, kterou tvoří pouze jeden datový prvek. Může to být jak jednotlivý povrch, tak rozměrový prvek. To závisí na třídě invariance povrchu nebo rozměrového prvku.

Společná základna

Základna vytvořena ze dvou nebo více skutečných integrálních prvků (základních prvků). Ustanovení společné základny opět vychází z tříd invariance, která může být komplexní, hranolovitá, šroubovitá, válcovitá, otáčivá, rovinná nebo kulovitá.

[1]

Soustava základen

Soustava primární, sekundární případně terciální základny. Každou základnu tvoří situační prvky, u kterých je důležité vhodně zvolit pořadí přiřazení k jednotlivým základnám. Opět je třeba vzít v úvahu třídy invariance jednotlivých povrchů. Jedná se o třídu komplexní, hranolovitou, šroubovitou, válcovitou, otáčivou, rovinnou nebo kulovitou.

10

Cílená základna

Cílenou základnou může určovat bod, pouze část křivky nebo plochy. Jedná se tak část základního prvku.

Pohyblivá cílená základna

„Cílená základna s řízeným pohybem.“

[1]

Seskupení povrchů

Povrch skládající se ze dvou nebo více povrchů. Jestliže se protnou dvě různé roviny, mohou být posuzovány samostatně nebo současně, jako jediný povrch. Pak se jedná o seskupení povrchů

Rozměrový prvek

„Geometrický tvar stanovený délkovým nebo úhlovým rozměrem. Rozměrovým prvkem může být válec, koule, dva protilehlé paralelní povrchy, kužel nebo klín.“

Objektivní funkce

Nebo také „objektivní funkce pro přiřazení“. Kvalita přiřazení je matematicky popsána vzorcem nebo rovnicí. Obvykle se jedná o maximální vepsaný, minimální interval atd.

Přiřazení

„Operace použita k přiřazení ideálního prvku (prvků) k neideálnímu prvku (prvkům) podle přiřazených kritérií.“

[1]

Omezení

Omezení limituje orientaci, umístění, materiálové omezení, nebo omezení vlastní charakteristiky přiřazeného prvku.

a) Omezení orientace

Odebírá prvku jeden, dva nebo všechny tři rotační stupně volnosti.

b) Omezení umístění

Odebírá prvku jeden, dva nebo všechny tři translační stupně volnosti.

c) Materiálové omezení

Funkce optimalizuje umístění přiřazeného prvku ke materiálu prvku.

„Například omezením přiřazením může být to, že všechny vzdálenosti mezi přiřazeným prvkem a základním prvkem jsou kladné nebo rovné nule, tj. přiřazený prvek je vně materiálu.“

d) Omezení vlastní charakteristiky

Podmínka, která určuje, zda vlastní charakteristika přiřazeného prvku je považována za fixní nebo variabilní.

[1]

Kritérium přiřazení

„Objektivní funkce s nebo bez omezení, stanovující přiřazení.“

Poznámka 1 Pro přiřazení může být stanoveno několik omezení.

Poznámka 2 Výsledky přiřazení (přiřazených prvků) se mohou lišit v závislosti na volbě kritéria přiřazení.“

Integrální prvek

„Povrch nebo čára na povrchu.“

Kontaktní prvek

Jedná se o ideální prvek, který je přiřazen k odpovídajícímu prvkem a zároveň musí být rozdílný od jmenovitého nebo uvažovaného prvku.

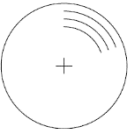


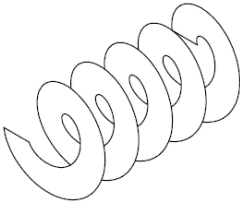
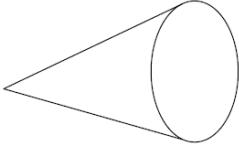
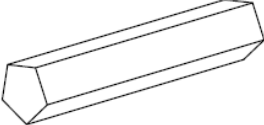
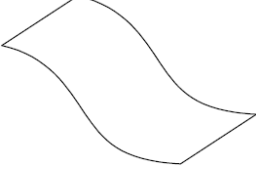
Třída invariance

„Skupina ideálních prvků, u kterých je jmenovitý povrch invariantní pro stejné stupně volnosti.“

[1]

V tabulce je uvedeno všech 7 tříd invariance.

Tabulka 1: Třídy invariance

Třída invariance	Nenucené stupně volnosti	Ilustrace	Situační prvky	Příklad typů povrchu
Kulovitá	3 rotace kolem bodu		Bod	Koule
Rovinná	1 rotace kolmo k rovině a 3 translace podél 2 čar roviny		Rovina	Rovina
Válcová	1 translace a 1 rotace kolem přímky		Přímka	Válec
Šroubovitá	Kombinace 1 translace a 1 rotace kolem jednotlivé přímky		Přímka	Šroubovitý povrch s evolventní základnou ke kružnici
Svinutá	1 rotace kolem přímky		Přímka Bod	Kužel Prstenec
Prizmatická	1 translace podél čáry roviny		Rovina Přímka	Pětiúhlé prizma
Komplexní	Žádný		Rovina Přímka Bod	Bezrozměrný povrch založený na nekoordinovaném oblaku bodů

Teoreticky exaktní rozměr (TED)



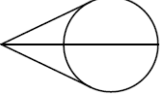
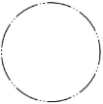
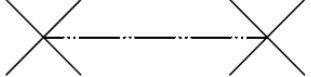
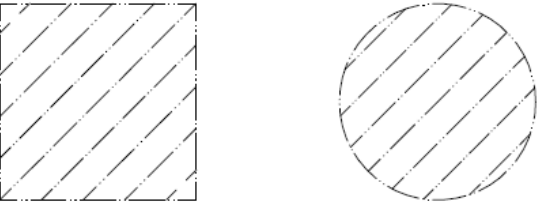
Označení rozměru v technickém výkrese, který se neřídí žádnou tolerancí, jedná se o teoreticky přesný rozměr. Používá se v operacích jako je přiřazení, rozdělení, seskupení atd. Jedná se jak o rozměry délkové, tak o rozměry úhlové. Tyto hodnoty stanovují jmenovité rozměry prvku a indikovaná hodnota je v obdélníkovém orámování.

[1]

1.2 Značky

V tabulce 2 jsou uvedeny značky k identifikaci základního prvku nebo cílené základny.

Tabulka 2: Základní prvky a značky cílených základen

Popis	Značka
Indikátor základního prvku	
Identifikátor základního prvku	Velká písmena (A, B, C AA, atd)
Orámování jednotlivé cílené základny	
Bod cílené základny	
Uzavřená čára cílené základny	
Neuzavřená čára cílené základny	
Rovina cílené základny	

V tabulce 3 jsou uvedeny značky modifikátorů, které mohou být připojeny k písmenům základny.

Tabulka 3: Značky modifikátorů

Značka	Popis
[PD]	Roztečný průměr
[MD]	Velký průměr
[LD]	Malý průměr
[ACS]	Řez
[ALS]	Podélný řez
[CF]	Kontaktní prvek
[DV]	Variabilní vzdálenost (pro společnou základnu)
[PT]	(typ situačního prvku) Bod
[SL]	(typ situačního prvku) Přímka
[PL]	(typ situačního prvku) Rovina
[><]	Pouze pro omezení orientace
Ⓟ	Vysunutí (pro sekundární a terciální základnu)
Ⓛ	Požadavek minima materiálu
Ⓜ	Požadavek maxima materiálu

1.3 Všeobecné pojmy

1.3.1 Všeobecně

„Základny a soustavy základen jsou teoreticky exaktní geometrické prvky použité společně s implicitním nebo explicitním TED k umístění nebo orientaci

a) tolerančních intervalů tolerovaných prvků

b) virtuálních podmínek, např. v případě požadavku maxima materiálu (viz ISO 2692).“

[1]

„Základna je složení situačních prvků pro dokonalý (ideální) prvek, který je přiřazeným prvkem a je ustanoven ze základních prvků obrobku nebo jejich částí. Geometrický typ těchto přiřazených prvků patří do jedné z následujících třít invariance.

- kulovitá (tj. Koule);

- rovinná (tj. Rovina);

- válcová (tj. Válec);

- šroubovitá (tj. povrch šroubovice);

- svinutá (např. Kužel, nebo prstenec);

- hranolovitá (např. Klín);

- komplexní (např. volná forma povrchu);“

[1]

Přiřazené prvky jsou odvozeny od skutečných nebo extrahovaných prvků použitých pro základnu a stanovují tak situační prvky. Základny nemají souřadnicový systém, které by tato norma popisovala, ale souřadnicové systémy mohou být na základnách umístěny.

[1]

1.3.2 Vlastní charakteristiky povrchů

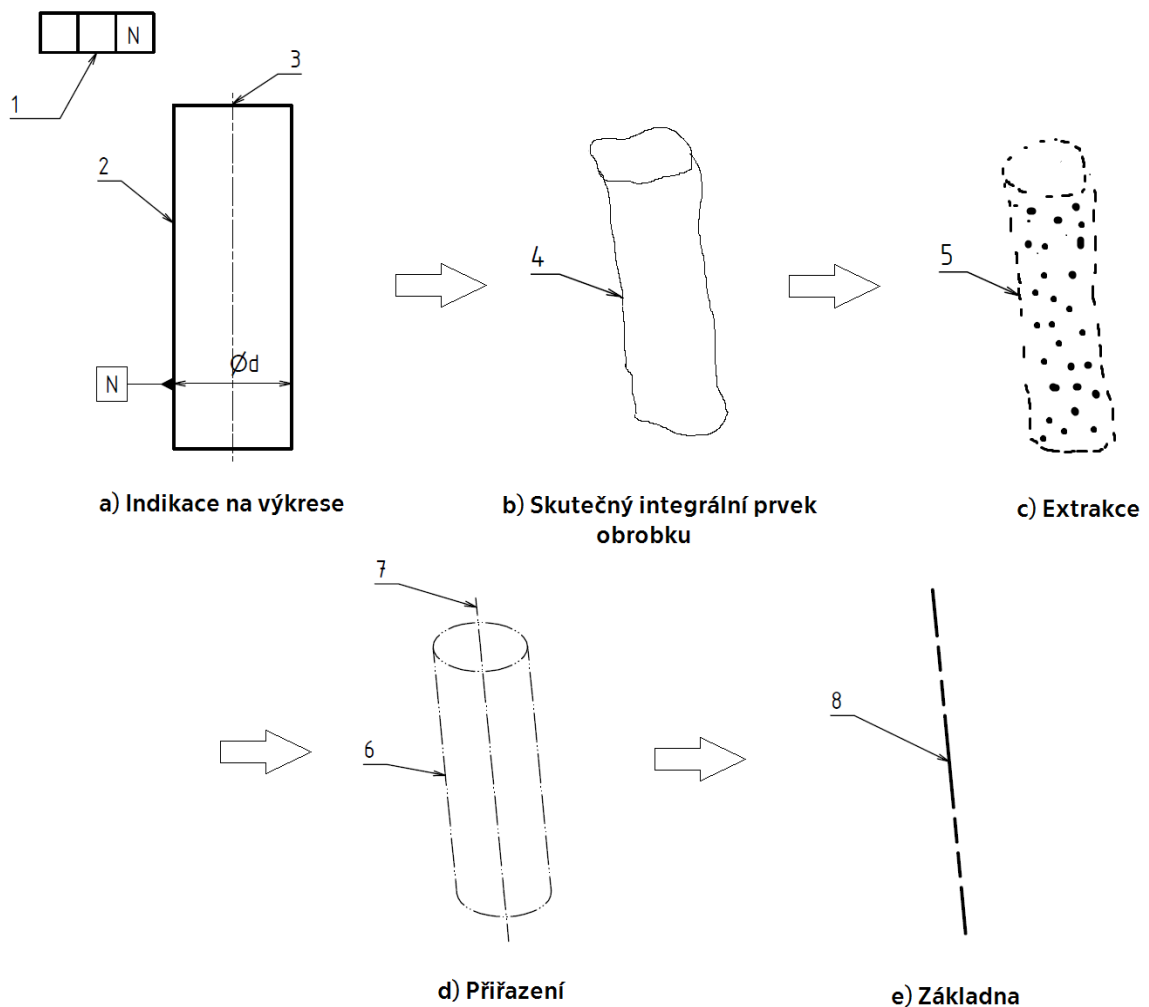
„Vlastní charakteristiky představované seskupením prvků (stanovené vztahem mezi přiřazenými prvky) musí být považovány za teoreticky exaktní jak pro délkové, tak i úhlové rozměry.“

[1]

Tabulka 4: Výchozí postavení vlastních charakteristik rozměrových prvků

Rozměrový prvek	Třída invariance	Vlastní charakteristika
Válec	Válcová	průměr
Koule	Kulovitá	průměr
Dvě paralelní plochy	Rovinná	vzdálenost mezi dvěma rovinami
Kužel	Svinutá	úhel
Klín	Hranolovitá	úhel

Obrázek 1 popisuje postup přiřazení základny k reálnému prvku.



Legenda

- 1 orámovaná tolerance spojena s tolerovaným prvkem
- 2 jmenovitý integrální prvek (které je rozměrový prvek)
- 3 jmenovitý odvozený prvek
- 4 skutečný integrální prvek (v tomto případě základna prvku)
- 5 extrahovaný integrální prvek (volitelný)
- 6 přiřazený integrální prvek
- 7 odvozený prvek přiřazeného integrálního prvku
- 8 jednotlivá základna (situační prvek přiřazeného povrchu)

Obrázek 1: Ilustrace prvků použitých pro ustanovení jednotlivé základny válce

1.3.3 Jednotlivé základny, společné základny a soustavy základen

Jakmile povrch nebo seskupení povrchů jsou označeny jako základní prvek, je potřeba definovat stupně invariance (tabulka 1). Cílem je určit seskupení prvků tvořící základnu.

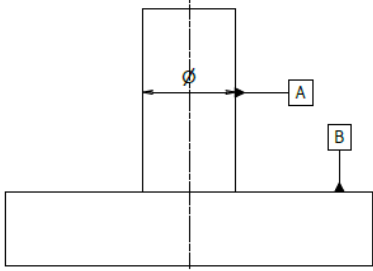

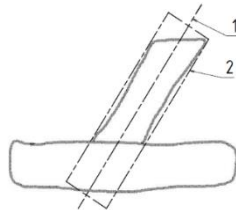

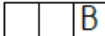
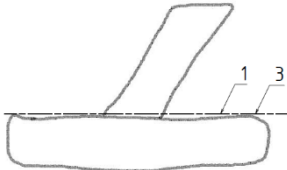
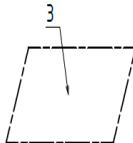
Sekundární základna musí mít odebráno více stupňů volnosti než primární základna. Analogicky terciální základna musí mít odebráno více stupňů volnosti jak primární, tak sekundární základna. Při nedodržení těchto podmínek nesmějí být základny vůbec definovány.

