

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Konstruování strojů a technických zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tvorba výrobního výkresu na základě norem ISO GPS

Autor: Karolína TŮMOVÁ
Vedoucí práce: Ing. Ivana MAZÍNOVÁ, Ph.D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Karolína TŮMOVÁ**
Osobní číslo: **S19B0506P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Konstruování strojů a technických zařízení**
Téma práce: **Tvorba výrobního výkresu na základě norem ISO GPS**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Provedte rešerši problematiky tvorby výrobního výkresu na základě norem ISO GPS (Geometrická specifikace produktu). Problematiku vysvětlete na konkrétních příkladech.

Osnova práce

1. *Uvedení do problematiky*
2. *Filozofie GPS*
3. *Základní rozdělení ISO GPS standardů*
4. *Příklady použití norem ISO GPS při tvorbě výrobního výkresu*
5. *Shrnutí a závěr*

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Vybrané normy ČSN ISO EN GPS (Geometrická specifikace produktu)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2021

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé bakalářské práce paní Ing. Ivaně Mazínové, Ph.D. za odborné vedení mé práce a podporu při její tvorbě. Děkuji také panu Ing. Josefu Jagošovi za možnost konzultací a osobních setkání, za cenné rady a věcné připomínky k tomuto tématu. Mé poděkování patří také panu Janu Raddovi a všem respondentům, kteří mi věnovali svůj čas a dovolili nahlédnout do jejich zkušeností.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a všem přátelům, kteří mě při vytváření této práce podpořili, a bez jejichž pomoci by nebylo možné práci dokončit.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Tůmová	Jméno Karolína	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Mazínová, Ph.D.	Jméno Ivana	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Tvorba výrobního výkresu na základě norem ISO GPS		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	62	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce se zabývá problematikou geometrické specifikace produktu. Cílem práce je provedení rešerše nejzákladnějších a nejpotřebnějších norem zabývajících se správným předepisováním rozměrů a tolerancí ve výrobním výkresu. Na důležitost znalosti norem poukazuje praktická část bakalářské práce.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	výrobní výkres, soubor norem ISO GPS, funkčnost dílu, smontovatelnost, správnost specifikování rozměrů

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Tůmová		Name Karolína	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Mazínová, Ph.D.		Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Creation of a production drawing based on ISO GPS standards			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	62	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis deals with the problem of geometrical product specifications. The thesis aims to research the most basic and most necessary standards dealing with the correct specification of dimensions and tolerances in a product drawing. The practical part of the bachelor thesis points out the importance of the knowledge of standards.
KEY WORDS	production drawing, set of ISO GPS standards, the functionality of the part, assemblability, correctness of dimension specification

Obsah

Zadání BP	2
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod.....	13
1.1 Historie	13
1.2 Cíl bakalářské práce.....	14
2 Filosofie ISO GPS.....	14
2.1 Principy.....	15
2.2 Pravidla pro indikaci výchozích operátorů specifikací.....	19
2.3 Altered default („mimo specifikaci“)	19
3 Lineární rozměry.....	20
3.1 Místní (lokální) rozměr.....	21
3.2 Globální lineární rozměry.....	22
3.3 Vypočtené rozměry.....	23
3.4 Uspořádaná rozměrová řada	24
3.5 Požadavek obálky	25
3.6 Další pravidla značení tolerovaných rozměrů	26
4 Úhlové rozměry	28
4.1 Místní úhlový rozměr	30
4.2 Globální úhlový rozměr.....	30
5 Rozměry jiné než lineární a úhlové rozměry	31
5.1 Vybrané druhy rozměrů a jejich jednoznačnost	31
6 Geometrické tolerance	33
6.1 Základní pojmy.....	33
6.2 Základna	36
6.3 Rozdělení tolerancí	38
6.3.1 Geometrická tolerance tvaru	38
6.3.2 Geometrická tolerance orientace.....	41
6.3.3 Geometrická tolerance umístění.....	43
6.4 Vazby mezi rozměrovými a geometrickými tolerancemi.....	46
6.4.1 Podmínka maxima materiálu M	46
6.4.2 Podmínka minima materiálu L	46
6.4.3 Podmínka reciprocity R.....	46

6.4.4	Podmínka posunutého tolerančního pole P	47
7	Praktická část	48
8	Závěr.....	51
	Seznam použitých zdrojů	52
	PŘÍLOHA č. 1	i
	PŘÍLOHA č. 2	iii
	PŘÍLOHA č. 3	iv
	PŘÍLOHA č. 4	vi
	PŘÍLOHA č. 5	viii

Přehled použitých zkratk a symbolů

AMSE	American Society of Mechanical Engineers
BSI	British Standards Institution
ČSN	Česká technická norma
GD&T	Geometrické kótování a tolerování produktu
GPS	Geometrická specifikace produktu
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
SIS	Švédský institut pro standardy
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FST	Fakulta strojní
KKS	Katedra konstruování strojů
LLS	Dolní mezní rozměr
TNK	Technická normalizační komise
ULS	Horní mezní rozměr
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

Seznam obrázků

Obr. 1 – Členové ISO/TC 213 [2].....	15
Obr. 2 – Specifikace prvků [8].....	16
Obr. 3 – Příklady všeobecných norem [11].....	18
Obr. 4 – Zóna nejistoty měření [12].....	18
Obr. 5 – Operátor záměnné GPS specifikace [7].....	19
Obr. 6 – Popis místních lineárních charakteristik [8].....	22
Obr. 7 – Popis přímých globálních lineárních rozměrů [8].....	23
Obr. 8 – Výpočet průměru obvodu [8].....	23
Obr. 9 – Výpočet průměru z plochy [8].....	24
Obr. 10 – Výpočet průměru z objemu [8].....	24
Obr. 11 – Uspořádaná rozměrová řada na základě rozměru mezi dvěma body [8].....	25
Obr. 12 – Požadavek obálky [8].....	26
Obr. 13 – Kompletní tolerování prvku [8].....	26
Obr. 14 – Jednotné tolerování více prvků [8].....	27
Obr. 15 – Specifikace pevné a libovolné omezené části prvku [8].....	27
Obr. 16 – Modifikátor ALS společně s rovinou průsečíku a směrovým prvkem [8].....	27
Obr. 17 – Umístění průřezu s modifikátorem SCS [8].....	28
Obr. 18 – Příklady úhlových rozměrů [13].....	28
Obr. 19 – Výchozí specifikátor úhlového rozměru [13].....	29
Obr. 20 – Znázornění lineárního rozměru mezi dvěma integrálními prvky [14].....	31
Obr. 21 – Znázornění lineárního rozměru mezi odvozeným a integrálním prvkem [14].....	32
Obr. 22 – Znázornění lineární vzdálenosti ve dvou směrech [14].....	32
Obr. 23 – Znázornění rozměru poloměru [14].....	32
Obr. 24 – Znázornění úhlové vzdálenosti [14].....	33
Obr. 25 – Příklad tolerančního rámečku [16].....	34
Obr. 26 – Teoreticky přesný rozměr pro polohu osy díry [15].....	34
Obr. 27 – Příklad použití průsečné roviny [15].....	35
Obr. 28 – Příklad použití orientační roviny [15].....	35
Obr. 29 – Příklad použití směrového prvku [15].....	36
Obr. 30 – Příklad použití souborné roviny [15].....	36
Obr. 31 – Příklady určení základen [17].....	37
Obr. 32 – Zápis základen [18].....	37
Obr. 33 – Předepisování dílčích základen [18].....	37
Obr. 34 – Toleranční pole a definice přímosti [15].....	39

Obr. 35 – Toleranční pole a definice rovinnosti [15]	39
Obr. 36 – Toleranční pole a definice kruhovitosti [15]	39
Obr. 37 – Toleranční pole a definice válcovitosti [15]	40
Obr. 38 – Toleranční pole a definice profilu čáry nevztahující se k základně [15]	40
Obr. 39 – Toleranční pole a definice profilu plochy nevztahující se k základně [15]	40
Obr. 40 – Toleranční pole a definice rovinnosti [15]	41
Obr. 41 – Toleranční pole a definice kolmosti [15]	42
Obr. 42 – Toleranční pole a definice sklonu [15]	42
Obr. 43 – Toleranční pole a definice polohy [15]	43
Obr. 44 – Toleranční pole a definice soustřednosti bodu [15]	44
Obr. 45 – Toleranční pole a definice souososti osy [15]	44
Obr. 46 – Toleranční pole a definice symetrie [15]	44
Obr. 47 – Toleranční pole a definice obvodového házení v radiálním a axiálním směru [15]	45
Obr. 48 – Toleranční pole a definice celkového házení v radiálním a axiálním směru [15] ...	45
Obr. 49 – Zápis podmínky maxima materiálu [19]	46
Obr. 50 – Zápis podmínky reciprocity [19]	47
Obr. 51 – Příklad podmínky posunutí pole [15]	47
Obr. 52 – 3D pohled řešené sestavy [vlastní zdroj]	48
Obr. 53 – Určení základen na destičce [vlastní zdroj]	49

Seznam tabulek

Tab. 1 – ČSN EN ISO 1: Matrix model [6]	16
Tab. 2 – Přehled modifikátorů specifikace lineárního rozměru [8]	20
Tab. 3 – Doplnkové modifikátory specifikace [8]	21
Tab. 4 – Přehled modifikátorů pro úhlové rozměry [13]	29
Tab. 5 – Rozdělení a značení geometrických tolerancí [15]	38

1 Úvod

V dnešní době se vyskytuje celá řada technicky podobných strojních i nestrojních součástí, které jsou vzájemně zaměnitelné. Pro konkrétní příklad lze zjednodušeně uvést např. víko, které musí souhlasit tvarem, aby dobře dosedlo na protikus a dalo se přišroubovat k dosedací ploše. Zde musí zejména souhlasit poloha a velikost děr, aby si víko přišroubováním zachovalo správnou funkci. Tolerování se zejména používá u sériové a velkosériové produkci. Méně se používá u malosériové, či jednorázové aplikace, kde lze využít poznámky ve výkresové dokumentaci, např. „Vrtáno při montáži“. Zde ovšem nelze očekávat vzájemnou zaměnitelnost (vyměnitelnost) dílů.

Největším cílem všech firem je výroba produktů, které splňují požadavky zákazníka při co nejmenších nákladech. Nutno podotknout, že žádný rozměr jakékoli součásti nelze úplně přesně vyrobit. Proto musíme vyrábět s takovou tolerancí, aby byl produkt vyrobitelný, smontovatelný a hlavně funkční, tj. aby plnil veškeré požadavky, pro které byl vyroben. Čím více bude tolerance menší (neboli výrobek přesnější), tím bude dražší jeho výroba. Volba tolerance je tak téměř vždy ovlivněná funkcí, ale i cenou tak, aby byla ekonomicky přijatelná. Přesnost součásti se následně kontroluje několika různými metodami. Výsledky kontroly by měly být přijatelné, popř. se na jejich základě dále zavádějí opatření.

Bakalářská práce se zabývá tvorbou výrobních výkresů na základě norem ISO GPS (vyvinutá geometrická specifikace a ověřování výrobku podle mezinárodních norem). V práci se vyskytuje nejprve analýza normy ČSN EN ISO 8015, která udává přehled zásad a pravidel pro předepisování rozměrových a geometrických specifikací produktu (GPS). Následně je zde popsána norma ČSN EN ISO 14405, která se dělí na 3 části (ČSN EN ISO 14405-1, ČSN EN ISO 14405-2, ČSN EN ISO 14405-3) a zjednodušeně lze formulovat, že pojednává o lineárních, úhlových a jiných než lineárních a úhlových rozměrech. Dále se práce zabývá normami: ČSN EN ISO 5459 (pravidla základů a systémů základů pro definice geometrických tolerancí), ČSN EN ISO 1101 (specifikace geometrické tolerance tvaru, orientace, umístění a házení). Na závěr bakalářské práce je popsána praktická část, ve které byl ověřen výrobek optickým přístrojem dle tří různých výkresů.

1.1 Historie [1]

Na konci 30. let ve Skotsku představil Stanley Parker koncept geometrických a rozměrových kót a tolerancí. Tato metoda popisování technického produktu však nebyla používána do konce druhé světové války, neboť se do té doby drtivá většina produktů vyráběla interně. To znamená, že cílový výrobek nezávisel na komponentech z ostatních firem.

Konstruktor prodiskutoval s výrobcem (slévárenský mistr, strojník atd.), jaké prvky musí být soustředěny do tzv. středových linií. Pomocí těchto linií se na technickém výkrese vyhledávali prvky, jako jsou díry a drážky. Prvky byly vzhledem k této linii soustředné nebo symetrické.

Během druhé světové války ale najednou začali být firmy závislé na ostatních dodavatelích kvůli vyráběnému množství a nedostatku času. Noví výrobci museli tak dokládat i technickou dokumentaci. Středové linie ale neplnili funkčnost, jelikož podle nich prvky nebyly úplně na správném místě a díl byl tak nesestavitelný. Tento problém výrazně zlepšilo navrhování pomocí geometrického kótování a dimenzování rozměrů. To poskytuje návrháři jasně, stručně a konzistentní pokyny ohledně toho, co je požadováno, a eliminuje nejistoty.

1.2 Cíl bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je subjektivní soupis (rešerše) nejdůležitějších bodů problematiky správné tvorby technických výkresů z hlediska ISO GPS standardů. To znamená, jak správně předepisovat lineární, úhlové a geometrické kótování a tolerování produktu (GD&T) ve výkresové dokumentaci, aby mohl následně plnit svou funkci. Textura povrchu nebude v rešerši zcela uvažována z důvodu probíhající revize standardu ČSN EN ISO 1302, který bude velmi pravděpodobně nahrazen standardem ČSN EN ISO 21920-1, 2 a 3). Revizí také prochází standard ČSN EN ISO 5459 – základny a systém základen. Z tohoto důvodu budou uvedeny v rešerši pouze nejdůležitější fakta.

Důležité je ukázat a zdůraznit odlišnosti ve způsobu tolerování za pomoci rozměrové či geometrické tolerance. Této problematice se věnuje praktická část práce.

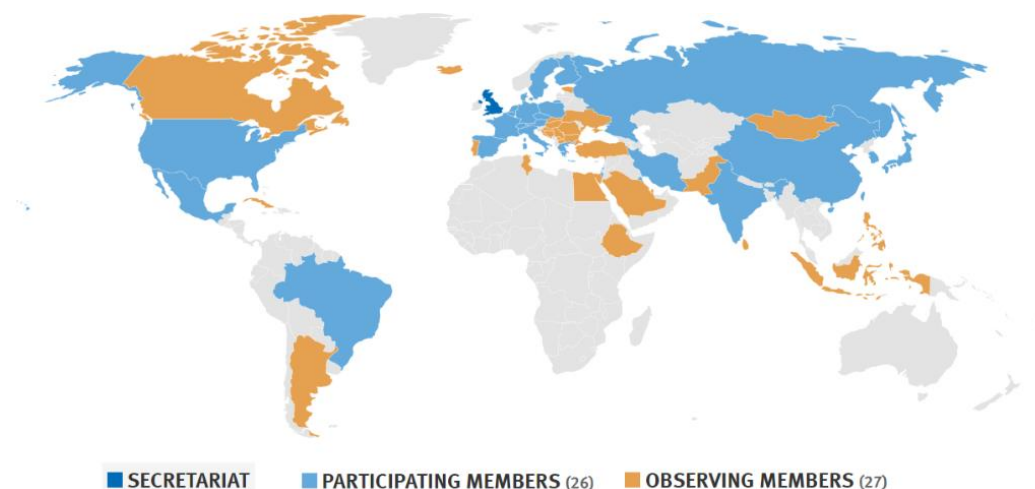
2 Filosofie ISO GPS

Důvodem zavedení ISO GPS neboli pravidel pro tvorbu technické dokumentace bylo jednoznačné společné chápání výkresu daného produktu (pro specifikaci funkčních ploch, výrobu a ověřování) v jedné organizaci i mimo ni – správné jednání s dodavateli a zákazníky (pro náklady, reklamace). Výsledkem je ekonomický přínos tím, že výrobek je dimenzován tak, aby splňoval požadavky zákazníka. Pokud by došlo k neshodě ověřených výsledků na požadavcích, které jsou součástí technické dokumentace, následná oprava produktu by byla velice nákladná. Technická dokumentace má význam závazně právního dokumentu (smlouvy).

Geometrická specifikace produktu pod zkratkou ISO GPS (anglicky: ISO – International Organization for Standardization, GPS – Geometrical Product Specifications) lze chápat jako soubor mezinárodních norem, které určují základní pojmy a platná pravidla pro tvorbu technických výkresů, zpráv a výkladů. Dále definuje rozměrovou, úhlovou a geometrickou specifikaci dílu. ISO GPS zároveň řeší i texturu povrchu, možnosti ověření rozměru a jejich následné vyhodnocení s ohledem na požadavky. Díky aplikaci ISO GPS by mělo dojít k jednoznačnosti a sjednocení dokumentace daných výrobků.

Pod geometrickými požadavky na výrobky a jejich verifikací (ISO GPS) se rozumí normy popisu obrobků (výrobků) s tím důsledkem, že obrobky (výrobky) jako jednotlivé díly a stavební skupiny podsestav strojů mohou být podle pevných předpisů vyrobeny kdekoliv a dále sestaveny nezávisle na tom, kde byly vyrobeny a přezkoušeny.

Vývojem ISO GPS norem se zabývá technická komise se sekretariátem v Anglii ISO/TC 213 – *Dimensional and geometrical product specifications and verification*, česky Rozměrové a geometrické specifikace a ověření produktu [2]. Sekretariát je pod označením BSI – British Standards Institution. Dále se technická komise ISO/TC 10 – *Technical product documentation* (Technická dokumentace výrobku) zabývá normalizací a koordinací technické dokumentace produktu a podílí se tak také na vývoji některých ISO GPS standardů. Tato komise má sekretariát ve Švédsku, SIS – Swedish Institute for Standards [3]. Pro normy ČSN GPS o geometrickém požadavku na výrobku byla zřízená *Technická normalizační komise* (TNK 7) s celostátní působností [4]. Přehled členských států využívajících GPS viz Obr. 1.



Obr. 1 – Členové ISO/TC 213 [2]

2.1 Principy [5],[7]

Druhé vydání normy ČSN EN ISO 8015:2012 – *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Základy – Pojmy, principy a pravidla* definuje základní principy a zásady pro stanovení rozměrových a geometrických specifikací a jejich ověření. Prvním principem je **invokační princip**. Ten hovoří o tom, že pokud se ve výkresové dokumentaci vyskytuje část systému ISO GPS (např. značka specifikace, či další znak systému ISO GPS), automaticky se tím ISO GPS vztahuje pro celou specifikaci, není-li uvedeno v dokumentaci jinak (např. odkaz na příslušný dokument – národní, regionální či podnikové standardy). Samotné ISO GPS normy nemusí být na výkrese uvedeny, tedy ani norma ČSN EN ISO 8015:2012.

Při tvorbě výkresové dokumentace z 3D modelu umožňují dnešní CAD systémy volbu systému (ISO, ASME atd.). Vývojový pracovník může tedy vyvolat celý systém ISO GPS již při tvorbě výkresové dokumentace, aniž by si to uvědomil.

Druhým principem je **princip standartní hierarchie GPS**. To znamená, že systém ISO GPS je definován v hierarchii norem a zachovávají se v níže uvedeném pořadí. Pravidla uvedená ve vyšší úrovni platí ve všech případech, pokud standardy nižší úrovně nenařizují jiná pravidla. Normy ISO GPS už lze rozdělit do tří typů:

- *Základní GPS normy* – stanovují základní principy pro dimenzování a tolerování součástí;
- *Všeobecné GPS normy* – pravidla pro zapisování požadavků do výkresové dokumentace, geometrické tolerance;
- *Doplňkové GPS normy* – konkrétní volba GPS pro např. sváření, odlévání, obrábění.

Dle normy ČSN EN ISO 8015:2012 jsou ale zatím stále čtyři úrovně ISO GPS norem. Jedná se základní, globální, všeobecné a doplňkové. Novější norma ČSN EN ISO 14638:2021 už ale obsahuje výše tři uvedené [6]. Lze tedy předpokládat, že další aktualizací bude z ČSN EN ISO 8015 globální úroveň norem vymazána.

Maticový model (neboli Matrix model) je definován normou ČSN EN ISO 14638:2021 – *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Maticový model*. Je složen ze základních, všeobecných a doplňkových norem a tvoří sloučené řetězce norem. Normy se navzájem ovlivňují, proto je nezbytně nutná znalost dalších norem daného řetězce. Jedině tak dojde ke správnému porozumění a použití příslušné normy.

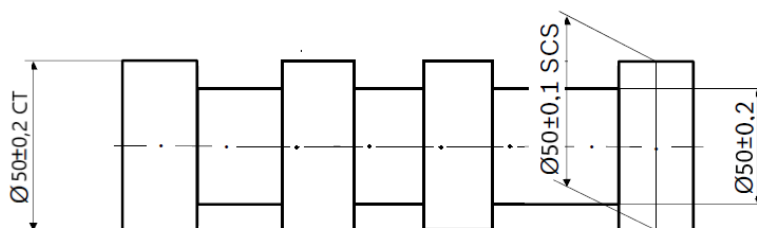
Pro příklad matrix modelu lze zobrazit Tab. 1, kde je standard ČSN EN ISO 1:2022 definován podle ČSN EN ISO 8015:2012 jako globální norma, ale v ČSN EN ISO 14638:2021 je definován jako základní norma [6].

Tab. 1 – ČSN EN ISO 1: Matrix model [6]

	Články řetězu						
	A	B	C	D	E	F	G
	Symboly a označení	Požadavky na funkci	Vlastnosti funkce	Shoda a neshoda	Měření	Měřicí zařízení	Kalibrace
Rozměr	*	*	*	*	*	*	*
Vzdálenost	*	*	*	*	*	*	*
Tvar	*	*	*	*	*	*	*
Orientace	*	*	*	*	*	*	*
Umístění	*	*	*	*	*	*	*
Házení	*	*	*	*	*	*	*
Textura povrchu profilu	*	*	*	*	*	*	*
Textura povrchu plochy	*	*	*	*	*	*	*
Nedokonalost povrchu	*	*	*	*	*	*	*

Princip konečného výkresu uvádí, že všechny specifikace musí být ve výkrese či souvisejících dokumentech vyznačeny dle symboliky GPS. Nelze tedy poté vymáhat dodatečné požadavky, které nejsou zahrnuty v technické dokumentaci. Důležitou věcí je, že dnes se nedíváme na výkres jen ve formě 2D, ale už i 3D. Proto je nutné přikládat k dokumentaci i 3D model. Další podmínkou je, že výrobek musí být vždy ověřován ve volném stavu. Jestliže tomu tak není, musí být přípravek pro měření uveden v technické dokumentaci.

Princip prvku říká, že výrobek je souhrn několika prvků, které jsou omezeny přirozenými hranicemi. Ty jsou ve většině případů hrany a vztah mezi těmito prvky je dán určením na výkrese. Každá specifikace se vztahuje pouze na jeden celý prvek nebo jeden vztah mezi prvky. Specifikaci platnou pouze pro jeden prvek lze změnit pomocí např. SCS (anglicky *Specific fixed cross section*), CT (anglicky *Common toleranced feature of size*), CZ (anglicky *Combined zone*) a UF (anglicky *United feature of size*). Pro názornost viz Obr. 2., kde CT znamená tolerování více prvků válcového rozměru a SCS je specifický kruhový průřez.



