



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**ANALÝZA POSTUPU POSOUZENÍ SHODY TĚLA
PŘEVODNÍKU KROUTÍCÍHO MOMENTU SE SPECIFIKACÍ**

ANALYSIS OF CONFORMITY ASSESSMENT PROCEDURE OF A TORQUE CONVERTER BODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav John

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Matej Harčarík

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Václav John**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **Ing. Matej Harčarik**
Akademický rok: 2017/18

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

Analýza postupu posouzení shody těla převodníku kroutícího momentu se specifikací

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci práce student zanalyzuje postup posuzování shody těla převodníku kroutícího momentu a navrhne případné možnosti zlepšení.

Cíle diplomové práce:

Analýza specifikace těla převodníku
Analýza stávajícího postupu posouzení shody
Doporučení pro praxi

Seznam doporučené literatury:

HOCKEN, Robert J., ed., Coordinate measuring machines and systems. 2nd ed. Boca Raton, 2012. Fla: CRC Press. ISBN 978-142-0017-533.

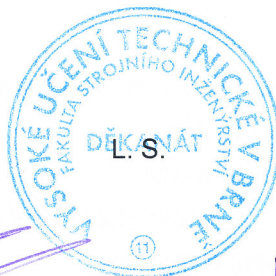
MEADOWS, James D., Measurement of geometric tolerances in manufacturing. New York, 1998: Marcel Dekker. ISBN 978-082-4701-635.

PLACKO, Dominique, ed., Metrology in industry: the key for quality. Newport Beach, 2006, CA: ISTE. ISBN 978-1-905209-51-4.

WHITEHOUSE, David J., Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton, 2010: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 10. 2017



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou postupu posuzování shody těla převodníku krouticího momentu se specifikací. Jednotlivými cíli bylo analyzovat specifikaci dílu, stávající postup posuzování jeho shody s touto specifikací a formulovat doporučení pro praxi. První kapitolu tvoří úvod. Ve druhé kapitole se práce zabývá normalizovanými postupy kótování rozměrů a dalších prvků. Třetí kapitola obsahuje analýzu rozměrů a prvků dílu specifikované zákazníkem. Ve čtvrté kapitole byl analyzován stávající postup posouzení shody u dodavatele a závěrem bylo uvedeno doporučení pro praxi.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with analysis of the conformity assessment procedure of a torque converter body with its specification. The individual goals were to analyse the part specification, the current procedure for assessing compliance with the specification and to formulate practical recommendations. The first chapter is the introduction. The second chapter deals with the correct dimensioning of part geometry. In the third chapter, the customer's part specification was analysed. In the fourth chapter, the current conformity assessment procedure was analysed. In the last chapter, practical recommendations were presented.

KLÍČOVÁ SLOVA

Posuzování shody výrobků, geometrická specifikace produktu, měření geometrie.

KEYWORDS

Conformity assessment of products, geometrical product specification, measurement of geometry.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JOHN, V. *Analýza postupu posouzení shody těla převodníku krouticího momentu se specifikací*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 96 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Matej Harčarik.

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří především vedoucímu diplomové práce Ing. Matej Harčarík za jeho připomínky a cenné rady během zpracování práce. Dále děkuji firmě ZLKL s.r.o. za vstřícný přístup a své rodině za podporu při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Mateje Harčaríka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. 5. 2018

.....

John Václav

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	GEOMETRICKÁ SPECIFIKACE VÝROBKU	17
2.1	Normalizace	17
2.2	Technické normy dle jejich úrovně [1]:.....	17
2.3	Výkres jako specifikace	18
2.4	Technické zobrazování	18
2.5	Popisové pole	19
2.6	ISO GPS.....	19
2.7	Rozměr.....	20
2.7.1	Rozměr – protilehlé plochy	21
2.7.2	Rozměr – průměr	22
2.7.3	Rozměr – úhel.....	25
2.7.4	Rozměry nelineární.....	25
2.8	Geometrické tolerování.....	27
2.9	Textura povrchu	34
2.10	Rádus a zkosení	38
2.11	Hrany neurčitých tvarů	41
3	ANALÝZA SPECIFIKACE TĚLA PŘEVODNÍKU.....	43
3.1	Analyzovaná součást.....	43
3.2	Popisové pole	43
3.3	Specifikace rozměrů – délkových.....	44
3.4	Specifikace rozměrů – průměrů	46
3.5	Specifikace dalších prvků	47
3.5.1	Úhel	47
3.5.2	Rádus a zkosení	49
3.6	Specifikace textury povrchu	50
3.7	Specifikace geometrických tolerancí	51
4	ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO POSTUPU POSOUZENÍ SHODY	53
4.1	Použitá měřidla	53
4.1.1	Zeiss DuraMax HTG	53
4.1.2	Renishaw Equator 300.....	54
4.1.3	Profilometr Mitutoyo SurfTest SJ-210	57
4.1.4	Profilprojektor KEYENCE IM-6700.....	58
4.1.5	Koncové měřky.....	59
4.1.6	Válcový kalibr	60
4.1.7	Posuvná měřidla	60
4.1.8	Hloubkoměr Mitutoyo VDS	61
4.1.9	Dutinoměry	62
4.1.10	Třmenový mikrometr.....	63
4.1.11	Universální měřidla na velké vnější nebo vnitřní rozměry.....	63
4.1.12	Protikus	64
4.2	Postupy měření dle účelu	65
4.2.1	Homologace.....	65
4.2.2	Uvolnění výroby	66
4.2.3	Průběžná kontrola	68

5	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	71
5.1	Pro zákazníka.....	71
5.1.1	Výkres dílu	71
5.1.2	Komunikace s dodavatelem	72
5.2	Pro dodavatele	72
5.3	Technicko – ekonomické posouzení	73
6	ZÁVĚR.....	75
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	81
8.1	Seznam tabulek.....	81
8.2	Seznam obrázků.....	82
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	85
	Specifikace rozměrů – seznamy.....	85
	Kontrolní plány	85

1 ÚVOD

Při pohledu na složitý produkt není zapotřebí si představovat, jak se pod jednou střechou vyrábí všechny jednotlivé části, ba naopak, takový podnik spolupracuje s dodavateli a nechává si určitý počet či všechny části u nich vyrábět. V ojedinělých případech zákazník požaduje po svých dodavatelích i kompletaci podsestavy výrobku (často spojené, když dodavatel pro zákazníka vyrábí více součástí, nebo disponuje prostory pro montáž). Jednoduchým úvodním příkladem je konstruktér při navrhování běžného spoje dvou dílců, na který potřebuje šroub a matici, kdy nepřemýšlí nad jejich výrobou, ale pouze si vybere součásti v potřebných rozměrech z dostupných katalogů a objedná je. Takové výrobky, které lze objednávat a snadno vzájemně vyměňovat od různých dodavatelů je zaručeno díky určitým pravidlům a předpisům. Tato pravidla stanovuje technický obor zvaný normalizace jejichž výsledkem jsou normy, předpisy a pravidla definující určité standarty.

Podnik, který se rozhodne a získá zakázku na dodávání výrobku, se zákazníkovi zavazuje splňovat jeho požadavky neboli specifikace. Tyto požadavky jsou dané technickou a konstrukční dokumentací, obvykle dle normalizovaných pravidel. Tato pravidla musí mít platnost státní (ČSN), celoevropskou (EN) a mezinárodní (ISO). Aby si dodavatel byl jistý spokojeností svého zákazníka, musí před odesláním vyhotovených výrobků zkontrolovat všechny tyto požadavky na výrobek. Tento proces se nazývá ověřováním, kde jeho výsledkem je posouzení shody či neshody dané specifikace. Pro přehlednost se stanoví postup, co všechno se bude kontrolovat, čím a jak, tak aby se předešlo nepříjemným reklamacím.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou geometrických specifikací výrobků, kde je poukázáno na jednoznačné zakótování rozměrů na základních prvcích podle souboru norem ISO GPS (viz kapitola 2). Ve třetí kapitole je obsažena analýza specifikace posuzovaného výrobku, kde je poukázáno na nejednoznačné rozměry použité na zákaznickově výkresu. Ve čtvrté kapitole byl prověřen stávající postup kontroly posouzení shody. Po těchto analýzách bylo sepsáno doporučení pro praxi, a to vzhledem k zákazníkovi a dodavateli (viz kapitola 5).

Dodavatelem analyzovaného výrobku je ZLKL.s.r.o. v Lošticích. Tato firma byla založena v roce 1993 a začínala s výrobou nábytkového kování a výsuvných roštů pro sedací soupravy. V roce 1994 se jí podařilo získat zakázku na výrobu rámců zadních sedadel pro vozy Škoda Felicia. Nyní spolupracují a dodávají pro firmy jako jsou např. SIEMENS, EMERSON, ABB, DAIMLER atd. Firma nabízí průmyslu několik strojírenských činností, konkrétně obrábění, lisování, svařování, povrchové úpravy a 3D kontrolu kvality. Analyzovaný výrobek se opracovává na oddělení obrábění na pick-up soustruzích. Společnost získala certifikace norem ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO TS 16949.

2 GEOMETRICKÁ SPECIFIKACE VÝROBKU

V této kapitole se diplomová práce opírá celkem o jedenáct částí, které mají uvést čtenáře do problematiky geometrické specifikace výrobku.

2.1 Normalizace

Soubory norem, kde pod pojmem norma se ukrývá předpis problematiky v daném odvětví. Poskytuje informace např. jak má součást vypadat a jaké má mít vlastnosti. Technické normy nejčastěji definují tvar, materiál, rozměr, povrchové úpravy atd.

2.2 Technické normy dle jejich úrovně [1]:

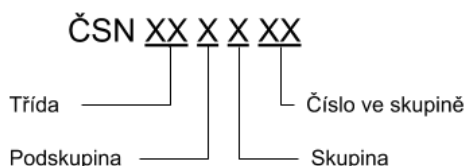
- **Normy mezinárodní**

Tyto normy mají označení ISO a jsou vydávané organizací ISO (International Organization for Standardization) a Evropské normy označované EN. Ty jsou vydávány CEN, tj. Evropským výborem pro normalizaci. Česká Republika je členem CEN.