Jednotlivé základny

Jeden nebo více situačních prvků na jednom prvku nebo jeho části.

[1]

Tabulka 5: Příklad jednotlivé základny vzaté z válce nebo plochy

Indikace základního prvku	Indikace základny v orámované toleranci	Ilustrace významu	Třída invariance a situační prvek	Základna
			Válec Osa přiřazeného válce	
			Rovina Přiřazená rovina	
Legenda 1 přiřazený prvek (bez omezení orientace) 2 přímka, která je situačním prvkem přiřazeného válce (jeho osa) 3 rovina, která je situačním prvkem přiřazené roviny (samotná přiřazená rovina)				

Společné základny

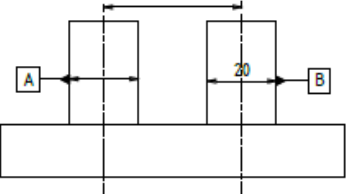
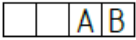
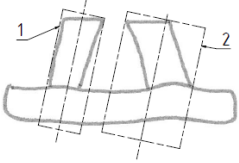
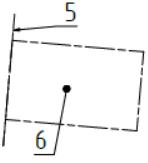
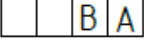
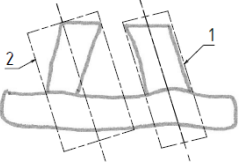
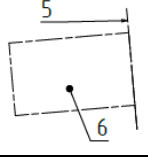
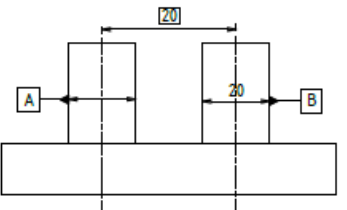
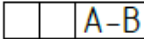
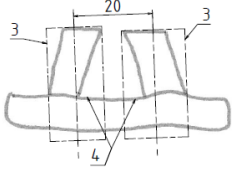
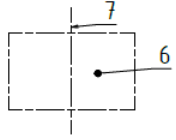
Jeden nebo více situačních prvků na povrchu, který je seskupený právě za tímto účelem.

Soustavy základen

Požadovaná sekvence dvou nebo tří jednotlivých (společných) základen. Tvořeno ze dvou nebo tří situačních prvků odvozených od uvažovaných povrchů.

[1]

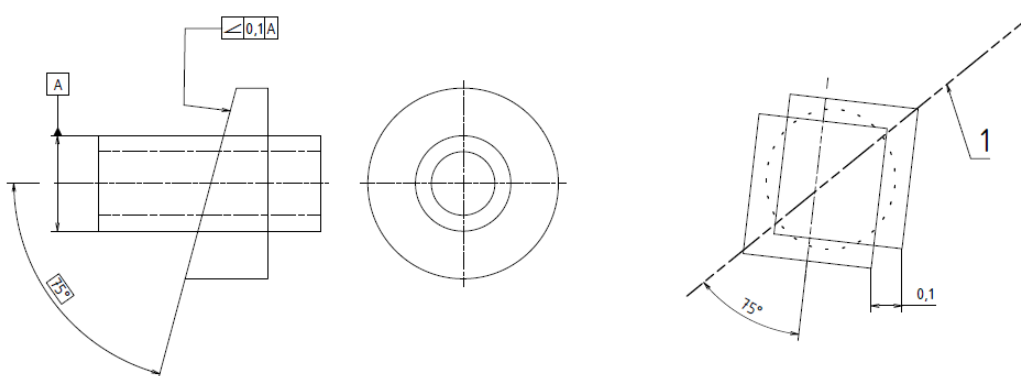
Tabulka 6: Příklad společná základna a soustava základny vzatá z dvou válců

Indikace základního prvku	Indikace základny v orámované toleranci	Ilustrace významu	Základna
			
			
			
<p>Legenda</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 přiřazený válec bez omezení 2 druhý přiřazený válec je s omezenou paralelností od prvního přiřazeného prvku 3 současně přiřazené válce s omezenou paralelností a omezením umístění 4 maximální vyrovnaná vzdálenost mezi přiřazenými válci a základními prvky 5 přímka, která je osou prvního přiřazeného válce 6 rovina zahrnující osy dvou přiřazených válců 7 střední rovina os dvou současně přiřazených válců 			

1.4 Úloha základen

Základny jsou důležité pro stanovení tolerančního intervalu, uzavírání jejich stupňů volnosti a stanovení virtuální podmínky (např. maximum materiálu). Počet stupňů volnosti tolerančního intervalu je závislý na tvaru a typu základny (primární, sekundární, terciální). Základna uzavírá všechny stupně volnosti, které lze uzavřít vzhledem k tvaru a doposud nebyly uzavřeny jinou základnou nebo soustavou základen.

[1]



a) Indikace na výkrese

b) Ilustrace tolerančního intervalu

Legenda

- 1 Základna A, tvořena osou přiřazeného válce

Obrázek 2: Příklad tolerančního intervalu omezeného v orientaci základnou

1.5 Grafický jazyk

1.5.1 Indikátor základního prvku

Určuje základnu prvku, v identifikátoru se používají velká písmena s výjimkou I, O, Q, X (mohla by být špatně pochopena)

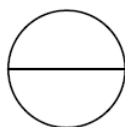
[1]



Obrázek 3: Indikátor základního prvku

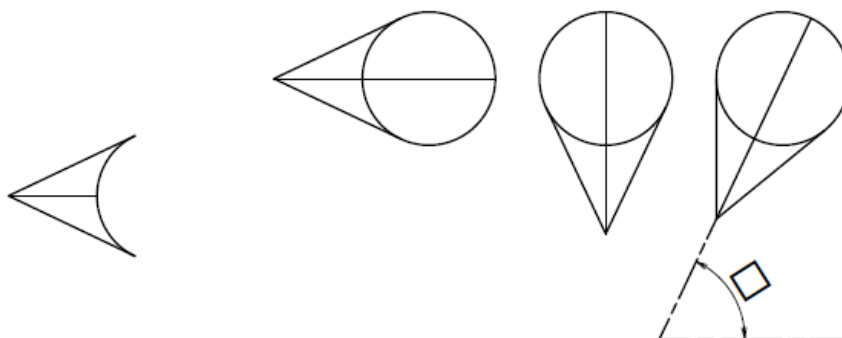
1.5.2 Cílené základny

Používá se, když stačí použití pouze části integrálního prvku k stanovení základního prvku. Například rozhraní mezi kontakty jednotlivých prvků.



Obrázek 4: Orámování jednotlivé cílené základny

Pohyblivý modifikátor je použit k indikaci směru pohybu fyzického prvku nebo součástí simulující základny nebo soustavu základny.



a) Pohyblivý modifikátor

b) Pohyblivá základna (horizontální, vertikální nebo nakloněná)

Obrázek 5: Pohyblivé modifikátory

[1]

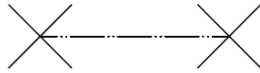
1.5.3 Značka cílené základny

Indikuje typ a identifikuje cílené základny.

[1]



Obrázek 6: Cílená základna bod

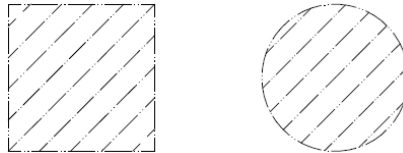


Obrázek 7: Neuzavřená cílená základna



Obrázek 8: Uzavřená cílená základna

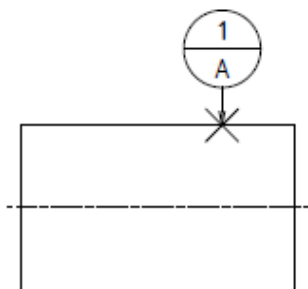
Šrafování cílené oblasti tenkou čerchovanou čarou s dvěma tečkami



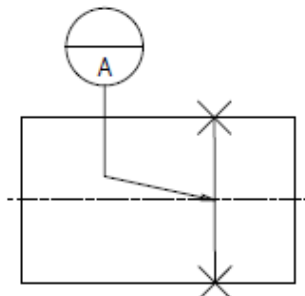
Obrázek 9: Oblast cílené základny

1.5.4 Odkazová čára

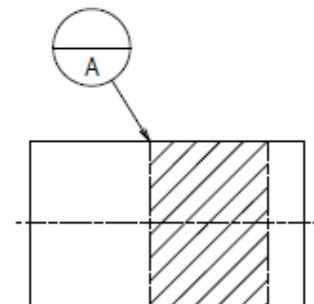
Cílenou základnu lze označit přímo, pomocí referenční nebo odkazové čáry ukončené šipkou nebo tečkou. Pokud je to možné, označí se cílená základna na povrchu, který není skryt. V opačném případě musí být odkazová čára čerchovaná a ukončena otevřenou kružnicí v oblasti cílené základny.



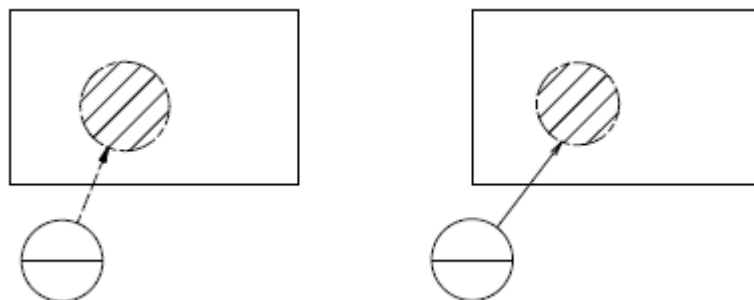
**Obrázek 10: Indikátor
jednotlivé cílené
základny bodu**



**Obrázek 11: Indikátor
jednotlivé cílené základny
čáry**



**Obrázek 12: Indikátor
jednotlivé cílené základny
povrchu**



a) Indikace skryté cílené základny

b) Indikace viditelné cílené základny

Obrázek 13: Příklad indikace cílené základny

1.5.5 Specifikace základen a soustavy základen

„Základna (nebo soustava základen) je specifikována ve třetí (a pokud je to nutné tak i ve čtvrté a páté) části orámované tolerance.“

[1]



Obrázek 14: Umístění písemné značky (značek) základny v orámované toleranci

1.6 Pravidla

V technické dokumentaci je nutné dodržovat základní pravidla, aby další uživatelé mohli jednoznačně přečíst a pochopit význam jednotlivých konstrukčních návrhů.

[1]

1.6.1 Pravidlo 1- Základní prvky

Ustavení identifikátoru základního prvku

a) na prodlouženou kótovací čáru;

b) v orámovanou toleranci směřující ke kótovací čáře povrchu;

24

c) na praporku kótovací čáry;

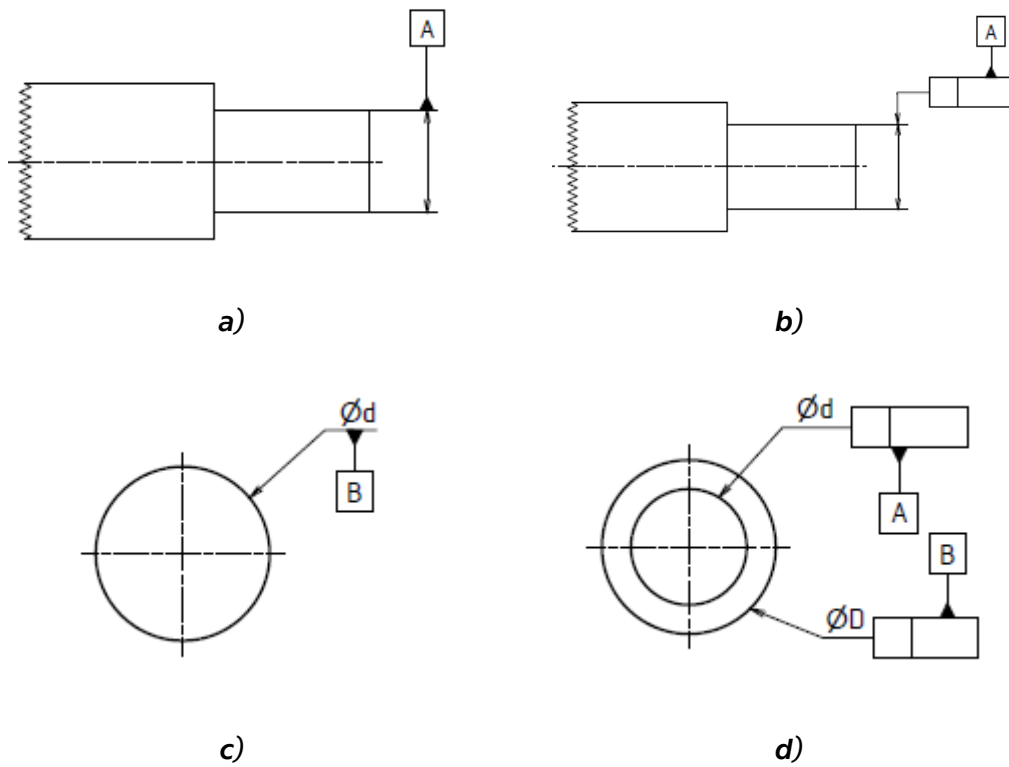
d) v orámované toleranci spojené s odkazovou čarou s rozměrem a mířícím k povrchu;

e) na obrysu povrchu nebo prodloužené čáře povrchu

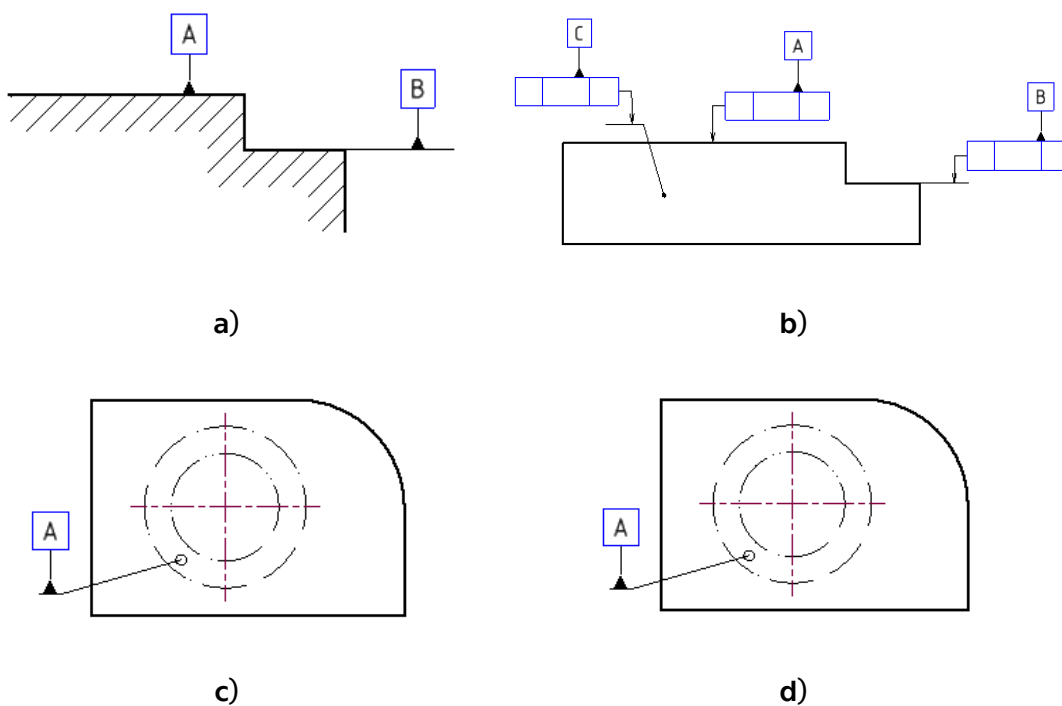
f) v orámované toleranci směřující k obrysu nebo k prodloužené čáře povrchu nebo kótovací čáře;

g) na odkazové čáře s praporkem, která nesouvisí s kótováním, připojené k povrchu ukončené plným nebo otevřeným kroužkem (obr. h) pokud je povrch skryt."