Obr. 2 – Specifikace prvků [8]

Principem nezávislosti se myslí to, že každý prvek a specifikace ISO GPS mají být řešeny samostatně pro svou funkci (kótování i ověřování). Tudíž každá specifikace na určitou funkci má být hodnocena nezávisle na ostatních specifikacích.

Pokud se za desetinnou čárkou vyskytuje výčet několika nul, do údajů na výkres se píše čísla zkráceně. O tom hovoří šestý tzv. **desetinný princip**. Poselství desetinného principu je v tom, že pokud je na výkrese uvedeno 10, tak je to opravdu 10 a ne 9,95. Zde je nutno poukázat i na nešvar zaokrouhlování na celá čísla, který způsobuje rozdíly mezi 2D a 3D specifikací, tedy mezi výkresem a modelem. Doposud platí, že 2D specifikace je nadřazena 3D specifikaci.

Pro příklad: $\pm 0,1 = \pm 0,10000000$;

$$10 = 10,00000000.$$

Sedmým principem je **výchozí princip**. Úplný operátor specifikace může být určen použitím základních specifikací ISO GPS. Základní specifikace ISO GPS indikuje, že požadavek je založen na výchozím operátoru specifikace. Pro představu lze ukázat dimenzionální specifikaci $\varnothing 10 H7$. Výchozím operátorem je zde místní rozměr (dva body) dle ČSN EN ISO 14405-1:2017 [8]. To není přímo uvedeno ve výkresu. Výchozí ISO GPS specifikaci v dokumentaci lze změnit pomocí jiné GPS specifikace.

Výrobek je zpravidla ověřován v certifikovaných měřicích laboratořích dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 – *Všeobecné požadavky na způsobilost zkoušení a kalibrace* [9]. **Princip referenční podmínky** vychází a je definován normou ČSN EN ISO 1, kde je mimo jiné uvedeno, že ověřovaný kovový produkt není kontaminovaný a nachází se v prostředí o teplotě 20 °C. Příklady dalších faktorů ovlivňujících výsledek měření (verifikace) jsou vlhkost, osvětlení, prašnost atd. Jakékoliv jiné podmínky, než jsou uvedené v normě ČSN EN ISO 1, musí být uvedeny na výkrese. Standardní teplota pro ověřování plastů je 23 °C, což je uvedeno v normě ČSN EN ISO 291 a musí být tento fakt indikován ve výkrese, viz kapitola – 2.2 *Pravidla pro indikaci výchozích operátorů specifikací* [10].

Princip tuhého obrobku udává, že obrobek (díl, výrobek) je absolutně tuhý, nedeformovatelný a ve volném stavu (podmínku volného stavu je možné označit pomocí \textcircled{F} - anglicky *Free-state condition*). Pokud je skutečnost jiná, uvádí se tento údaj ve výkrese normou ČSN EN ISO 10579-NR (*Dimenzování a tolerování – Netuhé části*). Pokud se jedná o ověření rozměrů ve volném stavu, jeho upnutí nesmí ovlivnit výsledek měření. Pokud se ale měří v přípravku, zavádí se zpravidla i jiné tolerance. Vše, co je na výkresu, musí být ověřitelné.

Princip duality poukazuje na to, že operátor specifikace je nezávislý na jakémkoliv měření a měřicím zařízení. Operátoři specifikací jsou realizováni pomocí ověřovacích operátorů, které jsou nezávislé na samotné GPS specifikaci, ale mají zohlednit (zrcadlit) operátory specifikace GPS. Vhodnost měřicího postupu a měřicího zařízení je třeba vyhodnotit z hlediska specifikace dílu, jednoznačnosti specifikace, nejistoty měření a opakovatelnosti měření.

Princip funkčního ovládní je založen na úplném popsání a kontrole zamýšlené funkce produktu. Jde o simulaci funkce souborem operátorů a na výkrese zobrazena pomocí funkčních operátorů (specifikace dílů je úplná, když všechny popsání funkce dílu jsou popsány a ovládnány specifikacemi GPS). Tento princip se samozřejmě také odvíjí od specifikace GPS. Pokud je funkční požadavek nedostatečně popsán a je k němu přiřazen požadavek specifikace GPS, dochází tak k dvojímu chápání funkce.

Princip všeobecné specifikace platí pro každou charakteristiku jednoho i souboru prvků a pro vztah mezi nimi, u kterých není zavedena jiná GPS specifikace. Není-li uvedeno jinak, vztahují se všeobecné specifikace na charakteristiky všech prvků. Jestliže se na stejnou vlastnost vztahují dvě nebo více obecných specifikací, vyžaduje se soulad

s nejpřípustnější nich (ta, co má větší toleranci). Je-li ale uvedeno více obecných specifikací a tyto specifikace jsou protichůdné, musí být doplněny vysvětlením. Existuje mnoho všeobecných norem, lišících se podle použitých materiálů a technologií výroby, pro příklad viz Obr. 3.

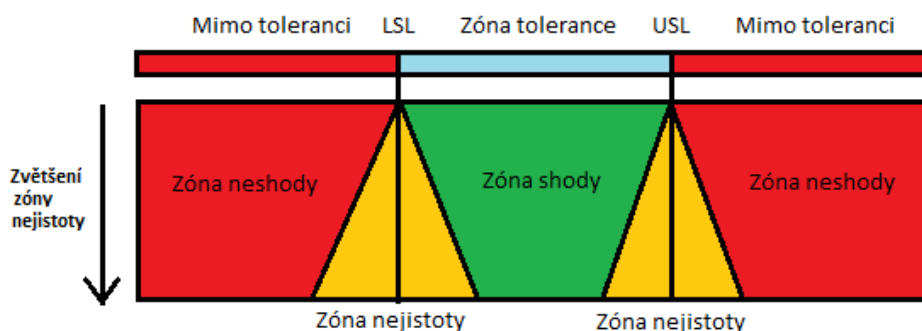
Pro lisované ocelové díly		Pro pryžové díly	
gen. tol. acc. to/Allg.-tol. n.	tol.class/T.-kl.	general tolerances acc. to/Allgemeintoleranzen nach	
DIN 6930-2:2011-10	m	dimensional tol./Masstol.	tol.class/T.-kl.
burr height/Schnittgrathöhe	tol.class/T.-kl.	ISO 3302-1:1996-07	M2
DIN 9830-2:2011-10	f	geometrical tol./Form- u. Lagetol.	tol.class/T.-kl.
		ISO 3302-2:2008-10	N

Obr. 3 – Příklady všeobecných norem [11]

Princip odpovědnosti se vztahuje na odpovědnost konstruktéra a na technika odpovědného za ověřování výrobku. Konstruktor musí znát standardy ISO GPS, funkci výrobku, toleranční hranice z pohledu funkčnosti, výrobitelnost, použitou technologii výroby a požadavky na tuto technologii. Jinými slovy, za technickou dokumentaci vždy odpovídá projektant (konstruktor) a musí tak dobře popsat funkci a správně stanovit operátor specifikace.

Následné ověření poskytuje důkaz o shodě či neshodě se specifikací. Mělo by se volit takové měřidlo, které je vždy přesnější než definovaná tolerance. Technik zodpovědný za ověřování výrobku musí dobře stanovit blízkost operátorů ověřování a operátorů specifikace. Nejistota měření kvantifikuje blízkost ověřovacích operátorů a operátorů specifikace. Pokud není stanoveno jinak, nejistota ověřování je v zodpovědnosti strany, která poskytuje důkaz shody, nebo neshody se specifikací – viz ČSN EN ISO 14253-1:2018, čtvrté vydání [12].

Před dodáním výrobku zákazníkovi se musí produkt verifikovat. Pro měřenou charakteristiku by se měla vyhodnotit nejistota měření. Výrobce by neměl dodat výrobek, který při ověřování vyjde ve žluté zóně nejistoty, protože neví, zda je produkt v toleranci nebo už mimo ni. Měl by následně zvolit přesnější měřidlo. Pro názornost popsané problematiky viz Obr. 4. Směrem dolů se zvyšuje nejistota měření (méně přesná měřidla) a tím se omezuje zóna přijetí i odmítnutí.



Obr. 4 – Zóna nejistoty měření [12]

2.2 Pravidla pro indikaci výchozích operátorů specifikací

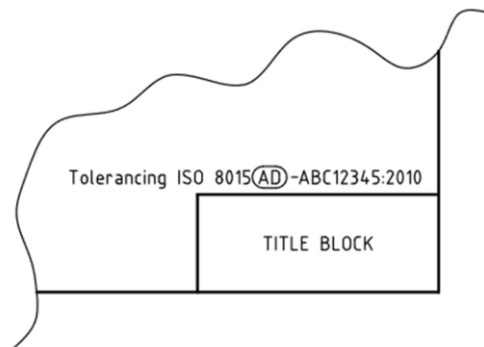
Zdali u obecné výchozí ISO GPS specifikace není uvedeno v technické dokumentaci jinak, platí vždy nejnovější verze normy ISO definující výchozí specifikaci daného operátora, která je k dispozici v době přípravy výkresu. Pokud je požadován odkaz na předchozí verzi normy ISO, musí být jednoznačně uveden. V tomto případě se doporučuje definovat vydání dokumentu, např. ČSN EN ISO 14405-1:2010 (první vydání) vs. 14405-1:2017 (druhé vydání).

2.3 Altered default („mimo specifikaci“)

Zaměněná výchozí GPS specifikace udává, že je povolené definovat výchozí operátory specifikace v samostatných standardech. Toto je zaneseno do výkresu slovem tolerance s normou, symbolem (AD) a dalšími požadovanými informacemi.

Příklad:

Pro ověřování plastů je definována referenční teplota 23 °C. ČSN EN ISO 1 definuje teplotu 20 °C. Změnu z referenční teploty 20 °C na námi požadovanou teplotu 23 °C (definovanou v ČSN EN ISO 291) provedeme následujícím způsobem: Tolerancing ČSN EN ISO 8015 (AD) – ČSN EN ISO 291:2009. Toto značení se umísťuje nad razítko výkresu, jak lze vidět na Obr. 5.



Obr. 5 – Operátor záměnné GPS specifikace [7]

3 Lineární rozměry [8]

První část druhého vydání ČSN EN ISO 14405-1:2017 - *Geometrická specifikace výrobku (GPS) – Tolerování rozměrů – Část 1: Lineární rozměry* je všeobecná norma ISO GPS. Tu připravila technická komise ISO/TC 213 ve spolupráci s ISO/TC 10. I zde platí pravidla již zmiňované normy ČSN EN ISO 8015, viz druhá kapitola – 2. *Filosofie ISO GPS*.

Dle standardu ČSN EN ISO 14405-1:2017 obsahují vyrobené obrobky odchylky od ideálního geometrického tvaru. Skutečná hodnota velikosti rozměrového prvku je závislá na tvaru úchylek a na použitém specifickém typu lineárního rozměru. Typ použitého rozměru závisí na konkrétní funkci zhotoveného obrobku a může být na výkrese indikován pomocí modifikátorů, a to jak pro řízení funkce prvku, tak i pro hodnotu verifikace. Stanovováním vztahu funkce a použití obrobku se ale norma nezabývá, poskytuje jen nástroje k vyjádření konkrétních rozměrů.

Norma ČSN EN ISO 14405-1:2017 zavádí výchozí operátor specifikace pro lineární rozměr (LP). Jedná se o velikost, která je měřená mezi dvěma body. Výchozí specifikaci lze měnit modifikátorem pro konkrétní GPS specifikaci.

Standard zároveň definuje řadu dalších specifických operátorů pro lineární rozměrový prvek (např. válec, kruh, torus, dvě rovnoběžné protilehlé roviny či přímky) a jejich modifikátorů. Ty se dělí na *místní* (rozměr mezi dvěma body, rozměr vymezený koulí, rozměr průřezu a rozměr části), *globální nepřímé a přímé* (rozměr nejmenších čtverců, maximální vepsaný rozměr, minimálně opsaný rozměr, minimax rozměr), *vypočtený* (průměr z obvodu, plochy a objemu) a *uspořádaná rozměrová řada* (maximální, minimální, průměrný a střední rozměr, střední rozsah rozměrů, rozsah rozměrů a směrodatná odchylka rozměrů).







Modifikátory specifikace (Tab. 2) je možno kombinovat s doplňkovými modifikátory. Doplňkové modifikátory specifikace lze ale uvést i samostatně (Tab. 3).

Tab. 2 – Přehled modifikátorů specifikace lineárního rozměru [8]

Modifikátor	Popis	Modifikátor	Popis
(LP)	Rozměr mezi dvěma body	(LV)	Průměr z objemu (vypočtená hodnota)
(LS)	Lokální velikost definovaná koulí	(SX)	Maximální rozměr*
(GG)	Kritérium přidružení nejmenších čtverců	(SN)	Minimální rozměr*
(GX)	Kritérium přidružení maximálního vepsání	(SA)	Průměrný rozměr*
(GN)	Kritérium přidružení minimálního opsání	(SM)	Střední rozměr*
(GC)	Kritérium přidružení minimax	(SD)	Střední rozsah rozměrů*
(CC)	Průměr z obvodu (vypočtená hodnota)	(SR)	Rozsah rozměrů*
(CA)	Průměr z plochy (vypočtená hodnota)	(SQ)	Standardní odchylka rozměrů*

* Uspořádaná rozměrová řada může být použita jako doplněk k části vypočteného rozměru nebo k části globálního rozměru anebo k místnímu rozměru

Tab. 3 – Doplnkové modifikátory specifikace [8]

Popis	Symbol	Příklad
Spojitý rozměrový prvek	UF	UF 3× $\phi 10 \pm 0,1$ (GN)
Požadavek obálky	(E)	10 $\pm 0,1$ (E)
Libovolné označení části rozměr. prvku	/ Délka	$\phi 10 \pm 0,1$ (GG) / 5
Libovolný (příčný) průřez	ACS	$\phi 10 \pm 0,1$ (GX) ACS
Specifický pevný průřez	SCS	10 $\pm 0,1$ (GX) CSC
Libovolná podélná část	ALS	10 $\pm 0,1$ (GX) ALS
Více než jeden prvek	Číslo x	2× 10 $\pm 0,1$ (E)
Společná tolerance rozměrového prvku	CT	2× $\phi 10 \pm 0,1$ (E) CT
Podmínka volného stavu	(F)	$\phi 10 \pm 0,1$ (LP) (SA) (F)
Mezi	↔	$\phi 10 \pm 0,1$ A ↔ B
Průsečík rovin		5 $\pm 0,02$ ALS 
Směr prvku		5 $\pm 0,02$ ALS 
Modifikátor doplňkového označení		10 $\pm 0,1$ 

3.1 Místní (lokální) rozměr

V reálných případech vždy pracujeme s nedokonalými výrobky. Proto daný prvek nelze celkově určit jedním rozměrem, neboť pro něj existuje nekonečně mnoho místních lineárních rozměrů. Všechny popsané typy místních rozměrů jsou znázorněny na Obr. 6.

Rozměr mezi dvěma body

Jedná se o nejpoužívanější místní lineární charakteristiku na získaném extrahovaném prvku. Zpravidla se tento způsob používá vždy, pokud není jiný požadavek uveden v dokumentaci. To proto, že je tento způsob měření lehce, rychle a levně měřitelný např. posuvným měřítkem.

Lokální rozměr definován koulí

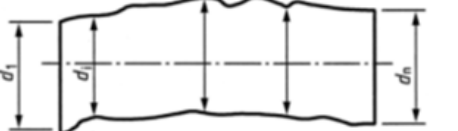

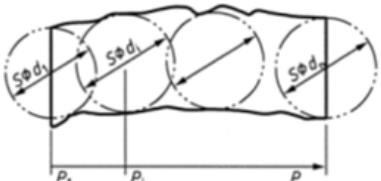
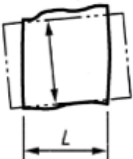
Na stejném extrahovaném prvku (Obr. 6) je možno stanovit velikost i lokálním rozměrem definovaným největší vepsanou koulí. Tento způsob se používá pro vnější i vnitřní rozměry. Např. velikost díry tvaru válce se stanovuje největší vepsanou koulí s průměrem „SØd“ v jednotlivých pozicích značených písmenem P.

Rozměr průřezu

Představuje velikost průřezu obrobku (extrahovaného integrálního prvku). Konečný výsledek rozměru může být vyhodnocován několika způsoby, jako např. přidružením nejmenších čtverců, maximálního vepsaného rozměru, minimálního opsaného rozměru anebo přidružením minimax kritéria. Je ale nutné si uvědomit, že z každé uvedené možnosti dostáváme různé výsledky.

Rozměr části

Jedná se o místní rozměr dané části prvku u produktu, a i zde jsou používány různá kritéria pro vyhodnocení rozměru. Jedna z charakteristik může být velikost prvku z přímého globálního rozměru, např. maximálně vepsaným kritériem.

Dvoubodový rozměr (LP)	Rozměr průřezu A ↔ B
	
Lokální rozměr definován koulí (LS)	Rozměr části ALS, SCS
	

Obr. 6 – Popis místních lineárních charakteristik [8]

3.2 Globální lineární rozměry

Pro daný extrahovaný prvek existuje pouze jeden jedinečný výsledek vyhodnocení podél a okolo tolerovaného rozměrového prvku (přidružený prvek má být ideálním tvarem extrahovaného prvku). Globální lineární rozměry se dělí na přímé a nepřímé.

Nepřímá globální lineární charakteristika se dělí na globální vypočtený rozměr a na uspořádanou rozměrovou řadu (z místní velikosti). Nepřímý globální lineární rozměr může být např. průměr ze souboru rozměrů mezi dvěma body naměřených na extrahovaném válcovém povrchu.

Přímé globální lineární rozměry se dělí na typy viz popsané níže. Typy přímých globálních lineárních rozměrů na zvoleném extrahovaném integrálním prvku jsou uvedeny v Obr. 7.

Rozměr nejmenších čtverců

Výsledkem je minimalizace součtu čtverců odchylek, jež se vyskytují mezi extrahovaným a přidruženým prvkem. Minimalizací součtu čtverců vzniká na extrahovaném prvku plocha (příp. křivka), u které platí rovnost plochy čtverců nad i pod ní.

Maximální vepsaný rozměr


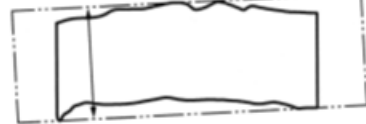


Do extrahovaného prvku je vepsán maximální možný rozměr (prvek). Tento typ rozměru se nejčastěji používá při tolerování vnitřního válcového prvku (díra).

Minimální opsaný rozměr

Jde o přímý globální lineární rozměr přiřazený extrahovanému integrálnímu prvku minimálně opsaným kritériem. Nejčastěji se používá při tolerování vnějšího válcového prvku (hřídel).

Minimax rozměr

Skutečný rozměr extrahovaného prvku je přibližně odhadován také na základě minimax rozměru. Minimax rozměr je označován v některých měřících softwarech jako minimální prvek. Je nazýván i jako Chebyshevův rozměr.

Rozměr nejmenších čtverců (GG)	Minimální opsaný rozměr (GN)
	
Maximální vepsaný rozměr (GX)	Minimax rozměr (GC)
	

Obr. 7 – Popis přímých globálních lineárních rozměrů [8]

3.3 Vypočtené rozměry

Hodnoty vnitřních rozměrů daného prvku se získávají pomocí určitých matematických vzorců a zahrnují i místní a globální charakteristiky.

Průměr válce z obvodu (CC)

Obvod válce se získává z jeho průřezu (viz Obr. 8), který je na kolmý na osu válce. Metoda přiřazení válce k prvku je zajištěna pomocí rozměru nejmenších čtverců. Tato metoda je zároveň označována jako výchozím kritériem. Kdyby bylo použito jiné kritérium, získali by se pravděpodobně jiné hodnoty.