Pozn.: Členy CEN jsou tyto státy: Belgie, Česká republika, Dánsko, Estonsko, Finsko, Francie, Irsko, Island, Itálie, Kypr, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Maďarsko, Malta, Německo, Nizozemsko, Norsko, Portugalsko, Polsko, Rakousko, Rumunsko, Řecko, Slovensko, Slovinsko, Spojené Království, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko.

- **Normy národní**

Označované, podle kterého státu jsou navrženy. Např. ČSN – Česká technická norma. Označování českých technických norem je složeno z označení ČSN a šestimístního číselného znaku, tzv. třídícího znaku (viz obrázek 1).



Obr. 1) Označení ČSN.

- **Normy oborové**

Tyto normy mají označení ON a jsou platné pro daný obor. Oborové normy byly specialitou ČSR a byly k 31. 12. 1993 zrušeny. Nicméně v praxi se s nimi můžete ještě ojediněle setkat a lze je i využívat. Nejčastěji však byly zapracovány do podnikových norem.

- **Normy asociací, sdružení**

Jsou to normy platné pro danou výrobní oblast. Do této skupiny patří normativní dokumenty obchodních řetězců a technické normy vojenských sdružení.

- **Normy podnikové**

Tyto normy jsou označovány jako PN, (podniková norma sdružená), různé formy materiálových listů atp. Normy jsou vypracovány jednotlivými organizacemi.

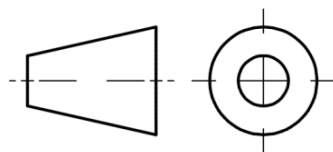
2.3 Výkres jako specifikace

Technický výkres je základním dokumentem, který je nepostradatelný při návrhu nového výrobku nebo projektu. Takový výkres je souborem informací vypracovaný v souladu s normalizovanými pravidly. Technické výkresy se využívají v celé řadě oborů, pro které mají charakteristický obsah [2].

Mezi základní formy výkresů se považuje několik typů. Na úplném začátku je náčrt, který je velmi často vytvořený od ruky. Následuje originál, který je vytvořen dle pravidel. Poslední formou je kopie originálu, která v praxi slouží především pro operátory výrobních strojů jako podklad.

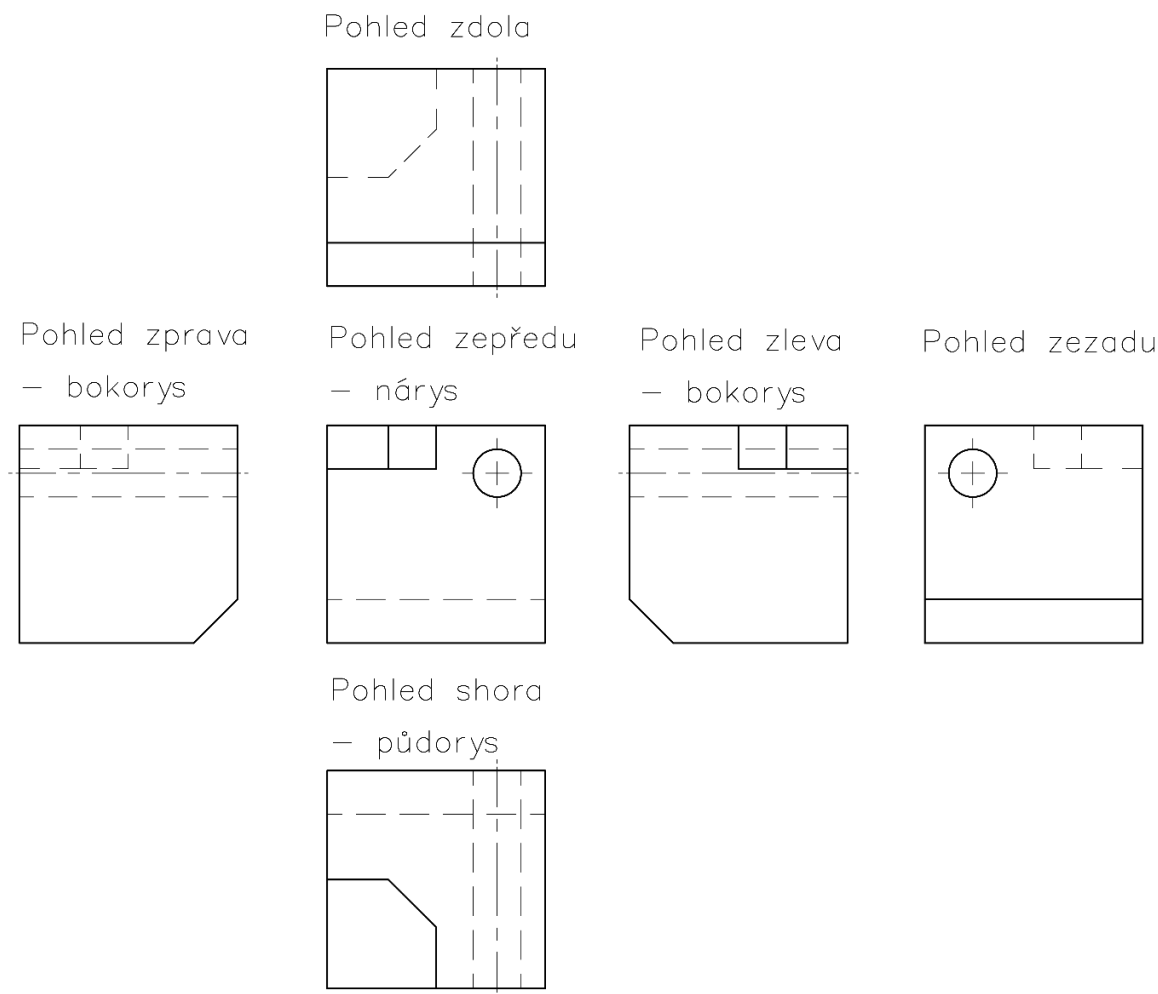
2.4 Technické zobrazování

Do dnešní doby vzniklo po celém světě několik zobrazovací metod, pomocí nichž lze prostorový prvek načrtnout nebo přesně zakreslit. Mezi základní zobrazovací metody dnes patří: rovnoběžné, kosoúhlé, středové a pravoúhlé promítání. Na výkresech v popisovém poli se lze nejčastěji setkat s označením (viz obrázek 2), které značí promítání pravoúhlé – evropské. Princip zobrazení je popsán na obrázku 3.



Obr. 2) Značka pravoúhlého promítání.

Promítání Pravoúhlé – Evropské se řadí mezi rovnoběžné promítání, které svírá s průmětnou pravý úhel. Jednotlivé promítnuté pohledy tělesa jsou rovinné. Tento způsob promítání se běžně používá k zobrazování předmětů na výkresech ve strojírenství.



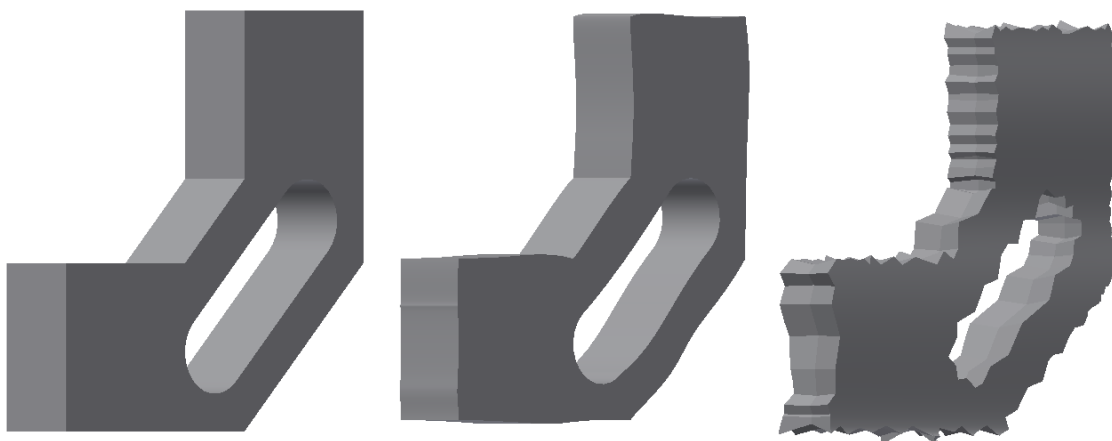
Obr. 3) Základní rozložení pohledů výrobku.

2.5 Popisové pole

Tabulka umístěná vpravo dole se označuje jako popisové pole výkresu. Tato tabulka slouží pro jasný přehled důležitých požadavků daného výkresu a vykresleného dílce na kterém je umístěna. Tabulka nese informace jako jsou normy, hlavní měřítko, číslo dokumentu, druh dokumentu, označení vlastníka, jména zodpovědných osob, datum vydání atd.

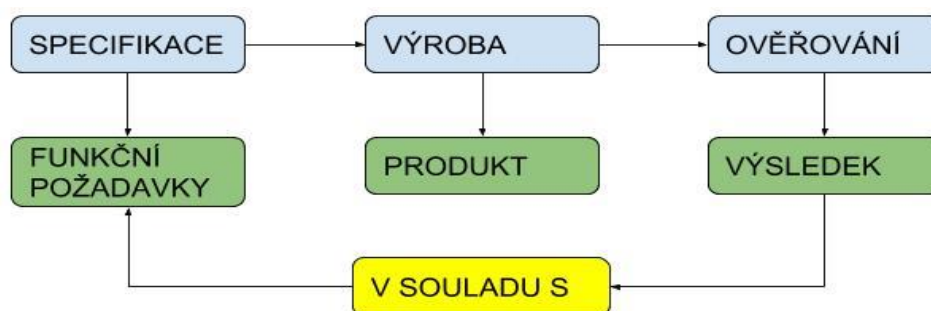
2.6 ISO GPS

S rostoucími požadavky na tolerance se mění pohled na stejný díl. Na přelomu 19 a 20 století, kdy se teprve začaly uplatňovat odchylky v řádech milimetrů si konstruktéři ještě představovali vyrobený díl stejně tak jako byl zakreslen na výkrese. V 19 století již základní tolerance byly běžně používány a k tomu se začínalo na výkresech zakreslovat geometrické tolerance. Dnes v 21 století se lze setkat s odchylkami a geometrickými tolerancemi v tisícinách milimetrů a k tomu mohou být ještě kladeny velké nároky na texturu povrchu. V závislosti na těchto požadavcích se s postupem času pohlíželo na ten a samý díl rozlišně (viz obrázek 4).



