



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

TVORBA EDUKAČNÍ ANIMACE PRO VÝUKU GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ

CREATION OF EDUCATIONAL ANIMATION FOR TEACHING GEOMETRIC TOLERANCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Denisa Doležalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dana Foltýnová

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Studentka: **Denisa Doležalová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Dana Foltýnová**
Akademický rok: 2022/23

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

Tvorba edukační animace pro výuku geometrických tolerancí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Geometrické tolerance definují geometrické odchylky tvarů a poloh vůči skutečným. Vyhovující geometrické tolerance zajišťují správnou funkci součástí. Edukační animace vybraných geometrických tolerancí podpoří správné pochopení problematiky předepisování a kontroly geometrických tolerancí ve výuce konstrukčních předmětů.

Typ práce: rešeršně syntetická

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je vytvoření souboru edukačních animací objasňující principy vybraných geometrických tolerancí a jejich vyhodnocování.

Díličí cíle bakalářské práce:

- popsat definice geometrických tolerancí, principy předepisování a jejich kontrolu dle aktuálních norem,
- navrhnout pět edukačních úloh,
- vytvořit kompletní zadání těchto úloh.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 1101 (01 4120): Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Geometrické tolerování –Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

PETR, K.: Geometrické tolerance dle ISO GPS. 1.vydání, Verlag Dashofer, Praha 2019, 164 s, ISBN 978-80-7635-019-9

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je složena ze dvou částí. První část je tvořena přehledem základních geometrických tolerancí, zahrnuje jejich značení, principy a další náležitosti včetně základních pojmů, dané normou ČSN EN ISO 1101. Druhá část je praktická, popisuje pět vytvořených úloh, které jsou určeny pro výuku geometrických tolerancí. Příloha této práce obsahuje tyto edukační úlohy ve formě videí ve 3D zobrazení. Zpracované animace představují značení modelových geometrických tolerancí, vysvětlují jejich základní principy a u některých tolerancí ukazují i způsob jejich vyhodnocování.

KLÍČOVÁ SLOVA

Geometrické tolerance, toleranční pole, animace, GPS

ABSTRACT

This bachelor's thesis is made out of two parts. First part consists of overview of basic geometrical tolerances, which include their markings, principles and other aspects including basic concepts which fall under norm ČSN EN ISO 1101. Second part is practical, it describes five tasks created for education of geometrical tolerances. Attachment of this thesis includes educational task in form of videos displayed in 3D. Animations show marking of modeled geometrical tolerations, explaining their basic principles and in some cases show ways of their evaluations.

KEYWORDS

Geometrical tolerances, tolerance zone, animation, GPS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLEŽALOVÁ, Denisa. *Tvorba edukační animace pro výuku geometrických tolerancí*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/145627>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Dana Foltýnová.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí práce Ing. Daně Foltýnové za cenné rady ke struktuře práce, za poskytnutí materiálů a prostoru ve výuce k prezentování animací. Dále děkuji studentům prvního ročníku za pozornost při sledování edukačních úloh a zpětnou vazbu k mojí práci. V neposlední řadě bych ráda poděkovala Ing. Filipu Uhlířovi za spoustu zodpovězených otázek při práci se softwarem Blender.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením Ing. Dany Foltýnové. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne

.....

Doležalová Denisa

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 10 |
| 2 | ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE | 11 |
| 2.1 | Analýza problému | 11 |
| 2.2 | Cíl práce | 11 |
| 3 | PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ | 12 |
| 3.1 | Základní pojmy a symboly | 12 |
| 3.1.1 | Prvek | 12 |
| 3.1.2 | Toleranční pole | 13 |
| 3.1.3 | Základny | 13 |
| 3.1.4 | Značení | 14 |
| 3.2 | Geometrické tolerance tvaru | 15 |
| 3.2.1 | Tolerance přímosti | 15 |
| 3.2.2 | Tolerance rovinnosti | 15 |
| 3.2.3 | Kruhovitost | 16 |
| 3.2.4 | Válcovitost | 16 |
| 3.3 | Geometrické tolerance orientace | 17 |
| 3.3.1 | Tolerance kolmosti | 17 |
| 3.3.2 | Tolerance rovnoběžnosti | 18 |
| 3.3.3 | Tolerance sklonu | 19 |
| 3.4 | Geometrické tolerance umístění | 19 |
| 3.4.1 | Souměrnost | 19 |
| 3.4.2 | Soustřednost a souosost | 20 |
| 3.4.3 | Tolerance polohy | 20 |
| 3.5 | Geometrické tolerance házení | 21 |
| 3.5.1 | Kruhové čelní házení | 21 |
| 3.5.2 | Kruhové obvodové házení | 21 |
| 3.5.3 | Celkové házení | 22 |
| 3.6 | Indikátory roviny a prvku | 22 |
| 3.6.1 | Průsečná rovina | 23 |
| 3.6.2 | Směrový prvek | 23 |
| 3.6.3 | Orientační rovina | 24 |
| 3.6.4 | Souborná rovina | 24 |
| 3.7 | Závislé tolerance | 25 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.7.1 | Požadavek maxima materiálu – MMR | 25 |
| 3.7.2 | Požadavek minima materiálu – LMR | 25 |
| 3.7.3 | Požadavek reciprocity – RPR | 26 |
| 3.8 | Kontrola a vyhodnocování GPS | 26 |
| 3.9 | Dostupné edukační materiály | 29 |
| 4 | DISKUZE | 30 |
| 4.1 | Tvorba animací a software | 30 |
| 4.2 | Popis jednotlivých úloh | 30 |
| 4.2.1 | Edukační úloha č. 1 | 30 |
| 4.2.2 | Edukační úloha č. 2 | 31 |
| 4.2.3 | Edukační úloha č. 3 | 32 |
| 4.2.4 | Edukační úloha č. 4 | 33 |
| 4.2.5 | Edukační úloha č. 5 | 34 |
| 4.3 | Zhodnocení výsledků | 34 |
| 5 | ZÁVĚR | 36 |
| 6 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 37 |
| 7 | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN | 39 |
| 8 | SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ | 40 |
| 9 | SEZNAM TABULEK | 42 |
| 10 | SEZNAM PŘÍLOH | 43 |

1 ÚVOD

Výroba v žádném odvětví průmyslu nikdy nesplňuje stoprocentní teoretickou přesnost. Z důvodu chybovosti, jak strojů, tak pracovníků a působení vnějších vlivů, vznikají úchyšky, nedokonalosti a nepřesnosti. Tyto faktory nelze zcela odstranit, je zde však snaha je omezit do té míry, aby byly splněny předem dané předpoklady skutečné součásti. Předepsáním určitých požadavků na materiály, rozměry a geometrii produktu je zaručena jeho funkčnost.

Celkovou přesnost výrobku ovlivňují tři níže uvedené faktory, mezi nimiž je třeba zachovat určitou míru vyváženosti. První z nich je faktor rozměrové tolerance, zde záleží, s jakou přesností délkových rozměrů se uvažuje. Druhý faktor představuje tolerance tvarová, ta udává, s jakou přesností musí být dodržen tvar součásti. Jako poslední se na celkové přesnosti podílí drsnost povrchu. Existují doporučené hodnoty závislosti těchto tří faktorů s pomocí tzv. stupně přesnosti.

Geometrické tolerance jsou důležitou součástí každé technické výkresové dokumentace, a to převážně u součástí, kde je kladen důraz na vyšší kvalitu a přesnost. Z velké části ovlivňují funkci dané součásti a mohou výrazně prodloužit životnost soustavy prvků.

Účelem této práce je pomocí edukačních animací předvést prostorové vizualizace jednotlivých geometrických tolerancí a přiblížit tak jejich význam. Dále interaktivně ukázat způsoby vyhodnocování geometrických tolerancí měřicími zařízeními. Pomocí vizualizací, které propojují předepisování, definici, princip i měření, vzniká komplexní náhled na tuto problematiku. Shlédnutí edukačních úloh ve formě animací může pomoci zejména studentům lépe pochopit tuto problematiku a oslovit je poutavější formou, což je zásadní motivací této bakalářské práce.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2.1 Analýza problému

Na většinu technických součástí jsou kladeny vysoké požadavky nejen na vlastnosti materiálu, jakost povrchu, ale mimo jiné i na geometrickou přesnost. Předepisování geometrických tolerancí ve výkresových dokumentacích je u těchto součástí zcela zásadní. Chyby v předepisování či jejich absence může mít fatální následky na funkci dané součásti.

Při určování geometrických tolerancí je nutností uvažovat o tom, kde jsou geometrické tolerance vhodné a opravdu žádoucí. U výrobků přesných rozměrů a geometrií totiž značně roste výrobní cena. Náklady se také zvyšují při pořízení strojů na měření dovolených úchylek a kontrolu kvality výrobku.

Pro spoustu studentů i pracovníků v oboru není zcela jednoduché pochopit tuto problematiku, vizualizovat si dané geometrické tolerance a vhodně zvolit, kdy a kde je použít. Dále je pro ně těžké představit si následky chybějící či přebývající indikace geometrických tolerancí.

2.2 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je zpracovat edukační animace, jejichž prostorová vizualizace pomůže objasnit význam některých geometrických tolerancí. Dalším záměrem vizualizací je propojit definici, značení, princip i měření a poskytnout tak komplexní pohled na danou problematiku.

Dílčím cílem této práce je, aby těchto pět edukačních úloh ve formě animací, pomohlo lépe pochopit systém předepisování geometrických tolerancí, jejich použití a měření, aby tyto úlohy, díky interaktivním vizualizacím, upoutaly větší pozornost studentů při výuce konstrukčních předmětů. Dalším dílčím cílem je dle aktuálních norem obecně popsat definice jednotlivých geometrických tolerancí, představit jejich základní principy, formu předepisování a jejich kontrolu.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Jak už bylo zmíněno, geometrické tolerance se objevují v technické výkresové dokumentaci. Pravidla výkresové dokumentace definují mezinárodní normy. Aktuální normou popisující pravidle předepisování geometrických tolerancí a jejich dělení do podskupin je norma ČSN EN ISO 1101 z března roku 2020. Nahrazuje tak starší verzi ČSN EN ISO 1101 ze srpna roku 2017.

Přehled nepoužívanějších geometrických tolerancí, jejich stručná charakteristika a vysvětlení významu budou uvedeny v následujících kapitolách.

3.1 Základní pojmy a symboly

Geometrické tolerance jsou často označovány zkratkou GPS, ta pochází z anglického výrazu Geometrical Product Specifications. Níže jsou uvedeny základní termíny, které bezpodmínečně s geometrickými tolerancemi souvisí.

3.1.1 Prvek

Prvkem v oboru geometrických tolerancí je míněna určitá geometrie např. bod, přímka, plocha, kružnice. Základním prvkem je **prvek jmenovitý**, ten má rozměr přesně takový, jaký je předepsaný v technické dokumentaci. Obecně můžeme rozlišovat prvek integrální a odvozený. **Integrální prvek** tvoří konkrétní část povrchu nebo povrch samotný, indikátor GPS je připojen odkazem přímo k tolerovanému prvku ve 2D zobrazení šipkou. Oproti tomu **odvozený prvek** fyzicky neexistuje, ale stanovuje se z prvku integrálního, například se jedná o osu válce, střed kružnice, středovou (pomyslnou) plochu mezi dvěma skutečnými plochami. Indikátor příslušné geometrické tolerance se u odvozeného prvku pojí k rozměru integrálního prvku, který ho stanovuje např. průměr válce či kružnice. **Teoreticky exaktní prvek** je jmenovitý prvek bez jakýchkoliv úchylek, má ideální tvar, rozměr, orientaci i umístění. (1)

Dále je možno se ve výkresové dokumentaci setkat s termínem teoreticky exaktní rozměr zkráceně TED. Tento rozměr může být délkový i úhlový. Předepisuje se jako hodnota v obdélníkovém rámečku vyjma úhlů o velikosti 0° , 90° , 180° , 270° a úhlů mezi prvky, které jsou rozmístěny na kružnici rovnoměrně. Značí přesný rozměr bez jakýchkoliv odchylek s ideální hodnotou. (1)

3.1.2 Toleranční pole

Toleranční pole je tvořeno dokonalými plochami či křivkami, vzniká symetricky okolo ideální tolerované geometrie tzv. referenčního prvku. Jeho velikost je určena číselnou hodnotou předepsaného rozměru úchytky. Obecně pak udává prostor nebo plochu, které musí skutečná tolerovaná geometrie náležet, aby splnila předpis GPS. (1)

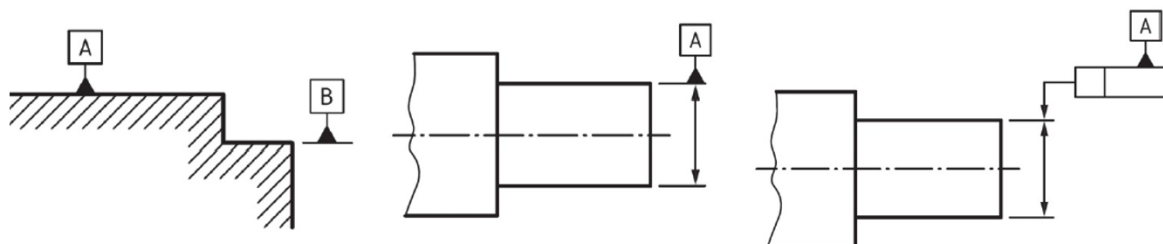
Podle druhu geometrické tolerance lze toleranční pole dělit na plošné a prostorové a následně je blíže specifikovat. Toleranční pole kruhovitosti je tvořeno plochou mezi dvěma kružnicemi (mezikružím), řadí se tedy mezi plošné, stejně jako toleranční pole přímosti vymezené mezi přímkami. U válcovitosti je toleranční pole ohraničeno dvěma válci o různém průměru, jedná se tedy o pole prostorové.