[1]



Obrázek 15: Spojení indikátoru základny pro jednotlivý prvek uvažovaný jako rozměrový prvek



Obrázek 16: Spojení indikátoru základny pro jednotlivý prvek neuvažovaný jako rozměrový prvek

1.6.2 Pravidlo 2 – Přiřazené rozměrové prvky s fixním nebo variabilním rozměrem

Je-li pro stanovení základny použita vlastní charakteristika prvku, je tato základna považována za teoreticky exaktní rozměr. Pokud je uvažováno variabilní přiřazení, musí být identifikováno pomocí přímých nebo všeobecných tolerancí.

[1]

1.6.3 Pravidlo 3 – Základní prvky ustavení z kompletního prvku

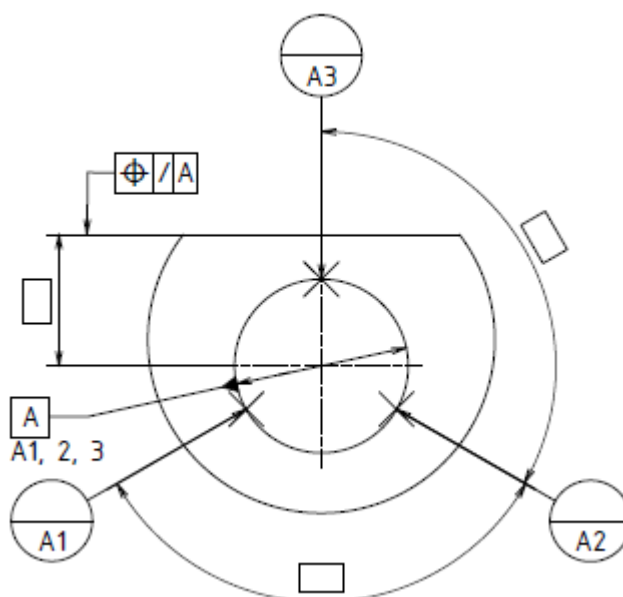
„Pokud je základna ustanovena na kompletním integrálním prvku, musí být indikována pouze indikátorem základny.“

[1]

1.6.4 Pravidlo 4 – Základní prvky ustanovené z jedné nebo více cílených základen

Pro základní prvky ustanovené z cílených základen platí, že cílené základny musí být označeny indikátorem cílené základny a číslem, případně rozměrem cílené základny. Indikátor základního prvku musí označen seznamem těchto čísel Umístění cílené základny musí být buď fixní, nebo se musí specifikovat použitím kontaktních prvků, případně pomocí pohyblivého cíleného prvku

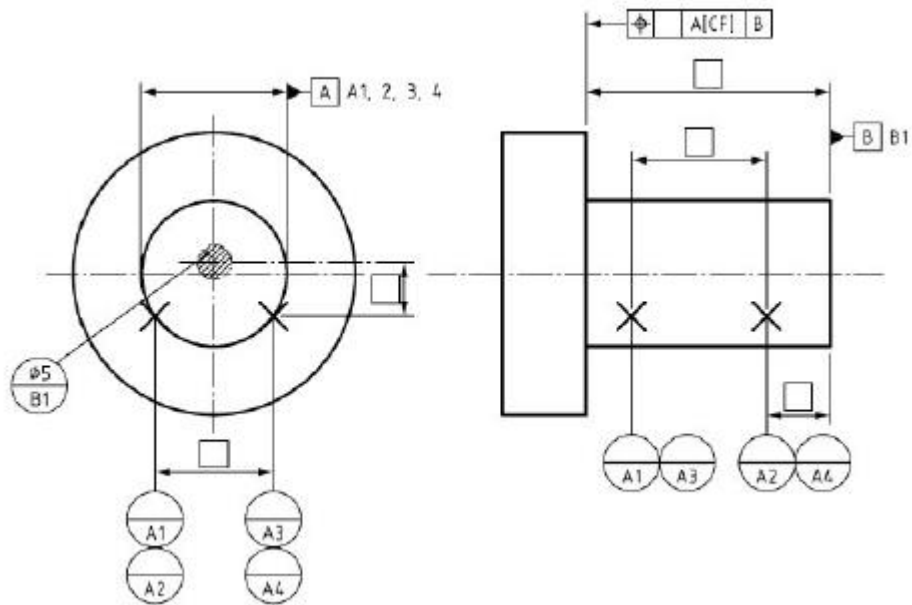
[1]



Obrázek 17: Příklad jednotlivé základny ustavené z části válce

1.6.5 Pravidlo 5 – Přiřazený prvek s jiným typem, než je jmenovitý základní prvek

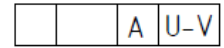
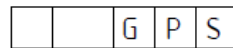
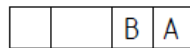
Když jmenovitý a přiřazený prvek, který stanovuje základnu nejsou stejného typu, musím pak být použito cílené základny i indikací [CF]. Kontaktní prvek pak musí být označen jako fixní.



Obrázek 18: Příklad indikace základny s modifikátorem [CF]

1.6.6 Pravidlo 6 – Uspořádání orámované tolerance se základnou nebo soustavou základny

Základny se v orámované toleranci značí na třetím, případně čtvrtém a pátém místě. Pořadí základen stanovuje orientaci mezi primární, sekundární a terciální základnou.



a) Jednotlivá
základna

b) Společná
základna

c) Dvě
jednotlivé
základny

d) Tři jednotlivé
základny

e) Jednotlivá
a společná
základna

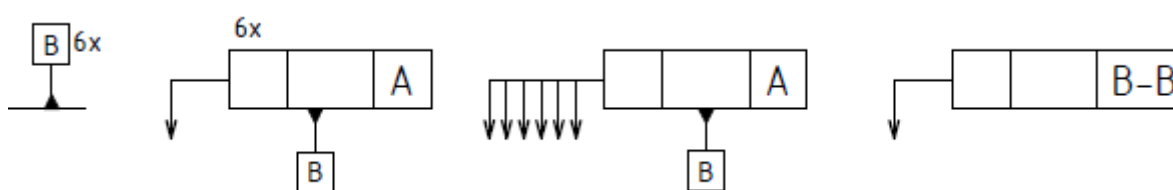
Obrázek 19: Příklad indikace základen v orámované toleranci

1.6.7 Pravidlo 7 – Indikace jednotlivé nebo společné základny v části orámované tolerance

V orámované toleranci se použijí pouze písmena shodná s písmeny uvedenými v indikátorech základny. Při identifikaci společné základny nehraje roli pořadí písmen.

Když se použije stejného počtu identifikátoru základního prvku a prvků použitých k ustanovení společné základny, potom je použita zjednodušená indikace. Doplnková indikace „n x“ stanovuje počet n povrchů v seskupení, lze také použít odkazové čáry pro jednotlivé povrchy

[1]



Obrázek 20: Příklady doplňkové indikace

1.6.8 Pravidlo 8 – Uzavřené nebo uvolněné stupně volnosti

„Pokud nejsou všechny situační prvky základny nebo umístění základny požadovány, musí být doplněny indikace (PL, SL, PT, ><) doplněna za písmena základny v příslušné části orámované tolerance, krom případů, kde je ze specifikace zřejmé, které situační prvky mají být použity.

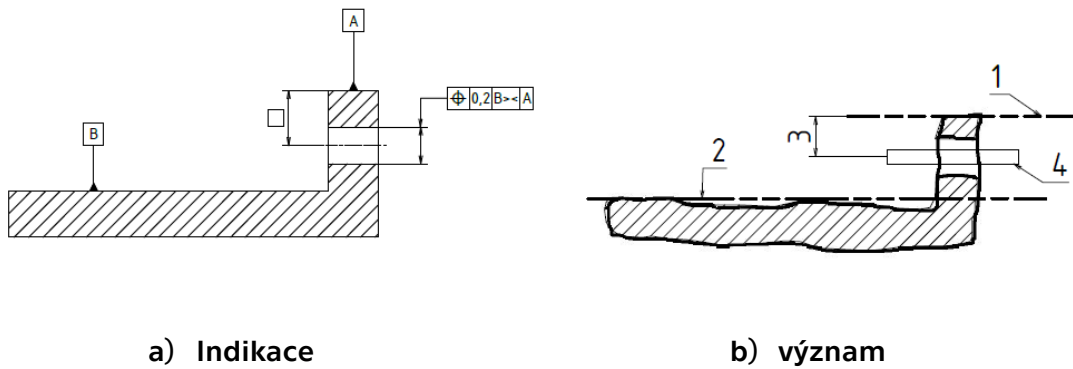
Doplňková indikace [PL], pokud je potřebná rovina

Doplňková indikace [SL], pokud je potřebná přímka

Doplňková indikace [PT], pokud je potřebný bod

Doplňková indikace [><], pokud je použita pouze základna k uzavření stupňů volnosti orientace bez umístění.“

[1]



a) Indikace

b) význam

Legenda

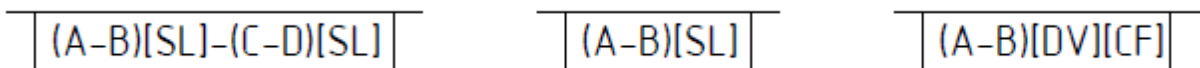
- 1 přiřazená rovina s omezením vnějším materiálem a s omezením orientace od základny B
- 2 přiřazená rovina s omezením vnějším materiálem (základna B)
- 3 relativní vzdálenost umístění
- 4 toleranční interval s omezením orientace od základny B a omezením umístění od základny A

Obrázek 21: příklad základny s modifikátorem $\langle \rangle$

1.6.9 Pravidlo 9 – Speciální indikace pro společnou základnu

Při aplikaci doplňkových indikací na všechny elementy společné základny, musí být všechny prvky společné základny v závorce. V opačném případě doplňkové indikace platí pouze pro základnu uvedenou před indikací.

[1]



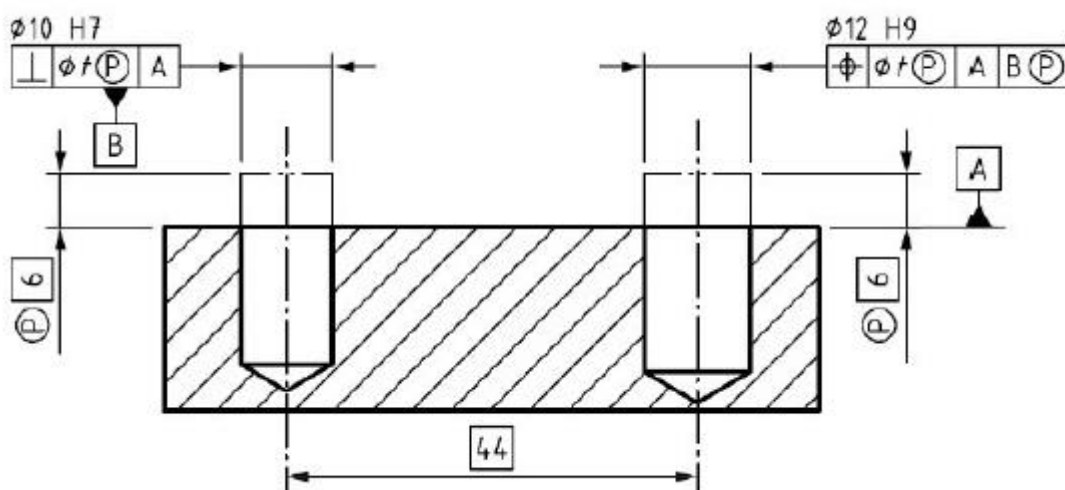
Obrázek 22: Doplňkové indikace pro společné základny

1.6.10 Pravidlo 10 – Aplikace geometrických modifikátorů v orámované toleranci

„Pokud jsou modifikátory \textcircled{M} , \textcircled{L} nebo \textcircled{P} umístěny v orámované toleranci za písmenem, pak se mění výchozí význam.“

„Při použití modifikátoru \textcircled{P} musí být indikováno rozšíření prvku přímo na výkresu (viz obrázek 19) nebo za modifikátorem \textcircled{P} v orámované toleranci. Na rozměr (rozměry) tohoto prodloužení musí být pohlíženo jako na TED.“

[1]



Obrázek 23: Příklad aplikace modifikátoru \textcircled{P} na sekundární základně

[1]

2. Vytvoření modelových součástí pro realizaci měřících úloh

V úlohách budu řešit výsledné geometrické tolerance při rozdílné volbě základů. Geometrické tolerance řeší nepřesnost tvaru a polohy od reálné součásti. Geometrická tolerance má tak vliv funkčnost součásti. V úloze 1 budu řešit toleranci souososti na hřídeli, v úloze 2 toleranci polohy na přírubě a v úloze 3 toleranci polohy na desce.