Obr. 4) Interpretace výrobku v závislosti na historii (1900, 1950 a 2018).

Výkres se zakótovaným dílem slouží jako jeho specifikace vytvořená zákazníkem. Tato specifikace je předána dodavateli, který se rozhodl a byl vybrán pro výrobu dílu. Výkres dodavateli slouží nejen pro výrobu, ale především pro následné ověření vyrobených dílů, aby zamezil odeslání dílu v nesouladu se specifikací (viz obrázek 5).



Obr. 5) Schéma procesů výrobku.

Cílem norem ISO GPS je abychom se vyhnuli nejednoznačnosti rozměrů na výkrese a tím spojených reklamací dílu mezi dodavatelem a zákazníkem. Výhodou součásti, kterou konstruktér vytvořil a specifikoval na výkrese ve shodě s pravidly těchto norem je její vyrobitelnost a sestavitelnost kdekoli na světě.

2.7 Rozměr

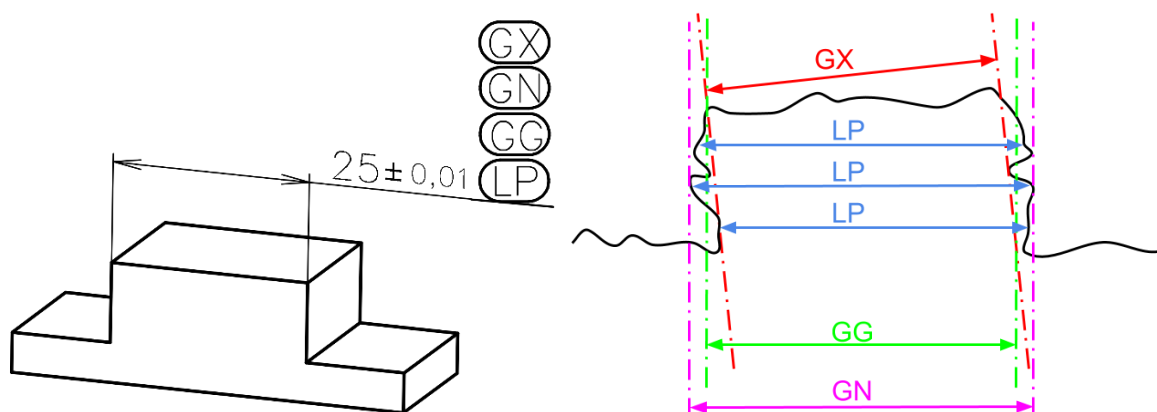
Rozměr lze rozdělit do dvou hlavních skupin, a to na rozměr lineární nebo úhlový, kde lineární rozměr je vzdálenost v délkových jednotkách charakterizující rozměrový prvek a úhlový rozměr je rozměr v úhlových jednotkách charakterizující rozměrový prvek [3]. Tyto dvě skupiny dále je možné podrobněji rozdělit viz tabulka 1. Podle normy ISO 14405-1 spadá do lineárních rozměrů: rozměr mezi dvěma protilehlými plochami a čarami, průměr válce či rozměr mezi dvěma soustřednými kružnicemi.

Tab 1) Rozdělení rozměrů dle charakteristiky [3].

Charakteristika, druh a počet prvků				Druh rozměru
Lineární rozměr (délkové jednotky)	Jeden prvek	Integrál – pouze rozměrové prvky		Lineární rozměr
		Integrální nebo odvozený		Vzdálenost poloměru
		Integrální nebo odvozený		Délka oblouku
	Dva prvky	Integrální – integrální	Ležící stejným směrem	Lineární vzdálenost nebo výška kroku
			Ležící opačným směrem	Lineární vzdálenost nebo výška kroku
		Integrální – odvozený		Lineární vzdálenost
		Odvozený – odvozený		Lineární vzdálenost
	Hrana (přechodová oblast mezi dvěma integrálními prvky)		Tvar sražení	Výška sražení a úhel
			Tvar zaoblení	Hrana poloměru
Úhlový rozměr (úhlové jednotky)	Jeden prvek	Integrální – pouze rozměrové prvky		Úhlový rozměr, kužele
	Dva prvky	Integrální – integrální		Úhlová vzdálenost
		Integrální – odvozený		Úhlová vzdálenost
		Odvozený – odvozený		Úhlová vzdálenost

2.7.1 Rozměr – protilehlé plochy

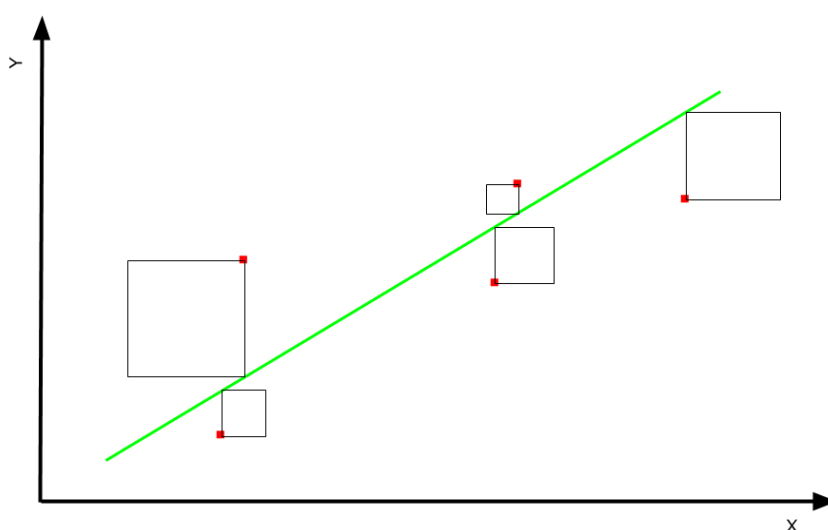
Tento jednoznačný a měřitelný (lineární) rozměr se v praxi může často specifikovat modifikátory. Každý z těchto modifikátorů určuje, jak se naměřené hodnoty rozměru budou vyhodnocovat viz obrázek 6.



Obr. 6) Rozměr se specifikací a jeho vyhodnocením v závislosti na modifikátorech.

Modifikátory:

Maximální vepsání prvku GX (Nebo označeno MI – Maximum inscribed size) a minimální opsání prvku GN (Nebo označeno MC – Minimum circumscribed size) spadají do metod obalového prvku. Dalším častým použitým kritériem je přiřazení nejmenších čtverců dle Gausse GG (Zkráceně G – Gaussova metoda). Tuto metodu Carl Friedrich Gauss používal již od roku 1795 a v knize *Theoria motus corporum coelestium* popsal až v roce 1809. Tato metoda se řadí mezi aproximační z oboru numerické matematiky a největší výhodou je ve vyřešení problémů spočívající např. když naměřené hodnoty se svými chybami (šumem) se budou aproximovat pomocí interpolace, tak bude v daných bodech nabývat stejných funkčních hodnot a výsledkem může být interpolační funkce neodpovídající pozorovanému prvku [4]. Grafické vyobrazení aproximace hodnot metodou nejmenších čtverců lze vidět na obrázku 7, kde červené body značí naměřené hodnoty a zelená lineární regresní přímku, která je výsledkem aproximace metody nejmenších čtverců.

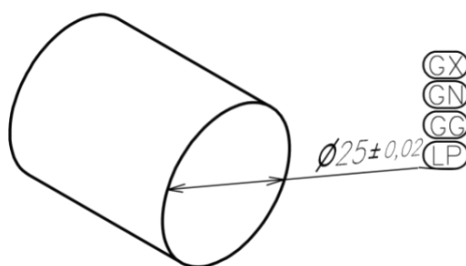


Obr. 7) Znázorněná metoda nejmenších čtverců.

2.7.2 Rozměr – průměr

Průměr je rozměrový variabilní parametr, na který se nahlíží jako na lineární rozměr (rozměr mezi protilehlými plochami), proto je často upřesněný modifikátory, které specifikují podmínky vyhodnocení.

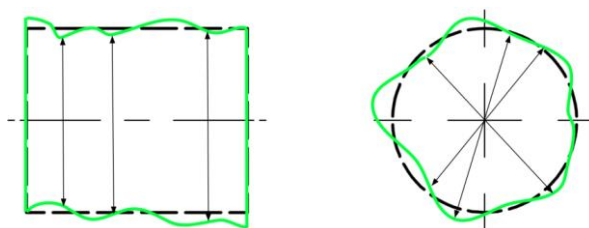
Zdali je na průměr požadovaný jeden z modifikátorů se pozná buď z popisového pole nebo přímo u zakótovaného průměru (viz obrázek 8). V případě zápisu modifikátoru v popisovém poli značí jeho globální platnost. Jednotlivé modifikátory se označují v oválném rámečku.



Obr. 8) Válec se specifikací.

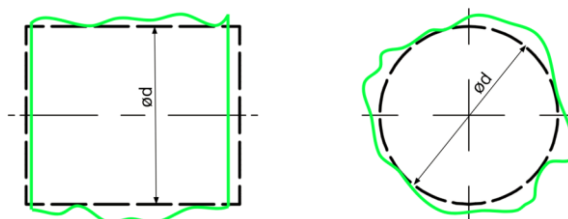
Požadavek:

LP - označuje rozměr mezi dvěma body (viz obrázek 9). Jedná se o relativní metodu, kde velkou výhodou je všeobecná dostupnost pro její jednoduché získání provedení.