V případě válcového pole je vždy u předepisování hodnoty pro toleranční pole uveden znak \varnothing , stejně tak to platí i pro pole kruhové. Méně často se pak vyskytuje kulové prostorové pole, zde musí být rozměr opatřen symbolem $S\varnothing$. (1), (2)

3.1.3 Základny

Základna je teoreticky exaktní odkaz a má formu prvku např. plochy, přímky nebo bodu. Používá se u závislých geometrických tolerancí, které se na ni vztahují. Indikátor základny je tvořen odkazovou čarou zakončenou rovnostranným trojúhelníkem a čtvercem, ve kterém je základna označena písmenem velké abecedy. Tento odkaz je připojen k integrálnímu povrchu, popřípadě k vynášecí čáře nebo přímo ke kótě rozměru. (3), (4)

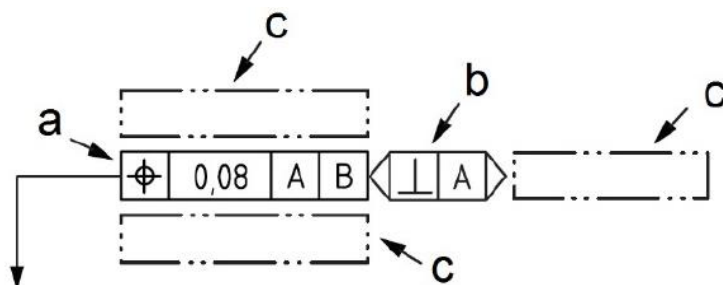
Většinou jsou používány základny jednotlivé, v některých případech se ale geometrická tolerance může odkazovat na více základen, pak se jedná o tzv. soustavu základen. Základny v soustavě podléhají určité hierarchii, postupně zleva se jedná o základnu primární, sekundární a terciální. Primární základna není nijak ovlivněná sekundární ani terciální, sekundární základnu omezuje orientace od primární a terciální omezují obě předchozí. Pořadí základen v soustavě ovlivňuje postup a tím pádem i výsledky měření. Dalším speciálním případem je základna společná, tohoto odkazu se hojně užívá u rotačních součástí, kdy je základnou osa součásti, která se stanovuje ze dvou rozdílných prvků např. dvě válcové plochy na opačných koncích hřídele. (4), (5)



Obr. 3-1 Značení základen (5)

Jelikož se od základny odvíjí měření polohy, rozměrů a dalších parametrů, je žádoucí, aby byla základna sama o sobě tolerovaná a disponovala předpisem pro drsnost a rozměrovou přesnost.

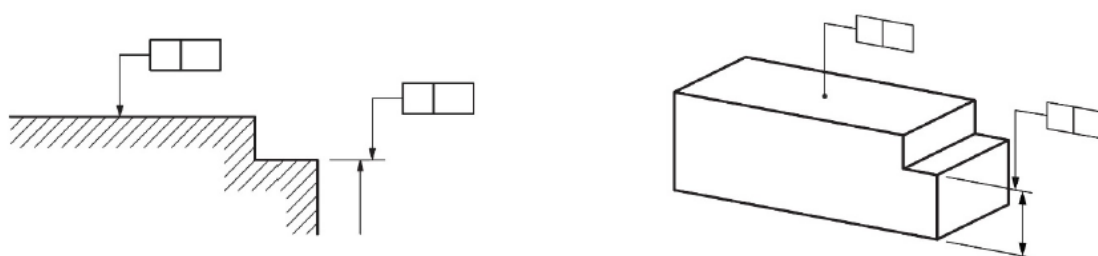
3.1.4 Značení



Obr. 3-2 Schéma indikátoru GPS; a) indikátor tolerance; b) indikátor roviny a prvku; c) přilehlé indikace (1)

Indikátor geometrické tolerance má několik částí. Tělo indikátoru (obr. 3-2 a)) se skládá ze symbolu pro daný druh geometrické tolerance a hodnoty. Tyto dva údaje jsou povinné a zobrazují se v obdélníkovém rámečku, navzájem jsou odděleny svislou čarou. Tento obdélník může být dále rozšířen o sekci pro předpis závislosti na základnu. (2)

Indikátor tolerance je připojen k prvku součásti pomocí odkazové čáry. Tato čára musí být vždy kolmá k povrchu, který tolerujeme. Nejčastějším zakončením odkazu je otevřená šipka, ta se používá ve 2D zobrazení, šipka směřuje k tolerovanému povrchu nebo ke kóte integrálního prvku, který určuje prvek odvozený. Ve 3D zobrazení nahrazuje šipku odkazu k integrální ploše tečka. Ta je vyplněná, pokud se jedná o viditelný povrch nebo prázdná v případě opačném. Indikátor odkazuje přímo na integrální povrch nebo na kótu, která určuje odvozený prvek. (1)



Obr. 3-3 Umístění indikátorů GPS a jejich odkazové čáry ve 2D (vlevo) a 3D (vpravo) (1)

Dále se může za indikátor geometrické tolerance připojit indikátor specifikační roviny či prvku (obr. 3-2 b)), případně další informace do přilehlých míst pro indikaci viz. Obr. 3-2 c). Pokud se ke stejnému prvku váže více geometrických tolerancí, mohou se tyto indikace zapsat pod sebe k jedné odkazové čáře. Indikátor je vždy orientován vodorovně. (2)

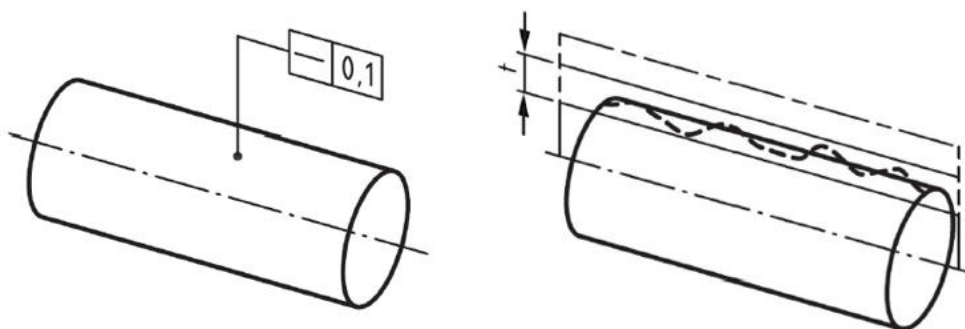
| | | |
|-----------|------|---|
| Φ | 0,15 | B |
| // | 0,06 | B |
| \square | 0,02 | |

Obr. 3-4 Skládané indikace tolerance vztahující se k jednomu prvku (1)

3.2 Geometrické tolerance tvaru

3.2.1 Tolerance přímosti

Tolerovaný explicitní prvek je přímka nebo soubor přímek. Toleranční pole je pak tvořeno symetrickou plochou okolo explicitní jmenovité přímky, s velikostí „t“ hodnoty tolerance. Tato plocha může být obdélníková, pak je orientována ve směru šipky, popř. je blíže specifikovaná identifikátorem průsečné roviny. Pokud se jedná o toleranci odvozeného prvku např. přímost osy válce, šipka odkazuje na průměr válce a hodnota tolerance je opatřena symbolem průměru „ Φ “. V tomto případě má toleranční pole tvar válce. (1)

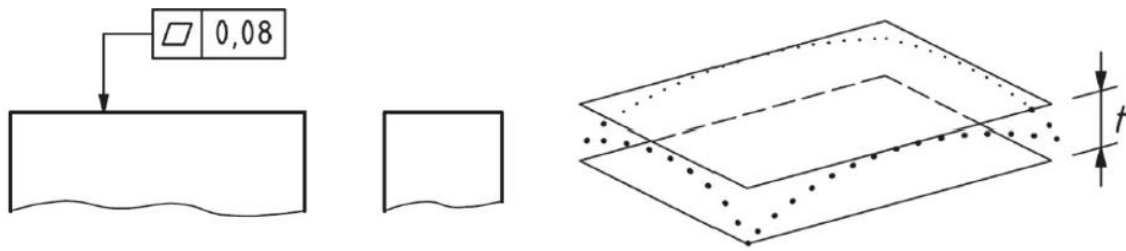


Obr. 3-5 Indikace válcovitosti ve 3D a její toleranční pole (1)

3.2.2 Tolerance rovinnosti

Tolerovaným prvkem je integrální nebo odvozená rovinná plocha, tolerance předepisuje míru její rovinnosti. Důležitosti nabývá například u dosedacích ploch při ukotvování a dotkových ploch mezi součástmi, dále tam kde je požadováno těsnění konkrétně u přírub čerpadel či jiných druhů armatur.

Tolerovaná rovina musí ležet v tolerančním poli, který má tvar dokonalého kvádrů o výšce s předepsanou toleranční hodnotou. (1)

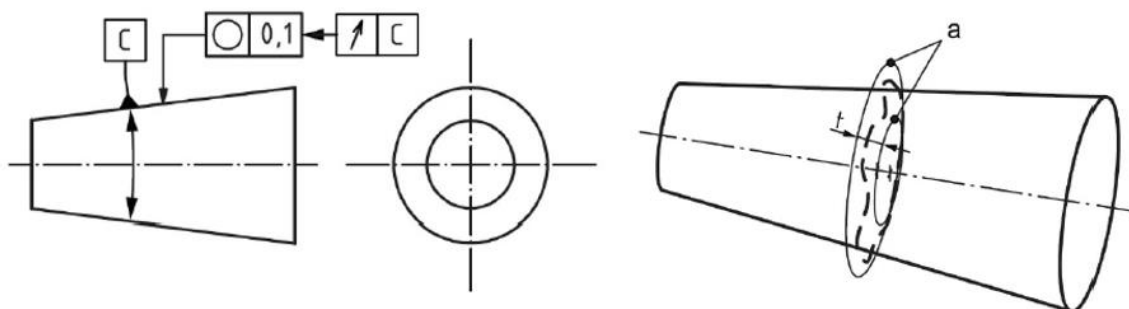


Obr. 3-6 Indikátor tolerance rovinnosti a příslušné toleranční pole (1)

3.2.3 Kruhovitost

Kruhovitostí se tolerují tělesa válcová či rotační. Jmenovitým exaktním prvkem je kruh, popřípadě soubor kruhových křivek nacházející se v příčném řezu kolmém na osu rotace, pokud není určeno jinak. Toleranční pole je plošné a vždy ho specifikují dvě soustředné kružnice. Rozdíl jejich poloměrů se shoduje s číselnou hodnotou předepsanou v indikátoru tolerance. (2)

ČSN uvádí fakt, že pro předepisování kruhovitosti na rotačních plochách, mimo válec a kulovou plochu, je nutné tento údaj blíže specifikovat, a to pomocí směrového prvku. Hodnota předepsané geometrické tolerance pak udává velikost tolerančního pole ve směru daného směrovým prvkem např. kolmo k povrchu. (1)