Tolerance souososti

Osa tolerovaného elementu musí ležet uvnitř tolerančního válce o průměru zvolené tolerance. V orámované toleranci musí být uvedena značka „ \varnothing ” před číselnou hodnotou tolerance. Osa tolerovaného elementu je úsečka skutečné plochy elementu a je shodná s osou nejmenšího vepsaného válce k této ploše. Osa tolerančního válce je totožná s osou nejmenšího vepsaného válce k základním prvkům.

[2]

Tolerance vzájemné polohy

Osa každé díry musí ležet v tolerančním poli tvaru válce o průměru zvolené tolerance. Poloha osy tohoto válce je dána teoreticky přenými vzdálenostmi od základů.

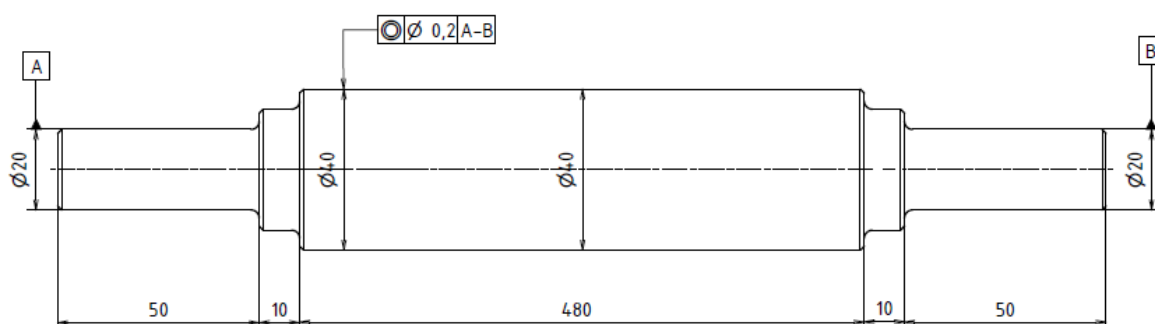
[3]

2.1 Úloha 1

V první úloze jsem navrhl hřídel s výraznou délkou vůči průměru. Délka hřídele má vliv na celkovou nepřesnost součásti, proto jsem zvolil hřídel v takové délce, aby chyba byla zanedbatelná. V úloze budu počítat velikost odchylky při předepsání geometrické tolerance souososti pro válec s průměrem 40 mm. Nejprve se zvolenou společnou základnou A-B (úloha 1a) a poté pouze se základnou A (úloha 1b).

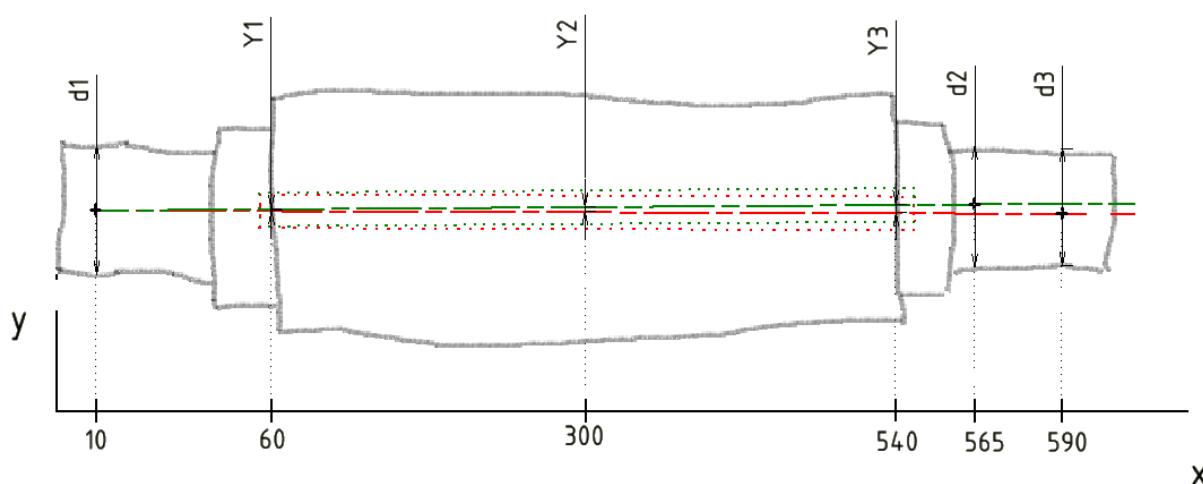
2.1.1 Úloha 1a

Společná základna A-B.



Obrázek 24: Úloha 1a výkres

Nejprve jsem změřil průměry d_1 , 10 mm od levého čela hřídele (poloha $d_{1,x}$) a d_2 , 565 mm od levého čela (poloha $d_{2,x}$). Středem těchto poloměrů jsem vedl osu, která tvoří osu tolerančního válce (na obrázku 25 označeno zelenou barvou). Pro druhé měření jsem vycházel z průměru d_1 a přidal nový průměr d_3 , 590 mm od čela hřídele (poloha $d_{3,x}$). Středů poloměrů d_2 a d_3 jsou od sebe vzdáleny $\Delta_y = 0,005$ mm v ose y . Osu jsem nyní proložil středů poloměrů d_1 a d_3 . Tak vznikla osa tolerančního válce (na obrázku 25 označeno červeně). Odchylku ve směru osy y jsem vypočítal ve třech řezech ($X_1 = 60$ mm - počátek válce, $X_2 = 300$ mm - střed válce, $X_3 = 540$ mm - konec měřeného válce).



Obrázek 25: Úloha 1a odchylka os tolerančního pole

Výpočet odchyly os tolerančních válců.

$$\frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} = \frac{Y_i}{X_i - d1_x} \rightarrow Y_i = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_i - d1_x)$$

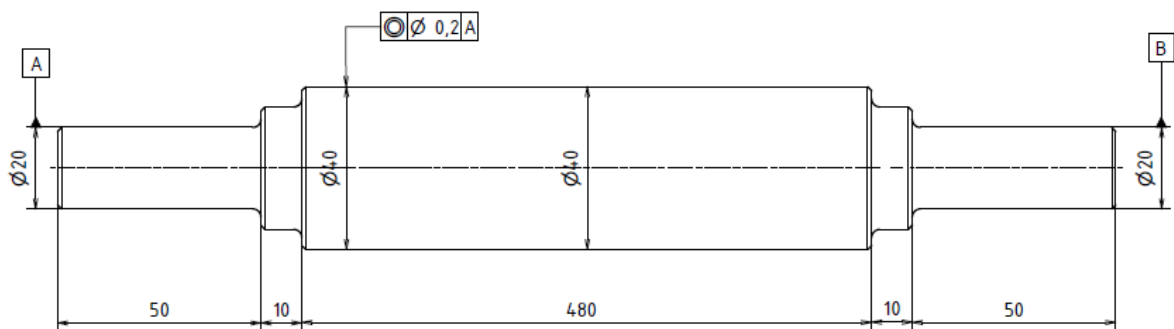
$$Y_1 = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_1 - d1_x) = \frac{0,005}{590 - 10} * (60 - 10) = 0,4 \mu m$$

$$Y_2 = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_2 - d1_x) = \frac{0,005}{590 - 10} * (300 - 10) = 2,6 \mu m$$

$$Y_3 = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_3 - d1_x) = \frac{0,005}{590 - 10} * (540 - 10) = 4,7 \mu m$$

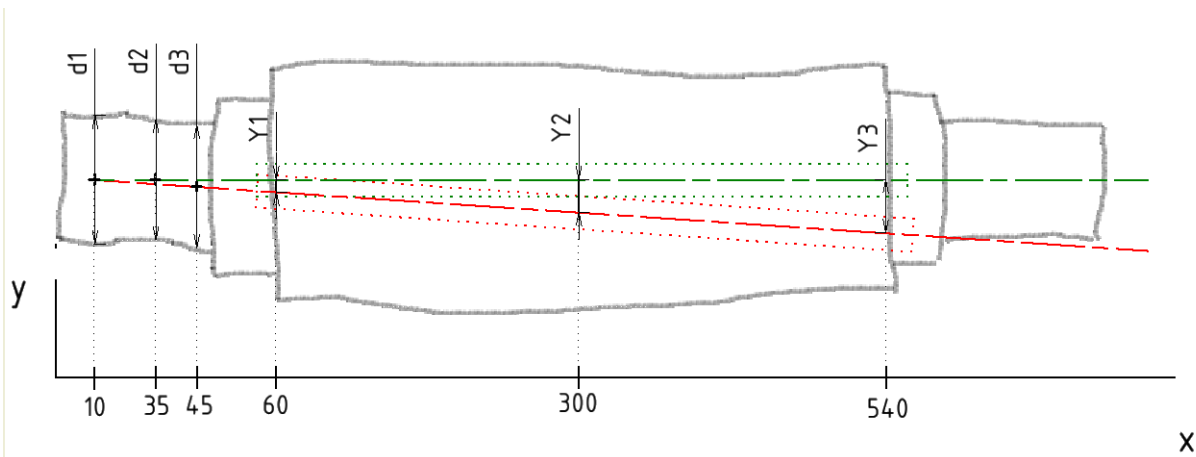
2.1.2 Úloha 1b

Základna A



Obrázek 26: Úloha 1b výkres

Nejprve jsem změřil průměry $d1$, 10 mm od čela hřídele (poloha $d1_x$) a $d2$, 35 mm od čela (poloha $d2_x$). Středem těchto poloměrů jsem vedl osu, která tvoří osu tolerančního válce (na obrázku 27 označeno zelenou barvou). Pro druhé měření jsem vycházel z průměru $d1$ a přidal nový průměr $d3$, 45 mm od čela hřídele (poloha $d3_x$). Středů poloměrů $d2$ a $d3$ jsou od sebe vzdáleny $\Delta_y = 0,005$ mm v ose y . Osu jsem nyní proložil středy poloměrů $d1$ a $d3$. Tak vznikla osa tolerančního válce (na obrázku 27 označeno červeně). Na obrázku lze vidět, že odchylna polohy obou os tolerančních polí roste lineárně. Odchylnu jsem vypočítal ve třech řezech ($X_1 = 60$ mm - počátek válce, $X_2 = 300$ mm - střed válce, $X_3 = 540$ mm - konec měřeného válce).



Obrázek 27: Úloha 1b odchylka os tolerančního pole

Výpočet odchylky os tolerančních válců.

$$\frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} = \frac{Y_i}{X_i - d1_x} \rightarrow Y_i = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_i - d1_x)$$

$$Y_1 = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_1 - d1_x) = \frac{0,005}{45 - 10} * (60 - 10) = 0,007 \text{ mm}$$

$$Y_2 = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_2 - d1_x) = \frac{0,005}{45 - 10} * (300 - 10) = 0,041 \text{ mm}$$

$$Y_3 = \frac{\Delta_y}{d3_x - d1_x} * (X_3 - d1_x) = \frac{0,005}{45 - 10} * (540 - 10) = 0,076 \text{ mm}$$

2.1.3 Úloha 1 porovnání výpočtů

V první úloze můžeme vidět výrazný rozdíl mezi výsledky při zvolení společné základny A-B oproti samostatné základně A. Hodnoty pro společnou základnu A-B vycházejí přibližně 16x menší než hodnoty samostatné základny B. Zatímco u úlohy 1a jsou všechny hodnoty pod hodnotou rozdílu středů poloměrů ($\Delta_y = 0,005 \text{ mm}$), u úlohy 1b jsou všechny hodnoty nad touto hranicí. Výsledky jsou zapsány v tabulce.

Tabulka 7: Porovnání výsledků úloha 1

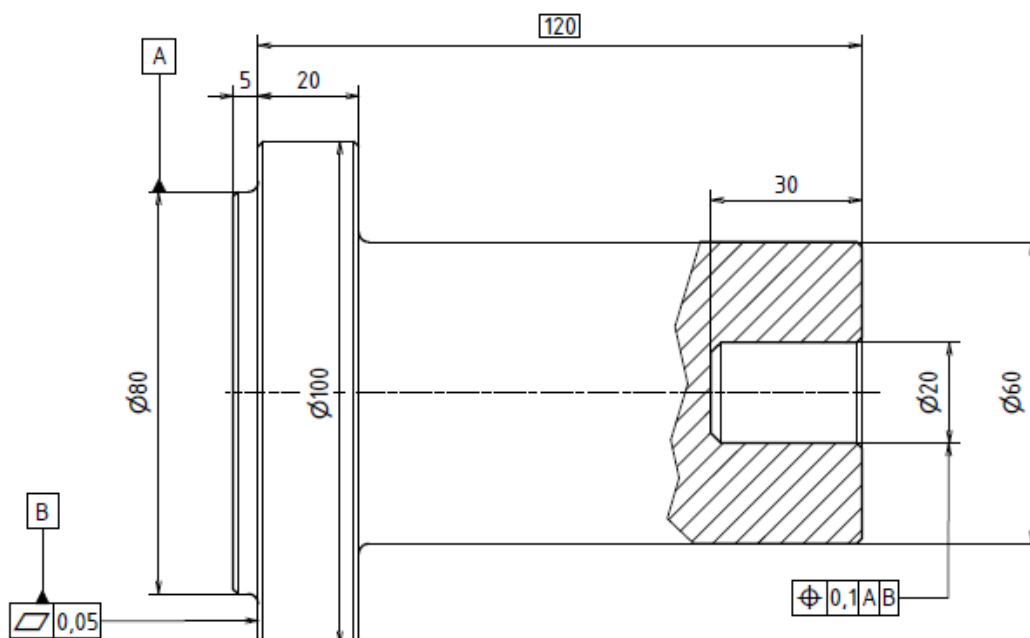
i	1	2	3
X [mm]	60	300	540
Y_A [mm]	0,0004	0,0026	0,0047
Y_B [mm]	0,007	0,041	0,076

2.2 Úloha 2

Ve druhé úloze jsem navrhl přírubu s velkým průměrem čela na jedné straně a dírou na druhé straně součásti. Rozměry základen jsou navrženy, aby vznikla výrazná chyba, při špatně zvoleném pořadí základen. Délkové rozměry základen mají na výsledné chybě velký podíl. V úloze budu počítat odchylku pro předepsanou tolerance polohy díry při záměně pořadí základen. Zvolená geometrická tolerance polohy je 0,1mm.