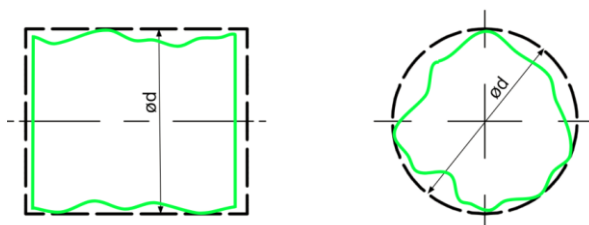
Obr. 9) Modifikátor LP.

GX - označuje kritérium přiřazení maximálního vepsání (viz obrázek 10) – metoda, kde výsledkem je maximální vepsaná referenční kružnice.



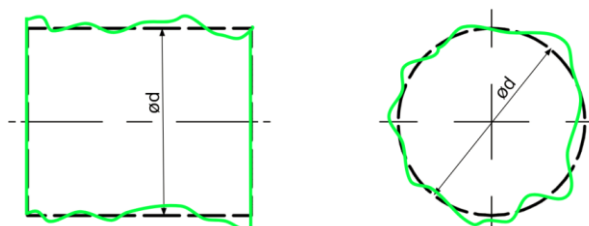
Obr. 10) Modifikátor GX.

GN - označuje kritérium přiřazení minimálního opsání (viz obrázek 11) – metoda, kdy výsledkem je minimální opsaná referenční kružnice. Výhodou v případě použití tohoto kritéria je zaručená smontovatelnost.



Obr. 11) Modifikátor GN.

GG - označuje kritérium přiřazení nejmenších čtverců – Gaussova metoda (viz obrázek 12). Výsledkem je referenční kružnice nejmenších čtverců. Tak jako u kritéria GN použitím tohoto kritéria je výhodou zaručená smontovatelnost.



Obr. 12) Modifikátor GG.

Kritérium obálky

Rozměry, u kterých je požadováno vyhodnocením metodou obálky, se následně uskutečňuje na základě kombinace modifikátorů (výše popsanych):

- pro vnitřní rozměr (díry, šířka drážky aj.) $\textcircled{E} = \textcircled{LP} + \textcircled{GX}$.
- pro vnější rozměr (hřídele, šířka hranolu aj.) $\textcircled{E} = \textcircled{LP} + \textcircled{GN}$.

Průměry s modifikátory GX a GN se běžně měří na principu LP (rozměr ze dvou bodů). V případě, že se specifikace vztahuje na celý prvek, tak celý soubor naměřených hodnot patří k jedné sadě výsledků. Jednotlivé naměřené hodnoty dvou – bodových rozměrů se získávají v jedné rovině v několika určených orientačních polohách. Takto lze měřit i válce (ve více rovinách) nebo rozměr mezi protilehlými plochami [5].

Měřidla na ověřování – protilehlé plochy a průměry

Pod pojmem měřidlo se rozumí prostředek, který byl vyvinut k měření daného typu rozměru. Na výše uvedené druhy rozměrů je možné použít měřidla, která se dělí dle principu:

Měřidla na principu posuvu

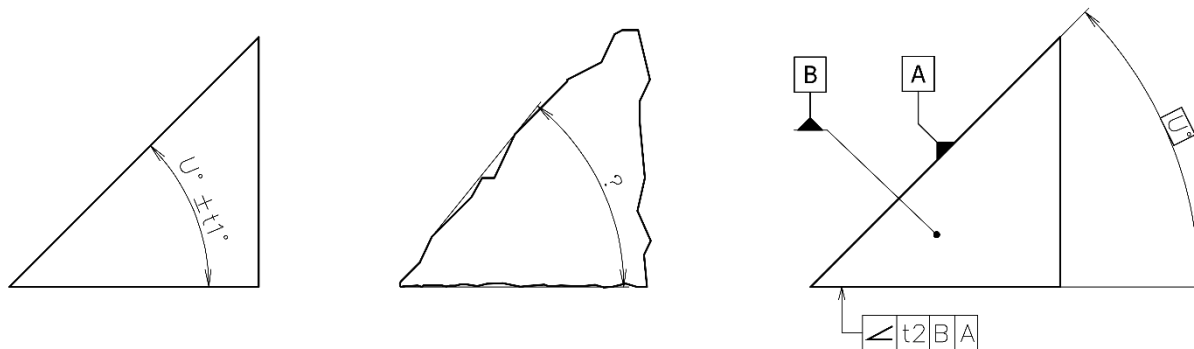
Měřidla na tomto principu hodnotí rozměrové veličiny součástí na základě pohybu posuvníku s měřicí čelistí vůči pevné čelisti. Hodnoty se odečítají z noniusu (analogové měřidlo) nebo dnes již běžně z číslcového displeje (digitální měřidlo). Mezi taková měřidla spadají např.: posuvné měřidlo, hloubkoměr nebo výškoměr.

Měřidla na principu šroubu

Otáčením šroubu s malým stoupáním obsluha polohuje měřicí doteky. Jednotlivá měřidla jsou nejčastěji odstupňovaná po 25 mm z důvodu dodržení stoupání závitu, které velmi ovlivňuje výsledky hodnot v celém rozsahu. V případě analogového měřidla operátor odečítá naměřenou hodnotu ze dvou stupnic a u měřidla digitálního to je z číslcového displeje. Základní měřidla na tomto principu jsou: třmenový mikrometr, mikrometrický hloubkoměr a dutinoměř.

2.7.3 Rozměr – úhel

Je rozměr v úhlových jednotkách charakterizující rozměrový prvek [3]. V případě úhlového rozměru, který charakterizuje velikost sevření dvou ploch se dnes často zakótuje pomocí odchylky $\pm$ (viz obrázek 13). Takový způsob z hlediska jednoznačnosti nestačí z důvodu jisté nedokonalosti výroby (viz obrázek 13). Možné jednoznačné zakótování lze vidět na obrázku 13, kde na první plochu se určí základna a na plochu druhou (se kterou svírá úhel) se vloží geometrická značka orientace – sklonu se stanovenou tolerancí. Hodnota sevřeného úhlu se zapíše do rámečku.



Obr. 13) Specifikace úhlu – nejednoznačná, její interpretace a jednoznačná.

Měřidla na ověřování – úhly

Rovinný úhel je úhel mezi dvěma polopřímkami, které jsou vyvedeny z jednoho bodu. Na ověřování shody úhlu výrobku tak, jak je definován na výkrese se používají měřidla ze dvou hlavních skupin, a to metodiky:

Metoda přímá

Tato metoda je založena na principu porovnávání velikosti úhlu s hodnotou měrky či úhломěrnou stupnicí. Patří mezi nejrozšířenější metody měření úhlů z důvodu své jednoduchosti a s tím spojenou nízkou cenou. Mezi základní přímá měřidla spadají: úhlové měrky, optické polygony, úhlové šablony, úhelníky, úhloměr a profilprojektory.

Metoda nepřímá

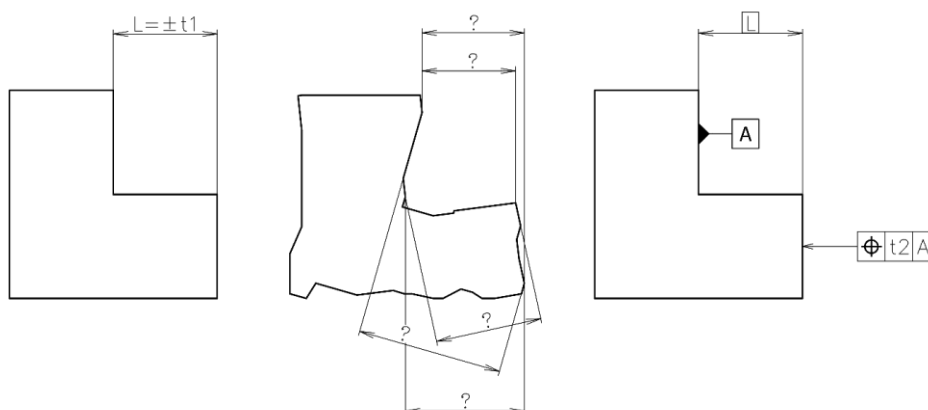
Nepřímé metody jsou založené na principu závislosti goniometrických funkcí. To umožňuje měřit jiné geometrické rozměry úhlu a samotný úhel se skrze goniometrických funkcí dopočítá. Mezi základní nepřímá měřidla spadají: sinusové a tangentské pravítko

2.7.4 Rozměry nelineární

Na výkresech se lze setkat s nelineárními rozměry: tento termín zatím není veřejně definovaný. Pokud by se měl blíže specifikovat, tak se jedná o rozměry, které se v praxi těžko ověřují z důvodu velkého množství možných výsledků. Tyto rozměry jsou obvykle zakóované běžným způsobem pomocí tolerance $\pm$, to nicméně nestačí. Co znamená ve skutečnosti takto nejednoznačně definované rozměry je možné vidět na několika následujících příkladech.

Dvě plochy, které nejsou vůči sobě protilehlé

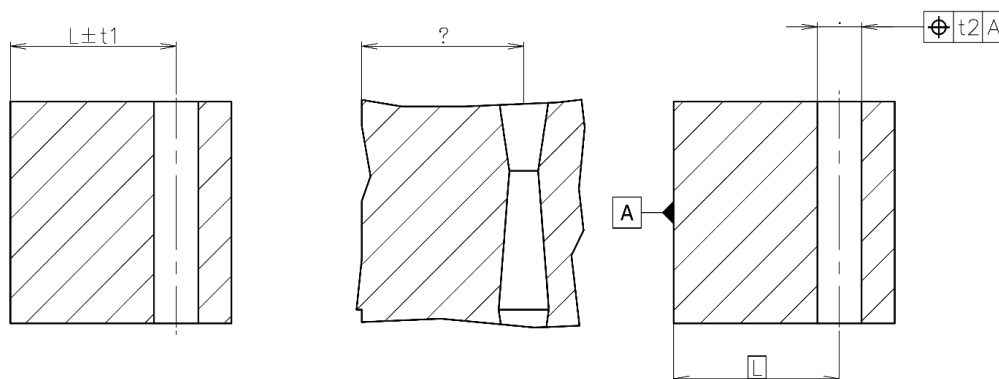
Na obrázku 14 lze vidět nejednoznačné zakótování rozměru dvou ne protilehlých stran. Takový příklad může představovat čtvercový profil s vyfrézovaným vybráním. Jelikož ale rozměr vybrání je zakótován pomocí odchylky $\pm$, tak naměřit jednoznačně požadovaný rozměr je nemožné, protože vyrobený díl ve skutečnosti (po zvětšení odchylek) vypadá velmi odlišně od zakreslení na výkresu viz obrázek 14. Takový rozměr dvou ne protilehlých ploch se podle ISO GPS může zakótovat např. viz obrázek 14, kde na jednu plochu se přiřadí geometrická základna a na plochu druhou se vloží geometrická značka umístění – polohy s danou tolerancí a odkázanou na základnu. Rozměr mezi plochami se zakótuje do rámečku, tedy bude se jednat o teoreticky přesný rozměr.