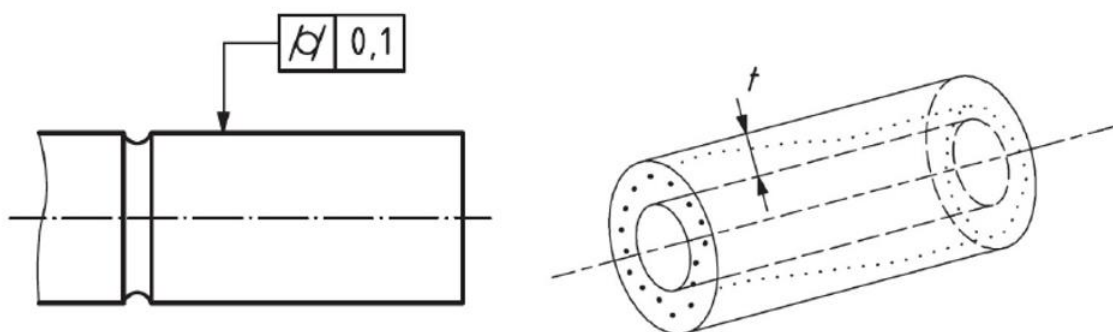


Obr. 3-7 Indikátor kruhovitosti na kužele se směrovým prvkem; a) kružnice kolmé k základně C (1)

3.2.4 Válcovitost

Válcovitost toleruje válcové povrchy, exaktním jmenovitým prvkem je plocha ve tvaru válcového pláště. Toleranční pole ohraničují dva soustředné válce, jejichž rozdíl v poloměrech odpovídá hodnotě tolerance. Stejně jako v případě kruhovitosti se u této hodnoty neuvádí symbol průměru \varnothing , přestože se jedná o pole rotačního charakteru. (1)

Válcovitost lze také charakterizovat jako součet tolerance přímosti a kruhovitosti téhož prvku se shodnou hodnotou geometrické tolerance. Sjednocením jejich jmenovitých prvků, tj. přímky a kružnice, lze získat válcovou plochu, která je jmenovitým prvkem válcovitosti. Stejně pravidlo platí i u tolerančních polí, kde při promítnutí mezikružší a obdélníku do sebe vzniká objemová část válce, vymezená dvěma průměry. (1)



Obr. 3-8 Indikátor válcovitosti a příslušné toleranční pole (1)

3.3 Geometrické tolerance orientace

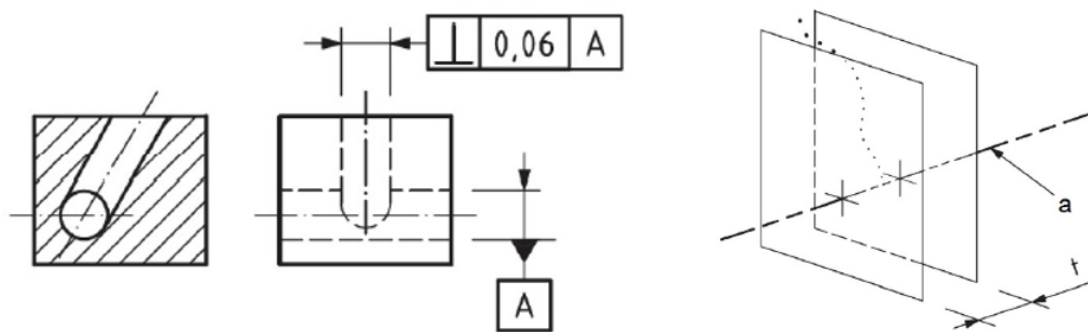
Dle názvu rozdělení je zřejmé, že v této kategorii tolerujeme přesnost orientace prvku, jako je kolmost, rovnoběžnost či jiný sklon.

Při uvedení příkladu kolmosti není dostačující znát danou plochu na vyhodnocení, ale je nutné určit parametr, ke kterému se kolmost vztahuje, tj. k čemu má daná plocha být kolmá. Proto jsou tyto vlastnosti závislé na prvku jiném. Tyto prvky, k nimž se uvedené tolerance vztahují, se nazývají základny.

3.3.1 Tolerance kolmosti

Toleranci kolmosti lze předepisovat pouze pro přímku, popř. soubor přímek nebo pro rovinnou plochu. Mezi integrálním nebo odvozeným prvkem a základnou se předepsáním vymezí teoreticky přesný úhel 90° (TED). (1)

Toleranční pole je tvořeno dvěma rovinami kolnými na základnu a od sebe vzdálenými o hodnotu tolerance. V případě odvozeného prvku se může jednat o pole tvaru válce s průměrem hodnoty tolerance. Pokud tolerance odvozeného prvku, např. osy díry, není opatřena symbolem \varnothing , pak není řečeno, ve kterém směru je kolmost k základně předepsaná. Toleranční pole je tedy tvořeno dvěma rovinami a jejich směr se musí určit pomocí indikovaného směrového prvku. Je tedy nutné doplnit k zápisu kolmosti ještě indikátor orientace roviny. (1)



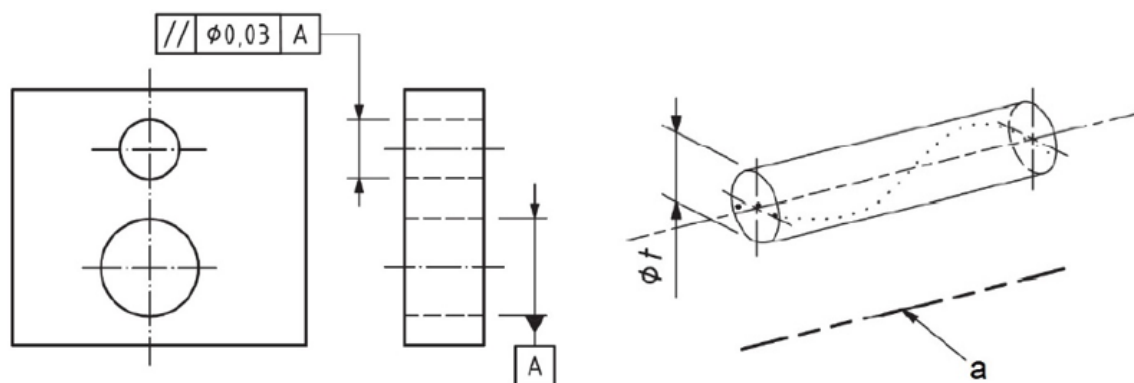
Obr. 3-9 Indikátor kolmosti se základnou A a příslušné toleranční pole (1)

3.3.2 Tolerance rovnoběžnosti

Stejně jako u kolmosti lze tolerovat pouze přímku nebo rovinnou plochu. V případě roviny je toleranční pole tvořeno dvěma rovinami a při použití symbolu \varnothing v zápisu před hodnotou velikosti úchylky vzniká tolerančního pole pro přímku válcového tvaru. (1)

Největší rozdíl v novém značení se vyskytuje u tolerování odvozených prvků s rozdílnou hodnotou tolerance. Původně se používalo více základen. Dnes už se pro přehlednější a jasnější značení více přiklání k užití indikátorů orientace rovin. Dochází tak k bližšímu specifikování jednotlivých rovin, ve které budou tolerance měřeny. Jak už bylo zmíněno, lze tak dosáhnout různých hodnot dovolených úchylek v rovinách s odlišnými směry téhož prvku. (1)

Rovnoběžnost přímek je hojně používána např. pro předepisování orientace os funkčních otvorů. Co se týče rovnoběžností rovin, jedná se například o různá vedení a další ustavovací plochy, kde je potřeba vysoké přesnosti nejen v rovinnosti, ale i v závislosti polohy na jiném prvku.

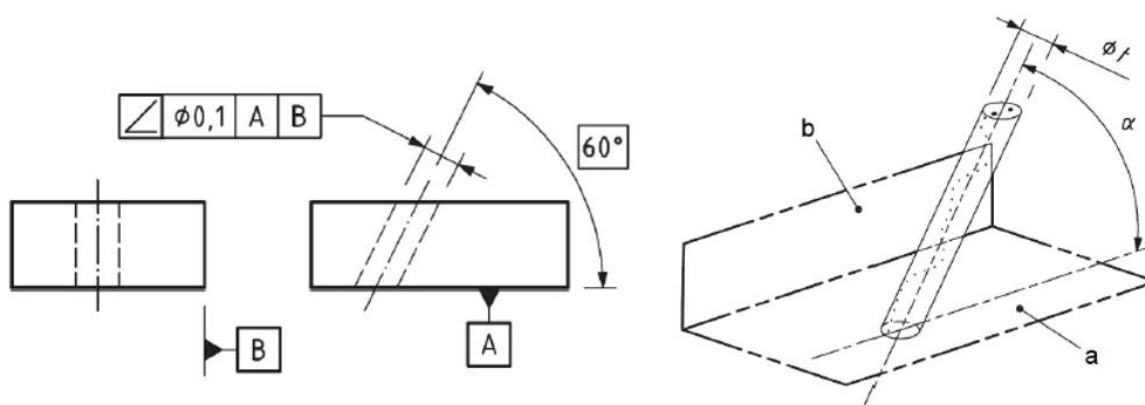


Obr. 3-10 Indikace rovnoběžnosti os děr a příslušné toleranční pole (1)

3.3.3 Tolerance sklonu

Používá se u prvků součástí, kde je nutno zajistit přesný úhel, ať už se jedná o otvory nebo plochy. Na rozdíl od kolmosti a rovinnosti je zde nutno úhel mezi tolerovaným prvkem a základnou zakótovat dle náležitostí pro teoreticky exaktní prvek.

Při toleranci díry k ploše je nutno předepsat primární i sekundární základnu. S primární základnou osa otvoru svírá daný úhel a se sekundární je osa otvoru rovnoběžná. Primární a sekundární základna svírá pravý úhel. (1)



Obr. 3-11 Indikace tolerance sklonu osy díry a příslušné toleranční pole (1)

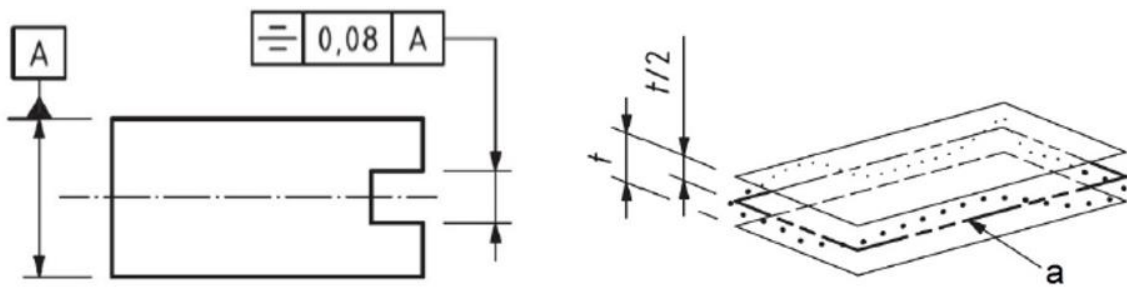
3.4 Geometrické tolerance umístění

Tato kategorie geometrických tolerancí vyžaduje vztažný prvek neboli základnu, stejně jako je tomu v případě geometrických tolerancí orientace.