Pomocí extrahovaného obvodu C [mm] je získán průměr d [mm] z rovnice:

$$d = \frac{C}{\pi} .$$

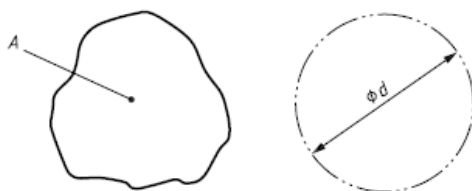


Obr. 8 – Výpočet průměru obvodu [8]

Průměr válce z plochy (CA)

Průměr z plochy (viz Obr. 9) je definován stejným výchozím kritériem pro přiřazení jako u předchozího typu (metoda nejmenších čtverců). Průměr válce je určen pomocí plochy uvnitř výchozí extrahované křivky obvodu válce A [mm²] vztahem:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} .$$

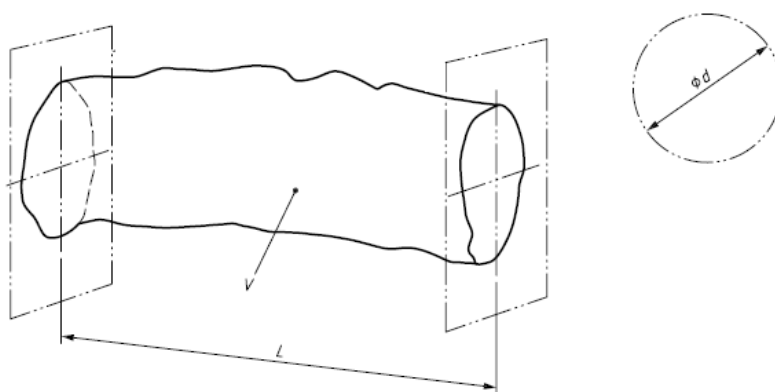


Obr. 9 – Výpočet průměru z plochy [8]

Průměr válce z objemu (CV)

U určení průměru válce z objemu je opět odkazováno na výchozí kritérium přiřazení užitím metody nejmenších čtverců, viz Obr. 10. Průměr z objemu je určen objemem extrahovaného válce V [mm³] a jeho délkou L [mm] dle rovnice:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \times L}}$$

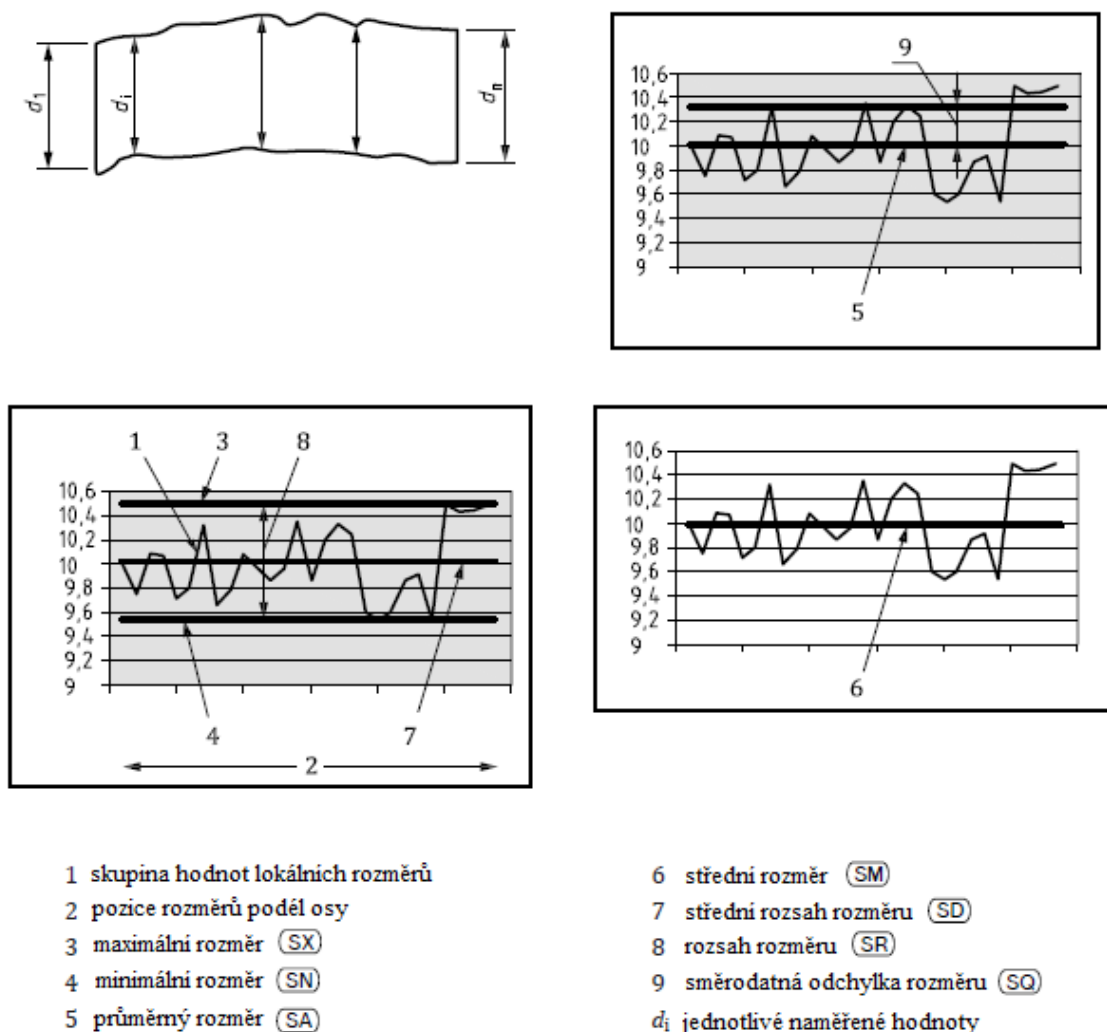


Obr. 10 – Výpočet průměru z objemu [8]

3.4 Uspořádaná rozměrová řada

Tato řada je matematicky definována skupinou zjištěných místních rozměrů prvku v rámci tolerance. Z této skupiny se následně stanovuje konečný rozměr podle následujících metod (pro znázornění viz Obr. 11, kde je předepsaná jmenovitá hodnota 10 mm):

- **Maximální rozměr** – nejvyšší zjištěný rozměr ze sady naměřených hodnot;
- **Minimální rozměr** – nejmenší hodnota ze sady zjištěných hodnot;
- **Průměrný rozměr** – aritmetický průměr hodnot, které byly naměřeny (může být stejný nebo rozdílný jako střední rozměr);
- **Střední rozměr (mediánový rozměr)** – hodnota přesně uprostřed řady změřených hodnot seřazených dle velikosti;
- **Střední rozsah rozměru** – aritmetický průměr maximálního a minimálního rozměru ze sady;
- **Rozsah rozměru** – rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou;
- **Směrodatná odchylka rozměru** – odchylka souboru hodnot získaných lokálních rozměrů v rámci tolerovaného prvku.

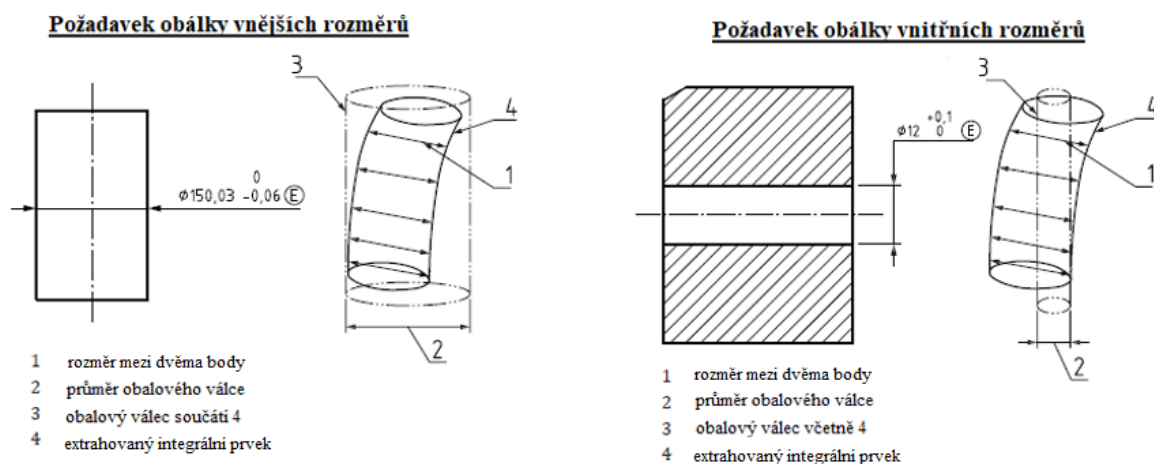


Obr. 11 – Uspořádaná rozměrová řada na základě rozměru mezi dvěma body [8]

3.5 Požadavek obálky

Tento způsob se používá pro definování vnitřních a vnějších rozměrů. Značka požadavku obálky E (anglicky *Envelope requirement*) je zjednodušeným symbolem nahrazující specifikátory, který zajistí polohu rozměrového prvku v určeném rozměru. U vnitřních rozměrů typu díra je požadavek kombinací rozměru mezi dvěma body LP pro horní mez (ULS) a maximálně vepsaného rozměru GX pro dolní mez (LLS). U vnějších rozměrů (typu hřídel) se zápis E nahrazuje kombinací rozměru mezi dvěma body LP s dolní mezí (LLS) a minimálně opsaného rozměru GN pro horní mez (ULS). Symbol E se umísťuje na konec tolerance, viz Obr. 12.

Pokud u LP (rozměr mezi dvěma body) není definován žádný jiný modifikátor z uspořádané rozměrové řady, pak jsou operátory SX (maximální rozměr) a SN (minimální rozměr) výchozím stavem. U vnitřního prvku s požadavkem na obálku je již podmínka LLS (dolní mez) u GX (maximální vepsaný rozměr), proto se maximální rozměr uspořádané řady SX přidá k rozměru mezi dvěma body LP (protože je uplatňován pro horní hranici ULS). U vnějšího prvku se k LP pro dolní mez (LLS) řadí minimální rozměr uspořádané řady SN .



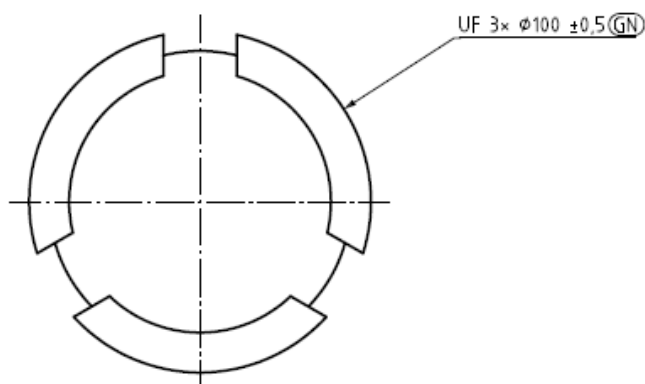
Obr. 12 – Požadavek obálky [8]

3.6 Další pravidla značení tolerovaných rozměrů

Při dimenzování rotační i nerotační součásti se využívají následující způsoby zápisu rozměru:

- jmenovitá hodnota bez uvedení tolerančního pole – v tomto případě je vždy nutno definovat standard pro všeobecné tolerance, podle kterého se všeobecná tolerance stanovuje (např. ČSN EN ISO 2768-1);
- definice předepsané tolerance pomocí maximálních úchylek ($\phi 10 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,02 \end{smallmatrix}$; $15 \pm 0,1$; $15 \begin{smallmatrix} +0,1 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$);
- zapsání horního a dolního limitu rozměru ($\phi 10 \begin{smallmatrix} 0 \\ \phi 9,357 \end{smallmatrix}$);
- využití definice pomocí systému ISO kódů dle ČSN EN ISO 286-1 (např. $\phi 20h6$).

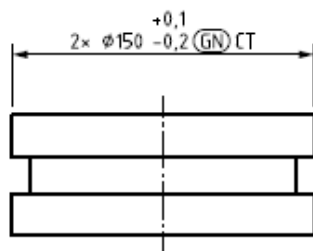
Modifikátor jednotného značení rozměru UF (anglicky *United feature of size*) se používá u těles, které se vyznačují složitějšími prvky na povrchu (dva nebo více samostatných integrálních prvků tvořících jeden rozměrový prvek). Za označení UF se udává jejich počet. Kdyby se tato značka nepoužila, těleso by nebylo kompletně tolerované. Značka \textcircled{GN} udává podmínku minimálně opaného rozměru. Problematika je znázorněna na Obr. 13.



Obr. 13 – Kompletní tolerování prvku [8]

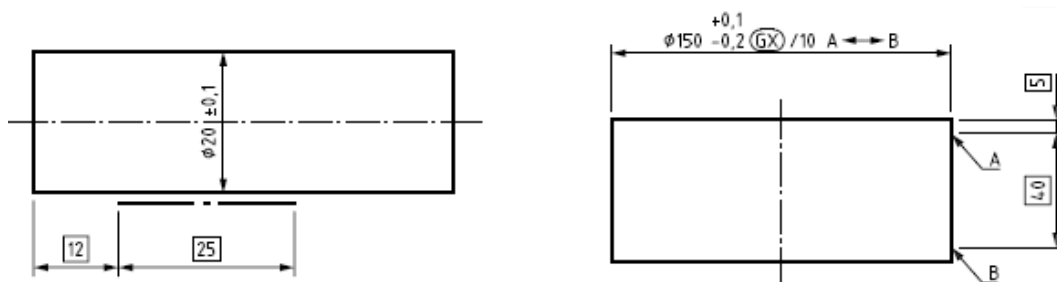
U jednotlivého tolerování více než jednoho prvku se umísťuje modifikátor vícenásobného tolerování na začátek tolerance. Lze ho použít ale jen tam, kde je jednoznačné, k čemu se tolerance vztahuje. Prvky jsou zde posuzovány jednotlivě. Naopak u společného tolerování více než jednoho prvku se používá modifikátor CT (anglicky *Common toleranced feature of size*),

viz Obr. 14. Jedná se o modifikátor značící společnou toleranci pro více stejných, oddělených rozměrových prvků. Společně tedy spolu tvoří jeden prvek.



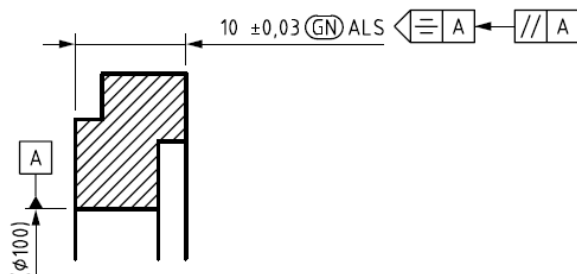
Obr. 14 – Jednotné tolerování více prvků [8]

V případě vymezení určité části prvku na výkresech se používá čerchovaná tlustá čára v požadované délce. Další možností je označení pomocí dvou různých bodů definujících začátek a konec rozměru. Mezi body označených písmeny se vkládá symbol \longleftrightarrow . Pokud se ale jedná o libovolnou část rozměru, vkládá se navíc modifikátor /délka, viz Obr. 15.



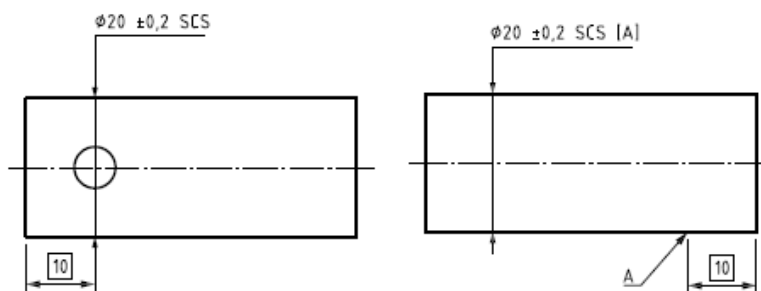
Obr. 15 – Specifikace pevné a libovolné omezené části prvku [8]

Specifikátorem ACS (anglicky *Any cross section*) se zpravidla značí libovolný příčný průřez, který je kolmý na osu součásti. Pomocí ALS (anglicky *Any longitudinal section*) je označována libovolná podélná část součásti, jež musí být specifikována polorovinou. Pokud je touto polorovinou sama osa, nemusí se indikátor průsečné roviny uvádět. Např. na Obr. 16 je rozměrovou charakteristikou místní minimálně opsaný rozměr (GN) v jakémkoliv podélném řezu (ALS), který je definovaný mezi dvěma extrahovanými integrálními čarami ve směru rovnoběžném k základně A. Podélné řezy (ALS) jsou symetrické s osou základny po 360° a jsou měřené ve směrech základny A.



Obr. 16 – Modifikátor ALS společně s rovinou průsečíku a směrovým prvkem [8]

Pro pevný průřez se používá modifikátor SCS (anglicky *Specific fixed cross section*), který má danou lokaci, viz. Obr. 17.



Obr. 17 – Umístění průřezu s modifikátorem SCS [8]

Podmínka volného stavu se symbolem \textcircled{F} na konci tolerance se používá v případě, že je tolerován netuhý výrobek.

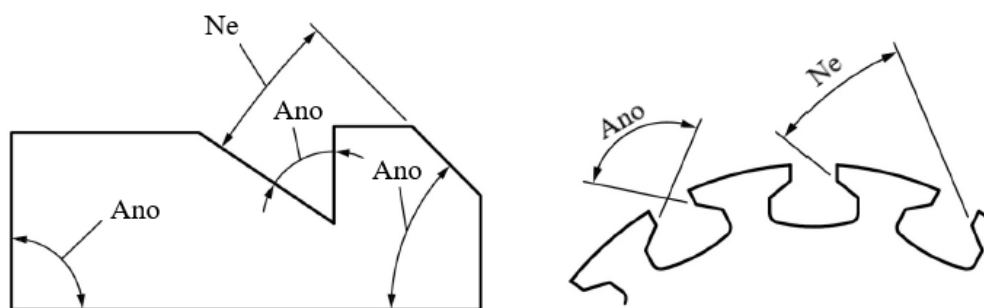
Nebo pokud je třeba dimenzovat součást, která je tepelně zpracována, umístíme doplňkové značení $[10 \pm 0,1 \textcircled{1}] - [10 \pm 0,2 \textcircled{2}]$ k razítku. Značka $\textcircled{1}$ určuje stav před tepelným zpracováním a $\textcircled{2}$ stav po tepelném zpracování.

4 Úhlové rozměry [13]

Charakteristikou prvku je i úhlový rozměr. Pravidla pro specifikaci úhlových rozměrů uvádí norma ČSN EN ISO 14405-3:2022 - *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Tolerování rozměrů – Část 3: Úhlové rozměry*. Pro správnou definici úhlového rozměru je nutno dbát na požadovanou funkci. Funkce výrobku je vždy první věc, na kterou musí konstruktér myslet, aby správně určil veškeré tolerované rozměry, a to nejen úhlové.

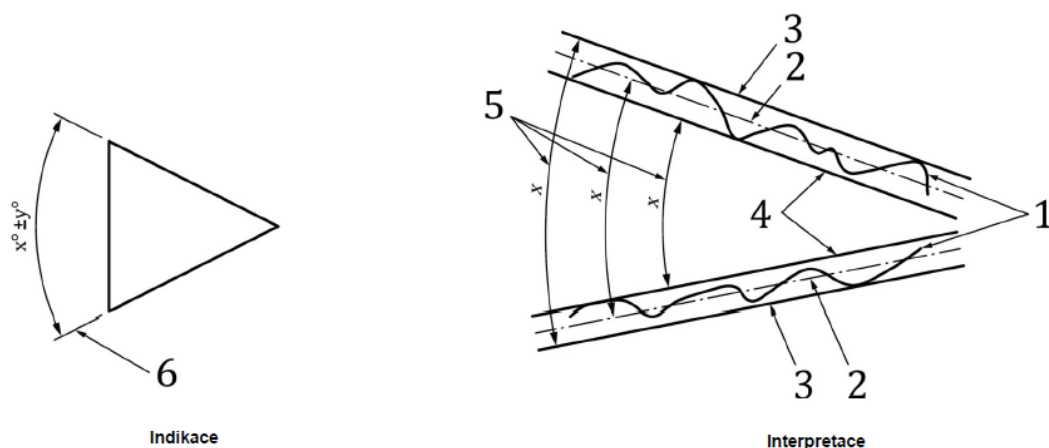
Úhlovým rozměrovým prvkem může být kužel (rotační prvek), komolý kužel, klín (hranolovitý prvek), zkrácený klín, dvě protilehlé přímky tvořící kužel a dvě protilehlé linie, které jsou součástí klínu. Ani pro jeden typ rozměrového prvku není možné použít požadavek obálky. Úhlové rozměry jsou zapisovány pomocí úhlových jednotek s příslušnými tolerancemi ($x^\circ \pm y^\circ$; ULS a LLS; s modifikátory nebo bez), ale nemohou být definovány pro 0° a 180° .

Úhel tvoří zpravidla dvě nerovnoběžné přímky v jedné rovině nebo dvě roviny, které jsou protilehlé a nerovnoběžné. Norma dále blíže specifikuje, jak vypadá úhlový rozměr. Příklady vyhovujících a nevyhovujících určených úhlových rozměrů dle standardu jsou zřejmé na Obr. 18. Pro správné určení úhlové charakteristiky je potřeba splnit podmínku. Ta říká, že normály (směry) plochy materiálu tvořící úhel musejí být protilehlé.



Obr. 18 – Příklady úhlových rozměrů [13]

Výchozím nastavením systému ISO GPS je u úhlového rozměru automaticky vyvolána dvoučárová rozměrová charakteristika (úhel mezi dvěma čarami), viz Obr. 19. Úhel je zpravidla přiřazován na základě požadavku minimax \textcircled{LC} (Chebyshev). Pokud jsou ale použity mezní rozměry (ULS, LLS), není potřeba požadavek \textcircled{LC} zapisovat a tolerance úhlu platí pro celou plochu charakterizující daný úhel.



Legenda

- | | |
|---|--|
| 1 skutečný prvek | 4 přiřazený prvek s kritériem minimax s vnitřním materiálovým omezením |
| 2 přiřazený prvek s kritériem minimax bez materiálového omezení | 5 dvoučárový úhlový rozměr |
| 3 přiřazený prvek s kritériem minimax s vnějším materiálovým omezením | 6 úhlový rozměr |

Obr. 19 – Výchozí specifikátor úhlového rozměru [13]

Výchozí operátor specifikace platí pouze v případě, kdy není definována žádná jiná specifikace pro danou vlastnost. Pro tuto výchozí platnost operátoru specifikace ISO GPS je nutné tento požadavek zapsat do razítka výkresu pomocí odkazu normy ISO 14405 s možnými příslušnými modifikátory (Tab. 4), které konkretizují charakteristiku.

Tab. 4 – Přehled modifikátorů pro úhlové rozměry [13]

Modifikátor	Popis
(LC)	Dvoučárový úhlový rozměr s přiřazovacím kritériem minimax
(LG)	Dvoučárový úhlový rozměr s přiřazovacím kritériem nejmenších čtverců
(GG)	Globální úhlový rozměr s přiřazovacím kritériem nejmenších čtverců
(GC)	Globální úhlový rozměr s přiřazovacím kritériem minimax
(SX)	Maximální úhlový rozměr ^a
(SN)	Minimální úhlový rozměr ^a
(SA)	Průměrný úhlový rozměr ^a
(SM)	Medián úhlový rozměr ^a
(SD)	Střední úhlový rozměr rozpětí ^a
(SR)	Rozpětí úhlových rozměrů ^a
(SQ)	Směrodatná odchylka úhlového rozměru ^{a,b}

^a Formalizovaný úhlový rozměr se může použít jako doplněk k dílčímu úhlovému rozměru, nebo globálnímu úhlovému rozměru, nebo místnímu úhlovému rozměru.
^b SQ z kvadratického průměru (*root mean square*).

Pro určení úhlového rozměru konkrétní části prvku pomocí lineární vzdálenosti u rotačního i hranolovitého prvku je možné použít zápis např. $45^\circ \pm 1^\circ / 20$. Úhlové vymezení prvku lze použít jen u rotační součásti (např. $45^\circ \pm 1^\circ / 20^\circ$). Další možnou modifikací specifikace je např. určení konkrétního průřezu pomocí značky SCS. Tato modifikace se nedá použít u rotačních prvků. Dále je možné použít modifikátor X (určuje počet), CT (společná tolerance), F (volný stav), \leftrightarrow (mezi). Pokud konstruktér stanoví modifikátor např. $\text{GG}/25$, znamená to, že se jedná o stanovení dílčího úhlového rozměru o délce 25 mm s přiřazovacím požadavkem nejmenších čtverců.

4.1 Místní úhlový rozměr

Na daném prvku vždy existuje nekonečný počet úhlových velikostí. Místní (lokální) úhlový rozměr vyjadřuje, že v konkrétním místě nabývá určité hodnoty. Těchto místních rozměrů je na daném prvku nekonečně mnoho. Velikost rozměru se ve výchozím nastavení přiřazuje pomocí minimaxu LC , nebo ho lze také přiřadit pomocí nejmenších čtverců LG .

Velikost úhlu v požadovaném místě je získán pomocí přiřazených a průsečných rovin. Dvoučárový úhlový rozměr je tvořen dvěma extrahovanými čarami. K nim jsou přiřazeny přímky určující rozměr. Zároveň závisí, jestli se velikost určuje na rotačním nebo hranolovém tělese. U rotačního tělesa je úhel získán průnikem povrchu tělesa s rovinou procházející osou tělesa. U hranolovitého tělesa je zjištěn úhel pomocí průniku povrchů a k nim kolmé rovině.

Dílčí úhlový rozměr představuje jen určitou část celkového prvku a představuje konkrétní část globálního úhlového rozměru.

4.2 Globální úhlový rozměr

Jedná se o rozměr, který je charakterizován po celém prvku. Globální úhlové rozměry se dále rozdělují na přímé a nepřímé (formalizované). Přímé jsou vyhodnocovány pomocí nejmenších čtverců či požadavku minimax. Rozměrovým prvkem může být kužel nebo v případě hranolu dvojice rovin.

Nepřímá úhlová charakteristika je definována souborem několika místních úhlových rozměrů. Nepřímým úhlovým rozměrem je charakterizována uspořádaná řada rozměrů. Součástí řady může být např. minimální, maximální, průměrná hodnota ze všech naměřených. Dále to může být např. medián a směrodatná odchylka rozměru.