Obr. 14) Specifikace rozměru – nejednoznačná, její interpretace a jednoznačná.

Plocha-geometricky odvozený prvek

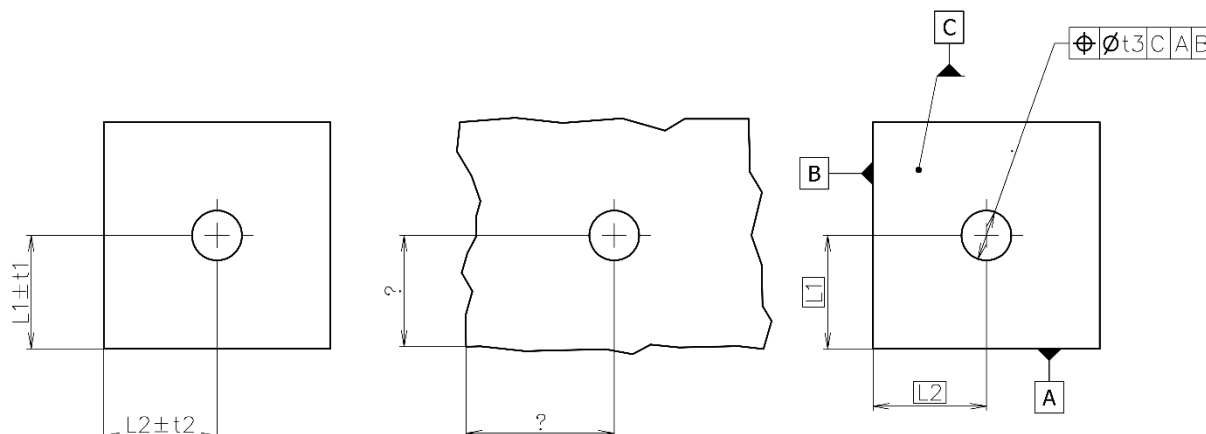
Níže na obrázku 15 lze vidět zakótování dalšího druhu nelineárního rozměru. Konstruktor, který potřebuje specifikovat osu díry k ploše, se v případě použití odchylky $\pm$ dopouští nejednoznačnosti. Možná interpretace vyrobeného dílu je totiž naprosto odlišná od výkresu, a tudíž najít jednoznačně tento rozměr je nemožné. Abychom se vyhnuli nejednoznačnosti tak takový rozměr lze jednoznačně zakótovat názorným příkladem, jak je vyobrazeno na obrázku 15, kde na plochu se přiřadí geometrická základna a na osu díry se vloží geometrická značka specifikující umístění – polohy s vhodnou tolerancí a odkázanou na základnu. Následně hodnota rozměru plocha vůči ose díry se zakótuje do rámečku.



Obr. 15) Specifikace rozměru – nejednoznačná, její interpretace a jednoznačná.

Plocha-geometricky odvozený prvek

Podobný příklad předešlému, kde je řešeno jednoznačné zakótování umístění díry na pohledu shora. Běžně střed díry je specifikován pomocí dvou kót k nejbližším plochám ve dvou směrech s odchylkami $\pm$ (viz obrázek 16). To z hlediska jednoznačnosti nestačí. Interpretace vyrobeného dílu vypadá ve skutečnosti velmi odlišně (viz obrázek 16). Plochy nikdy nebudou dokonale rovné, a proto je nezbytné je specifikovat pomocí základen a na díru vložit geometrickou značku umístění – polohy s tolerancí průměru osy (ve kterém se musí osa díry nacházet), odkazující se na základny jako je vyobrazeno na obrázku 16. Rozměry umístění díry se zakreslí do rámečku.



Obr. 16) Specifikace rozměru – nejednoznačná, její interpretace a jednoznačná.

Ověřování – nelineární rozměry

Měření nelineárních rozměrů tak, abychom mohli vždy výsledek označit jako za koncový jednoznačný není možné z důvodu velkého množství variant změření. Každé oddělení kvality by si toho měla být vědoma a jednotlivé geometrické tolerance nelineárních rozměrů zkoumat a v případě velmi malých tolerancí prosazovat u zákazníka toleranci vyšší. Následně se musí určit improvizovaný postup ověřování těchto rozměrů.

2.8 Geometrické tolerování

Plochy výrobku ve skutečnosti mají vždy určité odchylky k jmenovitým hodnotám. Je nutné tedy blíže specifikovat prvky výrobku, a to pomocí geometrických tolerancí. Ty vymezují toleranční pole, v němž se musí daný prvek nacházet. Prvkem je myšleno bod, čára nebo plocha.

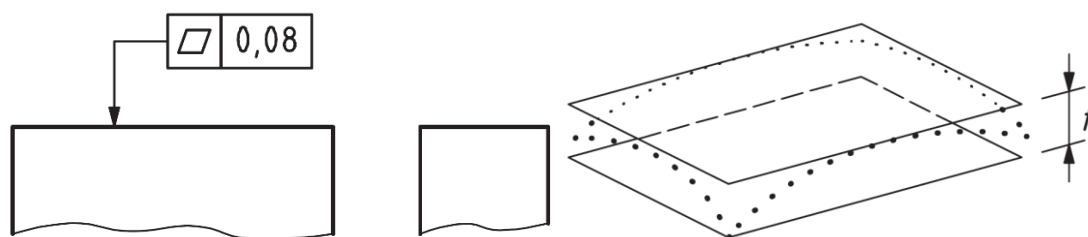
Značky geometrických charakteristik se dělí do čtyř hlavních skupin tolerancí: tvaru, orientace, umístění a házení. Každá zmíněná skupina se dále dělí dle charakteristiky viz tabulka 2.

Tab 2) Geometrické tolerování – charakteristiky a jejich značky [6].

Tolerance	Charakteristiky	Značka	Základna je nutná
Tvaru	Prímmost	—	ne
	Rovinnost		ne
	Kruhovitost		ne
	Válcovitost		ne
	Profil libovolné čáry		ne
	Profil libovolné plochy		ne
Orientace	Rovnoběžnost	//	ano
	Kolmost		ano
	Sklon		ano
	Profil libovolné čáry		ano
	Profil libovolné plochy		ano
Umístění	Poloha		ano nebo ne
	Soustřednost (středů)		ano
	Souosost (os)		ano
	Souměrnost		ano
	Profil libovolné čáry		ano
	Profil libovolné plochy		ano
Házení	Obvodové házení		ano
	Celkové házení		ano

Tvar – Rovinnost

Tolerance rovinnosti charakterizuje dvě rovnoběžné roviny vzdálené o hodnotu tolerance. Měřením zjištěné body plochy se musí nacházet mezi těmito rovinami (viz obrázek 17) [6].

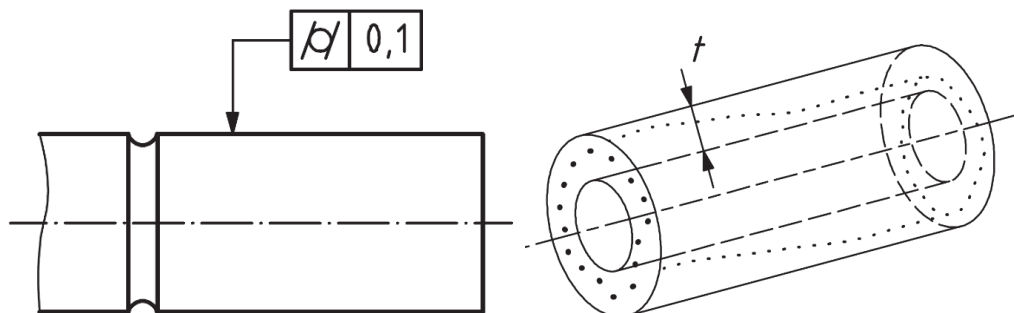


Obr. 17)

Geometrické tolerování rovinnosti [6].

Tvar – Válcovitost

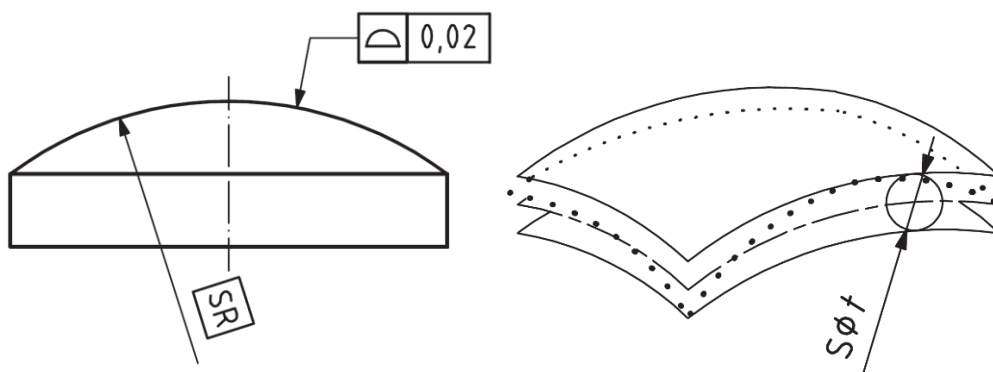
Tolerance válcovitosti charakterizuje rozdíl poloměrů o hodnotu tolerance dvou souosých válců. Měřením zjištěné body válcové plochy se musí nacházet mezi těmito souosými válci (viz obrázek 18) [6].