3.4.1 Souměrnost

Nejčastějším tolerovaným prvkem u souměrnosti jsou roviny, dále však lze tolerovat body i přímky. Základnou zpravidla bývá odvozený prvek tzv. střední rovina, popřípadě osa rotační geometrie. Indikátory základen se v tomto případě vždy předepisují ke kótě rozměru. (2)

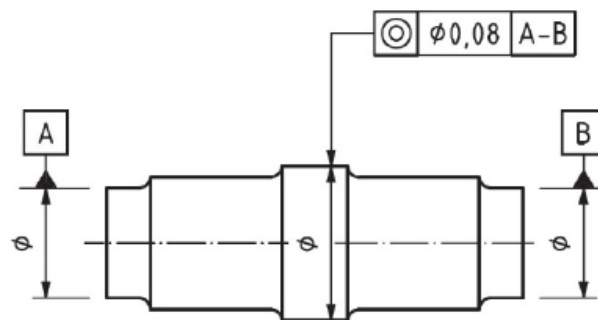
Toleranční pole je vymezeno dvěma rovinami od sebe vzdálenými o předepsanou hodnotu tolerance, ležícími symetricky od základny nebo válcem soustředným s osou rotační geometrie. Tolerančnímu poli musí náležet medián tolerovaných prvků nikoliv prvek samotný, jako je tomu u většiny geometrických tolerancí. Například u geometrie rovin se jedná o střední plochu. (1)



Obr. 3-12 Indikace souměrnosti a příslušné toleranční pole (1)

3.4.2 Soustřednost a sousost

Princip těchto geometrických tolerancí je dost podobný, rozdíl je pouze ve třetí dimenzi. U soustřednosti se jedná o toleranci středů kružnic u sousosti pak o toleranci os válců. Obě tolerance se zapisují shodnou značkou a šipka identifikátoru v obou případech navazuje na kótu, tolerujeme tedy středový bod nebo osu daného rozměru. Jelikož sousost zahrnuje i třetí dimenzi prvku, vztahuje se ke dvěma základnám nebo jedné společné základně. (1)

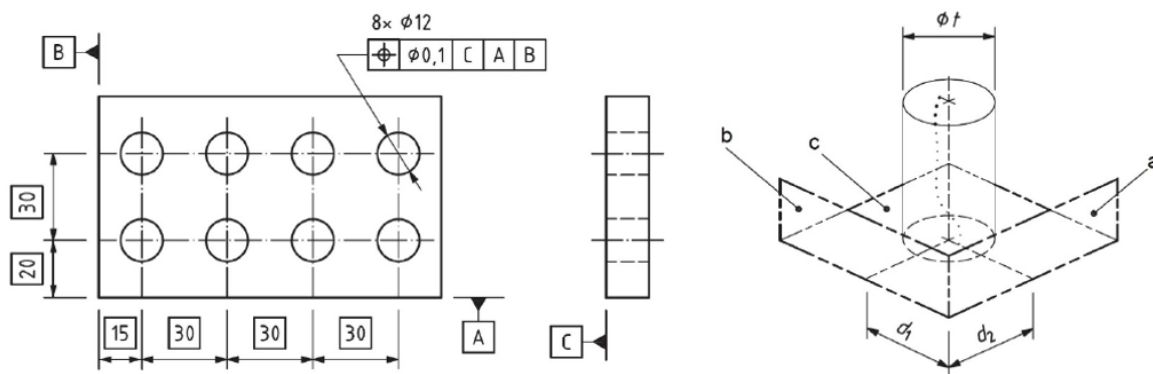


Obr. 3-13 Indikace sousosti (1)

3.4.3 Tolerance polohy

Poloha prvku se toleruje, pokud ovlivňuje funkčnost součásti. Není omezena tvarem prvku, geometrie však musí být jasně dána úplnými indikacemi. Často je zde využíváno teoreticky exaktních rozměrů.

Při toleranci polohy v prostoru musí být určeno všech šest stupňů volnosti. Používáme proto tři základny: ustavovací, seřizovací a opěrnou. Primární ustavovací základna odebírá tři stupně volnosti, zamezuje posuvu v jedné ose a rotaci okolo dvou os, seřizovací sekundární základna zamezuje posuvu v druhé ose a taky poslední možné rotaci, opěrná základna odebírá poslední stupeň volnosti a tím je pohyb v třetí ose. Při volbě základen záleží na pořadí, pokud pořadí v zápisu indikátoru geometrické tolerance je prohozeno, poloha prvku se může lišit. (1)



Obr. 3-14 Indikace tolerance polohy s třemi základnami a příslušným tolerančním polem (1)

Nejhojnější využití tolerancí polohy zaujímá tolerance děr a jiných prvků od sebe vzdálených určitým rozměrem. Zajišťujeme jimi kompatibilitu spojů jednotlivých součástí. Dalším použitím může být opakování nejen děr ale i jiných prvků po obvodu kružnice. Pokud jsou rozmístěny pravidelně, tak se úhly mezi nimi nekótují.

3.5 Geometrické tolerance házení

Obecně házení vzniká určitými vychýleními rotační součásti, které se projevuje při rotaci kolem osy. Jeho příčinou bývají např. velké úchytky válcovitosti nebo nepřesná uložení. Rozlišujeme házení čelní, obvodové a celkové.

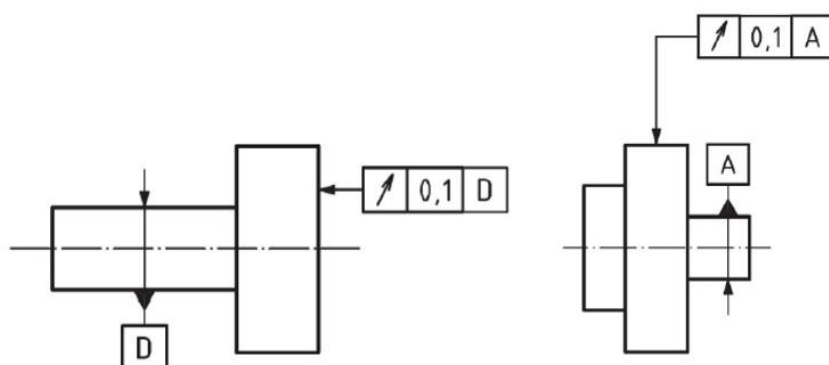
3.5.1 Kruhové čelní házení

Čelní házení neboli obvodové házení axiální se na rozdíl od obvodového radiálního měří na čele hřídele. Čelní plochou rotační součásti je plocha, která je kolmá k ose a je shodná s průřezem součásti. Toleranční pole je v tomto případě ohraničeno dvěma kružnicemi o stejném průřezu, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance ve směru podél osy tzv. axiálně. (1)

3.5.2 Kruhové obvodové házení

Toleranční pole obvodového házení je kolmé k ose rotace, jmenovitým prvkem je kruhový obvod. Obvodové házení se měří na válcovém povrchu. Tento integrální prvek musí ležet v tolerančním poli tvořeném dvěma soustřednými kružnicemi s rozdílem poloměrů o hodnotu tolerance, a to v každém průřezu podél osy. Základnu tvoří osa rotační součásti. (1)

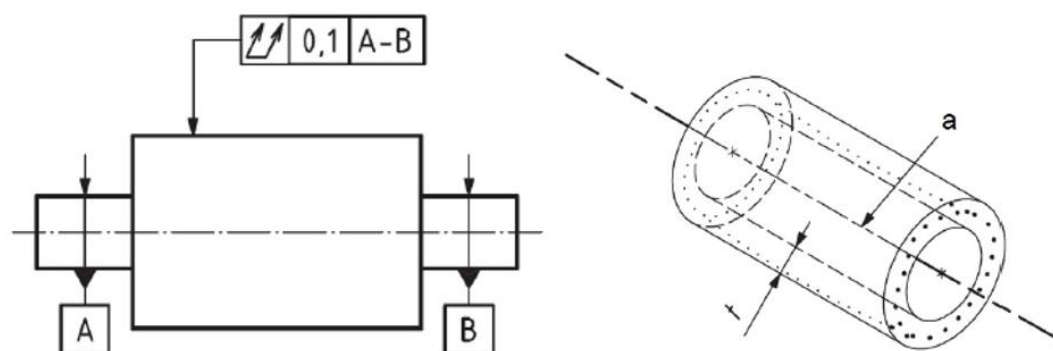
Obvodové házení může být i v jiném směru než radiálním či axiálním. Tato možnost se vyskytuje např. u kužele, kdy tvořící čára tolerovaného prvku není přímá a indikátor směřuje kolmo na povrch. Šířka tolerančního pole není rozdíl poloměrů, ale úsečka spojující dvě kružnice kolmo na specifikovaný povrch. (1)



Obr. 3-15 Indikace čelního házení (vlevo) a obvodového házení (vpravo) (1)

3.5.3 Celkové házení

Jmenovitým exaktním prvkem u celkového radiálního házení je válcový povrch. Toleranční pole ohraničují plochy plášťů dvou sousedních válců s rozdílem poloměrů rovným předepsané hodnotě geometrické tolerance. U axiálního celkového házení se toleranční pole vymezuje dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance, které jsou kolmé na základnu. (1)



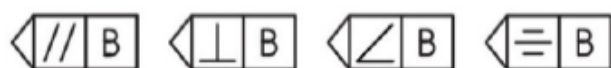
Obr. 3-16 Indikace celkového obvodového házení s příslušným tolerančním polem (1)

3.6 Indikátory roviny a prvku

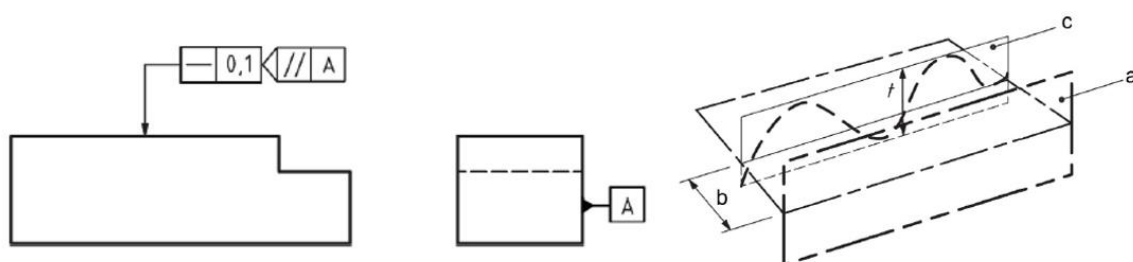
Indikátory roviny a prvku jsou doplňkové indikátory sloužící pro jasnější specifikaci a jednoznačnost zápisu geometrických tolerancí. Upřesňují také postupy při měření hodnot geometrických tolerancí, které by jinak nebyly blíže specifikovány.

3.6.1 Průsečná rovina

Indikátor průsečné roviny se zapisuje za indikátor geometrické tolerance. Průsečnou rovinu je nutno použít pro specifikaci orientace přímkové čáry na integrálním prvku nebo tam, kde značka tolerance neudává, zda se jedná o prvek rovinný nebo přímku. Pro specifikování prvku průsečnou rovinou se musí předepsat základna, ke které se váže orientace průsečné roviny pomocí značek umístěných v prvním poli indikátoru. (1), (2)



Obr. 3-17 Indikátory průsečné roviny (1)



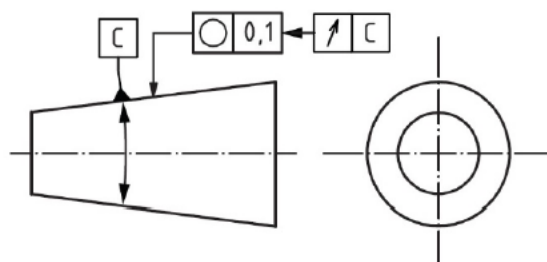
Obr. 3-18 Příklad použití průsečné roviny (1)

3.6.2 Směrový prvek

Směrový prvek určuje směr, ve kterém se definuje šířka tolerančního pole. Norma ČSN definuje nutnost použití směrového prvku u všech rotačních prvků, které nejsou válcové ani kulové. Dále je nutné směrové specifikace použít tam, kde šířka tolerančního pole není kolmá k povrchu tolerovaného integrálního prvku. Indikátor směrového prvku se předepisuje za indikátor tolerance jako ostatní specifikační prvky. (1), (2)



Obr. 3-19 Indikátory směrového prvku (1)



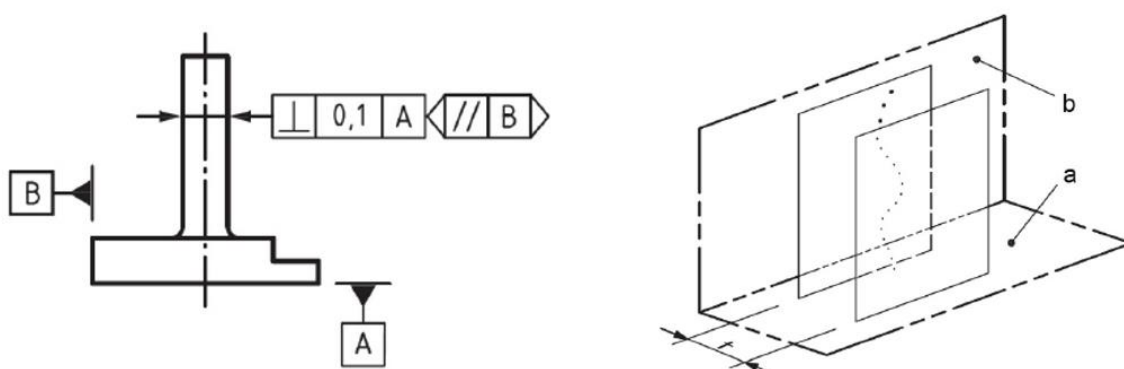
Obr. 3-20 Příklad použití směrového prvku (1)