V příloze č. 1 se nachází popis, kdy se daná situace rovná případu definice úhlového rozměrového prvku a kdy ne. Dle standardu jsou všechny případy zápisu rovnocenné, ale pro lepší softwarové vyhodnocení je pro specifikaci lepší používat GD&T (úchylka sklonu či plošný profil). V kapitole č. 5 *Rozměry jiné než lineární a úhlové* jsou popsány nepřesnosti tvaru skutečných ploch. Právě kvůli této nepřesnosti je lepší definovat rozměry pomocí geometrických tolerancí.

5 Rozměry jiné než lineární a úhlové rozměry [14]

Druhé vydání normy ČSN EN ISO 14405-2:2022 – *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Tolerování rozměrů – Část 2: Rozměry jiné než lineární a úhlové rozměry* je také obecným standardem systému ISO GPS. Poukazuje na to, že tvar součásti je v některých případech složitější a \pm tolerováním by mohlo dojít k pravděpodobným nejasnostem, a to vlivem nedokonalosti tvaru. Pro tyto složitější požadavky je vhodnější použít při lineárním a úhlovém specifikování geometrické tolerance.

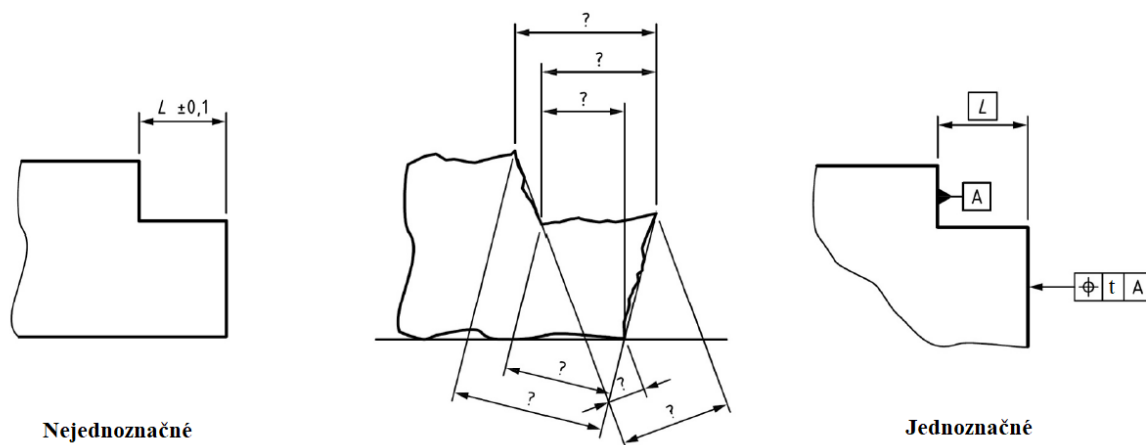
Rozměry se rozdělují na lineární a úhlové. Lineární rozměry se na výkres uvádí bez jednotek, ale jejich základní délkovou jednotkou je milimetr. Úhel je udáván v základní jednotce stupeň ($^{\circ}$) či v jednotce stupeň, minuta, vteřina. V případě potřeby užití jiných jednotek je nutné tento údaj zadat do razítka.

5.1 Vybrané druhy rozměrů a jejich jednoznačnost

V této podkapitole jsou znázorněny dostatečné a nedostatečné definice jednotlivých ilustrativních případů.

Vzájemná lineární vzdálenost dvou integrálních prvků

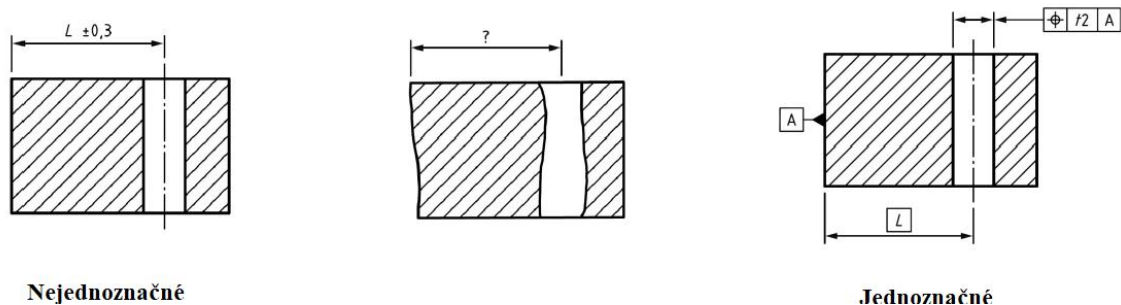
Integrální prvek je např. rovina, která je přímo změřitelná. Na Obr. 20 je vidět, že použití dvoubodového měření by bylo zcela nedostačující. Není totiž zcela jasné, jak bychom měli vlivem nepřesnosti ploch ověřovat rozměry. Pro minimalizaci nejasnosti musela být použita geometrická tolerance. Základna A zajišťuje polohu součásti a vzdálenost plochy je součástí TEDu (teoreticky přesný rozměr). Více informací o teoreticky přesném rozměru viz kapitola 6.1 *Základní pojmy*.



Obr. 20 – Znázornění lineárního rozměru mezi dvěma integrálními prvky [14]

Lineární vzdálenost mezi odvozeným a integrálním prvkem

Odvozeným prvkem může být např. osa díry. Z obr. 21 je zřejmé, že jde o obdobný případ. Velmi podobné je to i s předepsáním vzdálenosti dvou odvozených prvků, kde jedna osa díry může působit jako základna a druhá osa je od ní teoreticky přesně vzdálená s geometrickou tolerancí umístění.



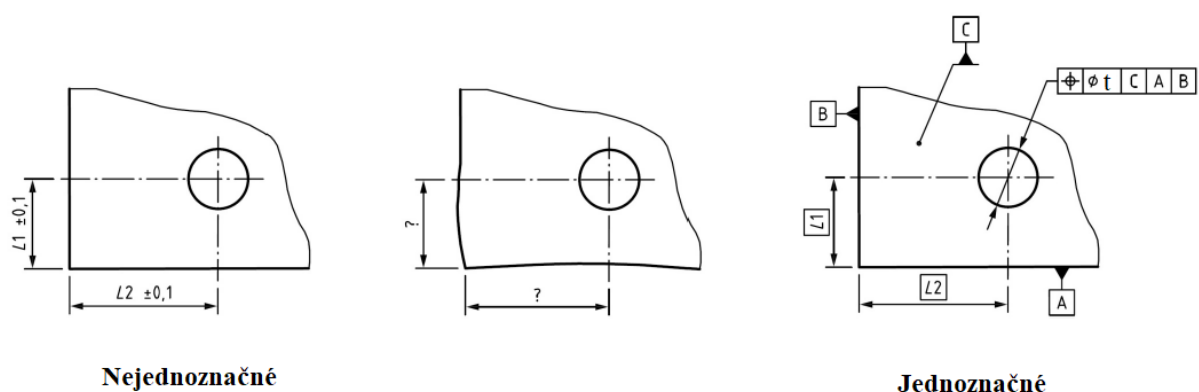
Nejednoznačné

Jednoznačné

Obr. 21 – Znázornění lineárního rozměru mezi odvozeným a integrálním prvkem [14]

Lineární vzdálenost ve dvou směrech

V každém směru může být jiná vzdálenost, která je součástí TEDu (teoreticky přesný rozměr). Pro jednoznačnost musí být opět použita geometrická tolerance, viz geometrická tolerance polohy na Obr. 22.



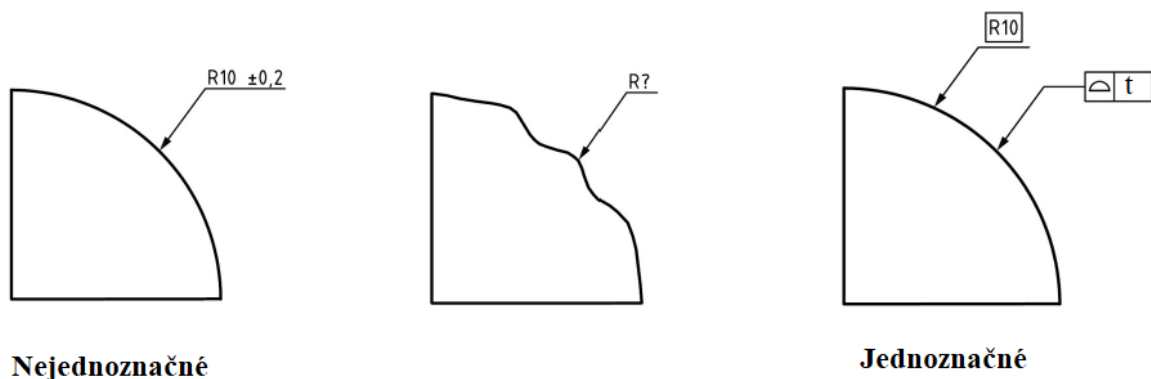
Nejednoznačné

Jednoznačné

Obr. 22 – Znázornění lineární vzdálenosti ve dvou směrech [14]

Rozměr poloměru

Zde by ± tolerováním došlo k nepřesnosti vlivem možné nepřesnosti povrchu výrobku. Proto je opět lepší použít geometrickou toleranci, jak je tomu na Obr. 23 pomocí geometrické tolerance profilu plochy.



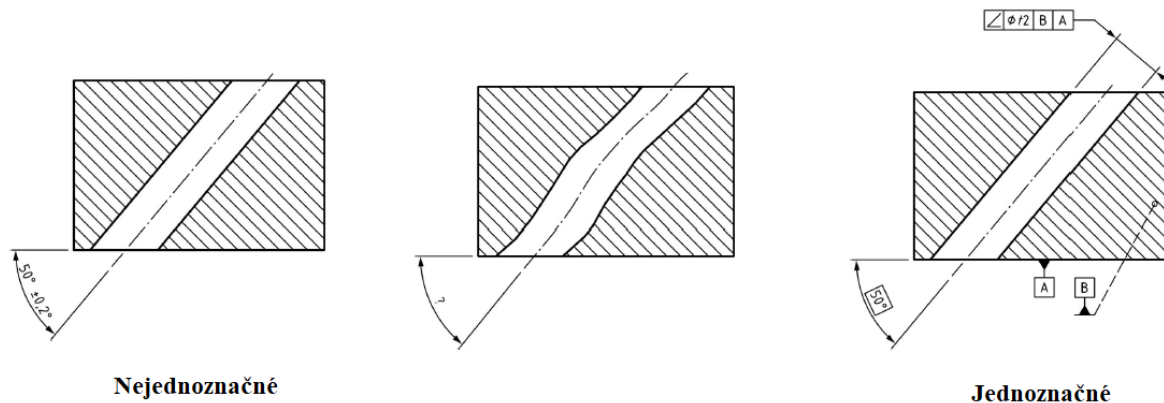
Nejednoznačné

Jednoznačné

Obr. 23 – Znázornění rozměru poloměru [14]

Úhlová vzdálenost

Vlivem nepřesnosti ploch vyvrtané díry musí být opět zajištěna funkčnost výrobku opět pomocí geometrických tolerancí, viz geometrická tolerance sklonu na Obr. 24.



Obr. 24 – Znázornění úhlové vzdálenosti [14]

6 Geometrické tolerance [15]

Také geometrické tolerování výrobku závisí na kvalitě a funkčnosti výrobku. Přesná pravidla této problematiky jsou součástí čtvrtého vydání normy ČSN EN ISO 1101:2020 – *Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení*. Pomocí GD&T je výroba daleko přesnější, než kdyby byl díl tolerován pouze rozměrovými tolerancemi. Konstruktor volí opět geometrické tolerance v souladu s funkčností daného dílu.

6.1 Základní pojmy

Toleranční pole

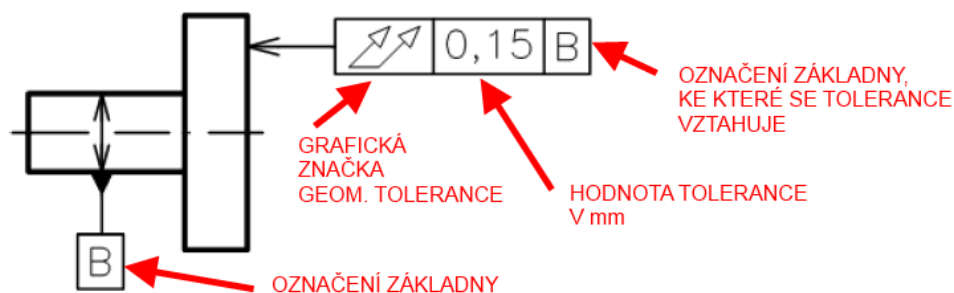
Stanovené tolerance se mohou vztahovat k jednomu či více prvkům. Pomocí geometrického tolerování se stanovuje umístění daného prvku (bod, přímka, plocha nebo osa) v rámci vymezeného tolerančního pole okolo výchozího prvku ve směru normály.

Tvar toleranční zóny závisí na druhu tolerance. Jedná-li se o pole válcové nebo kruhové, používá se znak „Ø“. Tento znak se nepoužívá u tolerovaného pole ohraničeného pomocí dvou křivek nebo ploch. Pro kulovou tolerovanou oblast se používá značení „SØ“. Toleranční pole ve tvaru hranolu lze definovat dvěma rovnoběžnými rovinami (mezera mezi nimi určuje velikost tolerance) protínající se rovnoběžnými plochami pootočených o 90°.

Toleranční rámeček

Pro definování geometrických tolerancí se používá indikátor geometrické tolerance (toleranční rámeček) ve tvaru obdélníku, který se dělí na několik částí (viz Obr. 25). Pomocí odkazové čáry je indikátor propojen s tolerovaným elementem. Nejprve se musí definovat konkrétní tolerance pomocí příslušné značky, následně velikost tolerančního pole a někdy jsou definovány i základny, ke kterým se tolerance vztahuje.

Pokud je požadována geometrická tolerance, která se vztahuje na omezenou část součásti, oddělí se hodnota tolerance lomítkem a umístí se za lomítko požadovaná délka či plocha.

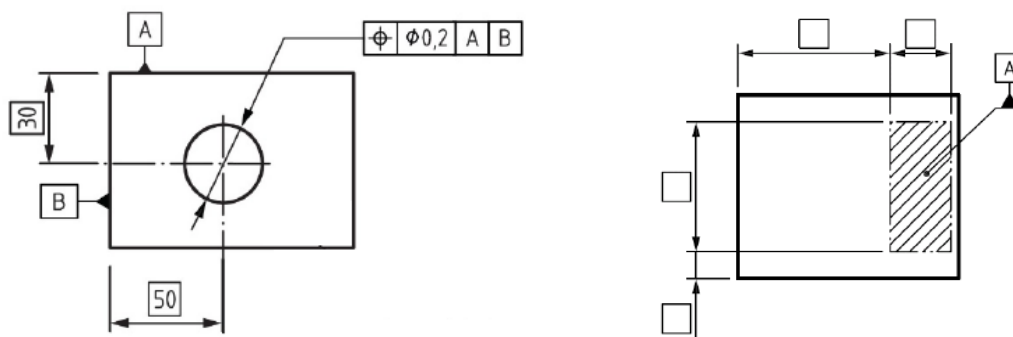


Obr. 25 – Příklad tolerančního rámečku [16]

Teoreticky přesný rozměr (TED)

Obecně se rozměry řídí tolerancí definovanou v razítku výkresu nebo daným předpisem. Jestliže se lineární či úhlový rozměr vyskytuje v obdélníčku, jde o teoreticky přesný rozměr. Teoreticky přesný rozměr určuje teoreticky přesné umístění tolerančního pole geometrické tolerance, např. tolerance umístění nebo sklonu. Obr. 26 vlevo znázorňuje teoreticky přesné umístění polohy osy díry s ohledem na základnu A a B.

TED rozměr se také používá pro vymezení oblasti z celkového prvku, kterou chce konstruktér konkrétněji definovat. To znamená, že z celkového prvku je vybrána jen určitá část. Tuto problematiku znázorňuje Obr. 26 vpravo.

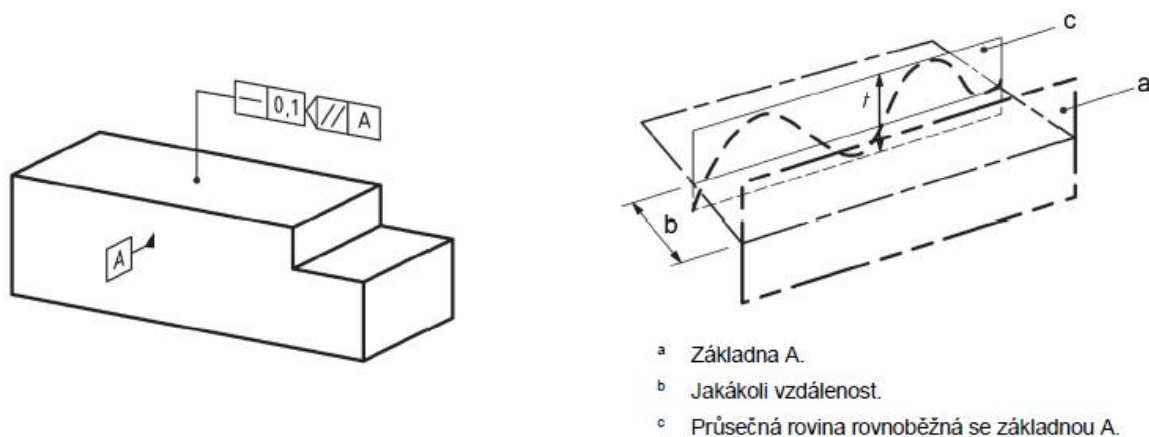


Obr. 26 – Teoreticky přesný rozměr pro polohu osy díry [15]

Průsečná rovina

Specifikace vlastností konkrétní čáry je možné provést pomocí průsečné roviny. Lze ji definovat jen u rotačních (např. kužel), válcových (válec), rovinných (např. kvádr) tělesech, a to v případě určování orientace čáry (přímost, profil) nebo elementu čáry prvku. Označuje se indikátorem, který je umístěn z pravé strany tolerance. Do indikátoru se zapisuje symbol tolerance rovnoběžnosti, kolmosti, sklonu a souměrnosti. Velké písmeno se umísťuje do druhého oddílu a identifikuje vztah k základnímu prvku (základně).

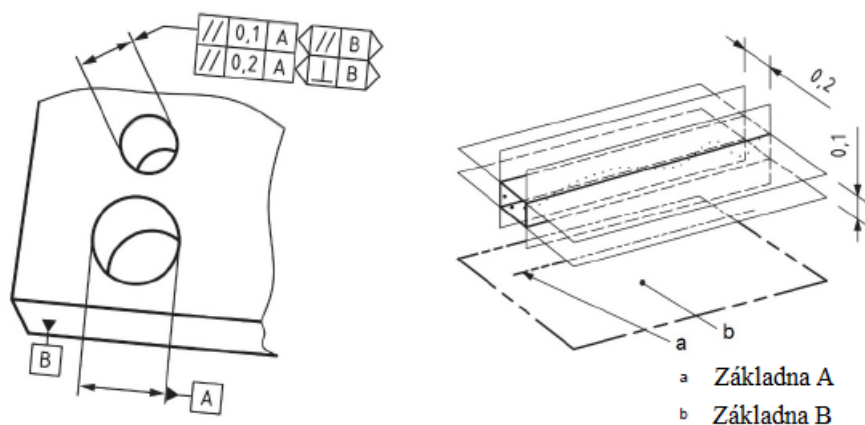
Na Obr. 27 je vidět, že na ploše, kde je definována přímost, je ve skutečnosti na této ploše pomocí průsečné roviny definována přímost skutečné přímky v jakékoli rovnoběžné rovině se základnou A.



Obr. 27 – Příklad použití průsečné roviny [15]

Orientační rovina

Princip specifikace orientační roviny funguje na podobném principu jako průsečná rovina. Díky tomuto indikátoru lze předepsat orientaci rovin, které vymezují vlastnosti tolerančního pole prvků. Těmito prvky mohou být středy kružnic nebo osy válců. U tohoto případu může být odkazová čára připojena ke značce orientační roviny, viz obr. 28.

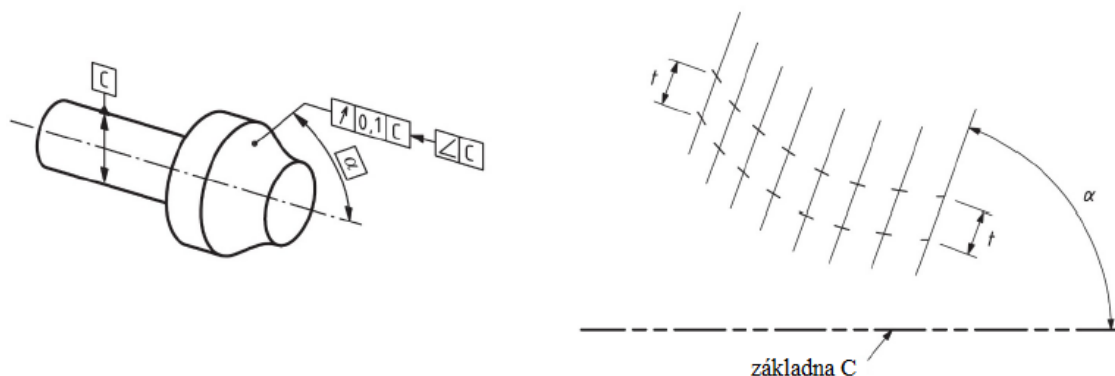


Obr. 28 – Příklad použití orientační roviny [15]

Směrový prvek

Výchozím pravidlem je stanoveno, že toleranční pole je vždy kolmé k tolerovanému prvku. Ve složitějších případech je ale potřeba, aby toleranční pole bylo pod stanoveným úhlem. Tento požadavek umožňuje indikátor směrového prvku a používá se vždy, když velikost tolerančního pole není kolmá k dané geometrii. Do indikátoru se následně podle orientace základny zapisuje znak rovnoběžnosti při úhlu 0° nebo kolmosti při úhlu 90° . Pokud je požadován jiný úhel (specifikován jako teoreticky přesný rozměr), definuje se značka sklonu.

Pro směr šířky tolerančního pole kolmého (bodově) k neválcovému povrchu se používá indikátor házení – má tedy stejný směr jako házení. Příklad je znázorněn na obr. 29. Úhel musí být specifikován ve formě TEDu (teoreticky přesný rozměr), i když je roven 90° . Písmeno základny je pro stanovení směrového prvku umísťováno v druhém úseku indikátoru.

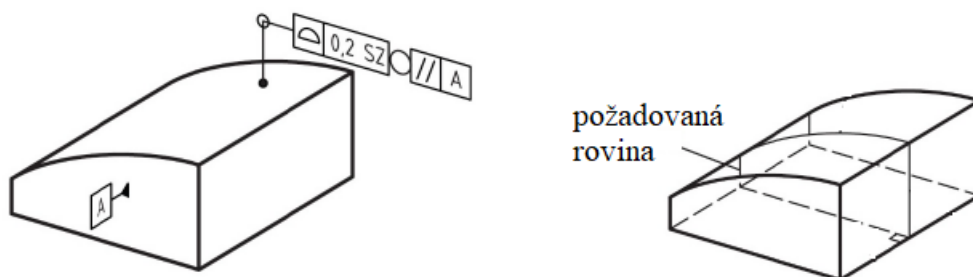


Obr. 29 – Příklad použití směrového prvku [15]

Souborná rovina

Ta definuje uzavřený prvek. Soubor rovnoběžných rovin je definován pomocí používané značky „všude kolem“ (pro soubor prvků) společně s identifikátorem souborné roviny. Charakteristickým průsečíkem souboru prvků a rovnoběžné roviny vůči souborné je bod či přímka. Identifikátor „všude kolem“ \circ se umísťuje na odkazovou čáru.