Obr. 18) Geometrické tolerování válcovitosti [6].

Tvar – Profil libovolné plochy

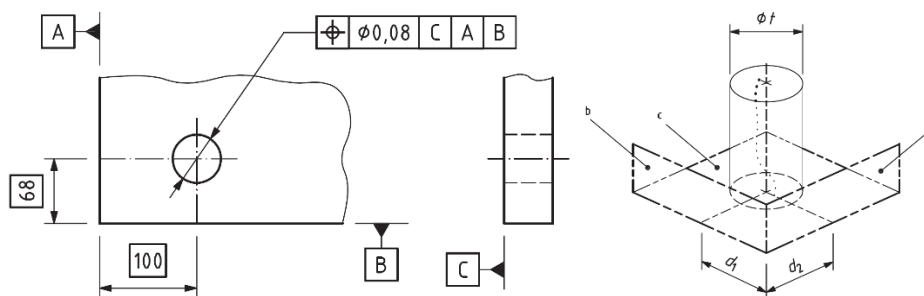
Tolerance profilu libovolné plochy charakterizuje dvě obalové plochy, které jsou definovány koulemi o průměru hodnoty tolerance. Jednotlivé středy vymezující koule leží na fyzické (teoreticky přesné) ploše geometrického prvku. Měřením zjištěné body plochy se musí nacházet mezi těmito obalovými plochami (viz obrázek 19) [6].



Obr. 19) Geometrické tolerování profilu libovolné plochy [6].

Umístění – Poloha

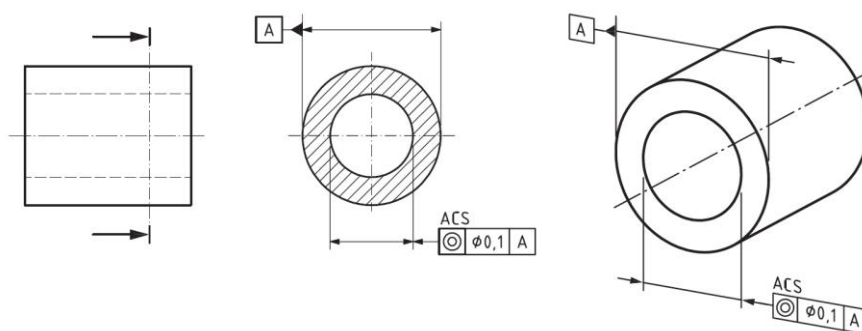
Tolerance polohy může být uplatněna jak na bodu, tak na čáry a roviny. Dnes se nejvíce uplatňuje tolerance polohy čáry, a to čáry jako osy díry. Toleranční pole charakterizuje válec o průměru hodnoty tolerance, před kterou je značka průměru. Polohu tohoto válce je teoreticky přesná vůči základnám, které jsou v tolerančním rámečku zmíněny. Měřením zjištěné body čáry se musí nacházet ve válcovém poli (viz obrázek 20) [6].



Obr. 20) Geometrické tolerování polohy [6].

Umístění – Soustřednost a sousost

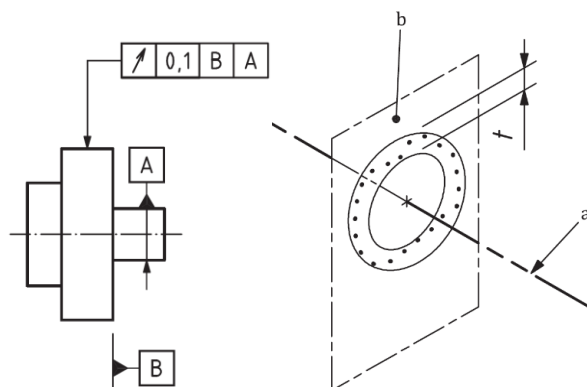
Zatímco tolerance soustřednosti se uplatňují na bod, tak tolerance sousosti na osu prvku. Tento prvek (např. hřídel) na jehož osu je tolerance sousosti požadována se vymezuje válec o průměru hodnoty tolerance, před kterou je značka průměru. Osa tohoto válce je shodná se základnou. Měřením zjištěné hodnoty čáry/osy hřídele se musí nacházet ve válcovém poli (viz obrázek 21) [6].



Obr. 21) Geometrické tolerování soustřednosti a sousosti [6].

Házení – Obvodové házení

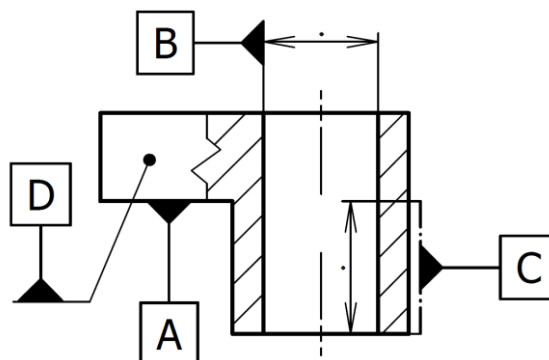
Tolerance obvodového házení charakterizuje toleranční pole na libovolném průřezu, které je kolmé k ose základny. Toto pole obsahuje dvě soustředné kružnice s rozdílem poloměrů o hodnotu tolerance. Měřením zjištěné hodnoty bodů se musí nacházet mezi soustřednými kružnicemi v každém libovolném řezu, kolmém k ose základny (viz obrázek 22) [6].



Obr. 22) Geometrické tolerování obvodového házení [6].

Základny

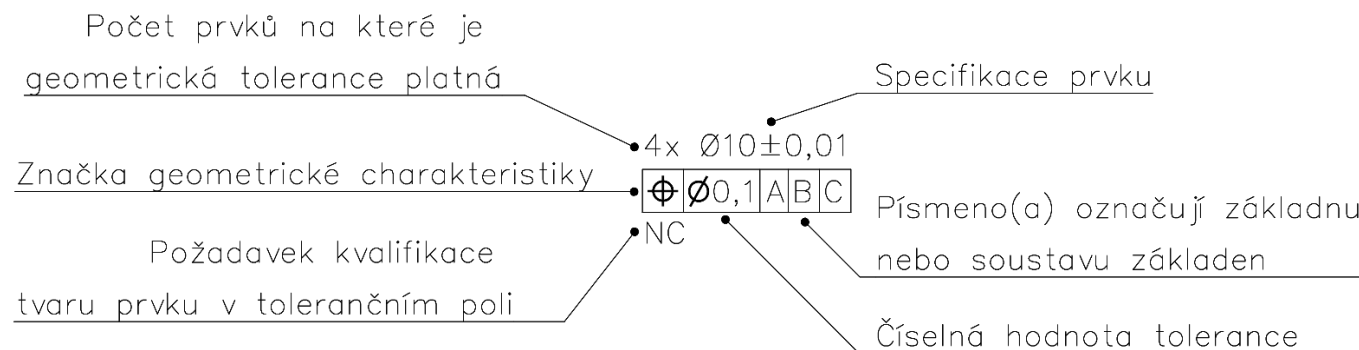
Označují se velkými písmeny abecedy v rámečku, který je spojený s vyplněným trojúhelníkem. Umístěním tohoto trojúhelníku se určí, k čemu je základna vztažena. Na obrázku 23 lze vidět základny s písmeny A a D, které oproti základně C platí pro dané plochy v celém rozsahu. Základna B je vztažena vzhledem k ose díry. Na tyto značky se posléze odkazují toleranční rámečky.



Obr. 23) Možnosti umístění základen.

Toleranční rámeček

Nese informaci o požadavku geometrické tolerance na prvek se kterým je spojený pomocí odkazové čáry. Rámeček obsahuje značku geometrické charakteristiky, číselnou hodnotu tolerance a v případě potřeby označení základny či celé soustavy. Možný požadavek s popiskem je popsán na obrázku 24.



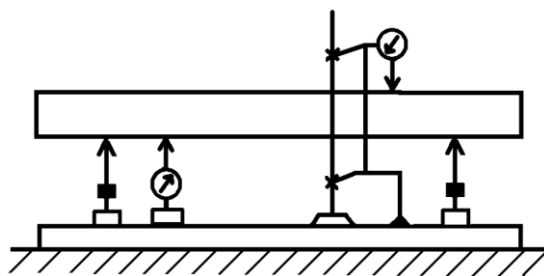
Obr. 24) Příklad požadavku geometrické tolerance a jeho popis.

Měřidla na ověřování – geometrické tolerance

Konstruktor, který tvoří výkres součásti a běžně specifikuje jeho funkční plochy geometrickými tolerancemi z důvodu, aby zdůraznil a byl si jistý, že součást bude po výrobě funkční spolu s ostatními navazujícími komponentami. Stanoví tak toleranční pole, ve kterém se musí nacházet prvek součásti. Ověřují se body, čáry nebo plochy.

Měřidla odchyšky přímosti

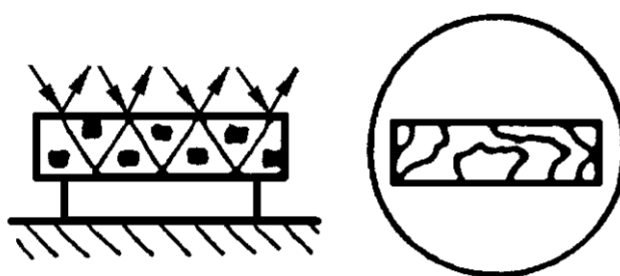
Přímost lze měřit různými způsoby, které se volí v zásadě dle přísnosti požadavků a dostupného vybavení. Pro dílenské podmínky je vhodné měřit pomocí vlasového pravítka, kde odchyška je zjištěna průsvitem. Pro měření krátkých délek je vhodná příměrná deska s úchylkoměry (viz obrázek 25). Další metoda je optická, která využívá zaměřovací dalekohled/laser a kříž. Setkat se je možné s krokovou metodou, která zjišťuje relativní změny sklonu úseků profilu. Měření přímosti lze měřit i souřadnicovým stroji, kde hlavní nevýhodou oproti ostatním variantám je jeho cena.