3.6.3 Orientační rovina

Doplňkový indikátor orientace roviny se používá u geometrických tolerancí orientace, tj. rovnoběžnosti kolmosti a sklonu, a to tehdy, když toleranční pole není válcové. Indikátor se skládá ze základny a závislosti roviny na základně a je umístěn zprava indikátoru geometrické tolerance stejně jako další doplňkové indikátory. (1), (2)



Obr. 3-21 Indikátory roviny orientace (1)



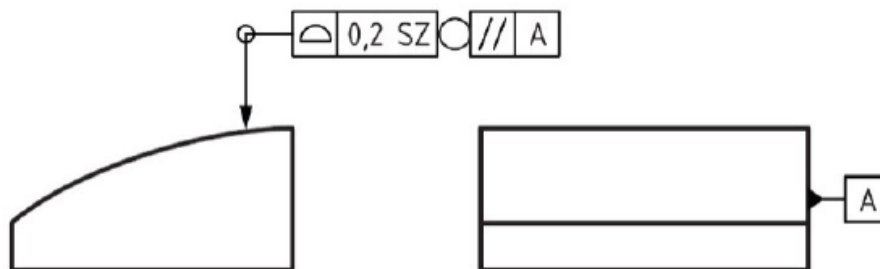
Obr. 3-22 Příklad použití orientační roviny (1)

3.6.4 Souborná rovina

Soubornou rovinu je nutné předepsat vždy, pokud se používá doplňková indikace všude kolem. Indikátor souborné roviny rozšiřuje zprava indikátor tolerance pro soubor prvků a obsahuje označení pro základnu a značku vztahu mezi soubornou rovinou a základnou. (1), (4)



Obr. 3-23 Indikátor souborné roviny (1)



Obr. 3-24 Příklad použití souborné roviny (1)

3.7 Závislé tolerance

Mezi tolerancemi je dodržováno tzv. pravidlo nezávislosti. Toto pravidlo umožňuje vyhodnocovat každou geometrickou toleranci zvlášť bez ohledu na ostatní tolerance a úchytky rozměrů. Pokud je z funkčního hlediska žádoucí uvažovat o závislosti mezi tolerancemi a délkovými či úhlovými rozměry, je nutno ji předepsat pomocí následujících modifikátorů.

3.7.1 Požadavek maxima materiálu – MMR

Požadavek maxima materiálu, zkratkou MMR vycházející z anglického názvu maximum material requirement, je ve výkresové dokumentaci označován jako velké tiskací „M“ v kroužku. Tento požadavek v indikátoru geometrické tolerance definuje vztah mezi hodnotou geometrické tolerance a mezi maxima materiálu skutečného prvku. (6)

Mez maxima materiálu neboli rozměr maxima materiálu, zkratkou MMS – maximum material size, je dle normy ISO 2692 ten rozměr, který při dodržení úchytek předepsaného rozměru zajišťuje největší objem materiálu. U díry se jedná o nejmenší možný rozměr, u vnějších rozměrů naopak o největší možný. (6)

Z definování MMR vyplývá, že dovolená hodnota předepsané geometrické tolerance může být ovlivněna rozměrovou hodnotou skutečného prvku. Velikost pole geometrické tolerance může být zvětšována, pokud hodnota rozměru nedosahuje meze maxima materiálu. Předepsaná hodnota geometrické tolerance se musí dodržet v případě, že skutečný rozměr prvku odpovídá MMS. Velikost rozdílu mezi skutečným rozměrem a rozměrem maxima materiálu udává hodnotu, o kterou lze zvýšit předpis geometrické tolerance. V praxi se nejčastěji MMR předepisuje tam, kde záleží na smontovatelnosti jednotlivých prvků. Např. pokud jsou ve skutečnosti rozměry děr větší než rozměry odpovídající mezi maxima materiálu, s ohledem na smontovatelnost je možno adekvátně zvětšit toleranční pole příslušné geometrické tolerance. (2)

3.7.2 Požadavek minima materiálu – LMR

Požadavek minima materiálu, zkratkou LMR vycházející z anglického názvu least material requirement, je ve výkresové dokumentaci označován jako velké tiskací „L“ v kroužku. Tento požadavek v indikátoru geometrické tolerance definuje vztah mezi hodnotou geometrické tolerance a mezi minima materiálu skutečného prvku. (6)

Mez minima materiálu neboli rozměr minima materiálu, zkratkou LMS – least material size, je dle normy ISO 2692 ten rozměr, který při dodržení úchylek předepsaného rozměru zajišťuje nejmenší objem materiálu. U díry se jedná o největší možný rozměr, u vnějších rozměrů naopak o nejmenší možný. (6)

Stejně jako MMR tak i LMR udává, že dovolená hodnota předepsané geometrické tolerance může být ovlivněna rozměrovou hodnotou skutečného prvku. Velikost pole geometrické tolerance může být zvětšována, pokud hodnota rozměru nedosahuje meze minima materiálu. Předepsaná hodnota geometrické tolerance se musí dodržet v případě, že skutečný rozměr prvku odpovídá LMS. Velikost rozdílu mezi skutečným rozměrem a rozměrem minima materiálu udává hodnotu, o kterou lze zvýšit předpis geometrické tolerance. V praxi se nejčastěji LMR předepisuje tam, kde záleží na tloušťce stěny, kterou daný prvek ovlivňuje. Např. pokud je ve skutečnosti rozměr díry menší než rozměr odpovídající mezi minima materiálu, s ohledem na zachování definované tloušťky stěny je možno adekvátně zvětšit toleranční pole příslušné geometrické tolerance (např. polohy a posunout tak díru blíže k okraji). (2)

3.7.3 Požadavek reciprocity – RPR

Požadavek reciprocity, zkratkou RPR vycházející z anglického názvu reciprocity requirement, je ve výkresové dokumentaci označován jako velké tiskací „R“ v kroužku. Tento požadavek se v indikátoru geometrické tolerance zapisuje za značku požadavku maxima nebo minima materiálu. (6)

Na rozdíl od MMR a LMR, které upravují hodnotu geometrické tolerance v závislosti na skutečném rozměru prvku a vztahu tohoto rozměru k MMS nebo LMS, požadavek reciprocity RPR definuje vztah mezi skutečnou hodnotou geometrické tolerance a adekvátní změnou rozměrové tolerance. Principem je tedy převedení plně nevyužitých geometrických úchylek na rozšíření rozměrové tolerance prvku a případné posunutí rozměrů MMS a LMS. (7)

3.8 Kontrola a vyhodnocování GPS

Měření geometrických tolerancí je důležitou součástí celého procesu. Pro vyhodnocení dané geometrické tolerance je nutné s určitou přesností zmapovat skutečný integrální nebo odvozený prvek. V dnešní době, se přístroje pro měření digitalizují a automatizují. Na obchodním trhu lze najít několik stovek druhů přístrojů k měření jednotlivých tolerancí. Následně bude uvedeno několik příkladů.

Mezi nejzákladnější měřidla pro vyhodnocování geometrických tolerancí se řadí úchylkoměr. Je to univerzální dotykové měřidlo, které má velkou variabilitu upnutí i využití. Lze jím vyhodnocovat přímost, rovinnost, ale svoje uplatnění nalezne i u měření válcovitosti či házení, dále se s ním mohou vyhodnocovat i odchylky polohy. Existují tři základní druhy: číselníkový, digitální a páčkový. Na číselníku či displeji úchylkoměru jsou odčítány odchylky od předem nastaveného rozměru nikoli jeho absolutní hodnota. U číselníkového naměřená hodnota úměrně odpovídá zdvihu měřící tyčky zakončené kontaktním prvkem, u páčkového je hodnota úměrná pohybu výkyvné páčky zakončené kulovým dotekem. (8)



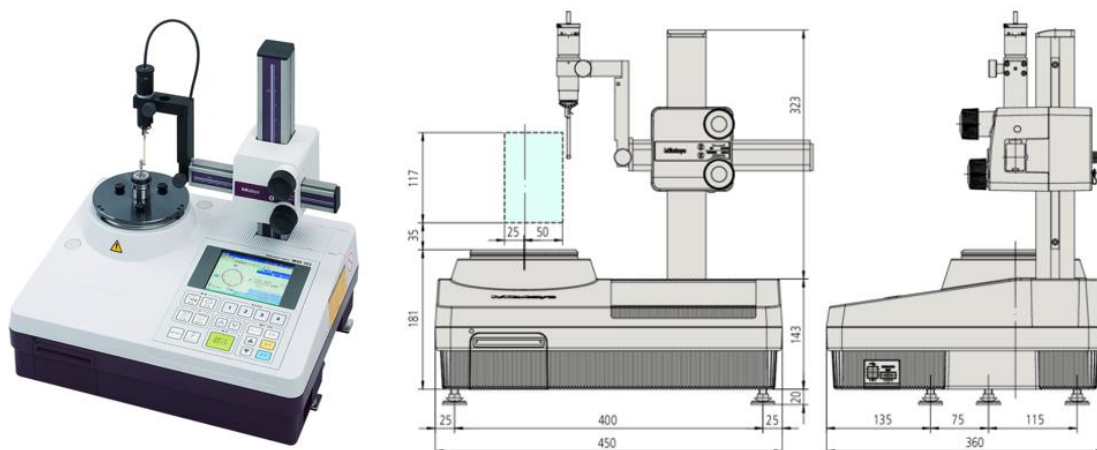
Obr. 3-25 Číselníkový úchylkoměr ve stojanu (vlevo) (9) a páčkový úchylkoměr (vpravo) (10)

Dalším měřidlem, které při měření udává odchylky od předem nastaveného rozměru, nastaveného pomocí kalibrovaných koncových měrek, je pasometr. Lze jím měřit například kruhovitost, kdy se pasometr upevní do příslušného stojanu, rotační součást se ustaví mezi hroty a postupným otáčením součásti se zaznamenávají hodnoty úchylek. (11)



Obr. 3-26 Pasometr s úchylkoměrem (12)

Mezi částečně automatizované vyhodnocovací přístroje patří kruhoměry. Jsou to měřidla pro ověřování kruhovitosti, válcovitosti, obvodového házení a obecně geometrických kruhových tvarů. Principem je ustavovací otáčivý stůl, do kterého se měřená součást upne. Při měření se stůl společně se součástí otáčí a dotyková sonda zaznamenává případné úchylnky. Většina přístrojů tohoto typu disponuje displejem, na kterém je dané měření vyhodnocováno společně s vykreslováním grafického záznamu. (11)



Obr. 3-27 Kruhoměr (vlevo) (13) a jeho schéma (vpravo) (14)

Velký průlom v oblasti automatizovaného měření způsobily souřadnicové měřicí stroje. Tyto stroje a metody jsou v dnešní době hojně používané. Metoda využívá NC systém. Základem je stanovení pevného základního bodu, od kterého jsou dále pomocí dotykové sondy odečítány hodnoty dalších měřených bodů v souřadnicích X, Y, Z. Výhodou je také možnost automatického ukládání záznamu do databáze a jeho následné vyhodnocování. Souřadnicové měřicí stroje také umožňují využít bezdotykové metody měření, kdy je povrch součásti skenován např. pomocí laserové sondy či jiných optických systémů. (15)



Obr. 3-28 Souřadnicový měřicí stroj (16)

3.9 Dostupné edukační materiály

Jak už bylo zmíněno, geometrické tolerance, jejich vlastnosti a předepisování definuje norma ČSN EN ISO 1101 z března roku 2020, o kterou se veškeré další publikace zabývající se touto problematikou opírají. Studenti si zde mohou ověřit informace z původního zdroje, norma je však obsáhlá, informace podává stručně a v odborných termínech. Pro studenty i zaměstnance VUT je umožněno nahlédnout do online databáze českých technických norem za dodržení určitých podmínek zdarma.