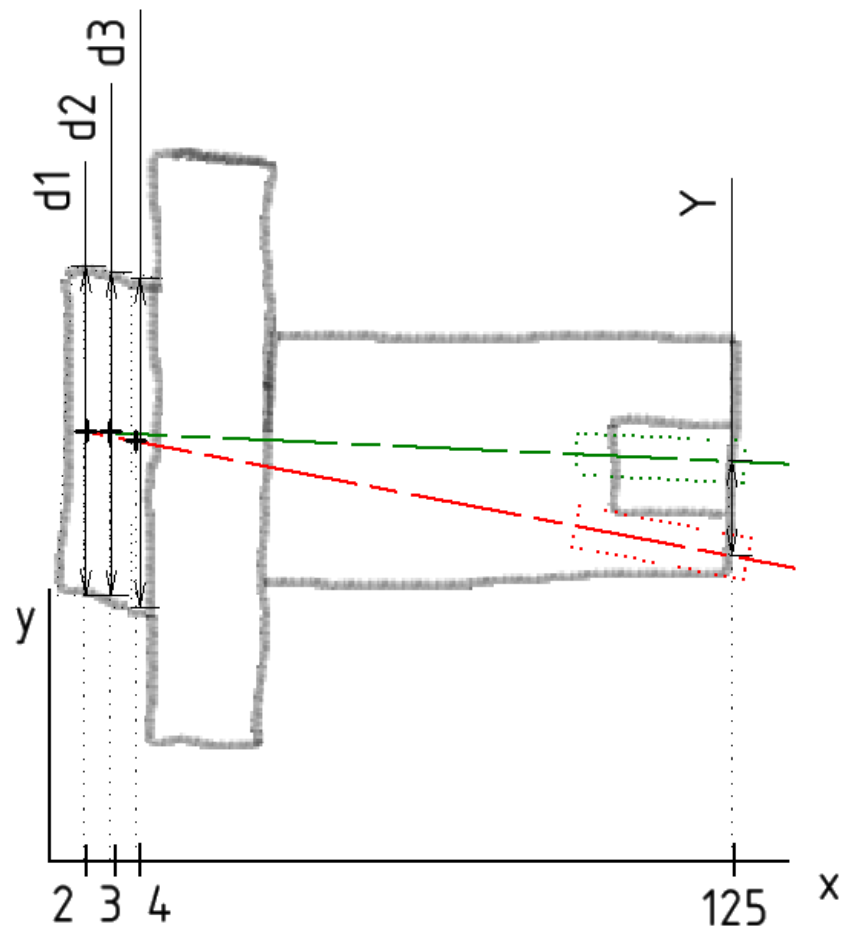
2.2.1 Úloha 2a

Pořadí základen A, B. Polohu i směr určuje základna A.



Obrázek 28: Úloha 2a výkres

Nejprve jsem změřil průměry d_1 , 2 mm od levého čela (poloha $d1_x$) a d_2 , 3 mm od levého čela (poloha $d2_x$). Středem těchto poloměrů jsem vedl osu, která tvoří osu tolerančního válce (na obrázku 29 označeno zelenou barvou). Pro druhé měření jsem vycházel z průměru d_1 a přidal nový průměr d_3 , 4 mm od čela (poloha $d3_x$). Střed poloměrů d_2 a d_3 jsou od sebe vzdáleny $\Delta_y = 0,002$ mm v ose y. Osu jsem nyní proložil středy poloměrů d_1 a d_3 . Tak vznikla osa tolerančního válce (na obrázku 29 označeno červeně). Odchylku ve směru osy y jsem vypočítal v poloze $X = 125$.



Obrázek 29: Úloha 2a odchylka os tolerančního pole

Výpočet odchylky os tolerančních polí.

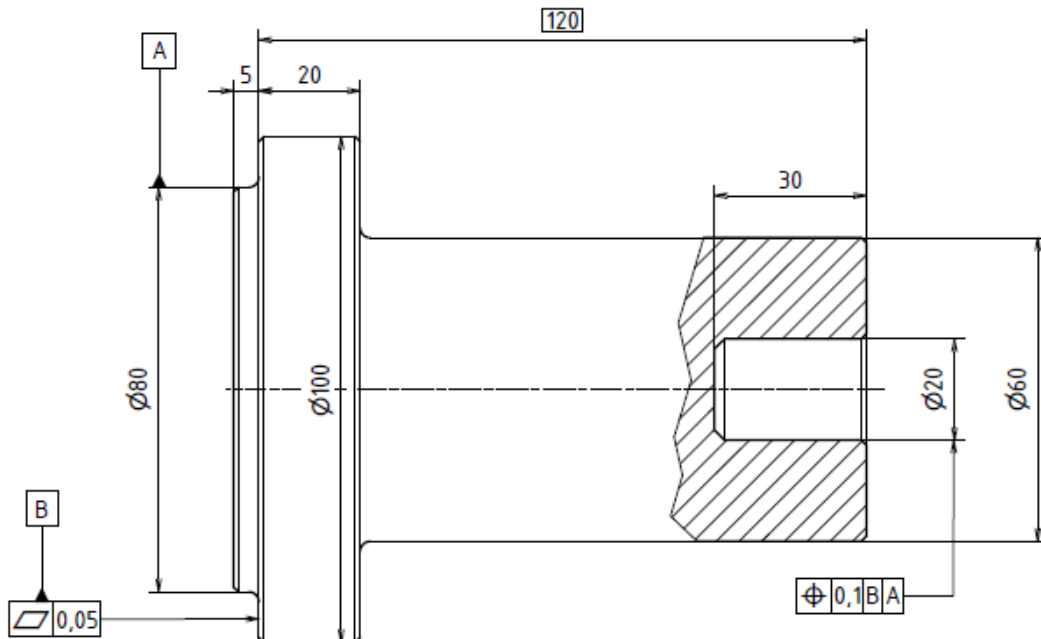
$$\frac{\Delta_y}{d_{3x} - d_{1x}} = \frac{Y}{X - d_{1x}}$$

$$Y = \frac{\Delta_y}{d_{3x} - d_{1x}} * (X - d_{1x})$$

$$Y = \frac{0,002}{4 - 2} * (125 - 2) = 0,123 \text{ mm}$$

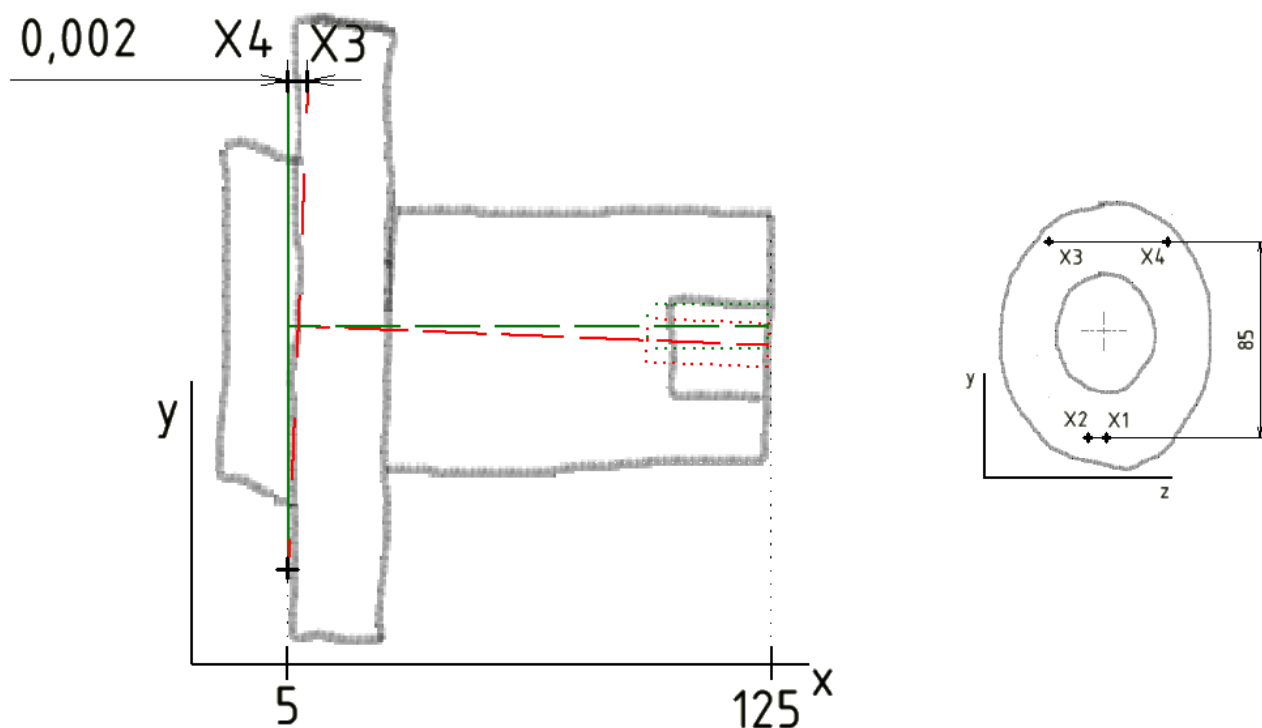
2.2.2 Úloha 2b

Pořadí základen B, A. Polohu určuje základna B a směr základna A.



Obrázek 30: Úloha 2b výkres

Na základně B jsem změřil čtyři body (X_1, X_2, X_3, X_4). Nejprve jsem vytvořil rovinu $X_1X_2X_4$. Vzdálenost bodů v průmětu do osy y je $\Delta_y = 85$ mm. Středem základny A jsem vedl kolmici na rovinu $X_1X_2X_4$. Tato kolmice tvoří osu tolerančního válce (na obrázku 31 označeno zelenou barvou). Poté jsem vytvořil úsečku $X_1X_2X_3$. Vzdálenost bodů v průmětu do osy y je $\Delta_y = 85$ mm. Středem základny A jsem vedl kolmici na úsečku $X_1X_2X_3$. Tato kolmice tvoří osu tolerančního válce (na obrázku 31 označeno červenou barvou). Body X_2 a X_3 jsou od sebe vzdáleny $\Delta_x = 0,002$ mm ve směru osy x . Odchylku Y ve směru osy y jsem vypočítal v poloze $X = 125$. Základna B je od počátku souřadného systému vzdálena $y_B = 5$ mm



Obrázek 31: Úloha 2b osy tolerančního pole

Výpočet odchylky os tolerančních polí.

$$\frac{\Delta_x}{\Delta_y} = \frac{Y}{X - y_B}$$

$$Y = \frac{\Delta_x}{\Delta_y} * (X - y_B)$$

$$Y = \frac{0,002}{85} * (125 - 5) = 0,0028 \text{ mm}$$

2.2.3 Úloha 2 porovnání výsledků

V úloze 2 je opět vidět velký rozdíl výsledných hodnot. Odchylka u úlohy 2a je dána malou délkou základny A, proto jsem musel měřit v řezech blízko u sebe a výsledná odchylka se tak dostala mimo předepsanou toleranci. V úloze 2b je délka základny již dostatečně dlouhá a výsledná hodnota odchylky je v souladu s předepsanou tolerancí. Výsledky jsou zapsány v tabulce.

Tabulka 8: Porovnání výsledků úloha 2

Úloha	A	B
Y [mm]	0,123	0,0028

2.3 Úloha 3

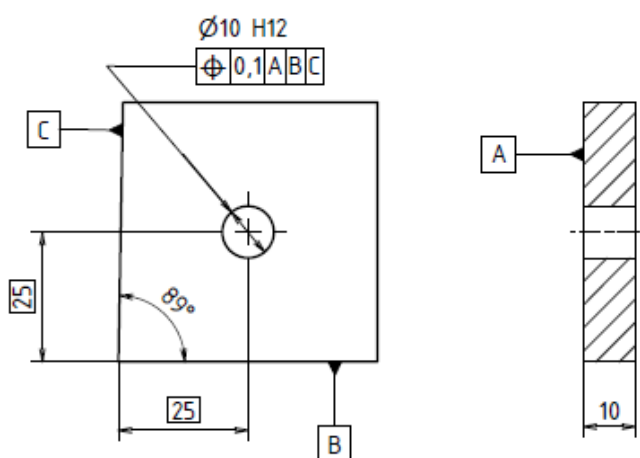
Ve třetí úloze jsem navrhl desku s dírou uprostřed, deska má 4 protilehlé roviny rovnoběžné a zbylé 2 roviny spolu svírají úhel 1° . Tento úhel tvoří úmyslnou chybu, aby se projevila chyba nevhodně zvoleného pořadí základen. V úloze budu porovnávat umístění díry v desce, při záměně pořadí základen B a C.

Všechny základny tvoří tři na sebe kolmé roviny. Primární základna má kontakt se skutečným povrchem ve třech bodech, sekundární pak ve dvou bodech a terciální se dotýká pouze v jednom bodě.

[4]

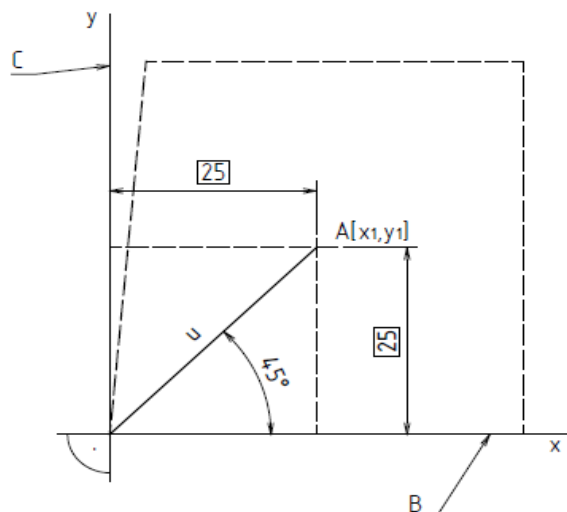
2.3.1 Úloha 3a

Soustava základen A, B, C



Obrázek 32: Úloha 3a výkres

Pro výpočet polohy bodu A je nutné zavést souřadnicový systém, pro jednoduchost jsem zvolil osy kopírující základny. Jelikož základny kopírují osy a vzdálenosti jsou označeny jako jmenovité hodnoty, odpovídají souřadnice bodu A právě těmto hodnotám.