Na Obr. 30 je vidět tolerovaná část tělesa, která je složená ze třech ploch, jedné křivky a je uzavřena soubornou rovinou A. Každá část tvořící rovnoběžnou rovinu se základnou A je tolerována odvalující se kuličkou po teoreticky přesném rozměru o průměru 0,2 mm. Symbol SZ (anglicky *Separate zone*) zajišťuje, že každá křivka má své toleranční pole. V tomto řešeném případě se tedy nachází čtyři samostatná toleranční pole. Kdyby se místo SZ uvedlo značení CZ (anglicky *Combined zone*), jednalo by se o jedno sloučené toleranční pole.

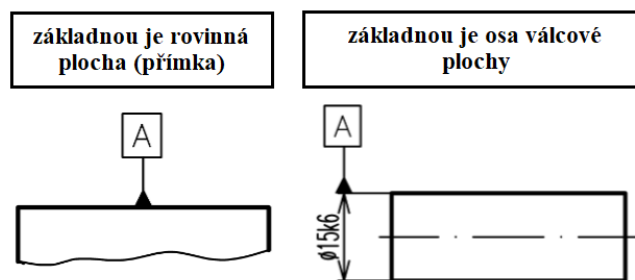


Obr. 30 – Příklad použití souborné roviny [15]

6.2 Základna [18]

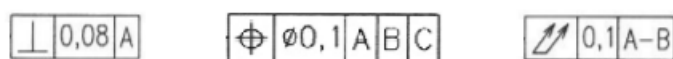
K některým druhům geometrických tolerancí je nutné definovat základnu, ke kterým se určená tolerance vztahuje. Ideálně přesným prvkem neboli základnou, může být např. bod, osa, rovina. Správné stanovení základny se následně projeví na funkčnosti dílu. Základnou se nemůže stát např. válcová plocha, neboť vlivem výroby vzniká na ploše nekonečně mnoho místních rozměrů.

Přesnými pravidly pro volbu a definici příslušné základny se zabývá norma ČSN EN ISO 5459:2012 – *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování – Základny a soustavy základen*. Základna se značí pomocí prázdného či plně zbarveného trojúhelníčku spojeného s obdélníčkem, ve kterém je napsáno označení základny, a trojúhelníček leží na příslušném prvku, viz obr. č. 31.



Obr. 31 – Příklady určení základen [17]

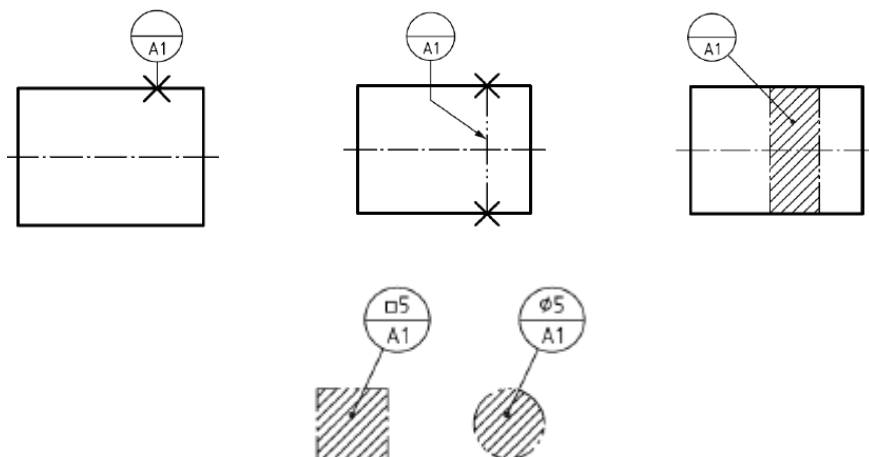
Základnu může tvořit jeden nebo více prvků. Podle toho se řídí zápis základen v tolerančním rámečku. Odkazuje-li se tolerance na jednu základnu, zapisuje se do rámečku jen jedno písmeno dané základny. Pokud závisí na více základnách, zapisují se písmena jednotlivých základen do samostatných polí. První zapsaná základna v poli má tu největší prioritu. V jiných případech se např. u celkového házení hřídele se také setkáváme s tzv. společnou základnou a je zapisována do pole s písmeny základen oddělených pomlčkou. Příklady zápisu základen do tolerančních rámečků jsou znázorněny na obr. č. 32.



Obr. 32 – Zápis základen [18]

Primární základna odebírá tři stupně volnosti, sekundární odebírá dva stupně volnosti a terciální odebírá jeden stupeň volnosti. S těmito informacemi se člověk setkává často. Pravdou ale je, že norma ČSN EN ISO 5459 tento fakt vůbec nezmiňuje. Naopak uvádí, že volba základen se má odvíjet na funkčnosti daného výrobku. Primární základna má být taková, kde dochází k prvnímu kontaktu součásti s protikusem, následně sekundární podle druhého dotyku. Pokud není uvedeno jinak, primární základna je závislá na vnější tangenciální rovině ke skutečnému povrchu. Sekundární základna je následně volena kolmo k základně primární a terciální je volena kolmo k sekundární.

Použití celé plochy pro stanovení základny může být v některých případech komplikované, neboť by se mohl tvar po své ploše lišit a docházelo by tak k odlišnosti jednotlivých měření. Proto se zavádí tzv. dílčí základny, kterými mohou být bod, přímka, čtvercová a kruhová elementární plocha. Dílčí základny se definují do kruhového rámečku, který je rozdělen na dvě části. Jak je poukázáno na obr. 33, v první části se zaznamenává velikost dílčí základny a v druhé se zapisuje označení základny s číslem dílčí základního prvku.



Obr. 33 – Předepisování dílčích základen [18]

6.3 Rozdělení tolerancí

Složitější součásti mohou být složeny z rovin, koulí, válců nebo i z dalších jiných geometrických elementů. K těmto jednotlivým prvkům jsou následně definovány požadavky na jejich přesnost tvaru. Základní rozdělení tolerancí tvaru jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 – Rozdělení a značení geometrických tolerancí [15]

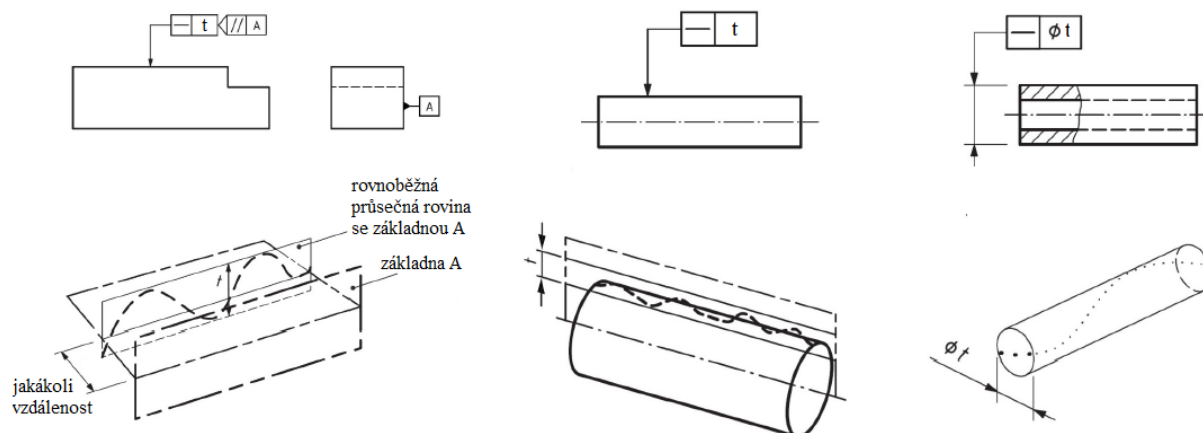
Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
tvaru	přítomnost	—	ne
	rovinnost	▭	ne
	kruhovitost	○	ne
	válcovitost	⊘	ne
	profil čáry	⌒	ne
	profil plochy	⤿	ne
orientace	rovnoběžnost	//	ano
	kolmost	⊥	ano
	sklon	∠	ano
	profil čáry	⌒	ano
	profil plochy	⤿	ano
umístění	poloha	⊕	ano nebo ne
	soustřednost a souosost	⊙	ano
	souměrnost	≡	ano
	profil čáry	⌒	ano
	profil plochy	⤿	ano
házení	obvodové házení	↗	ano
	celkové házení	↗↘	ano

6.3.1 Geometrická tolerance tvaru

Maximální dovolená odchylka od jmenovitého tvaru musí být předepsána buď součástí kóty nebo pomocí normy v razítku výkresu. Tvarovou odchylkou 2D prvku (čára) může být přímost a kruhovitost. Mezi odchylky tvaru 3D prvku (plocha) patří kruhovitost a válcovitost.

Tolerance přímosti

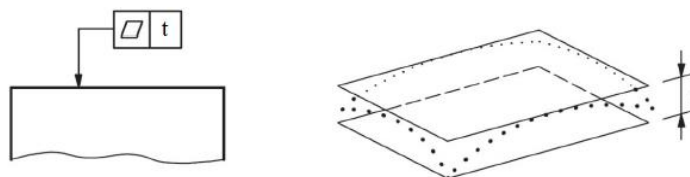
Mezi tolerované lineární prvky patří přímka nebo soubor přímek. Tyto prvky musí ležet v tolerančním pásmu, které je ohraničeno rovnoběžnými přímkami v konstruktérem definované vzdálenosti. Příklady tolerancí přímosti jsou znázorněny na Obr. 34.



Obr. 34 – Toleranční pole a definice přímosti [15]

Tolerance rovinnosti

Zde je povolena odchylka rovinnosti ohraničena dvěma rovnoběžnými rovinami. Ty jsou opět od sebe vzdálené o hodnotu stanovenou konstruktérem. Aby byla splněna podmínka tolerance, musí všechny naměřené body povrchu ležet v tomto poli, viz. Obr. 35.

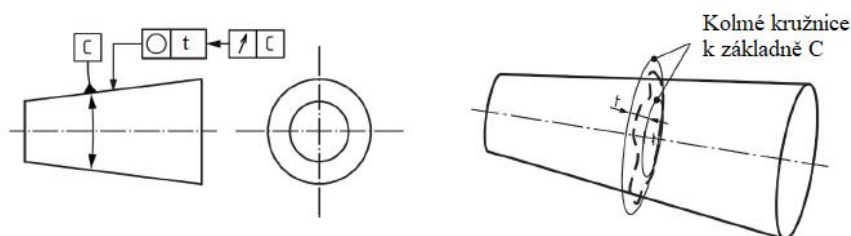


Obr. 35 – Toleranční pole a definice rovinnosti [15]

Tolerance kruhovitosti

Toleranční pole je charakterizováno dvěma soustřednými kružnicemi (mezikruží), které jsou od sebe vzdáleny o velikost „t“. V tomto pásmu se musí nacházet skutečný profil. Do tolerančního rámečku se nepředepisuje symbol průměru.

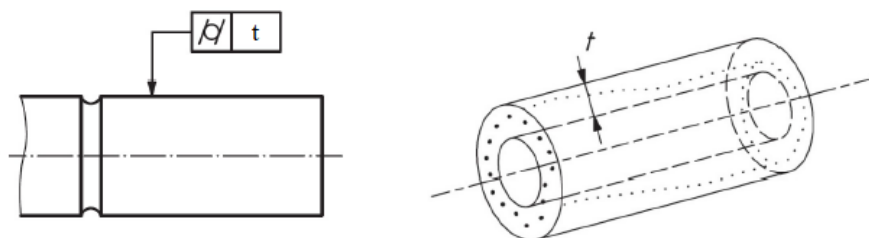
Na obr. 36 skutečná obvodová křivka musí ležet v mezikruží, které protíná kužel. Šířka mezikruží je stanovena požadovanou tolerancí kruhovitosti. Plocha mezi kružnicemi je tvořena příčným průřezem k povrchu kužele (základna C). Průsečík tolerovaného prvku s kuzelem udává, že získaná čára existuje v libovolném průřezu.



Obr. 36 – Toleranční pole a definice kruhovitosti [15]

Tolerance válcovitosti

Jak ukazuje Obr. 37, skutečný plošný prvek (válcový povrch) se musí nacházet v poli mezi dvěma souosými válci o různých průměrech. Jejich rozdíl stanovuje toleranční pole. Zde se také nepředepisuje značka průměru.

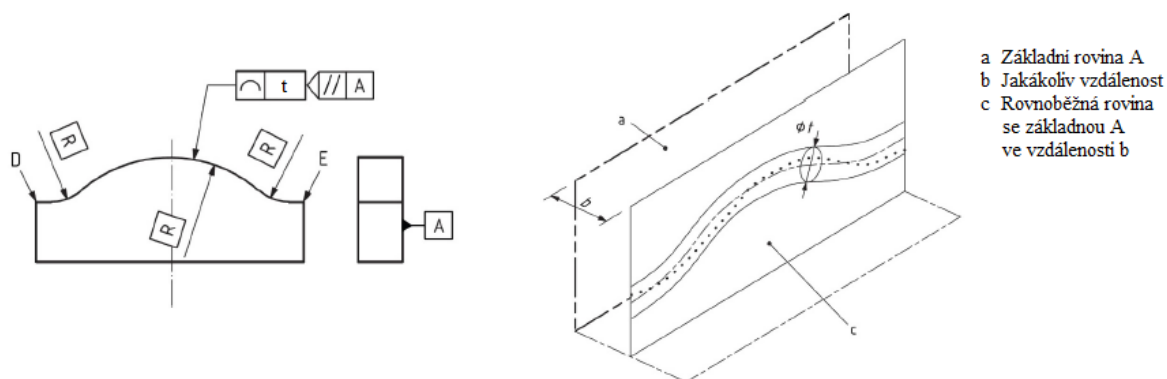


Obr. 37 – Toleranční pole a definice válcovitosti [15]

Tolerance profilu čáry

Dvě ekvidistantní (obalové) čáry určují velikost tolerovaného prostoru o průměru „ \emptyset “. Tomuto prostoru náleží skutečný profil čáry. Tolerance profilu čáry může i nemusí být vztažená k základnám. Pokud je vztažená, bere se v úvahu určitý vztah k základně a teoretická (jmenovitá) čára je předepsána teoreticky přesnými rozměry vůči zvolenému základnímu prvku.

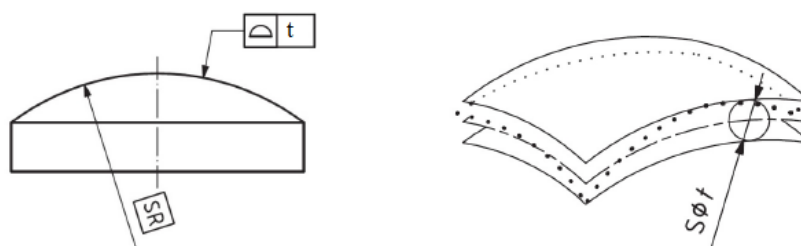
Na Obr. 38 je definována tolerance pomocí průsečné roviny (rovnoběžná s rovinou A) tak, že v každém rovnoběžném průřezu se základním prvkem A se nachází křivka profilu. Skutečný geometrický tvar čáry musí existovat mezi obalovými křivkami, které tvoří kružnice představující velikost tolerance.



Obr. 38 – Toleranční pole a definice profilu čáry nevztahující se k základně [15]

Tolerance profilu plochy

Dvě ekvidistantní (obalové) plochy soustředných koulí určují velikost tolerovaného pole profilu plochy o průměru „ $S\emptyset$ “. Středky koulí jsou umístěny na povrchu plochy a tvoří tak geometricky přesný povrch, viz Obr. 39. Také tolerance profilu plochy může i nemusí být vztažená k základnám.



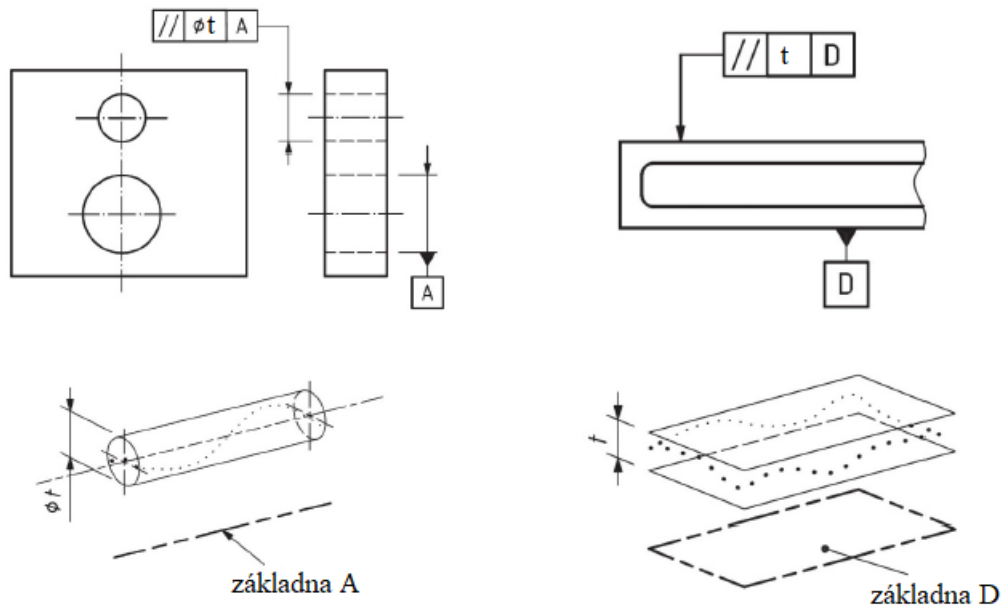
Obr. 39 – Toleranční pole a definice profilu plochy nevztahující se k základně [15]

6.3.2 Geometrická tolerance orientace

Z Tab. 5 je patrné, že tolerance orientace oproti toleranci tvaru bere ohled na základní prvek (základna) nebo na jejich systém. Oproti toleranci tvaru je zohledňován pouze odvozený prvek (osa, střední plocha), ne skutečný tvar prvku.

Tolerance rovnoběžnosti

Jmenovitý prvek rovnoběžnosti je definován jako prvek lineární (popř. i jeho soubor) a plošný prvek, a to ve tvarech přímky či rovinného povrchu. Skutečný prvek musí ležet v tolerančním poli, který je ohraničený dvěma rovnoběžnými rovinami. Ty jsou od sebe vzdálené o předepsanou hodnotu tolerance v tolerančním rámečku. Měřený prvek musí být rovnoběžný s nadefinovanou základní rovinou.

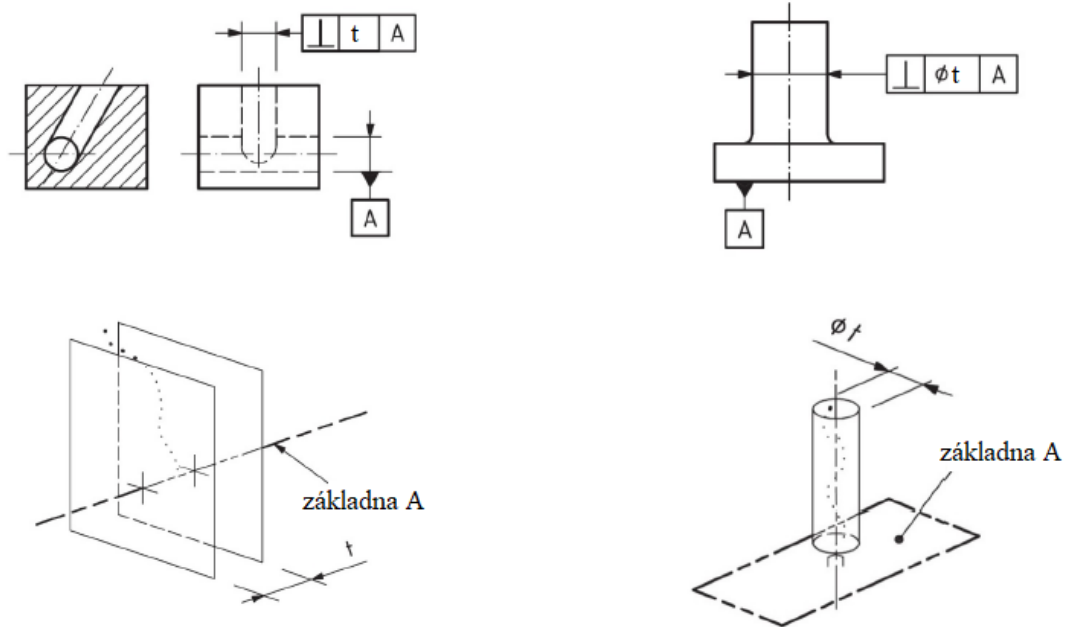


Obr. 40 – Toleranční pole a definice rovinnosti [15]

Tolerance kolmosti

Tolerovaným prvkem může být přímka nebo rovinný povrch. Charakter tolerovaného prvku může být stanoven i jako soubor těchto lineárních prvků. V tom případě ale musí být soubor stanoven indikátorem průsečné roviny. Úhlové rozměry jsou indikovány teoreticky přesnými rozměry (TED).

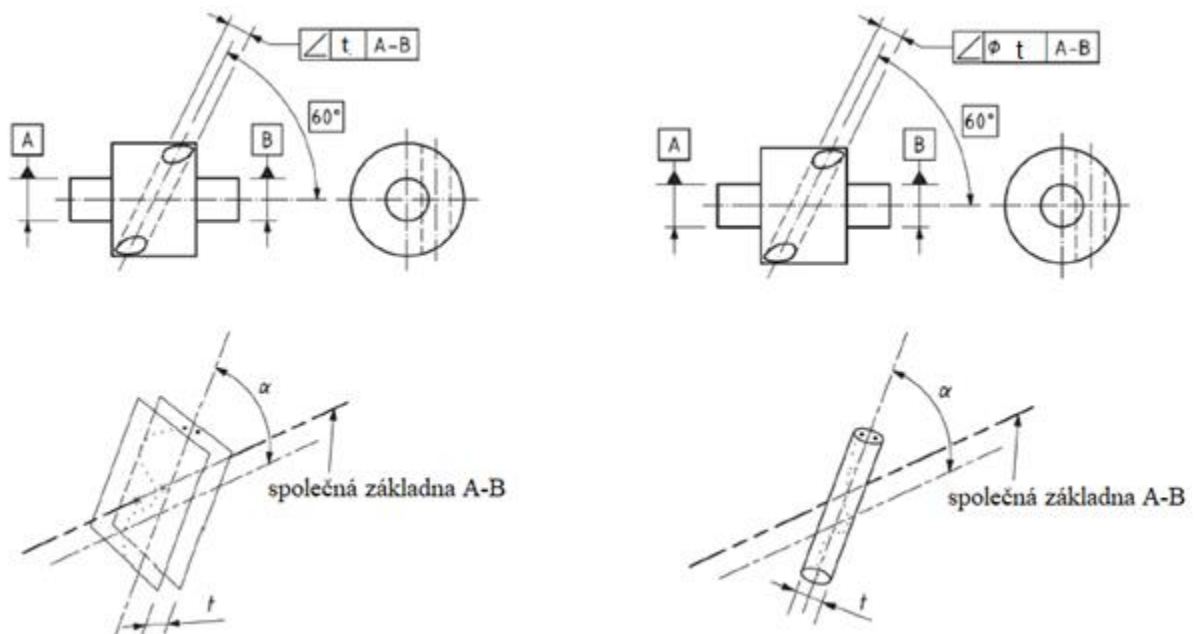
Na Obr. 41 vlevo je zobrazen požadavek tolerance kolmosti vztahující se k ose horizontální díry. Osa tvoří základní přímku A. Extrahovaná (skutečná) čára musí existovat mezi rovnoběžnými rovinami, které jsou kolmé k základně A. Rovnoběžné roviny jsou od sebe vzdálené o hodnotu definované tolerance. Na Obr. 41 vpravo je zobrazena tolerance kolmosti vztahující se k rovině. Zde je toleranční pole tvořeno válcem (kolmý k základní rovině A) o průměru požadované tolerance.