Přístupnější literaturou pro studenty jsou výukové materiály jako učebnice či skripta, se kterými se setkávají v odborných předmětech. Tyto publikace se však většinou věnují i jiným tématům a problematika geometrických tolerancí je vysvětlována jen v několika kapitolách. Jsou však cíleny účelově, především na přiblížení jednotlivých pojmů studentům, je zde tak kladen větší důraz na vysvětlení než u technických norem. Edukačními materiály pro výuku geometrických tolerancí se zabývají i firmy, které zpracovávají podklady pro své zaměstnance. Snaží se docílit pochopení problematiky geometrických tolerancí u zaměstnanců, kteří se setkávají s jejich předpisy ve výrobě či jiném odvětví.

Co se týče obrazové 2D a 3D představy o geometrických tolerancích, nejvyhledávanější cestou ze stran studentů bude platforma YouTube. Zde mohou zadarmo shlédnout několik videí o měření či principech geometrických tolerancí. Většina videí je v cizím jazyce a ověření pravosti informací může být složité. Za zmínku stojí i výukové aplikace s interaktivními prvky, představující jednotlivé geometrické tolerance. Ty jsou převážně taktéž v cizím jazyce a přístup k nim je zpoplatněn a zabezpečen licencí. (17), (18)

4 DISKUZE

4.1 Tvorba animací a software

Edukační úlohy byly převážně vytvořeny v softwaru pro třírozměrnou počítačovou grafiku Blender 3.1.0.. Tento program není primárně určen pro zpracovávání technických prvků, je zde kladen důraz spíše na umělečtější směr, obsahuje prvky jako jsou vizuální efekty kouře, světla, tekutin a dalších, které jsou vítány v oblasti animovaných filmů či jiných interaktivních médií. Tento software je volně dostupný, nevyžaduje žádné licence, a díky tomu existuje mnoho uživatelů, kteří sdílí instruktážní videa. Programy s technickým prostředím, jako je Autodesk Inventor či SolidWorks sice nabízí možnost vytvářet animace, ale pouze v pár základních funkcích, bez využití dalších zásadní parametrů, a tak byly pro moji práci nevyhovující. Dalším možným programem na tvorbu animací je 3D Studio Max od společnosti Autodesk. Tento program se velmi podobá již zmíněnému Blenderu, který je na rozdíl od 3D Studia volně dostupný.

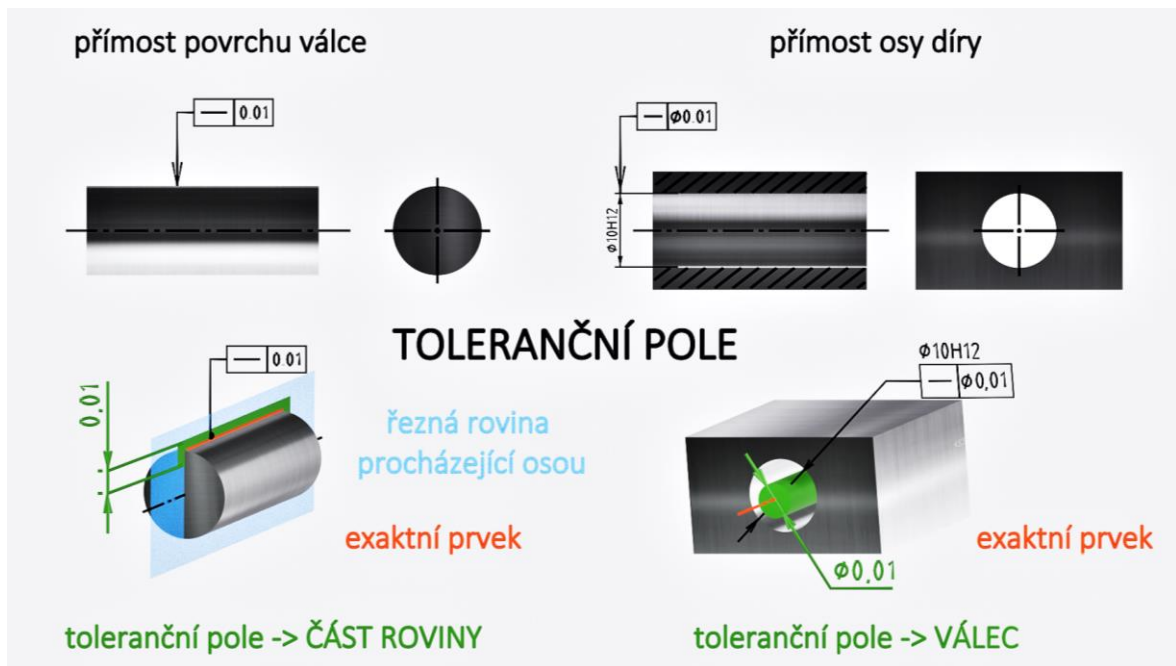
Technické parametry, jako jsou kóty a indikátory jednotlivých geometrických tolerancí, byly vytvořeny v softwaru AutoCAD 2022, tyto prvky mají normovaný formát, který je nutné dodržet. Vložení těchto 2D geometrií do Blenderu je možno pouze pomocí vektorových křivek (.svg). Na převod značení z Autocadu do požadovaného formátu byl použitý volně dostupný editor vektorové grafiky Inscap. Posledním využitým programem k tvorbě animací byl Autodesk Inventor, ve kterém byly vytvořeny složitější 3D objekty, jako například měřidla či prizmatická podložka, a to převážně z důvodu časové úspory.

4.2 Popis jednotlivých úloh

V této kapitole bude dále nastíněn obsah animací a v textové části popsány postupy a hlavní myšlenky jednotlivých úloh. Všech pět animací ve formě videí je předmětem přílohy 1.

4.2.1 Edukační úloha č. 1

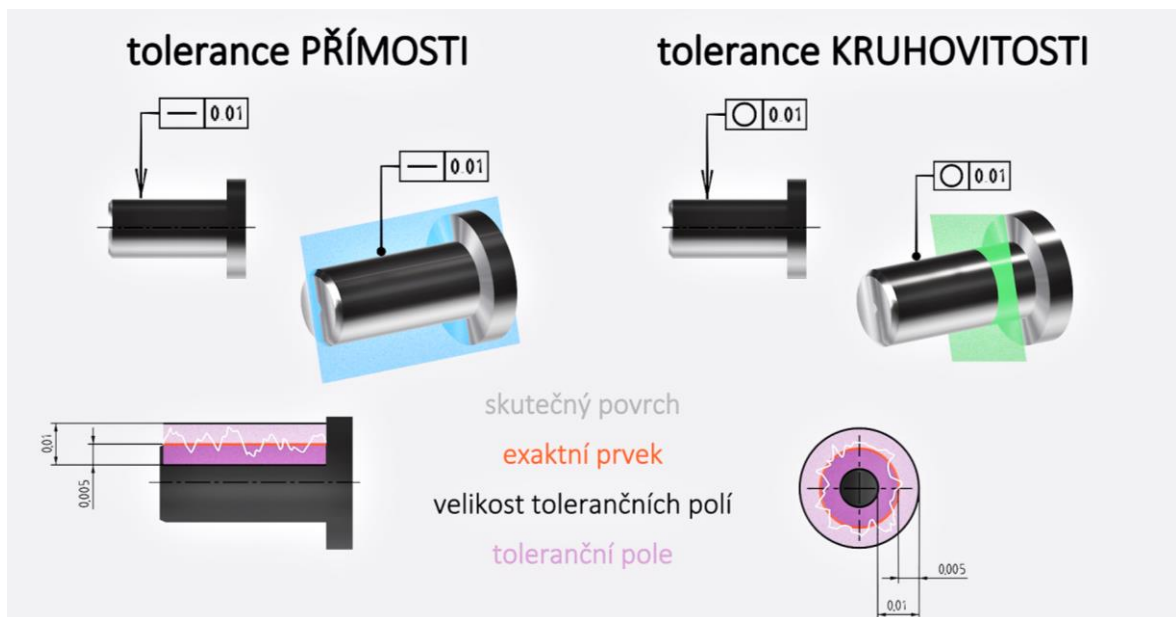
První animace pojednává o tolerančních polích geometrické tolerance přímosti. Ukazuje rozdíly mezi odkazováním indikátoru na plochu povrchu válce a odkazováním ke kótě průměru díry a jejich dopad na tvar tolerančních polí. U válcové plochy je tolerován integrální prvek, u průměru osa neboli prvek odvozený. K těmto prvkům se váže příslušné toleranční pole, tj. část roviny u povrchu válce a válec u osy díry. Dále je vyobrazen rozdíl mezi 2D a 3D zobrazováním příslušného indikátoru a popis exaktních jmenovitých prvků.



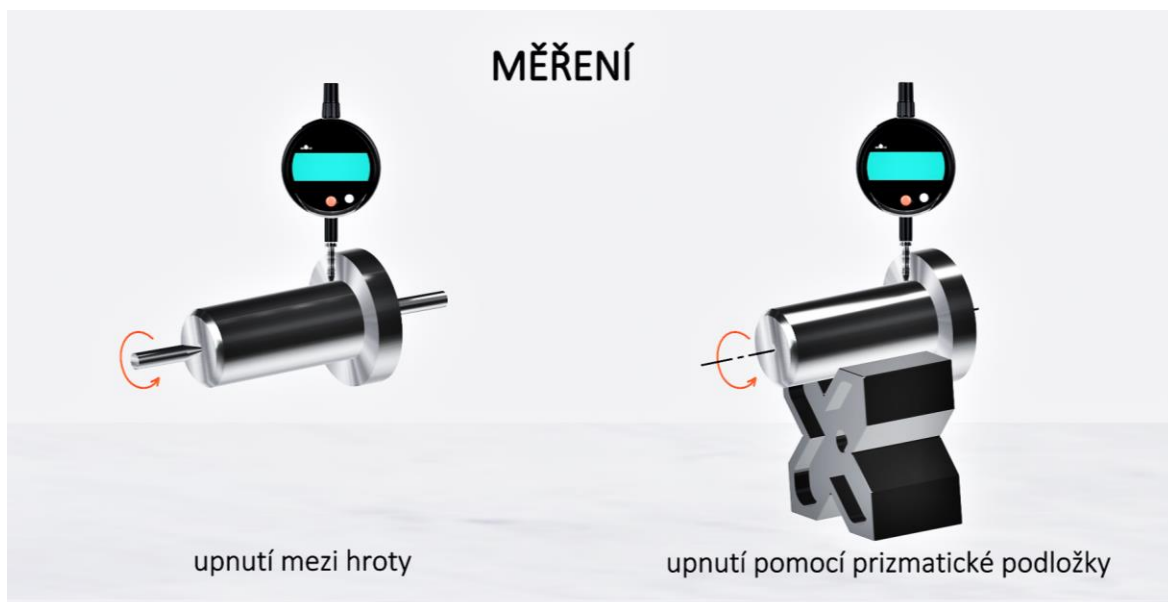
Obr. 4-1 Animace č. 1 – rozdíly tolerančních polí přímosti

4.2.2 Edukační úloha č. 2

Druhá úloha obsahuje vysvětlení principu válcovitosti. Válcovitost je v podstatě složená ze dvou geometrických tolerancí tvaru, a to přímosti a kruhovitosti, propojením jejich tolerančních polí získáváme toleranční pole pro válcovitost. V této animaci jsou vysvětleny základní principy všech tří tolerancí a jejich závislosti. Dále zobrazují vyhodnocování válcovitosti způsobem uchycení mezi hroty a upnutím pomocí prizmatické podložky digitálním úchylkoměrem.