Obr. 25) Měření přímosti pomocí příměrné desky a úchylkoměrů [7].

Měřidla odchyšky rovinnosti

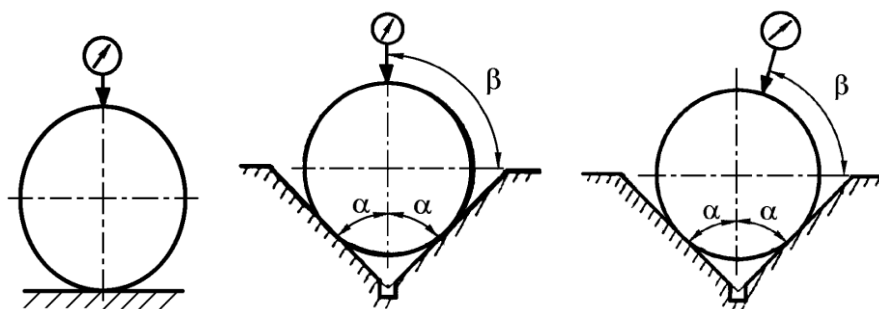
Rovinnost se v principu měří na základě metod přímosti. Běžně se z časových důvodů po dohodě zákazníka s dodavatelem provádí pouze měření odchylek přímosti v podélném, příčném a úhlopříčném směru. První jednoduchou metodou měření rovinnosti je za použití příměrné desky, na kterou se nanese tenká vrstva barvy. Tato deska se posléze položí na měřenou rovinu a podle její zabarvení se vyhodnotí závěr. V další metodě se kontroluje rovinnost na základě interference světla, kde měření se uskutečňuje pomocí planparalelní destičky, ta je přiložena na očištěný povrch. Mezi touto destičkou a měřenou plochou je vzdušný klín, kde dopadající světlo interferuje (viz obrázek 26). Poslední častou variantou je měřit rovinnost na souřadnicovém stroji.



Obr. 26) Měření rovinnosti interferencí světla [7].

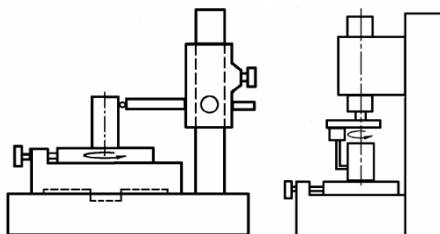
Měřidla odchyšky kruhovitosti

Při měření odchyšky kruhovitosti, a to metodou buď relativní nebo absolutní. V případě metody relativní se jedná o měření dvoubodové, třibodové nebo n-bodové (viz obrázek 27). Zde se rozlišují opěrné a snímací body vzhledem k soustavě souřadnic měřidla. Výhodou těchto metod je jejich jednoduchost a cenová dostupnost díky kterým se v praxi hojně používají.



Obr. 27) Měření odchylky kruhovitosti bodovými metodami [7].

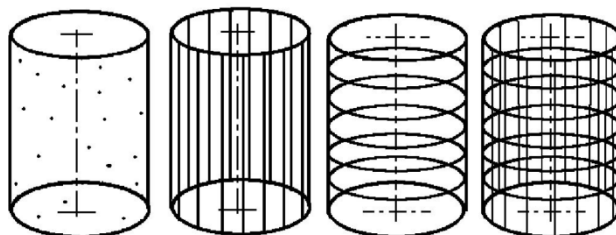
K měření odchylek kruhovitosti metodou absolutní se využívají kruhoměry. Jsou to speciální měřidla s otočným stolem nebo s otočným vřetenem (viz obrázek 28). Výsledkem pohybu snímače je buď grafický záznam nebo číselné vyhodnocení průběhu odchylek kruhovitosti.



Obr. 28) Měření odchylky kruhovitosti kruhoměry [7].

Měřidla odchylky válcovitosti

K měření válcovitosti se nejčastěji používají souřadnicové měřicí stroje nebo měřidla na odchylky tvaru. Nejdůležitějším krokem je stanovení strategie měření. Existují čtyři základní metody měření: bodová, přímková, příčných řezů a klec (viz obrázek 29). V případě použití metody klece se získá nejvěrohodnější výsledek, pokud nelze tato metoda použít, ostatními metodami se získají zredukované informace o posuzované válcovitosti.



Obr. 29) Strategie měření válcovitosti [7].

2.9 Textura povrchu

Textura povrchu je definována jako opakované nebo náhodně uspořádané odchylky (úchytky) od geometrického tvaru, které tvoří třírozměrnou topografii povrchu [8].

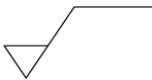
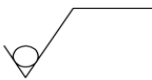
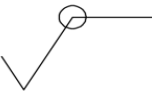
Odchylky od geometrického tvaru jsou nejčastěji způsobené:

- Po obrábění (soustružení či frézování) povrchu – vyznačuje se pravidelnými stopami po nástroji tedy periodický profil.
- Po broušení (lapování či honování) povrchu – vyznačuje se nepravidelnými stopami po nástroji tedy neperiodický profil.

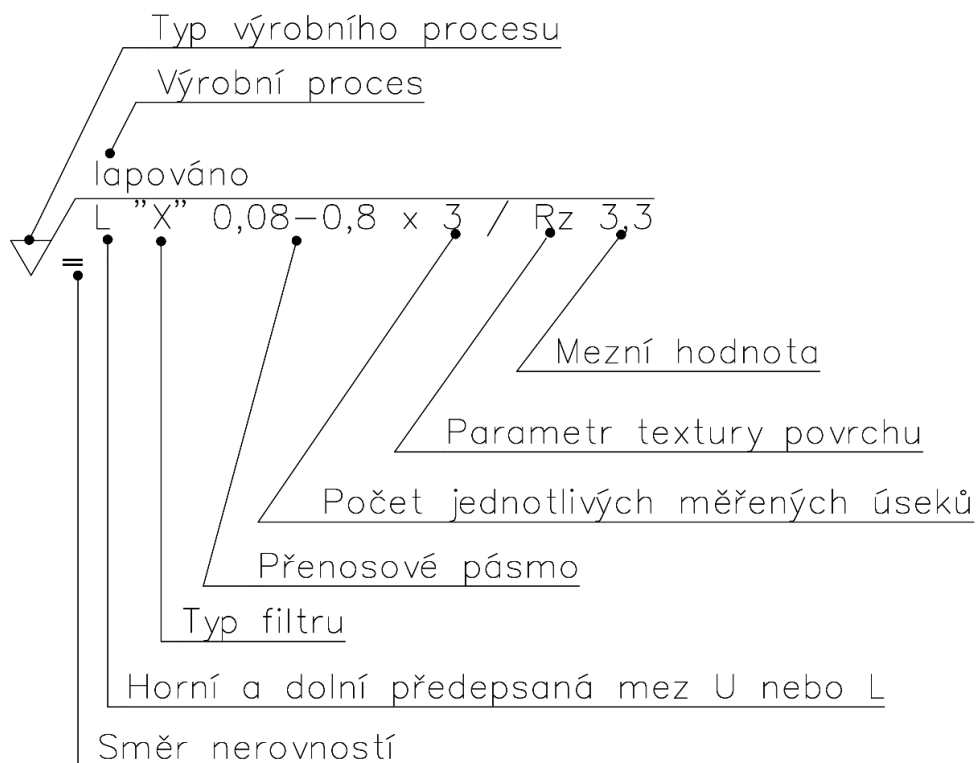
Pokud by se mělo jednotlivě popsat možné ne-pravidelné stopy, tak se jedná o rýhy, škrábance, trhliny, vyvýšeniny, prohlubeniny, póry, otřepy, koroze atd. Tyto nedokonalosti mají velký vliv na životnost, vibrace, hlučnost nebo tření zařízení.

Specifikace na textury povrchu se v technické dokumentaci součástí určují grafickými značkami o několika variantách se specifickým významem (viz tabulka 3).

Tab 3) Grafické značky textury povrchu.

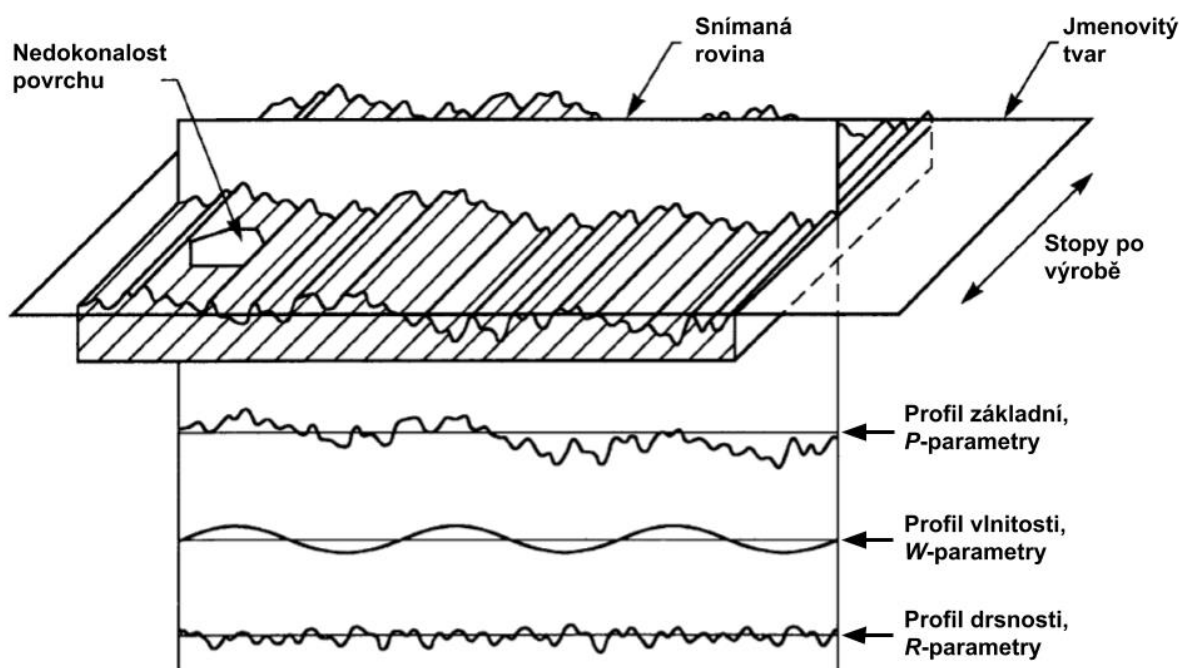
Značka	Význam
	Základní grafická značka
	Rozšířená grafická značka – požadavek na odebrání materiálu
	Rozšířená grafická značka – zákaz na odebrání materiálu
	Dovoluje se libovolný výrobní proces
	Odebrání materiálu se požaduje
	Odebrání materiálu se nedovoluje
	Požadavek se vztahuje na celý obvod součásti

Doplňkové požadavky a jejich polohu kolem značky je možné vidět na znázorněném příkladu, a to na obrázku 30. Předepisují se požadavky jako např. výrobní procesy, povlaky, tepelné zpracování atd.