Obr. 41 – Toleranční pole a definice kolmosti [15]

Tolerance sklonu

V tolerančním poli mezi dvěma rovnoběžnými rovinami existují lineární jmenovité prvky (přímka, rovina). Rovnoběžné roviny jsou vzhledem k základní rovině A nakloněné o určitý úhel. Úhel je teoreticky přesným rozměrem. Rozdíly v definici tolerance sklonu s ohledem na základní přímku a rovinu jsou znázorněny v Obr. 42.



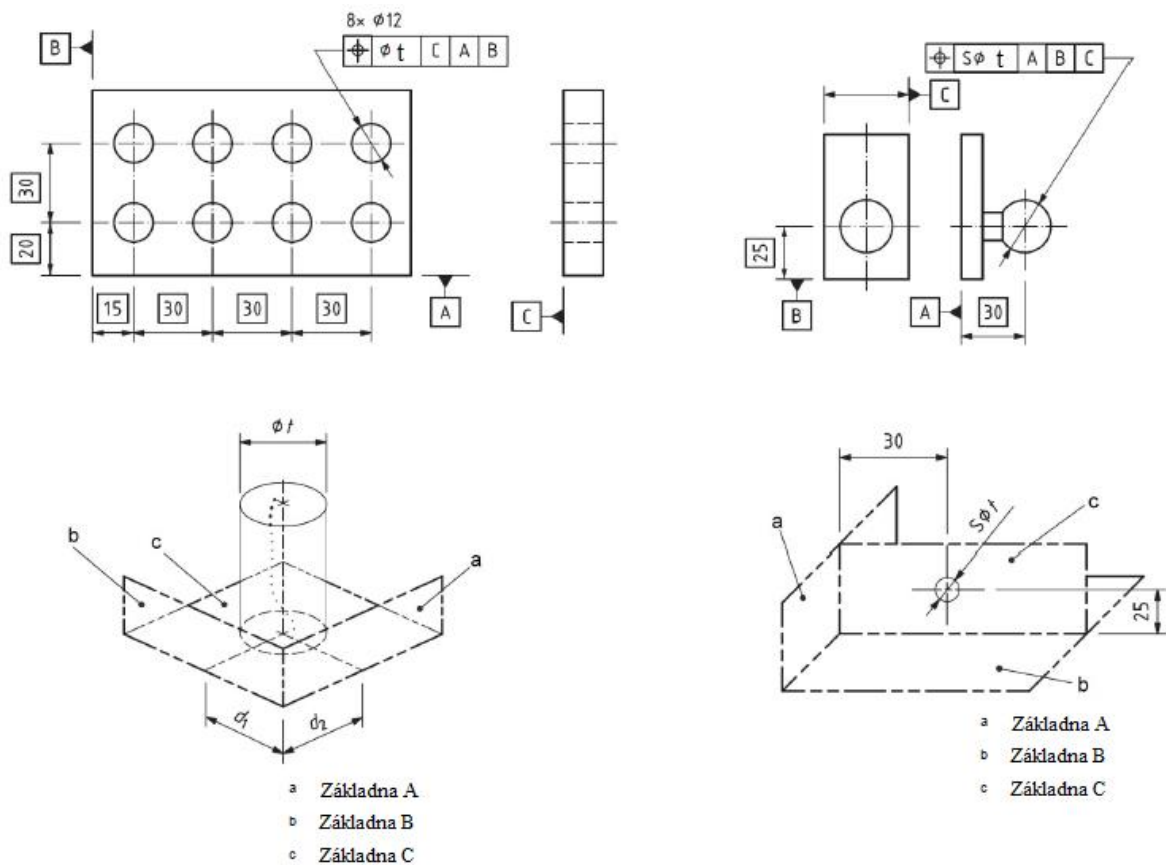
Obr. 42 – Toleranční pole a definice sklonu [15]

6.3.3 Geometrická tolerance umístění

Tento požadavek určuje umístění tolerovaného prvku s určitou možnou odchylkou. Druhy geometrických tolerancí umístění jsou popsány níže. V praxi se tento typ tolerancí často využívá např. při obrábění.

Tolerance polohy

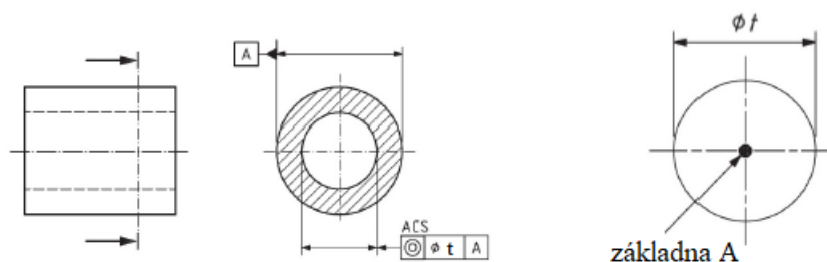
Nejčastěji je specifikována tolerance polohy k soustavě základen. Může být tolerován bod, osa, rovina i tvarový prvek. Jejich poloha je zároveň předepsána pomocí TED rozměrů. Pro specifikaci tolerančního pole bodu a osy se před hodnotu tolerance umísťuje znak průměru „ \varnothing “ (viz Obr. 43 vlevo). Při určení tolerance bodu v prostoru, kdy má toleranční prostor tvar koule, se používá znak „ $S\varnothing$ “ (viz Obr. 43 vpravo).



Obr. 43 – Toleranční pole a definice polohy [15]

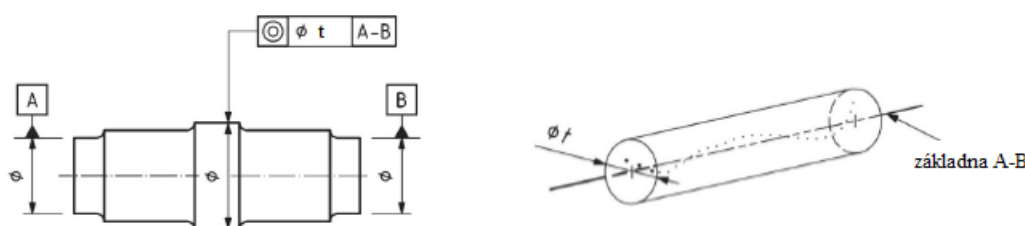
Tolerance sousostnosti a soustřednosti

Zde jsou tolerovanými prvky pouze odvozené prvky. Pokud je tolerován bod, jeho toleranční pole tvoří kruh (viz Obr. 44). Na obrázku se nad tolerančním rámečkem tolerance soustřednosti nachází symbol ACS, který uvádí, že tolerance platí v libovolných průřezích součásti. Tudiž jsou tolerovány všechny body osy, které tvoří přímku.



Obr. 44 – Toleranční pole a definice soustřednosti bodu [15]

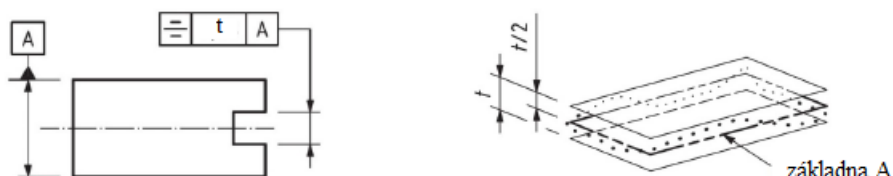
Toleranční pole souososti osy je tvořeno válcem o průměru „ ϕt “, který definuje hodnotu maximálního požadovaného rozmezí odchylky. S tímto příkladem se často setkáváme u tolerování hřídele, kde je definována i společná základna. Ta je tvořena osami dvou krajních elementárních válcových prvků (viz Obr. 45).



Obr. 45 – Toleranční pole a definice souososti osy [15]

Tolerance souměrnosti (symetrie)

Symetrické roviny musí být situovány vzhledem k základně. Základním prvkem je střední rovina. Vzdálenost je specifikována hodnotou tolerance. Příklad definice tolerance souměrnosti je na Obr. 46.



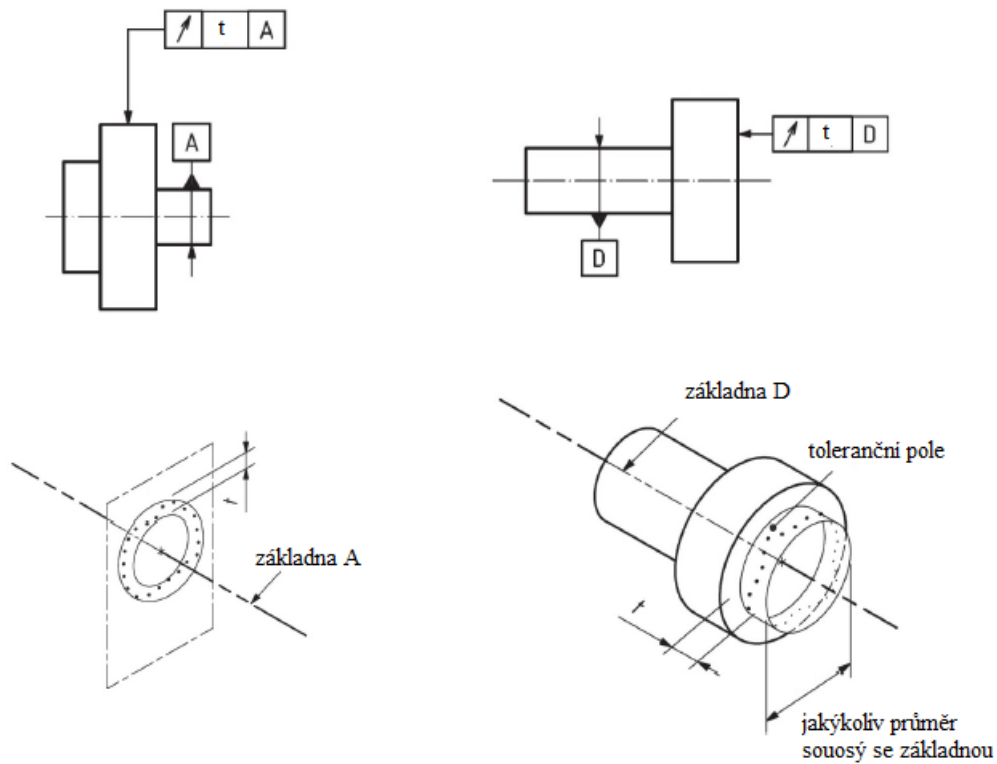
Obr. 46 – Toleranční pole a definice symetrie [15]

6.3.4 Geometrická tolerance házení

Tato charakteristika tolerance zahrnuje toleranci válcovitosti, kolmosti a souososti a je specifikována na rotační součásti. Tolerance se dělí na dva druhy házení, které jsou rozepsány v řádcích níže.

Tolerance obvodového házení

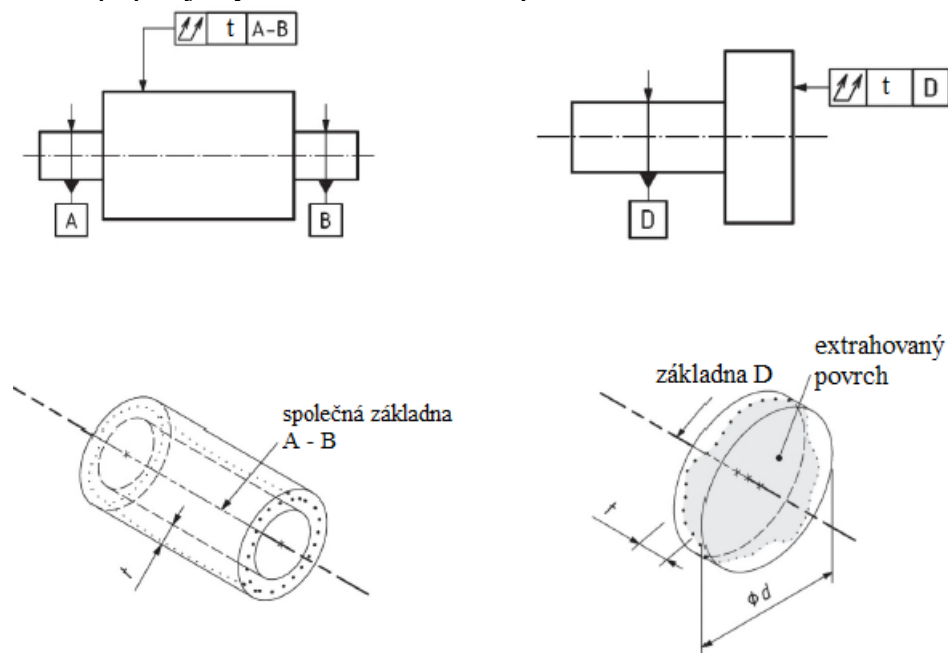
Obvodové házení může nastat v několika směrech, a to v radiálním, axiálním (u válce) či v jakémkoliv směru (u kuželu). Toleranční pole radiálního obvodového házení je tvořeno mezi kružnicemi situovanými v rovině kolmé na základnu (Obr. 47 vlevo). Střed pole se nachází na základně. U axiálního obvodového házení je tolerované pole vymezeno ve směru osy základny (Obr. 47 vpravo). Pro stanovení obvodového házení v jiném směru se používá indikátor směrového prvku, jako tomu bylo u Obr. 29.



Obr. 47 – Toleranční pole a definice obvodového házení v radiálním a axiálním směru [15]

Tolerance celkového házení

Rozdíl dvou souosých válců představuje velikost tolerančního pole válcového prvku. Tuto skutečnost zobrazuje Obr. 48 vlevo. Pokud je tolerovaný prvek rovinný, tvoří toleranční pásmo prostor mezi dvěma rovnoběžnými stěnami. Ty jsou od sebe vzdáleny předepsanou tolerancí. Tento případ je vyobrazen na Obr. 48 vpravo.



Obr. 48 – Toleranční pole a definice celkového házení v radiálním a axiálním směru [15]

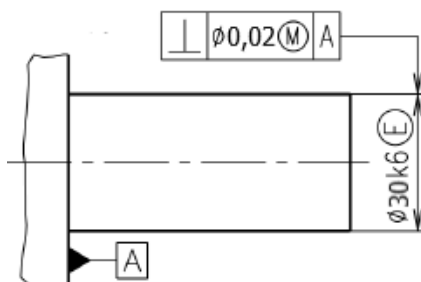
6.4 Vazby mezi rozměrovými a geometrickými tolerancemi

Mezi vzájemnou závislost rozměrových a geometrických tolerancí patří několik podmínek, které jsou rozepsány níže.

6.4.1 Podmínka maxima materiálu M

Tato podmínka je součástí normy ČSN EN ISO 2692. Umožňuje v některých případech zvětšit geometrickou toleranci. Pokud vyrobená hřídel nedosahuje horního mezního rozměru, je možné velikostí rozdílu mezi skutečnou hodnotou a maximální hodnotou hřídele zvětšit geometrickou úchytku. Podmínka přitom zachovává smontovatelnost. V technické dokumentaci je zapisována znakem velkého písmene M v kroužku.

Jak je zobrazeno na Obr. 49, je požadována kolmost hřídele o průměru $\text{Ø}30\text{k}6$ ($\text{Ø}30_{+0,002}^{+0,015}$) k rovinnému čelu (základně A) o možné odchylce $\text{Ø}0,02$ mm. Jestliže průměr hřídele dosahuje horního mezního rozměru, musí být zachována předepsaná tolerance kolmosti, tj. osa hřídele musí být umístěna v toleranční zóně $\text{Ø}0,02$ mm. V případě, kdy je průměr hřídele na hodnotě dolní meze rozměru, lze zvětšit geometrickou toleranci kolmosti osy hřídele, a to na průměr $0,02 + (0,015 - 0,002) = 0,033$ mm.



Obr. 49 – Zápis podmínky maxima materiálu [19]

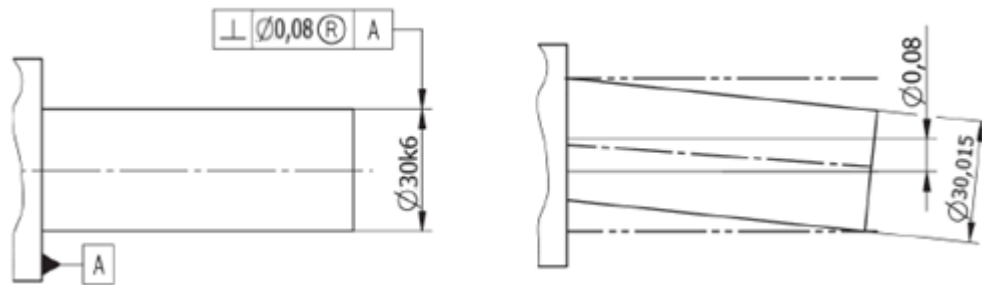
6.4.2 Podmínka minima materiálu L

Tato podmínka si je principiálně podobná s podmínkou maxima materiálu. Předepisuje se identicky, až na písmeno. Podmínka minima se zapisuje na výkres písmenem L v kroužku. Jestliže díra nedosahuje dolní rozměrové meze, lze o rozdíl mezi skutečným rozměrem a minimální hodnotou díry zvětšit geometrickou toleranci.

6.4.3 Podmínka reciprocity R

V závislosti na geometrické toleranci je možné změnit délkovou toleranci. Pokud není plně využita tvarová odchylka maxima nebo minima materiálu, může díl přesáhnout horní nebo dolní mez rozměru. Podmínka je zapisována v geometrickém tolerančním rámečku velkým písmenem R v kroužku za hodnotou možné odchylky tvaru.

Na Obr. 50 je zobrazen příklad definování podmínky reciprocity, kde je předepsán požadavek kolmosti osy hřídele $\text{Ø}30\text{k}6$ ($\text{Ø}30_{+0,002}^{+0,015}$) k čelu (základně A). Z podmínky reciprocity vyplývá, že pokud nebude zcela využita velikost tolerančního pole kolmosti, je dovoleno překročení maximálního možného průměru hřídele ($\text{Ø}30,015$). Překročení je povoleno o hodnotu velikosti nevyužitě předepsané tolerance kolmosti, a to až na hodnotu průměru hřídele $\text{Ø}30,095$ mm ($30,015 + 0,08 = 30,095$ mm).

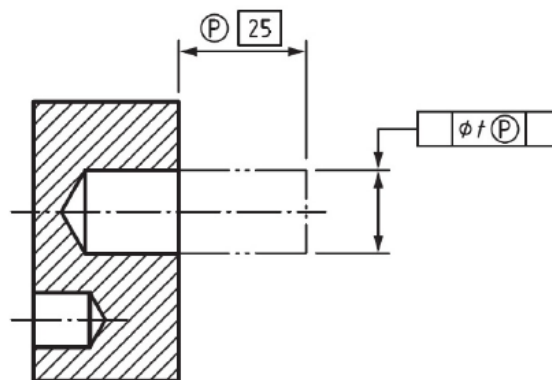


Obr. 50 – Zápis podmínky reciprocity [19]

6.4.4 Podmínka posunutého tolerančního pole P

Pro zaručení smontovatelnosti dvou součástí se definuje podmínka posunutého tolerančního pole s označením \textcircled{P} . Podle umístění jednoho prvku je umožněno posunutí nebo prodloužení toleranční zóny. S tímto případem je možné se setkat u přírub, kde je zapotřebí, aby toleranční pole pokrývalo díry obou součástí.

Pole je ve výkresu vyznačeno tenkou čerchovanou se dvěma tečkami. U velikosti délkového posunutí je značení \textcircled{P} umístěno před kótu, ale u geometrické tolerance se vyskytuje v rámečku za hodnotou možné odchylky. Příklad je znázorněn na Obr. 51.



Obr. 51 – Příklad podmínky posunutí pole [15]

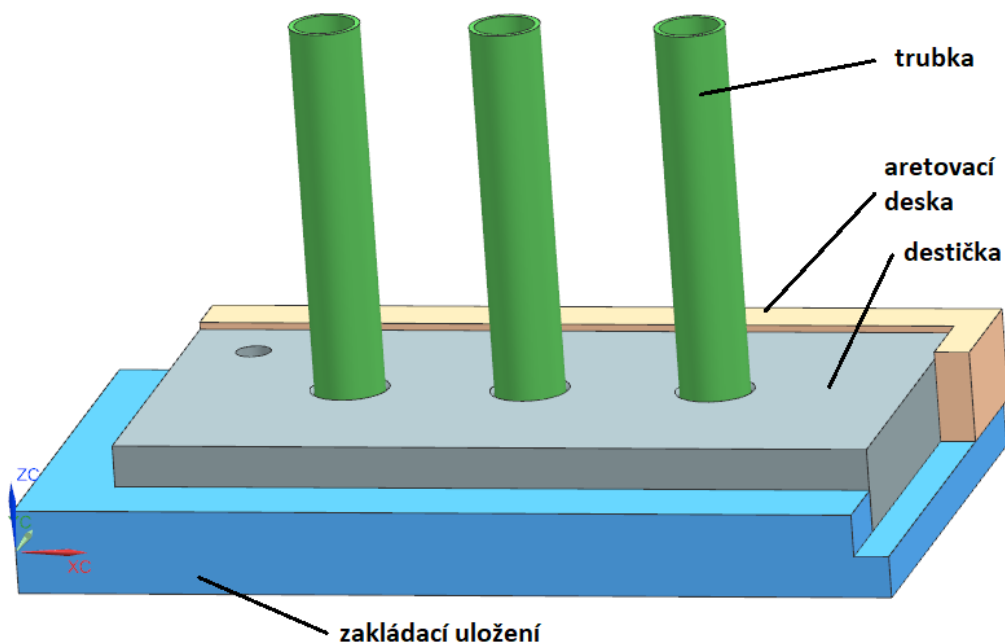
7 Praktická část

Doposud se tato práce věnovala obecnému výkladu některých základních norem, které jsou součástí systému ISO GPS. Nyní budou tyto teoretické poznatky užity pro praktickou část této bakalářské práce, a to pro kótování konkrétního příkladu. Tímto příkladem je jednoduchý pomyslný nastavovací přípravek, který je součástí montážního stroje na výrobních linkách. Přípravek nebude použit v praxi, ale slouží pouze pro simulaci a objasnění správného kótování.