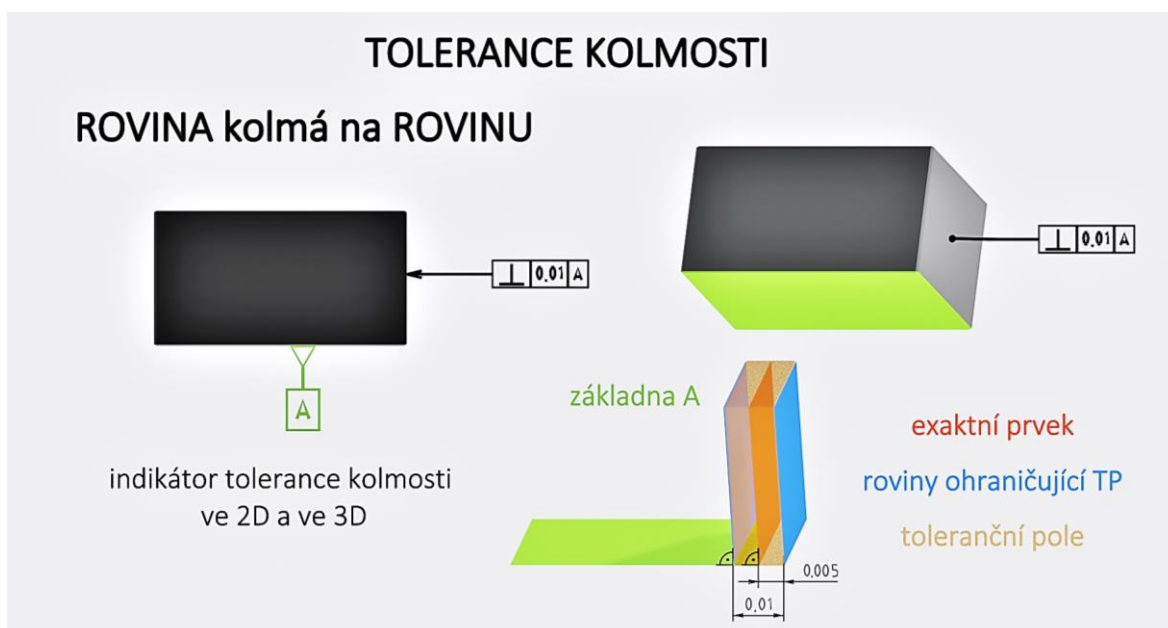
Obr. 4-2 Animace č. 2 – principy přímosti a kruhovitosti



Obr. 4-3 Animace č. 2 – vyhodnocování válcovitosti

4.2.3 Edukační úloha č. 3

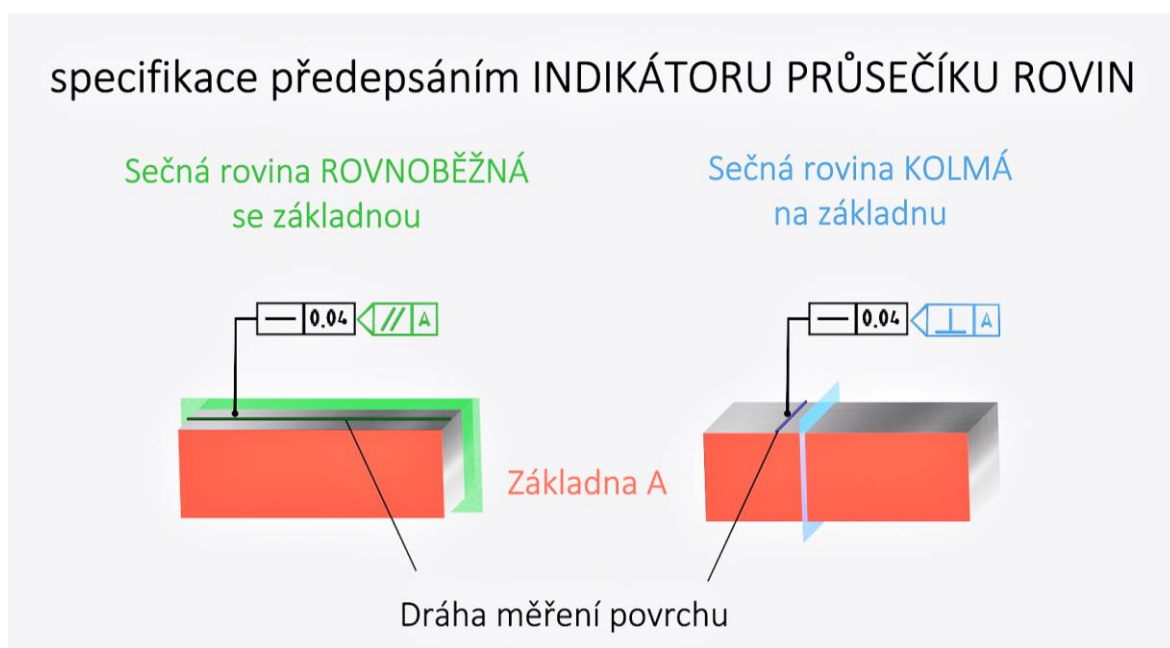
Třetí animace se zabývá geometrickou tolerancí orientace, konkrétně kolmostí, na rozdíl od předešlých úloh, které popisovaly geometrické tolerance tvaru. Postupně jsou ve dvou případech vysvětleny základní principy kolmosti. V prvním případě animace představuje indikaci pro integrální prvek na příkladu roviny kolmé na rovinu, v druhém případě se toleruje odvozený prvek, a to osa díry kolmá na rovinu. Dále jsou zobrazeny tvary tolerančních polí a jejich rozměry v závislosti na předepsané hodnotě v indikátoru. Protože se jedná o toleranci závislou zvýrazňují zde patřičné základny.



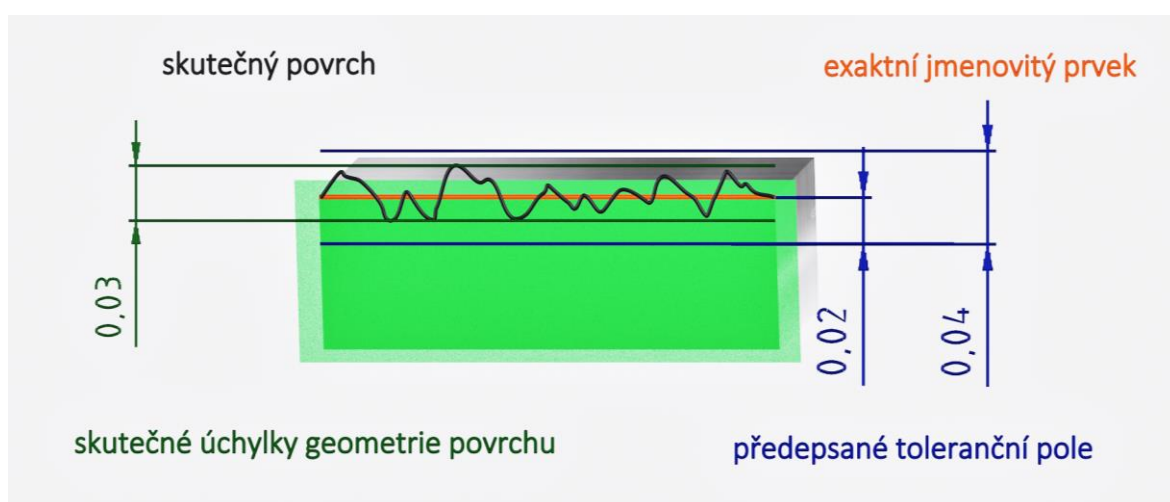
Obr. 4-4 Animace č. 3 – kolmost roviny na rovinu

4.2.4 Edukační úloha č. 4

Čtvrtá úloha se vrací ke geometrické toleranci přímosti, tentokrát je indikátor předepsaný k rovinné ploše a doplněn o indikátor průsečné roviny. Jsou zde vyobrazena toleranční pole pro jednotlivé směry měření určené dle průsečných rovin. Specifikační prvek sečné roviny definuje jinak neurčený směr měření. Doplňkový indikátor vyžaduje předepsání základny, která je v animaci zvýrazněná. Pro komplexnější představu je v úloze zobrazeno vyhodnocování povrchu ve 3D pohledu po definovaných drahách měření a současně s pohybem měrek se vykreslují křivky skutečného naměřeného povrchu v rovině tolerančního pole. Dále je vyobrazen celkový přehled měřeného povrchu v příslušné rovině.



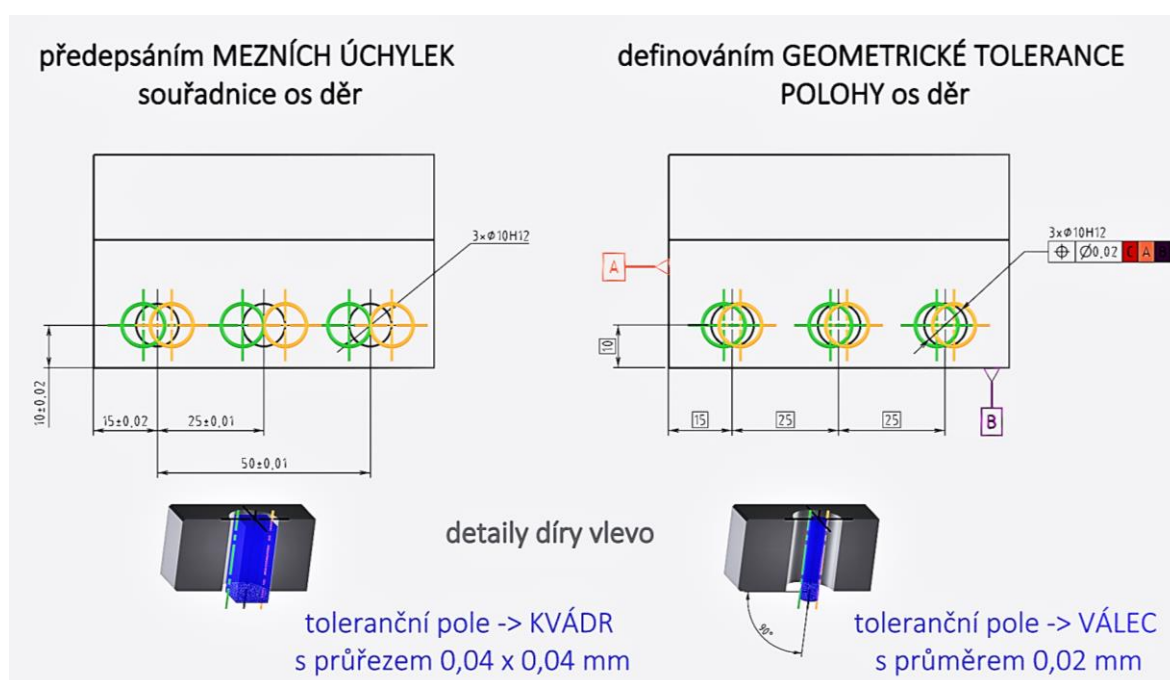
Obr. 4-5 Animace č. 4 – indikátory průsečků rovin a jejich vliv na dráhu měření



Obr. 4-6 Animace č. 4 – schéma měřeného povrchu v příslušné rovině

4.2.5 Edukační úloha č. 5

Poslední úloha představuje geometrickou toleranci polohy neboli umístění. Srovnává toleranci vzdálenosti os děr definované pomocí geometrické tolerance polohy a toleranci vzniklou předepsáním mezních úchylek souřadnic os děr. K toleranci polohy definujeme tři základny, z nichž primární je ta, která je kolmá k osám, jejichž vzdálenost tolerujeme. Díky teoreticky přesným rozměrům znázorněným u tolerance polohy, na sobě úchyly jednotlivých děr nezávisí a toleranční pole jsou válce se stejným rozměrem shodujícím se s hodnotou předepsanou v indikátoru tolerance. Naproti tomu u mezních úchylek se rozměry kvádrového tolerančního pole liší. Jsou závislé na poloze předchozí díry, zde se odchylky sčítají nebo odečítají a vznikají tak konstrukční uzly. Dále je v animaci zahrnuta ukázka vyhodnocování vzdálenosti os děr, která pro lepší názornost měřených rozměrů probíhá měření pomocí posuvného měřítka.



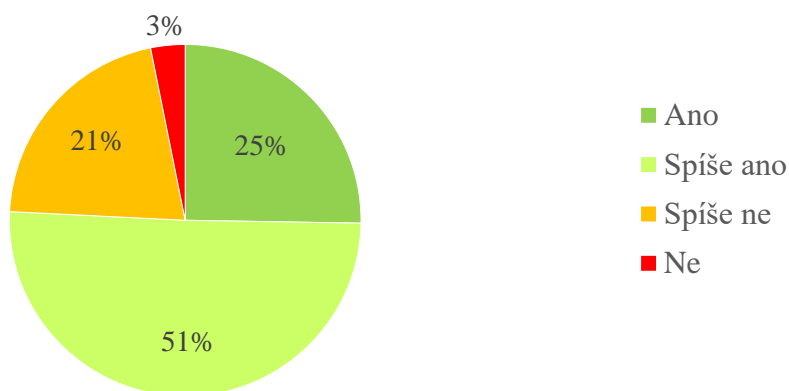
Obr. 4-7 Animace č. 5 – srovnání tolerance polohy a mezních úchylek os děr

4.3 Zhodnocení výsledků

Těchto pět vytvořených edukačních úloh ve formě animací bylo s výkladem odprezentováno před studenty prvního ročníku v předmětu Vybrané kapitoly ze základu konstruování. Pro získání zpětné vazby jim byl předložen anonymní dotazník. Cílem bylo zjistit náhled studentů na rychlost, vzhled a srozumitelnost animací a přínos těchto edukačních úloh ve výuce.