Obrázek 33: Úloha 3a výpočet polohy bodu A

Z obrázku lze vyčíst hodnoty souřadnic bodu A[x₁, y₁]

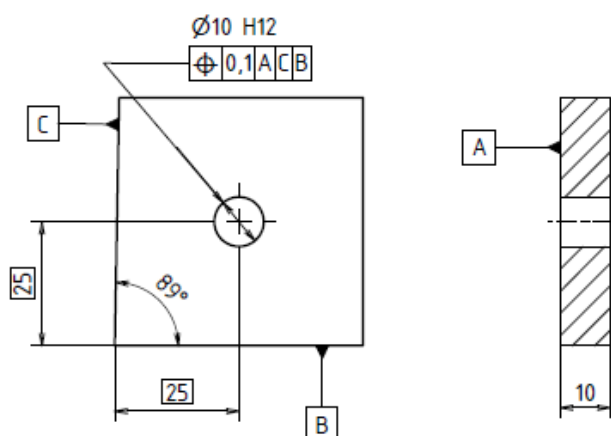
$$x_1 = 25$$

$$y_2 = 25$$

$$u = \sqrt{25^2 + 25^2} = 25\sqrt{2}$$

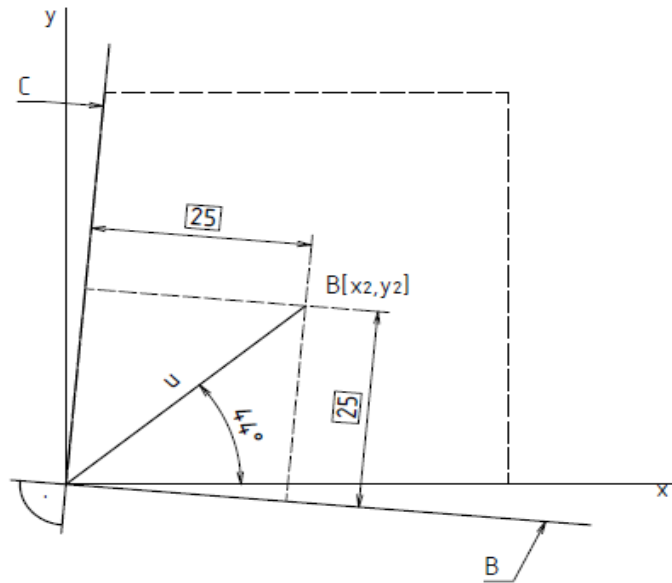
2.3.2 Úloha 3b

Soustava základen A, C, B.



Obrázek 34: Úloha 3b výkres

Pro výpočet polohy bodu B je nutné zavést souřadnicový systém, pro konečné porovnání úloh 3a a 3b jsem zvolil totožný souřadnicový systém jako v úloze 3a.



Obrázek 35: Úloha 3b výpočet polohy bodu B

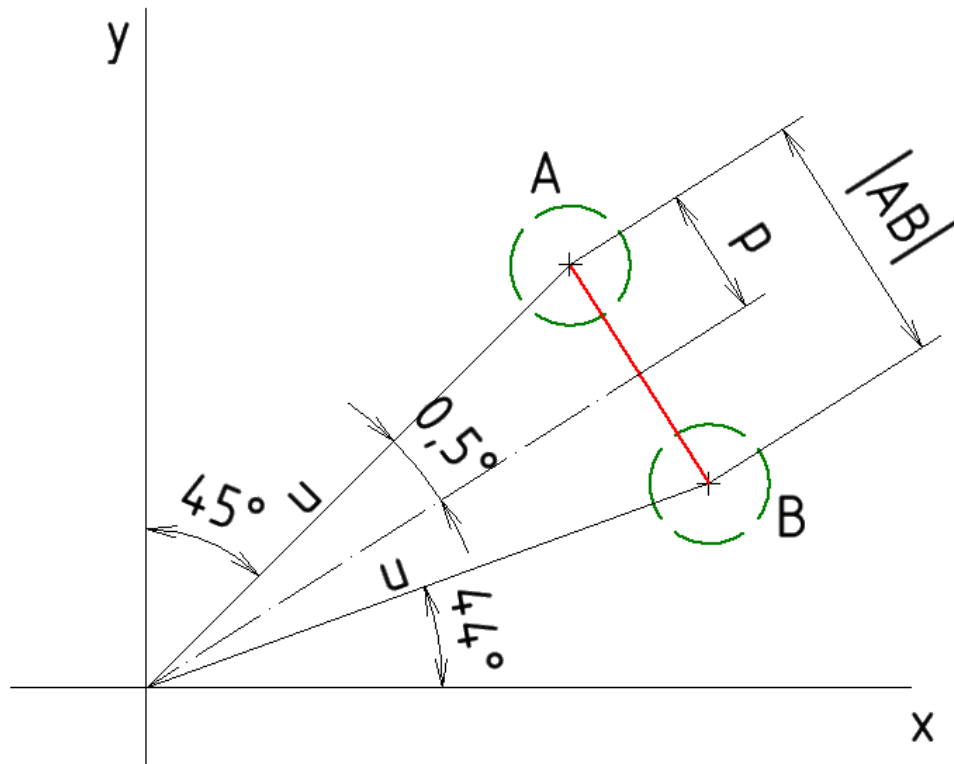
Z geometrie natočení základen lze vypočítat souřadnice bodu B $[x_2, y_2]$

$$x_2 = u * \cos 44^\circ = 25\sqrt{2} * \cos 44^\circ = 25,4 \text{ mm}$$

$$y_2 = u * \sin 44^\circ = 25\sqrt{2} * \sin 44^\circ = 24,56 \text{ mm}$$

2.3.3 Úloha 3 porovnání výsledků

Výpočet vzdáleností bodu A a bodu B z výsledných souřadnic. Jelikož záměna pořadí základen způsobila pouze natočení základen vůči zvolenému souřadnému systému, mohu pro výpočet vzdáleností bodů A a bodu B využít znalosti goniometrických funkcí v pravoúhlém trojúhelníku, nebo spočítat velikost vektoru z rozdílu jednotlivých souřadnic.



Obrázek 36: Porovnání výsledků úlohy 3

Pomocí goniometrická funkce

$$|AB| = 2 * p = 2 * u * \cos 0,5^\circ = 2 * 25\sqrt{2} * \cos 0,5^\circ = 2 * 0,31 = 0,62 \text{ mm}$$

Velikost vektoru z rozdílu souřadnic

$$|AB| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = \sqrt{(25 - 25,43)^2 + (25 - 24,56)^2} = 0,62 \text{ mm}$$

Výsledné posunutí díry tedy není zanedbatelné a je daleko za výslednou tolerancí. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v tabulce.

Tabulka 9: Výsledné hodnoty úloha 3

souřadnice	X	Y
Úloha 3a [mm]	25,00	25,00
Úloha 3b [mm]	25,43	24,56
Rozdíl výsledné polohy [mm]	0,62	

3. Příprava simulace měření

Postup při simulaci měření v režimu offline je totožný s postupem měření reálné součásti na reálném stroji. Rozdíly jsou pouze v upnutí součásti na měřicí stůl a teplotní kompenzaci, ani jedno se v režimu offline řešit nemusí. U reálné části se upnutí volí podle tvaru, velikosti a náročnosti měření měřené součásti. Teplotní kompenzace pak zajišťuje přesné měření, i když je součást ovlivněna tepelnou deformací.

Simulaci budu provádět v softwaru Calypso 2017 od firmy Zeiss. K měření použiji simulaci souřadnicového stroje PRISMO také od firmy Zeiss. Tento souřadnicový stroj dokáže měřit v osách X, Y, Z. Velikost měřícího prostoru je uvedena v tabulce.

Tabulka 10: Měřící rozsah stroje [5]

X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
700	900	500



Obrázek 37: Souřadnicový stroj PRISMO [6]

3.1 Vytvoření 3D modelů

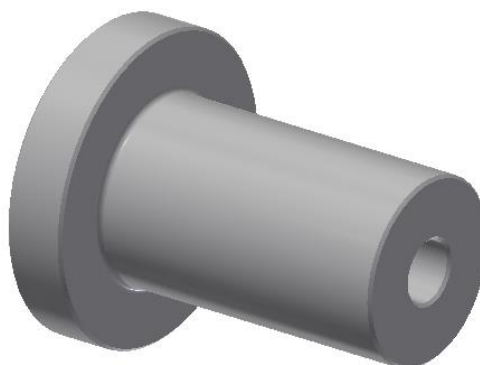
Do softwaru Calypso lze nahrávat již vytvořené CAD modely v různých formátech. Například IGES, VDAFS, DXF, STEP a formáty výrobců různých CAD systémů např. CATIA V4/V5, ProE.

[7]

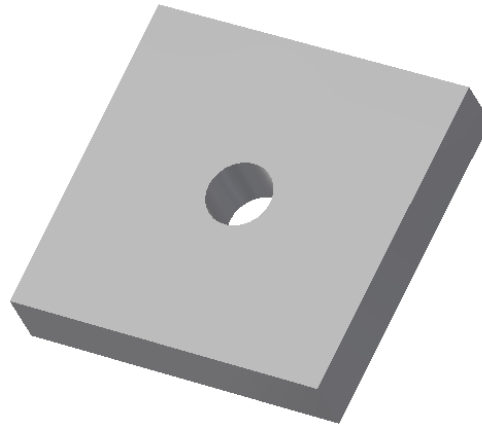
Já jsem použil formát STEP, který je jeden z výstupních formátů programu Autodesk Inventor Professional 2016. Ve studentské verzi tohoto programu jsem vytvořil model ke každé ze tří úloh. Modely se shodují s výkresy z kapitoly 2.



Obrázek 38: 3D Model úloha 1



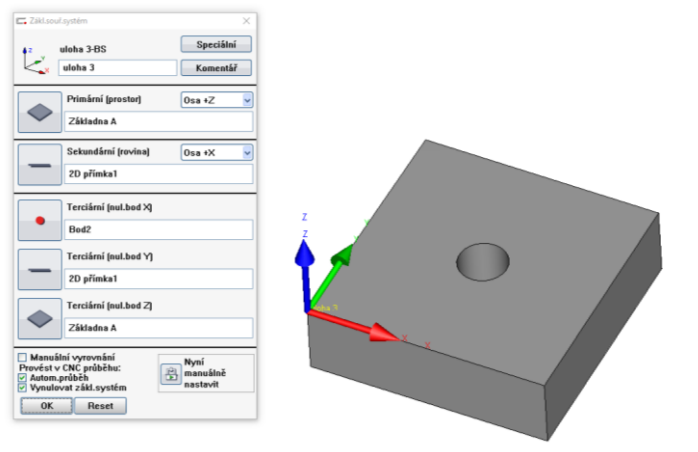
Obrázek 39 :3D Model úloha 2



Obrázek 40: 3D Model úloha 3

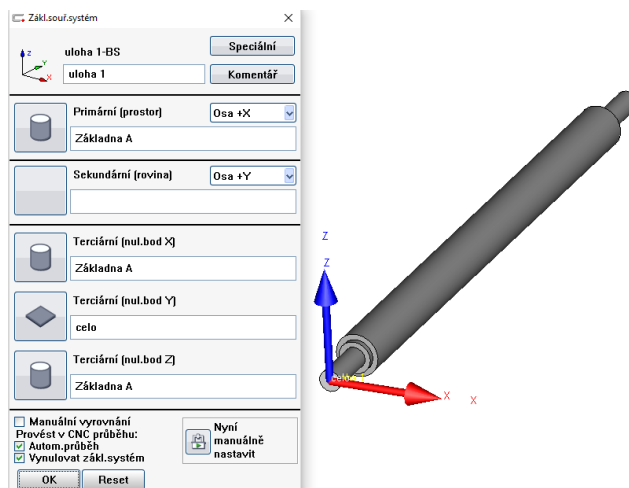
3.2 Základní vyrovnání

Po nahrání CAD modelu je potřeba nastavit základní souřadný systém měřené součásti. Tělesu je třeba odebrat všech 6 stupňů volnosti. Primární (prostor) v tomto případě Základna A odebrá 2° volnosti. Sekundární (rovina) 2D přímka, která je přiřazena k základně B, odbírá jeden stupeň volnosti. Terciální (nulové body X, Y, Z) odbírá zbylé tři translační stupně volnosti a určují tak počátek souřadného systému.



Obrázek 41: Základní vyrovnání

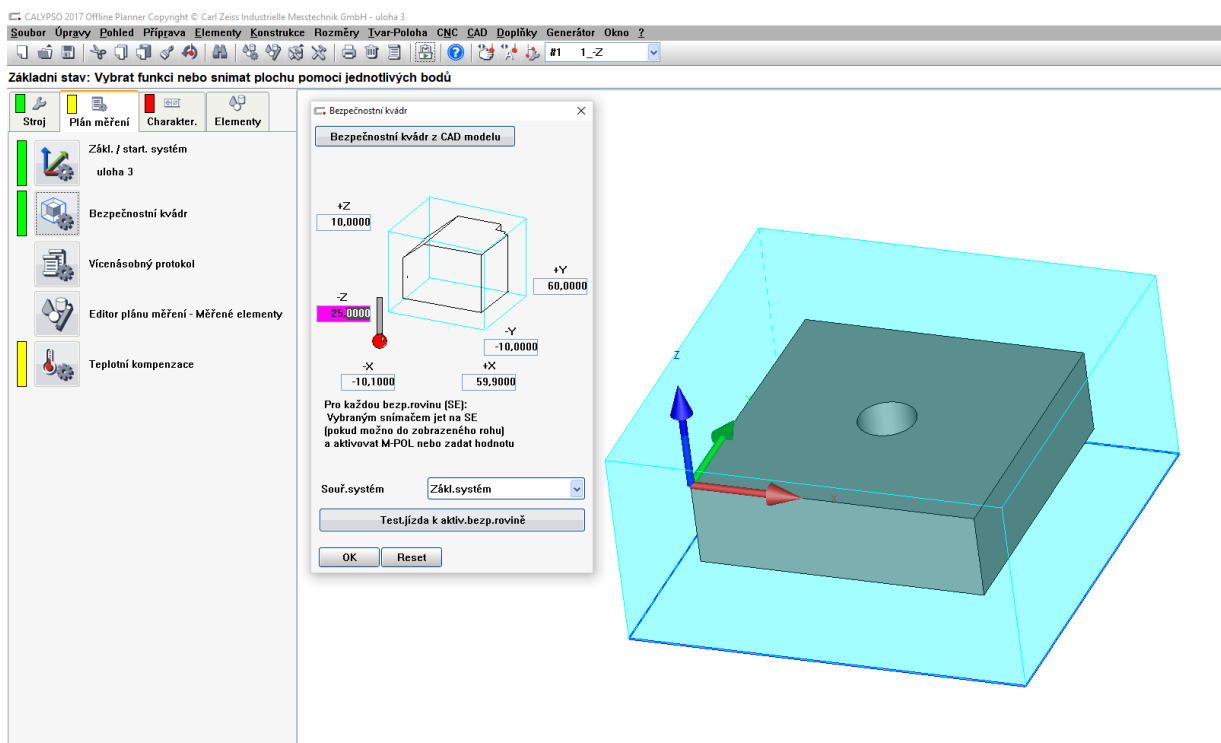
V případě rotační součásti (obrázek 42) odebíráme pouze 5° volnosti. U součásti není důležité natočení v ose rotace pro zvolení základního souřadného systému. Vynechává se zde sekundární (rovina). Program automaticky srovná osy kolmé na osu rotace podle souřadného systému stroje.