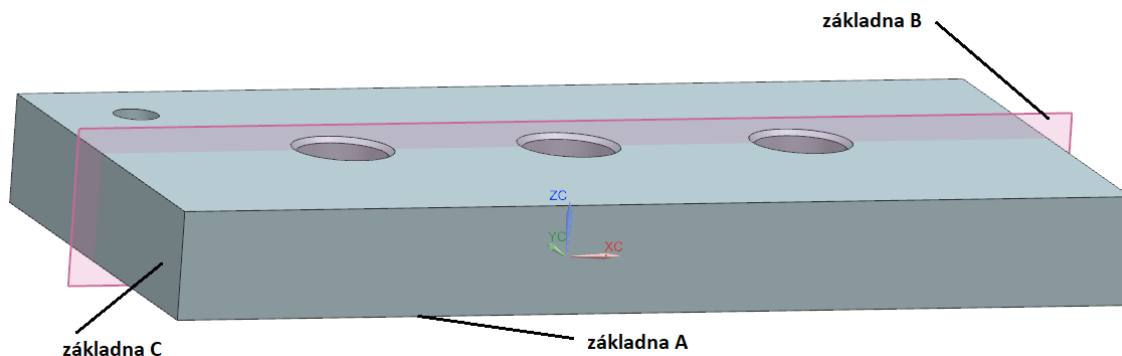
Úkolem praktické části, je vytvořit technický výkres destičky tak, aby byla ve výsledku smontovatelná a plnila svou funkci. Proto je důležité, aby si konstruktér před samotnou tvorbou výrobních výkresů provedl funkční analýzu dané komponenty a definoval tzv. funkční plochy, plochy dotýkající se zakládacího uložení. Pokud konstruktér nepochopí správnou funkci výrobku, dochází často k chybnému tolerování potřebných prvků. Důsledkem toho bude nesprávná funkčnost komponenty.

Na Obr. 52 je znázorněna poloha nastavovací destičky. Nejmenší díra na obrobku plní pouze technologickou funkci – prvek jen existuje. Zajišťuje nezaměnitelnost polohy destičky v přípravku, a tak ji je možné okótovat všeobecnými tolerancemi. Případná nepřesnost funkce dílu neovlivní.

Destička je pokládána spodní plochou do zakládacího uložení – primární základna A. Pomocí zaškoleného pracovníka je obrobek úhlopříčně přisouván do rohu modrého protikusu. Následně se výrobek zafixuje aretovací deskou. Jelikož se výrobek dotýká po obou delších svislých stěnách protikusu celou svou plochou, musí se jednat o dvě rovnoběžné stěny. Od nich se odvíjí vznik sekundární základny B na středové rovině uvnitř obrobku. Důležité je také zavést i terciální základnu C, která se nachází na jedné kratší svislé stěně. V tomto místě se také obrobek opírá o protikus. Následně se v destičce vyskytují tři díry, kterými prochází tři trubky, jež jsou součástí jiného mechanismu. Polohy i jejich rozměry musí být přesné. Všechny základny (viz Obr. 53) společně s trubkami tak udávají vztažný systém destičky.



Obr. 52 – 3D pohled řešené sestavy [vlastní zdroj]



Obr. 53 – Určení základen na destičce [vlastní zdroj]

Konstruktor v tomto případě musí uvažovat tolerování rozměrů základen A, B i C z hlediska rovinnosti a vzájemné kolmosti. Následně musí také uvažovat přesnost polohy tří děr. Pro správné definování celého výkresu by měla být brána v potaz tolerance hran a textura povrchu. V našem zjednodušeném příkladu ale tento požadavek nebude zohledňován. Tato praktická část má upozornit na to, že podle nevhodného kótování může být sice výsledek měření vyhovující, ale ve skutečnosti je díl nesmontovatelný.

Byly vytvořeny tři výrobní výkresy s různými variantami definování tolerancí. Dle zastaralého způsobu tolerování (verze v03) byla následně destička vyrobena. Důvodem možné nepřesnosti výroby a rozlišnosti výkresů je poukázání na skutečnost, že po ověření rozměrů dílu na 3D optickém skeneru ATOS Capsule je možné získat vyhovující výsledek i u nesprávně tolerovaného výrobku. Když je ale použit správný způsob kótování, měření u naší vyrobené destičky vyhodnotí, že díl je neshodný (nevyhovující). Tudíž se s jistotou ví, že díl je ve skutečnosti nesmontovatelný a nemůže plnit svou funkci. Důsledek správného i nesprávného tolerování je zobrazen v přílohách z výsledků měření (přílohy 3, 4, 5).

Prvním ze způsobů je tolerování v rámci norem ISO GPS s ohledem na princip funkčního ovládání. Je to způsob, kterého by se měl v dnešní době držet každý konstruktérský pracovník. Zaručuje provázanost všech požadavků na výrobku, a tudíž mu zajišťuje největší pravděpodobnost požadované funkčnosti. Lze říci, že tímto způsobem daný výkres (příloha 2, verze v01) zrcadlí funkci dílu.

Druhá varianta kótování (viz příloha 2, verze v02) je téměř totožná, jen je úmyslně opomenut požadavek obálky, který ovlivní přesnost děr pro trubky. Požadavek obálky se zpravidla na výkresu označuje normou ISO 14405-1:2016 [Ⓔ] umístěnou nad razítkem. Tento výkres vyjadřuje, že je sice kótovaný dle pravidel ISO GPS standardů, ale bez úplného zohlednění funkce dílu. Výchozí princip je nezměněn, ale díky opomenutí požadavku [Ⓔ] dochází k vyhodnocení dvoubodovým měřením, čímž není dodržen princip funkčního ovládání. S touto ekonomicky nejjednodušší možností [Ⓕ] tolerování je možné se setkat u kótování odlitku, kde konstruktor zpřesní jen některé důležité části, ale není možné ji použít u našeho případu.

Nejméně vhodnou možností tolerování je však výkres v příloze 2, verze v03. Jedná o dřívější často používaný způsob kótování, kde se vyskytuje jen obecná vzdálenost s odkazem na normu ISO 2768, která uvádí definici na celý prvek. Neřeší vztah mezi kótami, nevyskytuje se zde požadavek maxima a minima, neřeší odchylky tvaru a výsledkem toho je, že nedává jednoznačný výsledek.

Dle přílohy 3 byly velikosti děr předepsány nominální hodnotou $\varnothing 10,06 \pm 0,03$. Na otvoru číslo 1 je přesně vidět rozdílnost ve způsobu kótování. Výsledky v řádku bez ISO (tedy dle výkresu v03) udávají, že naměřená hodnota je $\frac{\varnothing 10,303}{\varnothing 10,064}$. U díry rozhoduje velikost spodního

rozměru, který je v toleranci, neboť udává nejmenší skutečný rozměr. Tento rozměr je důležitý pro zjištění, zda se námi navrhovaná trubka do otvoru vejde či ne. Ke stejnému výsledku dojdeme při vyhodnocení dle výkresu v02, neboť je také vyhodnocován maximum a minimum. I když nám, ale výsledky podle verze výkresu v03 a v02 říkají, že díl vyhovuje, následným měřením podle výkresu v01 zjistíme, že díl nevyhovuje. U otvoru číslo 3 jde o stejný problém. U tohoto měření lze závěrem říct, že pouze požadavek E odhalí v extrémních případech nefunkčnost dílu.

Pomocí výkresu v01 je poukázáno na hodnocení kvality základny C, viz **příloha 4**. Výsledek kolmosti základny C k základně B vyšel s odchylkou 0,078 (nevyhovující), a to vlivem nepřesnosti výroby. Maximální přípustná hodnota odchylky je 0,05. Nepřesnost je zobrazena barevným spektrem a ukazuje, kde dochází k největšímu vychýlení. Důsledkem této chyby výroby je ovlivnění polohy děr.

Příloha 5 zahrnuje výsledky měření přesnosti poloh děr. Z toho opět vyplývá, že kótování dřívějším způsobem je chybné, neboť by ve skutečnosti díl nebyl nikdy smontovatelný. Dle výkresu v03 jsou výsledky vyhovující, za to výsledky dle výkresu v01 a v02 ne. Na obrázku 3D modelu v příloze 5 je také vidět, že díry nebyly vrtány svisle k obrobku.

Důležité je tedy, že pro lineární rozměry a geometrické tolerance je vhodné použít systematiku ISO GPS. Samotný systém ale nepostačuje a je nutné zohlednit i princip funkčního ovládání.

8 Závěr

Důvodem zavedení ISO GPS ve světě bylo vytvoření společného a jednoznačného jazyka v technickém světě. Geometrická specifikace produktu slouží pro komunikaci mezi vývojem, výrobou, verifikací i zákazníky. Důležité je, že při specifikování rozměrů by mělo být hlavně dbáno na funkci produktu.

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo provedení rešerše základních norem, které jsou součástí systému ISO GPS. Práce se zabývala třinácti pravidly ISO GPS (ČSN EN ISO 8015), lineárními rozměry (ČSN EN ISO 14405-1), úhlovými rozměry (ČSN EN ISO 14405-3), rozměry jinými než lineárními a úhlovými (ČSN EN ISO 14405-2) a geometrickými tolerancemi (ČSN EN ISO 1011), ve kterých se práce zmiňuje i o tvorbě základen (ČSN EN ISO 5459).

Účelem bylo také poukázat na to, že i sebemenší rozdíl ve způsobu kótování dílu (jeho určování rozměrů a tolerancí) může ovlivnit výsledek natolik, že díl bude nefunkční. Proto je důležité znát alespoň základní normy geometrické specifikace produktu, aby se předešlo tomuto problému. Používání ISO GPS přináší efektivnější výrobu (méně nevyhovujících kusů) a tím dochází k vyšší konkurenceschopnosti produktu na trhu.

V praktické části byly vytvořeny tři různé výkresy pro jeden výrobek – destička. Pro experiment byla záměrně vyrobena destička dle zastaralého způsobu kótování. První výkres byl okótován na základě funkčnosti dílu, tedy správné specifikování výrobku. Na druhém výkresu byl úmyslně opomenut důležitý požadavek pro definici rozměrů děr. Ve třetím výkresu se vyskytuje dřívější (nesprávný) způsob kótování, se kterým se občas setkáváme dodnes.

Při ověřování rozměrů experimentálního dílu bylo zjištěno, že ověřovací systém tento díl u druhého a třetího výkresu označil jako vyhovující, i když je ve skutečnosti nefunkční. Na první pohled se může zdát způsob kótování prvního výkresu s ohledem na ISO GPS komplikovanější, ale zaručuje smontovatelnost několika dílů dohromady.

Zavedení jednotného technického jazyka bylo pokrokovou věcí v technickém myšlení a komunikaci po celém světě. Tento systém již vyřešil mnoho problémů. S příchodem lepších technologií a vyšších požadavků na výrobky je potřeba standardy pravidelně aktualizovat a studovat.

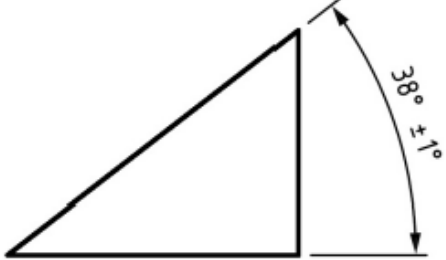
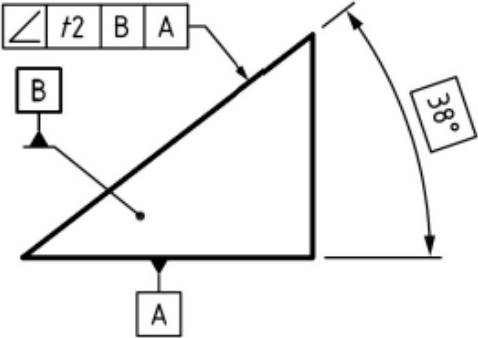
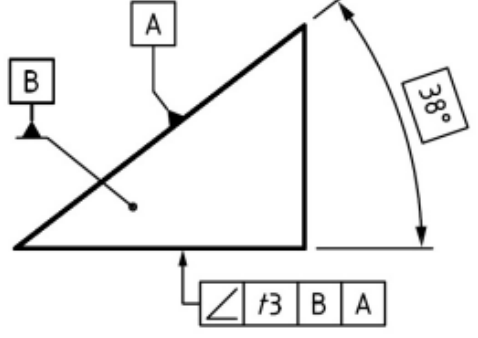
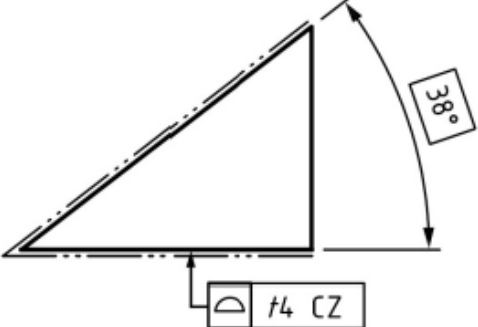
Seznam použitých zdrojů

- [1] Engineering & Design: Geometric Dimensioning. *NADCA Product Specification Standards for Die Casting* [online]. 9th edition. Arlington Heights: NADCA, 2015, s. 34 [cit. 2022-04-05]. ISBN ISBN 1-885271-00-x. Dostupné z: <https://www.kineticdiecasting.com/NADCA-Product-Standards-for-Die-Casting.pdf>
- [2] ISO/TC 213: PARTICIPATION. *ISO – International Organization for Standardization* [online]. Geneva: Copyright, 2022 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.iso.org/committee/54924.html?view=participation>
- [3] ISO/TC 10: Technical product documentation. *ISO – International Organization for Standardization* [online]. Geneva: Copyright, 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.iso.org/committee/45986.html>
- [4] Technické normalizační komise. *Česká agentura pro standardizaci* [online]. Praha: Copyright, 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.agentura-cas.cz/prostor-pro-experty/technicke-normalizacni-komise/>
- [5] ČSN EN ISO 14638. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Maticový model*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [6] ČSN EN ISO 1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Standardní referenční teplota pro specifikace geometrických a rozměrových vlastností*. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [7] ČSN EN ISO 8015. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Základy – Pojmy, principy a pravidla*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [8] ČSN EN ISO 14405-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů – Část 1: Lineární rozměry*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [9] ČSN EN ISO/IEC 17025. *Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří*. 4. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní, 2018.
- [10] ČSN EN ISO 291. *Plasty – Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení*. 4. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní, 2009.
- [11] HENZOLD, Georg. *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 9780750667388.
- [12] ČSN EN ISO 14253-1: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením – Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi*. 4. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní, 2018.
- [13] ČSN EN ISO 14405-3: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů – Část 3: Úhlové rozměry*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
- [14] ČSN EN ISO 14405-2: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů – Část 2: Rozměry jiné než lineární a úhlové rozměry*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.

- [15] ČSN EN ISO 1101: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení*. 4. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [16] Geometrické tolerance. *Portál pro strojní konstruktéry* [online]. Brno: Nová média, 2014 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/geometricke-tolerance>
- [17] PROCHÁZKA, Lukáš. Technická dokumentace. In: *DocPlayer* [online]. Praha: Copyright, 2015 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15872511-Definice-tolerovani-technicka-dokumentace-ing-lukas-prochazka.html>
- [18] ČSN EN ISO 5459: *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování – Základny a soustavy základen*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [19] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení* [online]. 2., opr. vyd. Brno: Computer Press, 2012 [cit. 2022-05-03]. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0. Dostupné z: <http://drgo.sk/TKFo%C5%99t.pdf>

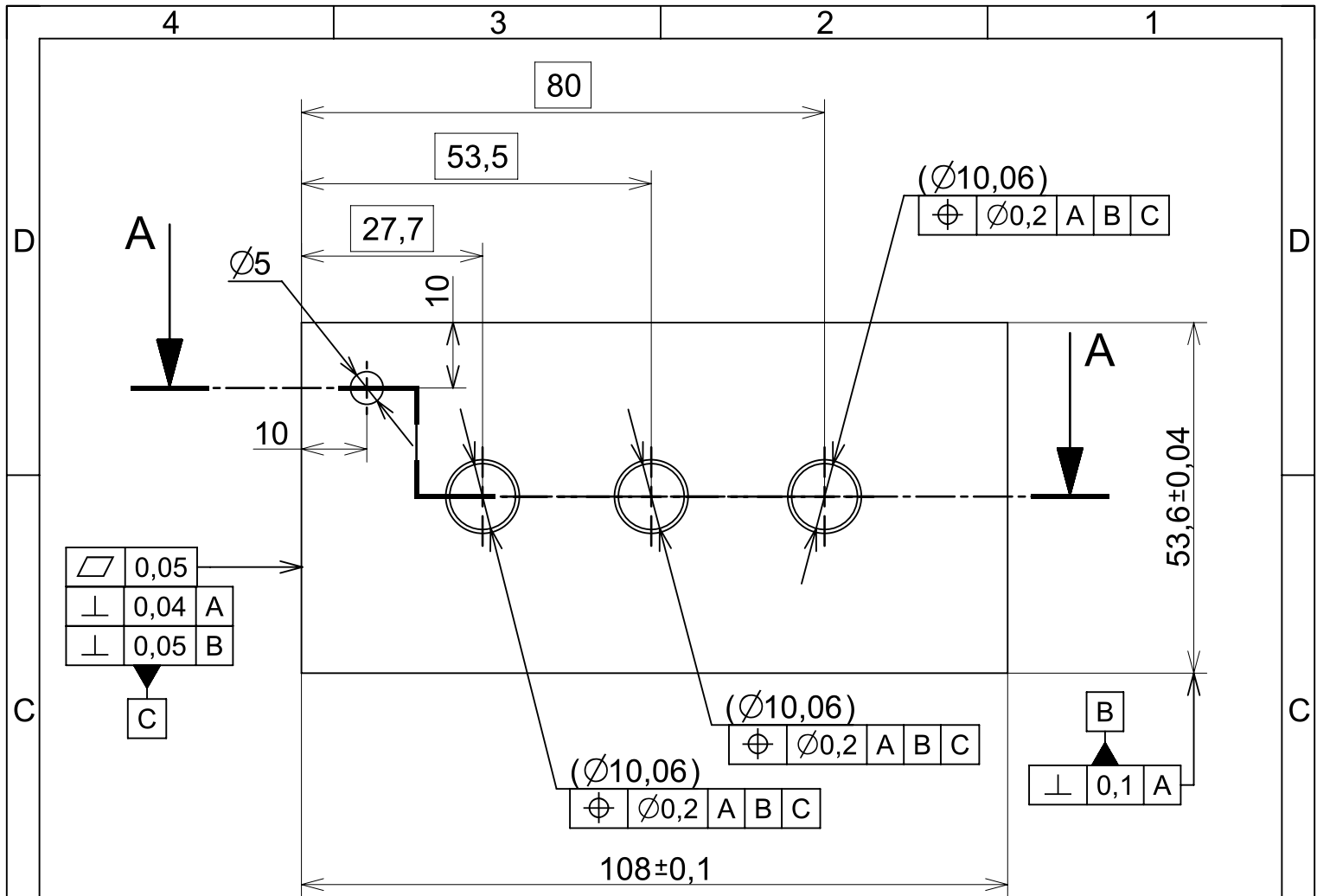
PŘÍLOHA č. 1

Způsoby definování úhlového rozměrového prvku [13]

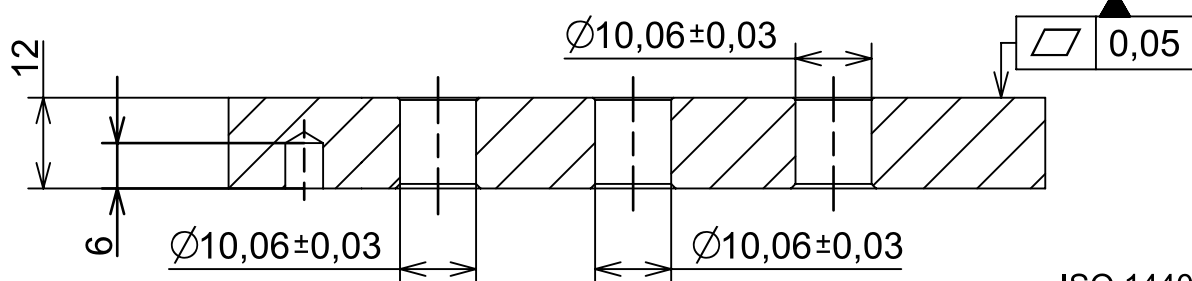
Indikace na výkresu	Úhlový rozměrový prvek
 <p>A right-angled triangle is shown with a 38° angle at the top right. A curved arrow indicates the angle with a tolerance of $\pm 1^\circ$.</p>	<p>Ano Dvě roviny se uvažují společně za účelem vytvoření rozměrového prvku a úhel se považuje za variabilní.</p>
 <p>A right-angled triangle is shown with a 38° angle at the top right. Datum A is on the horizontal side, and datum B is on the hypotenuse. A perpendicularity tolerance t_2 is indicated on the hypotenuse.</p>	<p>Ne Dvě roviny se uvažují samostatně. Jedna rovina je orientována od druhé. Úhel je rozměrem TED a definuje toleranční pole.</p>
 <p>A right-angled triangle is shown with a 38° angle at the top right. Datum A is on the hypotenuse, and datum B is on the vertical side. A perpendicularity tolerance t_3 is indicated on the hypotenuse.</p>	<p>Ne Dvě roviny se uvažují samostatně. Jedna rovina je orientována od druhé. Úhel je rozměrem TED a definuje toleranční pole.</p>
 <p>A right-angled triangle is shown with a 38° angle at the top right. Datum CZ is on the horizontal side. A circular runout tolerance t_4 is indicated on the horizontal side.</p>	<p>Ne Dvě roviny se uvažují současně. Úhel je rozměrem TED a definuje kombinované toleranční pole.</p>