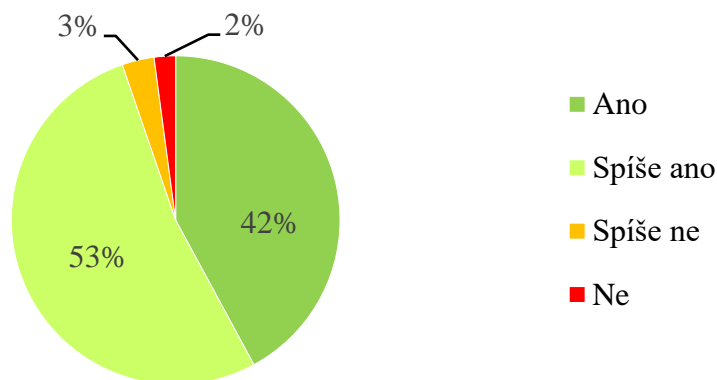
Získané odpovědi 95 respondentů byly zaznamenány a vyhodnoceny. Na následujících grafech je vyobrazeno kolik studentů si dokáže představit geometrické tolerance ve 3D z běžných výukových podkladů a kolika studentům k objasnění problematiky pomohly zpracované animace.

Otázka 4: Uměli jste si před zhlédnutím představit konkrétní tolerance ve 3D?



Obr. 4-8 Graf – Vyhodnocení otázky 4

Otázka 5: Pomohly Vám tyto animace objasnit základní principy tolerancí (značení, tvary tolerančních polí, význam...)?



Obr. 4-9 Graf – Vyhodnocení otázky 5

Kompletní přehled odpovědí z dotazníku je uveden v příloze 2.

5 ZÁVĚR

Dílčí cíle této bakalářské práce byly splněny v rešeršní části. Ta obsahuje přehled značení a předepisování indikátorů geometrických tolerancí dle aktuální normy ČSN EN ISO 1101. Dále popisuje jejich principy a příklady vyhodnocování. V rešeršní části je také shrnutí aktuálních informací o dostupných podkladech pro výuku a pochopení této problematiky.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit pět edukačních animací, které by znázorňovaly principy a vyhodnocování geometrických tolerancí ve 3D zobrazení. Tohoto cíle bylo dosaženo vytvořením edukačních úloh ve formě videí, které představují problematiku geometrických tolerancí. Tyto animace zobrazují principy vybraných tolerancí ve 3D prostoru a propojují je s 2D značením pro výkresovou dokumentaci i vyhodnocování jednotlivých tolerancí pomocí měřidel. V animacích je kladen velký důraz na názornost a srozumitelnost za účelem snadného pochopení látky ve výuce. Druhá textová část bakalářské práce popisuje postup tvorby těchto animačních úloh a představuje jejich obsah. Samotné animace ve formě videí jsou předmětem přílohy 1.

Pro získání zpětné vazby a odprezentování výsledků praktické části bakalářské práce byl vytvořen dotazník. Ten byl předložen studentům VUT ve výuce po odprezentování animačních úloh. Velká část respondentů měla na tyto animace pozitivní názor. Z vyhodnocení dotazníků vyplývá, že tyto animace byly a mohou být dále přínosem pro pochopení a srozumitelnost probírané látky ve výuce. Obrazové animace také mohou lépe zaujmout a docílit tak větší pozornosti studentů.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování - Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení* [Online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, 178 [cit. 2023-05-8]. Dostupné z: Databáze ČSN norem. Třídící znak 01 4120.
2. PETR, Karel. *Geometrické tolerance dle ISO GPS*. Praha: Verlag Dashöfer, [2019]. ISBN 978-80-7635-019-9.
3. Terminologická databáze. *Nlfnorm.cz* [online]. Zlín: Informační systém Institut pro testování a certifikaci, 2022-07-01 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.nlfnorm.cz/terminologicky-slovník/>
4. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vydání deváté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2022. ISBN 978-80-7623-089-7.
5. ČSN EN ISO 5459. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování - Základny a soustavy základen* [Online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2022, 110 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: Databáze ČSN norem. Třídící znak 01 4402.
6. ČSN EN ISO 2692. *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Geometrické tolerování – Požadavek maxima materiálu (MMR), požadavek minima materiálu (LMR) a požadavek reciprocity (RPR)* [Online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2022, 64 [cit. 2023-05-8]. Dostupné z: Databáze ČSN norem. Třídící znak 01 4123.
7. PEŠÍČKA, Ladislav a Jaroslav SKOPAL. *Tolerování strojírenských součástí. Požadavek maxima a minima materiálu a reciprocity. Příručky správné praxe: Rozměrové a geometrické specifikace produktů (GPS)* [Online]. 2015 [cit. 2023-05-8]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/files/PRTN%202011/PSP4.doc>
8. *Metodika provozního měření: Metodika měření číselníkovými a páčkovými úchylkoměry* [Online]. Praha: Česká metrologická společnost, z. s., říjen 2018, 18 [cit. 2023-05-8]. Dostupné z: https://www.spolky-csvts.cz/cms/sites/default/files/mpm_1120418_metodika_mereni_ciselnikovymi_a_packovymi_uchylkomery_0.pdf
9. *Automotonaradie.sk* [Online]. AMNproTrade s.r.o., © 2023 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.automotonaradie.sk/data/imgauto/2/0/magneticky-stojan-stativ-uchylkomer-quatros-qs15511-fotka-4.jpg>
10. *Shop.mitutoyo.cz* [Online]. [cit. 2023-05-8]. Dostupné z: https://shop.mitutoyo.cz/media/mitutoyoData/IM/bigweb/513-405-10_z_jpg.png

11. FOJTEK, Oldřich, Lenka POMYKALOVÁ a Dominik BUDÍNSKÝ. Kontrola tvaru a polohy: Úchyly tvaru. In: *Elektronická učebnice – ELUC* [online]. 2015 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1099>.
12. *eshop.mbcCalibri.cz* [Online]. 2023 [Datum citování]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/eshop.mbcCalibri.cz/user/shop/big/2244_pasamet-r-s-uchylkomerem-mitutoyo-510-122.png?6131f815
13. *Shop.mitutoyo.cz* [Online]. [Datum citování]. Dostupné z: http://shop.mitutoyo.cz/media/mitutoyoData/IM/bigweb/211_601_d_jpg.png
14. *Shop.mitutoyo.cz* [Online]. [Datum citování]. Dostupné z: http://shop.mitutoyo.cz/media/mitutoyoData/IM/bigweb/211-60_d_eps.png
15. *Souřadnicové měřicí stroje* [Online]. 72 [cit. 2023-05-8]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522>
16. *brtservis.cz* [Online]. BRT servis s.r.o., © 2023 [Datum citování]. Dostupné z: <http://brtservis.cz/wp-content/uploads/2022/02/LH-1512-2-1024x911.jpg>
17. HUMIENNY, Zbigniew a Marcin BERTA. Using animations to support the understanding of geometrical tolerancing concepts. *Tm - Technisches Messen*. 2015, **82**(9), 422 - 431. Dostupné z: doi:10.1515
18. HUMIENNY, Zbigniew a Marcin BERTA. A digital application for geometrical tolerancing concepts understanding. *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 2015, **27**(12), 264 - 269.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

| | |
|--------|---|
| ° | úhlový stupeň |
| ∅ | průměr |
| S∅ | sférický průměr |
| ČSN EN | evropská norma převzatá do národního systému norem ČR |
| ISO | mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization) |
| GPS | geometrické tolerance (geometrical product specifications) |
| 2D | dvourozměrný (2-dimension) |
| 3D | trojrozměrný (3-dimension) |
| TED | teoreticky exaktní rozměr (theoretically exact dimension) |
| MMR | požadavek maxima materiálu (maximum material requirement) |
| LMR | požadavek minima materiálu (least material requirement) |
| RPR | požadavek reciprocity (reciprocity requirement) |
| MMS | mez maxima materiálu (maximum material size) |
| LMS | mez minima materiálu (least material size) |
| NC | numerické řízení (numerical control) |

8 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 3-1 Značení základen (5) | 13 |
| Obr. 3-2 Schéma indikátoru GPS; a) indikátor tolerance; b) indikátor roviny a prvku; c) přilehlé indikace (1) | 14 |
| Obr. 3-3 Umístění indikátorů GPS a jejich odkazové čáry ve 2D (vlevo) a 3D (vpravo) (1) | 14 |
| Obr. 3-4 Skládané indikace tolerance vztahující se k jednomu prvku (1) | 15 |
| Obr. 3-5 Indikace válcovitosti ve 3D a její toleranční pole (1) | 15 |
| Obr. 3-6 Indikátor tolerance rovinnosti a příslušné toleranční pole (1) | 16 |
| Obr. 3-7 Indikátor kruhovitosti na kužele se směrovým prvkem; a) kružnice kolmé k základně C (1) | 16 |
| Obr. 3-8 Indikátor válcovitosti a příslušné toleranční pole (1) | 17 |
| Obr. 3-9 Indikátor kolmosti se základnou A a příslušné toleranční pole (1) | 18 |
| Obr. 3-10 Indikace rovnoběžnosti os děr a příslušné toleranční pole (1) | 18 |
| Obr. 3-11 Indikace tolerance sklonu osy díry a příslušné toleranční pole (1) | 19 |
| Obr. 3-12 Indikace souměrnosti a příslušné toleranční pole (1) | 20 |
| Obr. 3-13 Indikace sousostí (1) | 20 |
| Obr. 3-14 Indikace tolerance polohy s třemi základnami a příslušným tolerančním polem (1) | 21 |
| Obr. 3-15 Indikace čelního házení (vlevo) a obvodového házení (vpravo) (1) | 22 |
| Obr. 3-16 Indikace celkového obvodového házení s příslušným tolerančním polem (1) .. | 22 |
| Obr. 3-17 Indikátory průsečné roviny (1) | 23 |
| Obr. 3-18 Příklad použití průsečné roviny (1) | 23 |
| Obr. 3-19 Indikátory směrového prvku (1) | 23 |
| Obr. 3-20 Příklad použití směrového prvku (1) | 23 |
| Obr. 3-21 Indikátory roviny orientace (1) | 24 |
| Obr. 3-22 Příklad použití orientační roviny (1) | 24 |
| Obr. 3-23 Indikátor souborné roviny (1) | 24 |
| Obr. 3-24 Příklad použití souborné roviny (1) | 24 |

| | |
|--|----|
| Obr. 3-25 Číselníkový úchylkoměr ve stojanu (vlevo) (9) a páčkový úchylkoměr (vpravo) (10) | 27 |
| Obr. 3-26 Pasametr s úchylkoměrem (12) | 27 |
| Obr. 3-27 Kruhoměr (vlevo) (13) a jeho schéma (vpravo) (14)..... | 28 |
| Obr. 3-28 Souřadnicový měřicí stroj (16) | 28 |
| Obr. 4-1 Animace č. 1 – rozdílly tolerančních polí přímosti..... | 31 |
| Obr. 4-2 Animace č. 2 – principy přímosti a kruhovitosti | 31 |
| Obr. 4-3 Animace č. 2 – vyhodnocování válcovitosti | 32 |
| Obr. 4-4 Animace č. 3 – kolmost roviny na rovinu | 32 |
| Obr. 4-5 Animace č. 4 – indikátory průsečíku rovin a jejich vliv na dráhu měření | 33 |
| Obr. 4-6 Animace č. 4 – schéma měřeného povrchu v příslušné rovině..... | 33 |
| Obr. 4-7 Animace č. 5 – srovnání tolerance polohy a mezních úchylek os děr | 34 |
| Obr. 4-8 Graf – Vyhodnocení otázky 4..... | 35 |
| Obr. 4-9 Graf – Vyhodnocení otázky 5..... | 35 |

9 SEZNAM TABULEK

10 SEZNAM PŘÍLOH

1. Edukacni_animace.zip
2. Vyhodnoceni_dotazniku.pdf