Obrázek 42: Základní vyrovnání 2

3.3 Bezpečnostní kvádr

Trajektorie měření mezi měřenými body nemusí být vždy prázdný prostor, ale mohou se zde nacházet části měřených těles. Z toho důvodu je kolem tělesa vytvořen bezpečnostní kvádr, který zabraňuje kolizi snímače s tělesem. Během přesunu musí snímač vyjet mimo bezpečnostní kvádr.

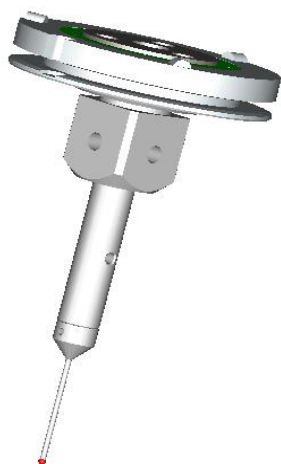


Obrázek 43: Bezpečnostní kvádr

Já jsem k vytvoření bezpečnostního kvádrů použil funkci (Bezpečnostní kvádr z CAD modelu), pak už jsem jen nastavil minimální vzdálenosti stěn kvádrů od měřené součásti a to 10 mm. Stejný postup jsem provedl u všech měřených úloh. Bezpečnostní kvádr lze nastavit i ručně bez použití geometrie z 3D modelu. Stačí zadat pouze souřadnice rohů bezpečnostního kvádrů.

3.4 Příprava snímače

Pro každou úlohu je nutné vytvořit snímací systém, který má snímače v osách vhodných pro měření dané součásti. Součástí softwaru Calypso je katalog komponentů potřebných k sestavení snímacího systému. Snímací systém tak lze vytvořit a importovat do prostředí programu. Pro úlohy 1 a 3 jsem vytvořil snímač 1 (obrázek 44), který měří pouze v ose -Z. Pro úlohu 2 jsem potřeboval měřit v obou směrech osy Y, proto jsem vytvořil snímač 2 (obrázek 45).



Obrázek 44: Snímač 1,3

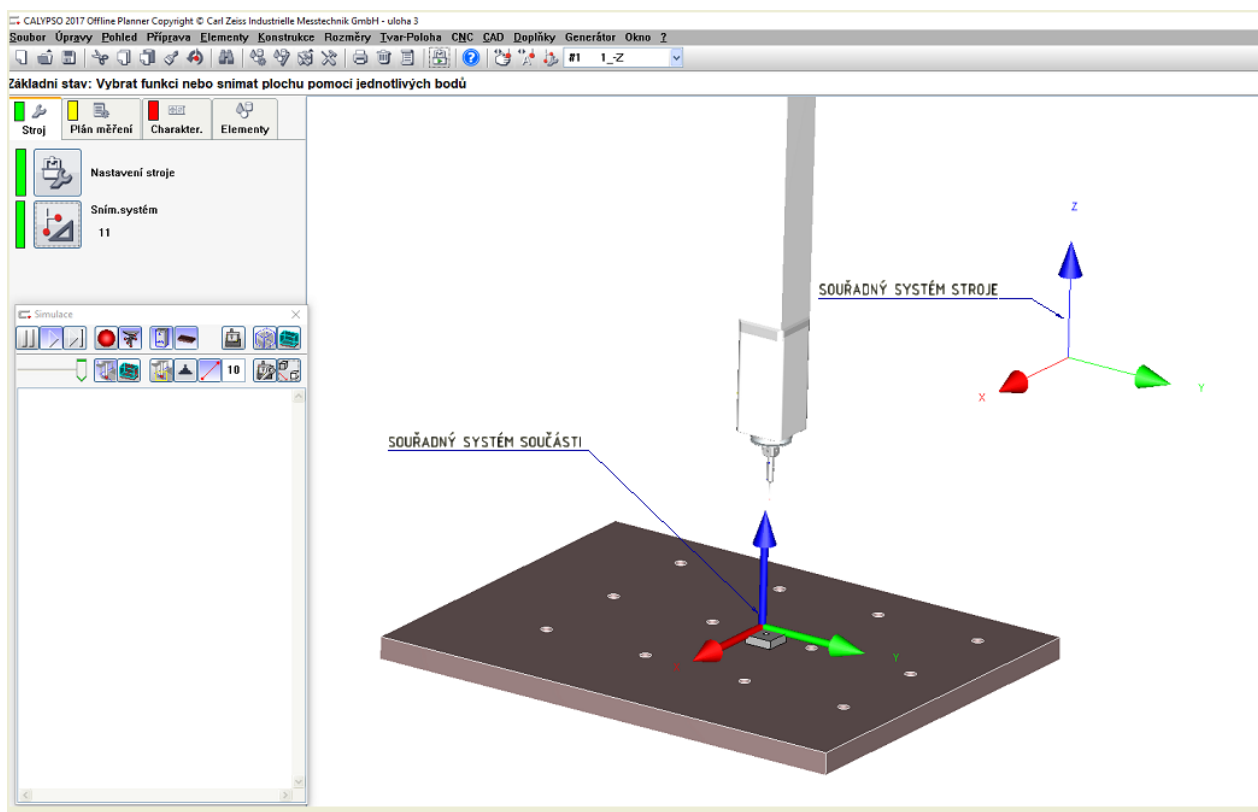


Obrázek 45: Snímač 2

Každý snímač je potřeba před začátkem měření kalibrovat, stroj tak zaznamená rozměry snímače. Bez kalibrace by stroj neznal rozměry snímače a při pokusu o měření by zcela jistě nastala kolize s měřeným tělesem, což by mohlo mít za následek poškození jak snímače, tak měřené součásti. V simulaci si software nahraje data snímače přímo z katalogu a kalibrace proběhne automaticky. Při reálném měření se snímač musí kalibrovat pomocí referenční koule.

3.5 Synchronizace souřadného systému stroje a měřené součásti, umístění součásti do měřicího prostoru

Pro správně vyhodnocení výsledků je nezbytné, aby se souřadné systémy jak měřicího stroje, tak měřené tělesa shodovali. Tato podmínka je nezbytná, jelikož se strategie měření volí dle souřadného systému součásti, ale snímač se pohybuje ve vlastním souřadnicovém systému. Může tak dojít k měření špatné části součásti, případně k měření špatným snímačem nebo ke kolizi snímače a měřené součásti. Součást se také musí umístit do měřicího prostoru stroje. V tomto prostoru se musí nacházet všechny měřené elementy součásti. Při měření reálné součásti, by se muselo zvolit vhodné upnutí k měřicímu stolu. Pro simulaci svých úloh, stačí abych modely součástí umístil kamkoli do měřicího prostoru.

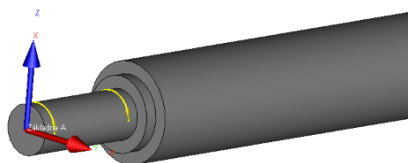


Obrázek 46: Synchronizace souřadných systémů

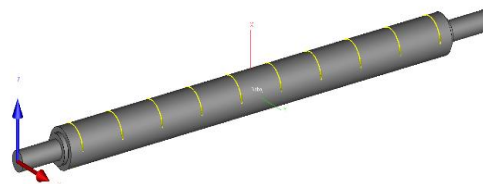
4. Vytvoření úloh pro kontrolu součástí v softwaru Calypso

4.1 Úloha 1

V první úloze vyhodnocuji sousost válce. Nejdříve jsem naplánoval strategii měření pro jednotlivé elementy součásti. Jedná se o základnu A, základnu B a náboj. Všechny elementy tvoří válec. Základnu A i základnu B měřím ve dvou řezech (obrázek 47). Válec, na kterém vyhodnocuji sousost, měřím v deseti řezech (obrázek 48). Kvůli délce nelze snímat válec po celé jeho ploše. Proto měřím pouze vrchní polovinu válce v rozsahu 180°.



Obrázek 47: Strategie základn A



Obrázek 48: Strategie válec

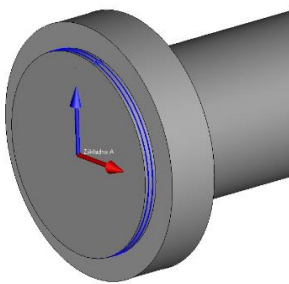
Pro vyhodnocení sousosti je třeba označit element, v tomto případě válec s průměrem 40 mm (Náboj), a k tomu zvolit referenci. Pro úlohu 1a je to společná základna A-B. Pro úlohu 1b je to samostatná základna A. Hodnotu tolerance jsem nastavil na 0,200 mm.



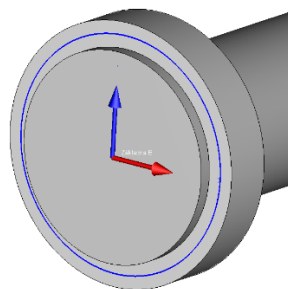
Obrázek 49: Nastavení pro toleranci sousosti

4.2 Úloha 2

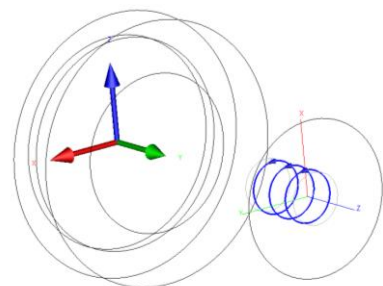
V druhé úloze vyhodnocuji polohu díry. Strategii pro jednotlivé elementy jsem zvolil dle tvaru elementu. Základnu A tvoří válec, základnu B plocha, vyhodnocovanou díru tvoří válec. Základnu jsem měřil ve dvou řezech po celém obvodu (obrázek 50). Pro získání správných dat je potřeba nastavit snímání v rozsahu alespoň 380° (kvůli mechanice nájezdu snímacího systému). Základnu B měřím kruhovou dráhou 5 mm od hrany (obrázek 51). Díru měřím ve třech řezech, stejně jako základnu A, v rozsahu 380° (obrázek 52).



Obrázek 50: Strategie základna A

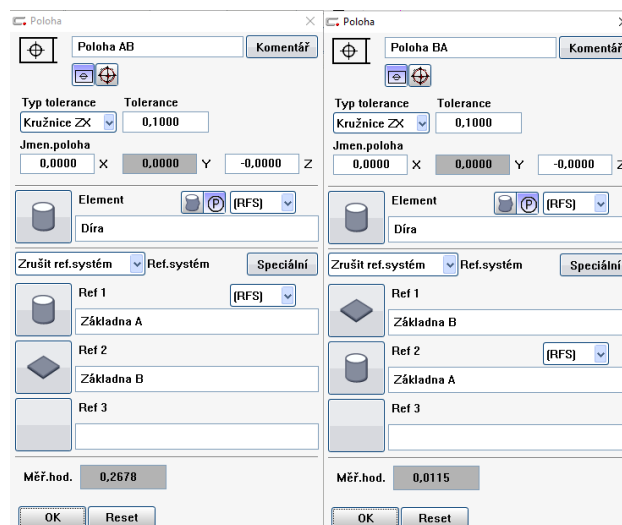


Obrázek 51: Strategie základna B



Obrázek 52: Strategie díry

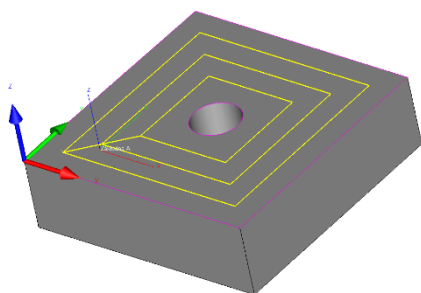
Pro vyhodnocení polohy je třeba zvolit element a dvě reference. Elementem je díra a referencemi základny A a B. Pro úloha 2a v pořadí A, B. Pro úloha 2b v pořadí B, A. Hodnotu tolerance jsem nastavil na 0,100 mm. Jmenovitá poloha díry je v ose Y, tedy $X=0, Z=0$.



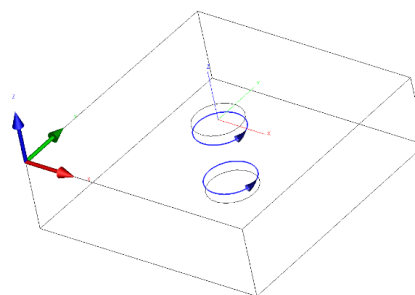
Obrázek 53: Nastavení pro toleranci polohy

4.3 Úloha 3

V úloze vyhodnocuji polohu díry. Elementy součásti jsou základna A, základna B, základna C a díra. Měření pro základny jsem zvolil pomocí strategie „Polylinie“. V případě základny A, 3 čtvercové trajektorie ve vzdálenosti 5 mm, 10 mm a 15 mm od okraje (obrázek 54). Pro základny B a C jsem zvolil 2 obdélníkové trajektorie 2 mm a 4 mm od okraje. Díru jsem měřil ve dvou řezech. Stejně jako u úlohy 2, tak i zde jsem měřil obě kružnice v rozsahu 380° (obrázek 55).