PŘÍLOHA č. 2

**Tři rozdílné výkresy destičky pro praktickou část
(tři volně vložené listy A4 do kapsy na konci práce)**



A-A

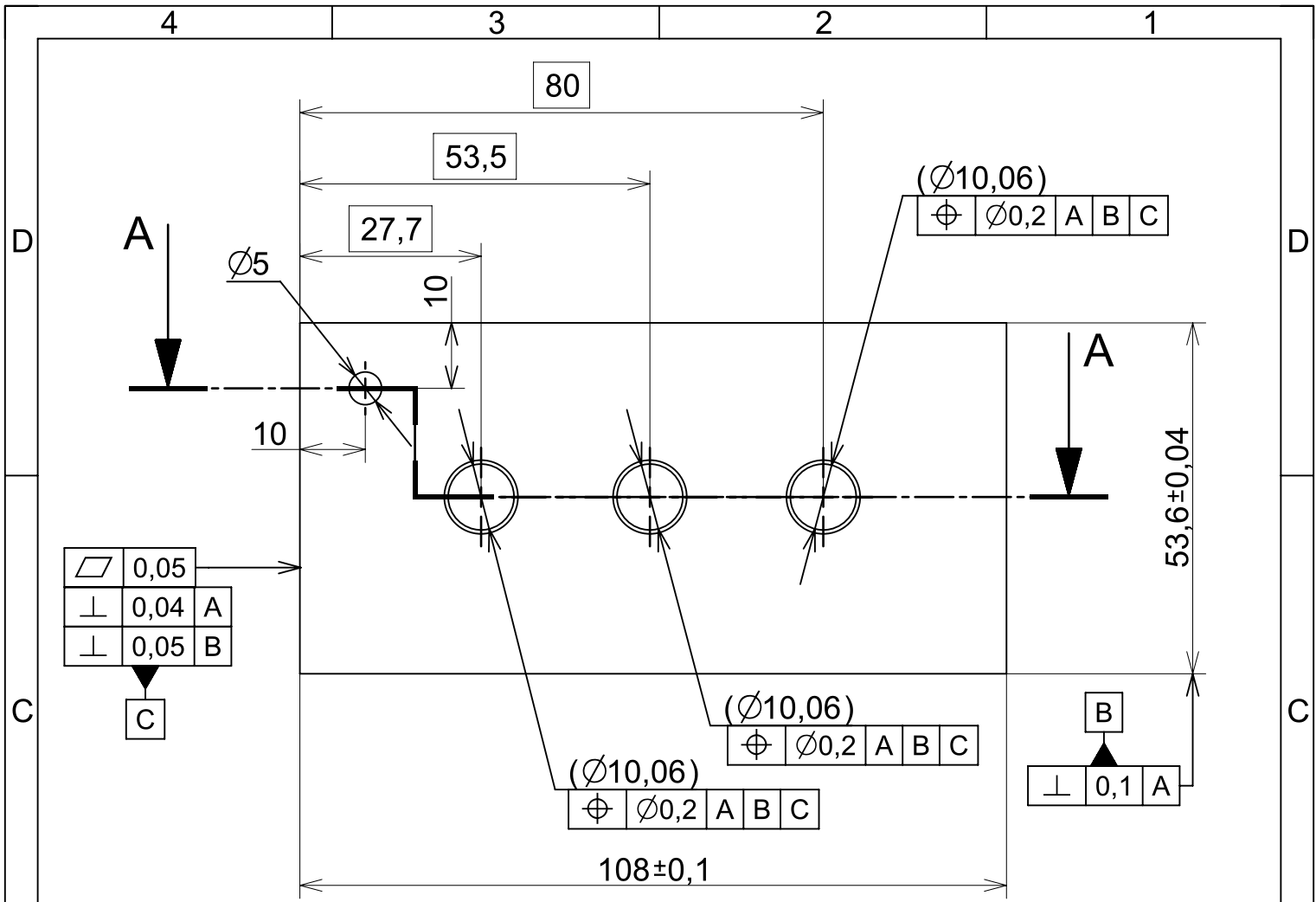


ISO 14405-1:2016(E)

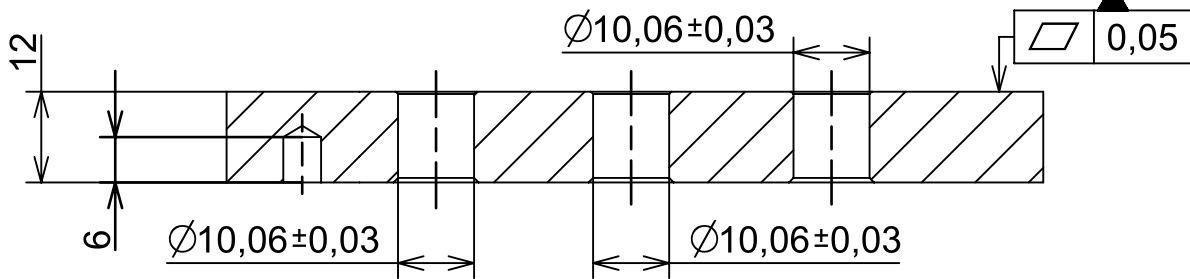
---	---	---	---/---	---	0,176	---	---	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			<p>FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small></p>
Kreslil / Drawn by	10. 11. 2021	Tumova Karolina			
Prezkousel / Checked by	---	Jagos Josef			
Schvalil / Approved by	---	Mazinova Ivana			
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:
---	---	---	---	---	---


<p>ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK</p>	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	<p>Bakalarska prace</p>	<p>Meritko / Scale</p> <p>1:1</p>
		Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.		
<p>Nazev / Title</p> <p>Desticka</p>			Rev.	<p>Cislo vykresu / Drawing No.</p> <p>0 v01</p>	Format
			List / sheet no.	<p>1</p>	<p>Pocet listu / sheets</p> <p>1</p>




A-A



---	---	---	---/---	---	0,176	---	---	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			 <p>FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p> <p><small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small></p>	
Kreslil / Drawn by	10. 11. 2021		Tumova Karolina				
Prezkousel / Checked by	---		Jagos Josef				
Schvalil / Approved by	---		Mazinova Ivana				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:		
---	---	---	---	---	---		

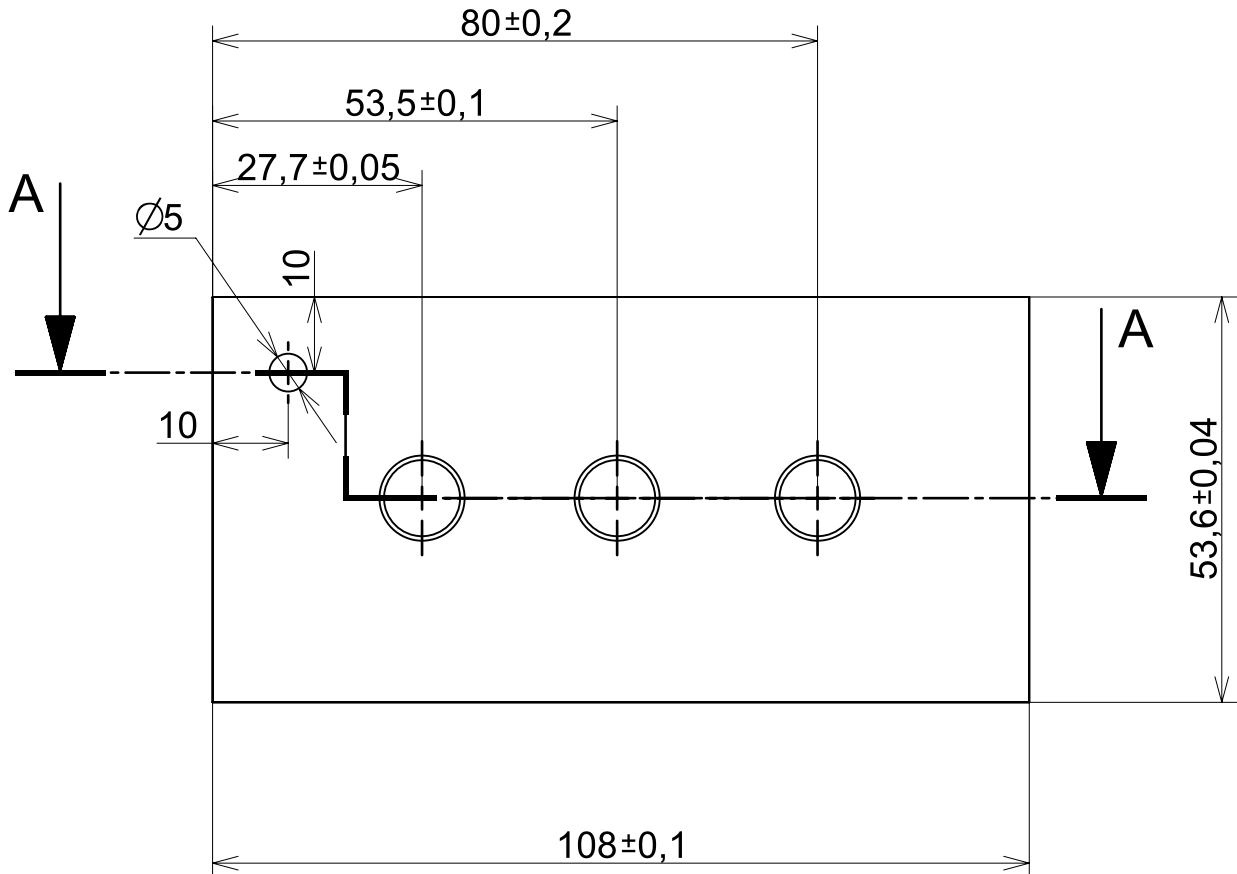
 <p>Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK</p>	Soubor-model / ASM-file	BP	Projekt / Project:	Bakalarska prace	Meritko / Scale 1:1	
	Soubor-vykres / DRW-file	BP	C.sestavy / Assembly No.	-		
Nazev / Title Desticka			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No. 0 v02	Format A4	
			List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1

4

3

2

1



A-A

 $\varnothing 10,06 \pm 0,03$

A

0,05


12


6

 $\varnothing 10,06 \pm 0,03$ $\varnothing 10,06 \pm 0,03$

⊥ 0,04 A

---	---	---	---/---	---	0,176	---	---	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	10. 11. 2021	Tumova Karolina			
Prezkousel / Checked by	---	Jagos Josef			
Schvalil / Approved by	---	Mazinova Ivana			
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	BP	Projekt / Project:	Bakalarska prace	Meritko / Scale 1:1
	Soubor-vykres / DRW-file	BP	C.sestavy / Assembly No.	-	
Nazev / Title			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
Desticka			0	v03	A4
			List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets
					1

4

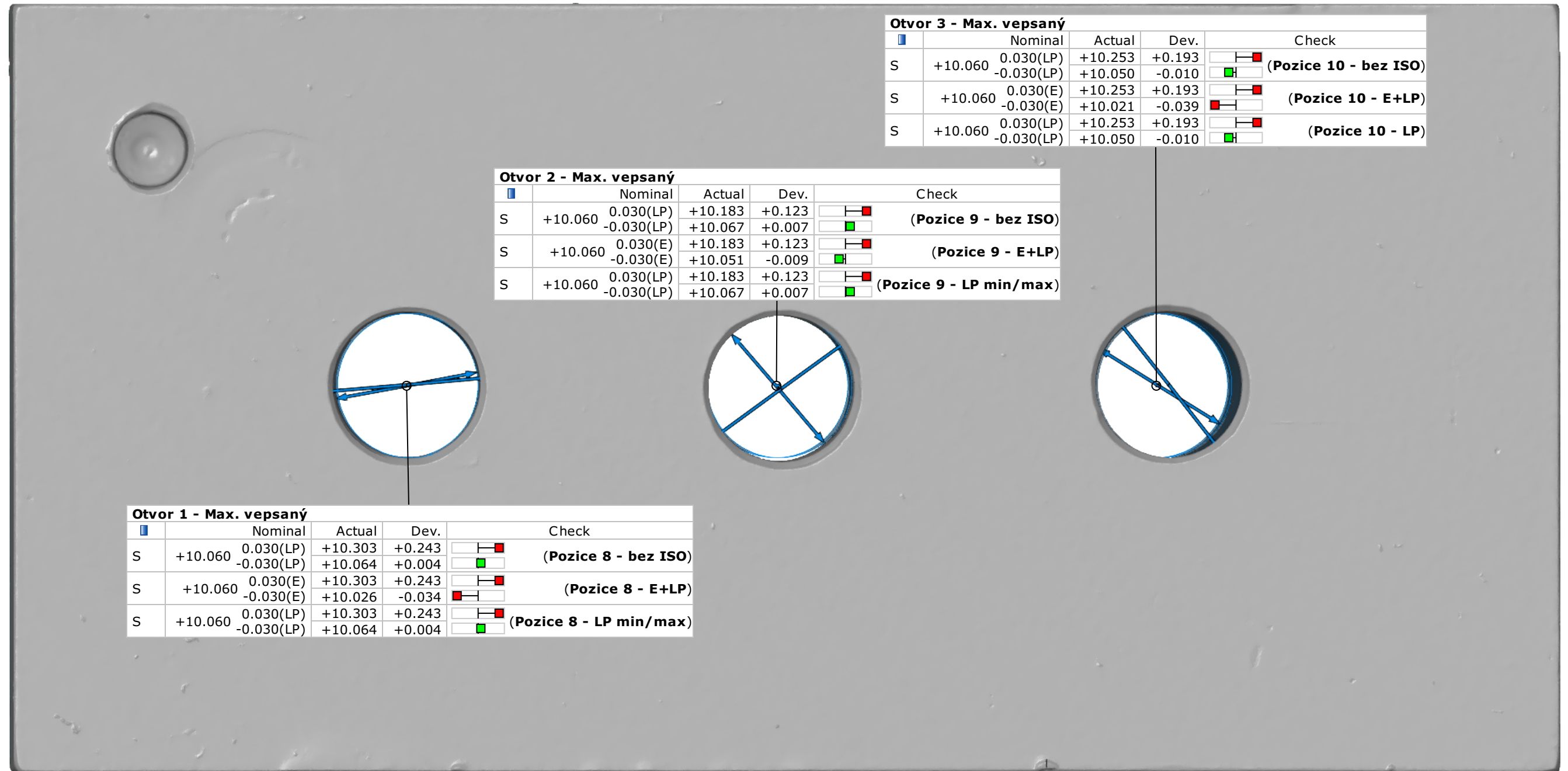
3

2

1

PŘÍLOHA č. 3

Výsledek měření č. 1 – Rozměr děr



Otvor 3 - Max. vepsaný

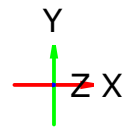
	Nominal	Actual	Dev.	Check
S	+10.060 0.030(LP) -0.030(LP)	+10.253 +10.050	+0.193 -0.010	(Pozice 10 - bez ISO)
S	+10.060 0.030(E) -0.030(E)	+10.253 +10.021	+0.193 -0.039	(Pozice 10 - E+LP)
S	+10.060 0.030(LP) -0.030(LP)	+10.253 +10.050	+0.193 -0.010	(Pozice 10 - LP)

Otvor 2 - Max. vepsaný

	Nominal	Actual	Dev.	Check
S	+10.060 0.030(LP) -0.030(LP)	+10.183 +10.067	+0.123 +0.007	(Pozice 9 - bez ISO)
S	+10.060 0.030(E) -0.030(E)	+10.183 +10.051	+0.123 -0.009	(Pozice 9 - E+LP)
S	+10.060 0.030(LP) -0.030(LP)	+10.183 +10.067	+0.123 +0.007	(Pozice 9 - LP min/max)

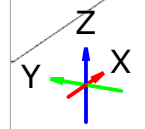
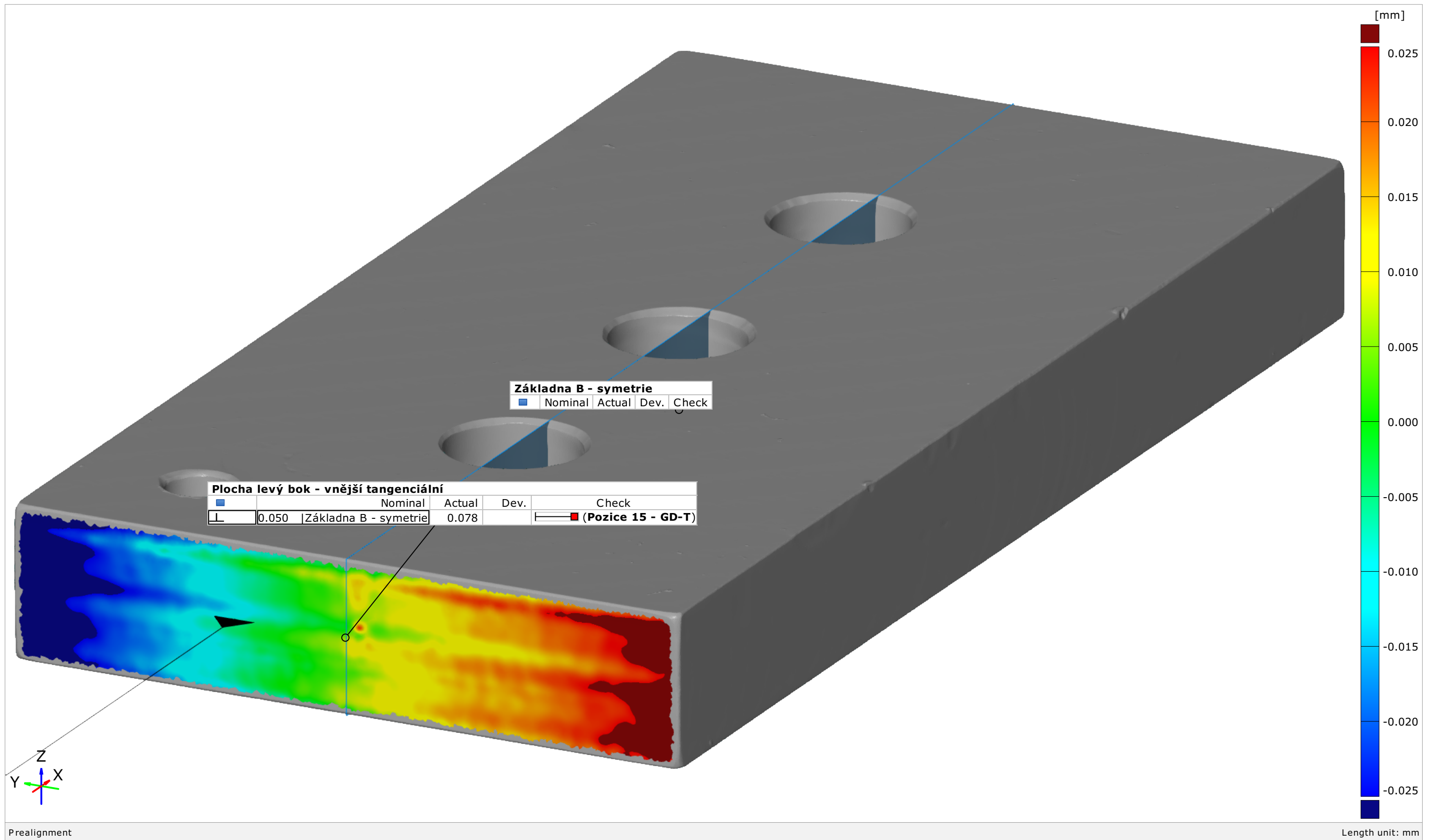
Otvor 1 - Max. vepsaný

	Nominal	Actual	Dev.	Check
S	+10.060 0.030(LP) -0.030(LP)	+10.303 +10.064	+0.243 +0.004	(Pozice 8 - bez ISO)
S	+10.060 0.030(E) -0.030(E)	+10.303 +10.026	+0.243 -0.034	(Pozice 8 - E+LP)
S	+10.060 0.030(LP) -0.030(LP)	+10.303 +10.064	+0.243 +0.004	(Pozice 8 - LP min/max)



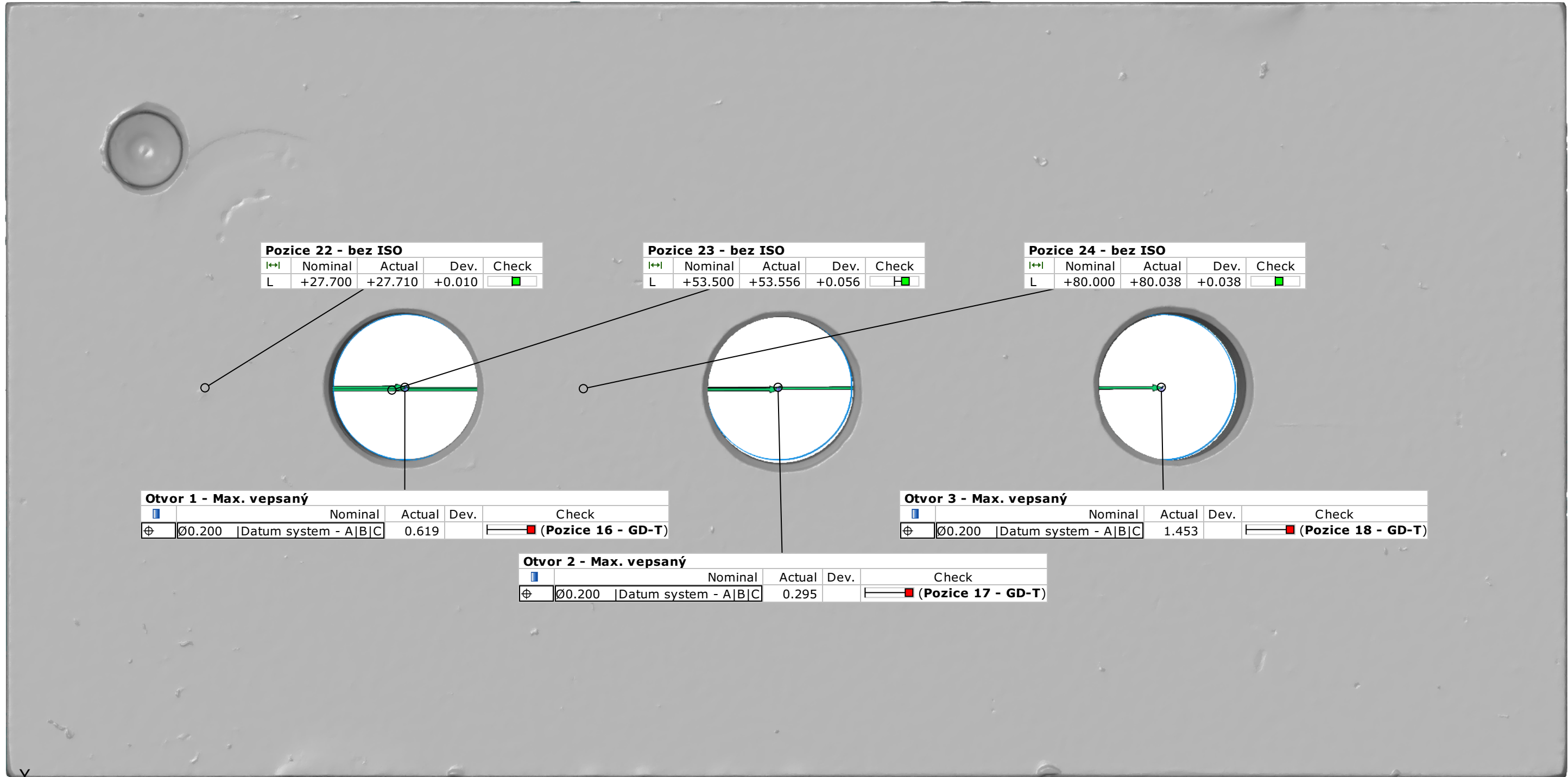
PŘÍLOHA č. 4

Výsledek měření č. 2 – Kolmost základny C



PŘÍLOHA č. 5

Výsledek měření č. 3 – Poloha děr



Pozice 22 - bez ISO

	Nominal	Actual	Dev.	Check
L	+27.700	+27.710	+0.010	<input checked="" type="checkbox"/>

Pozice 23 - bez ISO

	Nominal	Actual	Dev.	Check
L	+53.500	+53.556	+0.056	<input checked="" type="checkbox"/>

Pozice 24 - bez ISO

	Nominal	Actual	Dev.	Check
L	+80.000	+80.038	+0.038	<input checked="" type="checkbox"/>

Otvor 1 - Max. vepsaný

	Nominal	Actual	Dev.	Check
⊕ ∅0.200 Datum system - A B C		0.619		<input checked="" type="checkbox"/> (Pozice 16 - GD-T)

Otvor 3 - Max. vepsaný

	Nominal	Actual	Dev.	Check
⊕ ∅0.200 Datum system - A B C		1.453		<input checked="" type="checkbox"/> (Pozice 18 - GD-T)

Otvor 2 - Max. vepsaný

	Nominal	Actual	Dev.	Check
⊕ ∅0.200 Datum system - A B C		0.295		<input checked="" type="checkbox"/> (Pozice 17 - GD-T)