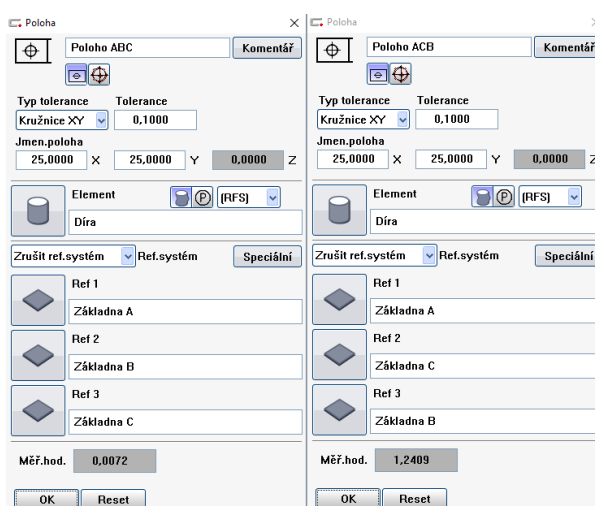


Obrázek 54: Strategie základna A



Obrázek 55: Strategie díra

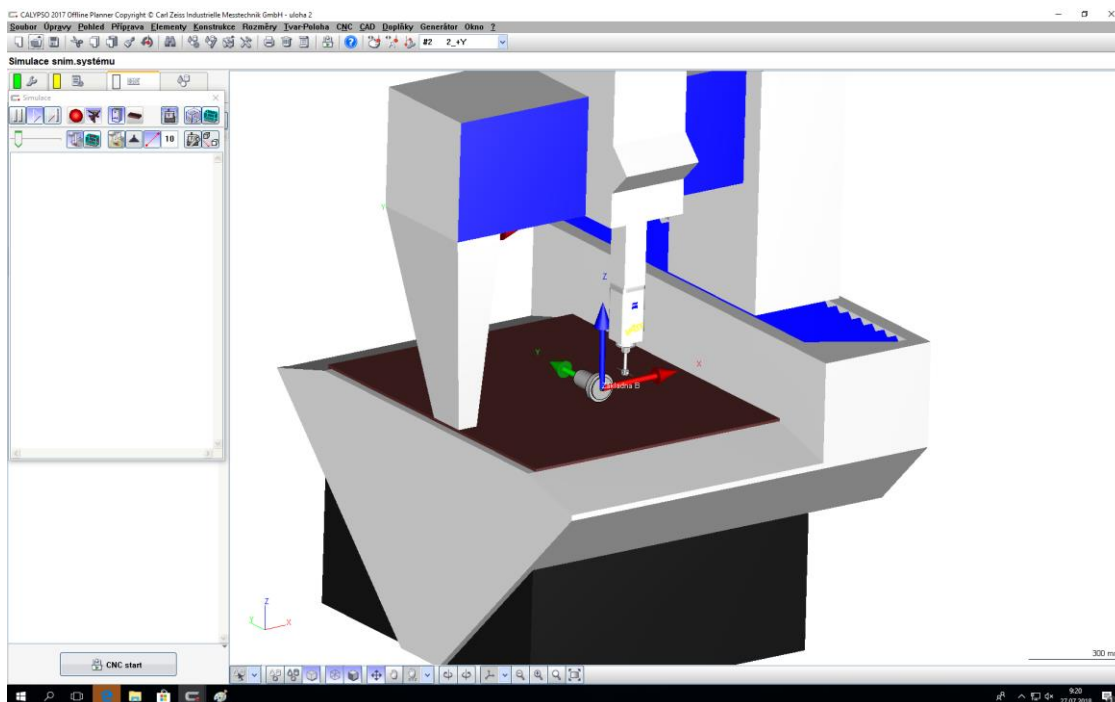
Pro vyhodnocení polohy díry je tomto případě potřeba zadat element a tři reference. Elementem je díra, referencemi pak primární základna A a základny B a C. Pro úlohu 3a je základna B sekundární a základna C terciální. Pro úlohu 3b je základna C sekundární a základna B terciální. Toleranci jsem nastavil na hodnotu 0,100 mm. Jmenovité hodnoty polohy díry jsou $x = 25$ mm a $y = 25$ mm.



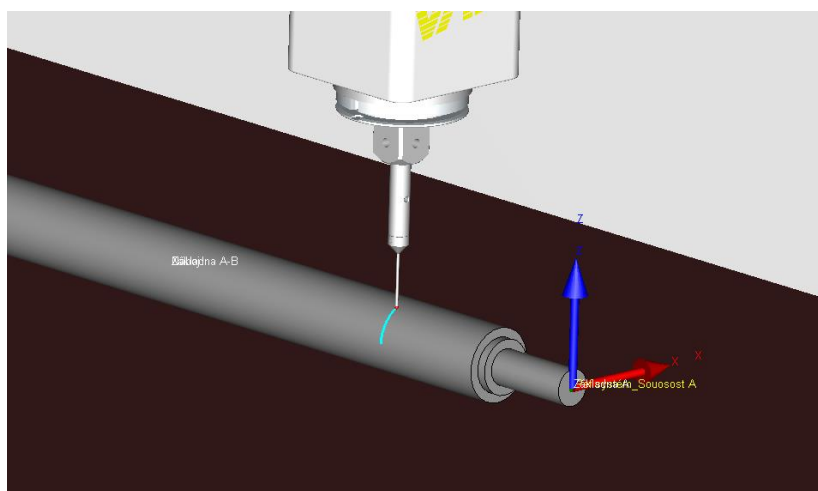
Obrázek 56: Nastavení pro toleranci polohy díry

5. Simulace měření

Po dokončení všech předchozích bodů jsem spustil simulaci měření. Software kopíruje měření přesně jako by měřil reálnou součást. Graficky se zobrazuje trajektorie pohybu snímače a lze tak odhalit případné kolize, které program sám hlásí. Po ukončení simulace program vygeneruje hodnoty dle rozsahu, který lze nastavit podle potřeby. Hodnoty pak zobrazí v závěrečném protokolu.








Obrázek 57: Simulace



Obrázek 58: Trajektorie snímače





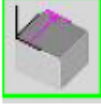
5.1 Protokol úloha 1

ZEISS Calypso		ZEISS			
Plán měření úloha 1	Datum 27 Juli 2018				
Číslo výkresu * drawingno *	Čas 8:53:03	Zakázka * order *			
Operátor Master	Stroj Simulation	Č.dílu inkrementálně 11			
Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka	
 Průměr_Základna A 19.9985	20.0000	0.2000	-0.2000	-	-0.0015
 Průměr_Základna B 19.9990	20.0000	0.2000	-0.2000	-	-0.0010
 Průměr_Náboj 40.0003	40.0000	0.3000	-0.3000	-	0.0003
 Souosost A-B 0.0082	0.0000	0.2000		-	0.0082
 Souosost A 0.0305	0.0000	0.2000		-	0.0305

Obrázek 59: Protokol úloha 1

V protokolu je vyhodnoceno měření průměrů základen A a B, průměr náboje válce a výsledné souososti. Souosost A-B pro úlohu 1a a Souosost A pro úlohu 1b.





5.2 Protokol úloha 2

ZEISS Calypso		ZEISS			
Plán měření úloha 2	Datum 27 Juli 2018				
Číslo výkresu * drawingno *	Čas 11:10:29	Zakázka * order *			
Operátor Master	Stroj Simulation	Č.dílu inkrementálně 43			
Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka	
 Průměr_Kružnice2 80.0005	80.0000	0.1500	-0.1500	-	0.0005
 Průměr_Válec1 19.9999	20.0000	0.2000	-0.2000		-0.0001
 Poloha AB 0.2678	0.0000	0.1000			0.1678 0.2678
 Poloha BA 0.0115	0.0000	0.1000		-	0.0115
 Y hod._Základna B 4.9949	5.0000	0.1500	-0.1500	-	-0.0051

Obrázek 60: Protokol úloha 2

V protokolu je vyhodnoceno měření průměru Základny A, rovinnost základny B, průměr a poloha díry pro úlohu 2a a 2b.

5.3 Protokol úloha 3

		ZEISS Calypso				
Plán měření uloha 3		Datum 19 Juli 2018				
Číslo výkresu * drawingno *		Čas 13:24:59	Zakázka * order *			
Operátor Master		Stroj Simulation	Č.dílu inkrementálně 68			
		Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchyka
	Průměr_Válec2	9.9997	10.0000	0.1000	-0.1000	-
						-0.0003
	Poloho ABC	0.0072	0.0000	0.1000		-
X		25.0033	25.0000			0.0033
Y		25.0014	25.0000			0.0014
	Poloho ACB					1.1409
		1.2409	0.0000	0.1000		1.2409
X		24.5590	25.0000			-0.4410
Y		25.4365	25.0000			0.4365

Obrázek 61: Protokol úloha 3

V protokolu je vyhodnoceno měření průměru a polohy díry pro úlohy 3a a 3b.

6. Závěr

Cílem práce bylo analyzovat normu ČSN EN ISO 5459, vytvořit modelové příklady za použití právě této normy a ukázat závažnost nevhodného použití normy.

V první části své práce jsem analyzoval normu ČSN ISO EN 5459. Uvedl jsem základní a všeobecné pojmy, grafické značení dané problematiky a v závěru jsem shrnul pravidla pro používání této normy.

V druhé části jsem vytvořil 3 modelové úlohy a na každé použil dvě rozdílné řešení volby základů. Tyto úlohy jsem vypočítal. Rozdílné výsledky různých řešení v dané úloze prokázaly důležitost normy ČSN ISO EN 5459.

Ve třetí části jsem vypracoval úlohy v měřícím softwaru Calypso. Pro každou úlohu jsem vytvořil 3D model. Popsal jsem přípravu měření a sestavení měřícího systému. Pro každou úlohu jsem navrhl program pro měření jednotlivých elementů součásti a nastavil vyhodnocení tvaru a polohy pro předepsané geometrické tolerance.

V závěrečné části práce jsem spustil simulaci měření jednotlivých úloh. Vygenerované výsledky jednotlivých úloh jsou uvedeny ve výstupních protokolech měření.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN ISO 5459 (01 4402) Geometrické specifikace produktu (GPS) – Geometrické tolerování – Základny a soustavy základen, 2012, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
- [2] SLANEC, K. Konstruování: Geometrická přesnost výrobků. 3.díl, Praha: ČVUT, 2004
- [3] DRASTÍK, František. Geometrické tolerance v technické dokumentaci pro strojírenství. Praha: Dashöfer, [2016]. ISBN 978-80-87963-28-9.
- [4] POSPÍCHAL, Jaroslav. Technické kreslení. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-03214-0.
- [5] ZEISS - Prismo [online]. Carl Zeiss [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/bridge-type-cmms/prismo.html>
- [6] Zeiss Prismo: Specifications. In: Zeiss [online]. Germany, 2017 [cit. 2018-07-25].
Dostupné z:
<https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/brochures.html?catalog=PRISMO>
- [7] Calypso Software pro snadné programování měření součástí [online]. Divize průmyslové měřicí techniky, Carl Zeiss spol. s r.o., 2010 [cit. 2018-07-26]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/smetrologia/prospekty/calypso.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Ilustrace prvků použitých pro ustanovení jednotlivé základny válce	18
Obrázek 2: Příklad tolerančního intervalu omezeného v orientaci základnou	21
Obrázek 3: Indikátor základního prvku	22
Obrázek 4: Orámování jednotlivé cílené základny	22
Obrázek 5: Pohyblivé modifikátory	22
Obrázek 6: Cílená základna bod	23
Obrázek 7: Neuzavřená cílená základna	23
Obrázek 8: Uzavřená cílená základna	23
Obrázek 9: Oblast cílené základny	23
Obrázek 10: Indikátor jednotlivé cílené základny bodu	23
Obrázek 11: Indikátor jednotlivé cílené základny čáry	23
Obrázek 12: Indikátor jednotlivé cílené základny povrchu	23
Obrázek 13: Příklad indikace cílené základny	24
Obrázek 14: Umístění písemné značky (značek) základny v orámované toleranci	24
Obrázek 15: Spojení indikátoru základny pro jednotlivý prvek uvažovaný jako rozměrový prvek	25
Obrázek 16: Spojení indikátoru základny pro jednotlivý prvek neuvažovaný jako rozměrový prvek	26
Obrázek 17: Příklad jednotlivé základny ustavené z části válce	27
Obrázek 18: Příklad indikace základny s modifikátorem [CF]	28
Obrázek 19: Příklady indikace základny v orámované toleranci	28
Obrázek 20: Příklady doplňkové indikace	29
Obrázek 21: příklad základny s modifikátorem $><$	30
Obrázek 22: Doplňkové indikace pro společné základny	30
Obrázek 23: Příklad aplikace modifikátoru \textcircled{P} na sekundární základně	31
Obrázek 24: Úloha 1a výkres	33
Obrázek 25: Úloha 1a odchylka os tolerančního pole	33
Obrázek 26: Úloha 1b výkres	34
Obrázek 27: Úloha 1b odchylka os tolerančního pole	35
Obrázek 28: Úloha 2a výkres	36
Obrázek 29: Úloha 2a odchylka os tolerančního pole	37
Obrázek 30: Úloha 2b výkres	38
Obrázek 31: Úloha 2b osy tolerančního pole	39
Obrázek 32: Úloha 3a výkres	40
Obrázek 33: Úloha 3a výpočet polohy bodu A	41
Obrázek 34: Úloha 3b výkres	41
Obrázek 35: Úloha 3b výpočet polohy bodu B	42
Obrázek 36: Porovnání výsledků úlohy 3	43
Obrázek 37: Souřadnicový stroj PRISMO [6]	44
Obrázek 38: 3D Model úloha 1	45
Obrázek 39: 3D Model úloha 2	45
Obrázek 40: 3D Model úloha 3	46
Obrázek 41: Základní vyrovnání	46
Obrázek 42: Základní vyrovnání 2	47
Obrázek 43: Bezpečnostní kvádr	47

Obrázek 44: Snímač 1,3	48
Obrázek 45: Snímač 2	48
Obrázek 46: Synchronizace souřadných systémů	49
Obrázek 47: Strategie základna A	50
Obrázek 48: Strategie válec.....	50
Obrázek 49: Nastavení pro toleranci sousosti	50
Obrázek 50: Strategie základna A	51
Obrázek 51: Strategie základna B	51
Obrázek 52: Strategie díra.....	51
Obrázek 53: Nastavení pro toleranci polohy	51
Obrázek 54: Strategie základna A	52
Obrázek 55: Strategie díra.....	52
Obrázek 56: Nastavení pro toleranci polohy díry	52
Obrázek 57: Simulace	53
Obrázek 58: Trajektorie snímače.....	53
Obrázek 59: Protokol úloha 1.....	54
Obrázek 60: Protokol úloha 2.....	55
Obrázek 61: Protokol úloha 3.....	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: Třídy invariance	13
Tabulka 2: Základní prvky a značky cílených základen.....	14
Tabulka 3: Značky modifikátorů	15
Tabulka 4: Výchozí postavení vlastních charakteristik rozměrových prvků.....	17
Tabulka 5: Příklad jednotlivé základny vzaté z válce nebo plochy	19
Tabulka 6: Příklad společná základna a soustava základny vzatá z dvou válců	20
Tabulka 7: Porovnání výsledků úloha 1	35
Tabulka 8: Porovnání výsledků úloha 2	39
Tabulka 9: Výsledné hodnoty úloha 3.....	43
Tabulka 10: Měřící rozsah stroje [5]	44