Obr. 30) Příklad požadavku textury povrchu s popisem.

Při měření povrchu ve zvolené snímané rovině se získají hodnoty odchylek od ideálního geometrického povrchu, které se dělí na tři hlavní profily, a to na profil základní (*P*-parametry), profil vlnitosti (*W*-parametry) a profil drsnosti (*R*-parametry) (viz obrázek 31). Jednotlivé parametry těchto profilů lze vidět v tabulce 4.



Obr. 31) Základní profily textury povrchu [9].

Tab 4) Parametry profilů povrchu.

Parametry	Výškový parametr									Délkové parametry
	Výstupek – prohlubeň					Průměrná hodnota				
<i>R</i> -profilu	<i>R</i> <i>p</i>	<i>R</i> <i>v</i>	<i>R</i> <i>z</i>	<i>R</i> <i>c</i>	<i>R</i> <i>t</i>	<i>R</i> <i>a</i>	<i>R</i> <i>q</i>	<i>R</i> <i>sk</i>	<i>R</i> <i>ku</i>	<i>R</i> <i>Sm</i>
<i>W</i> -profilu	<i>W</i> <i>p</i>	<i>W</i> <i>v</i>	<i>W</i> <i>z</i>	<i>W</i> <i>c</i>	<i>W</i> <i>t</i>	<i>W</i> <i>a</i>	<i>W</i> <i>q</i>	<i>W</i> <i>sk</i>	<i>W</i> <i>ku</i>	<i>W</i> <i>Sm</i>
<i>P</i> -profilu	<i>P</i> <i>p</i>	<i>P</i> <i>v</i>	<i>P</i> <i>z</i>	<i>P</i> <i>c</i>	<i>P</i> <i>t</i>	<i>P</i> <i>a</i>	<i>P</i> <i>q</i>	<i>P</i> <i>sk</i>	<i>P</i> <i>ku</i>	<i>P</i> <i>Sm</i>

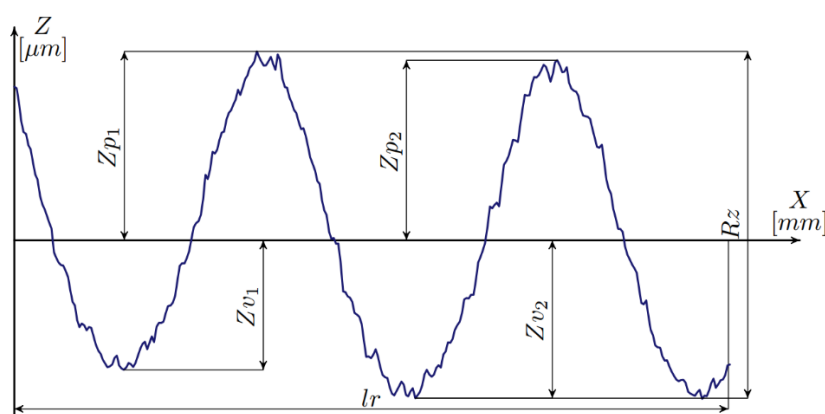
Popis vybraných parametrů textury povrchu:

P_t – celková výška základního profilu

Výškový parametr základního profilu výstupků a prohlubní, který popisuje součet výšky největšího výstupku profilu drsnosti Z_p a hloubky největší prohlubně profilu drsnosti Z_v v rozsahu vyhodnocované délky [10]. Často používán na velmi malých prvcích z důvodu, že se jedná o parametr základního profilu, po kterém se nevyžaduje určená základní délka k měření.

R_z – největší výška profilu (viz obrázek 32)

Výškový parametr výstupků a prohlubní, který popisuje průměr dílčích součtů výšek největších výstupků profilu drsnosti Z_p a hloubek největších prohlubní profilu drsnosti Z_v z jednotlivých základních délek [10].

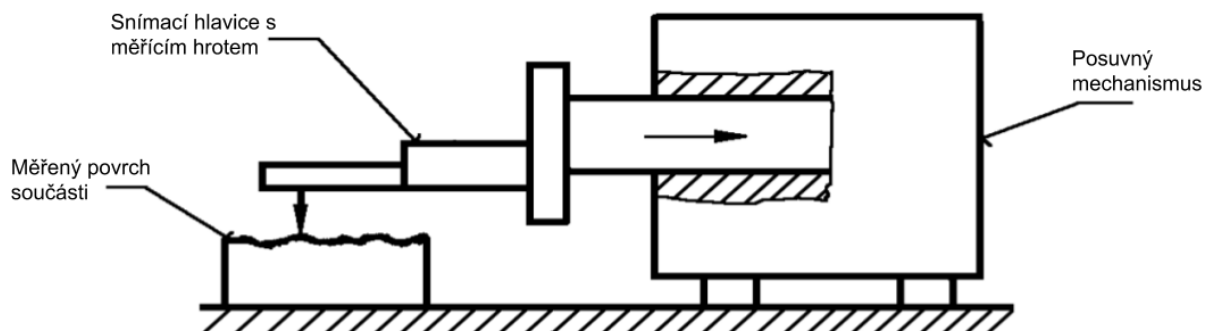


Obr. 32) Největší výška profilu drsnosti R_z [11].

Měřidla na ověřování – textura povrchu

Přístroje na měření textury povrchu se nazývají profilometry, které je možné rozdělit dle způsobu získávání hodnot do dvou hlavních kategorií na kontaktní a bezkontaktní.

Kontaktní neboli dotykový profilometr se skládá z mechanické a elektronické části, která převádí signál mechanický z hrotu na signál elektrický (viz obrázek 33). Tyto signály se následně vyhodnotí na požadovaný parametr textury povrchu, který je zároveň nastavený v měřicím zařízení. Snímaná hodnota parametru je ovlivněna především velikostí zvoleného snímacího hrotu, přitlačnou silou hlavičky a rychlostí měření.

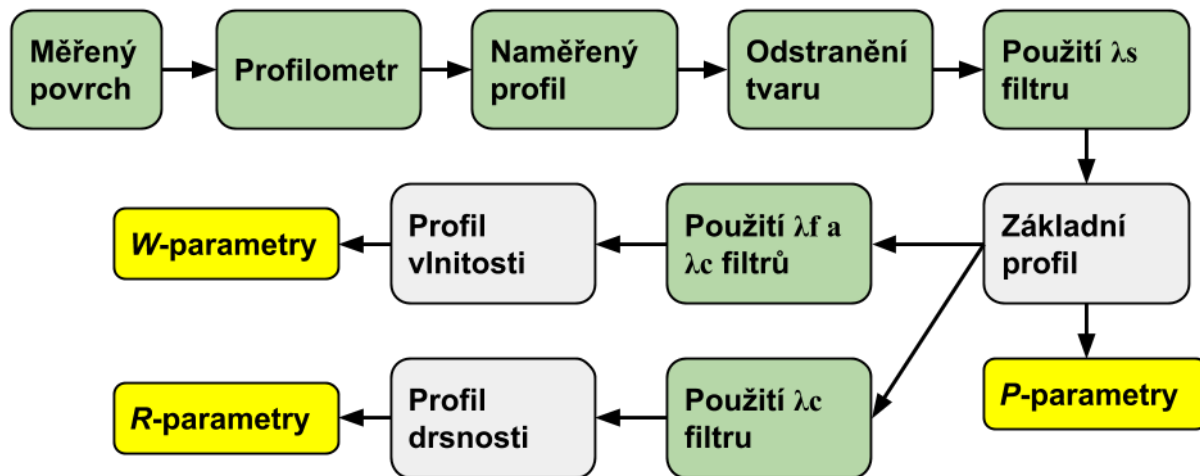


Obr. 33) Dotykový profilometr [7].

Bezkontaktní označované jako optické profilometry využívají k měření světelné paprsky. Často pracují na principu interferenci světla, kde paprsek ze zdroje dopadá na polopropustné zrcadlo, dělí se na dva paprsky. Jeden paprsek směřuje na měřený povrch a vrací se zpět. Druhý paprsek směřuje pouze na odrazné zrcadlo a odráží se zpět. Vznikají interferenční proužky, které se dále zpracovávají na výsledné parametry.

Vyhodnocení elektrického signálu.

Nasnímané hodnoty textury povrchu se v několika krocích filtrují (viz obrázek 34). Nejprve od samotného tvaru součásti se získá profil základní (filtr λ_s) a posléze dle potřebné výstupní hodnoty se základní profil filtruje buď k získání profilu vlnitosti (filtr λ_f a λ_c) nebo profilu drsnosti (filtr λ_c).



Obr. 34) Schéma jednotlivých kroků měření parametrů.

Ze základního profilu se pomocí filtrů nejčastěji získávají R – parametry, jedná se tedy o volbu hodnoty základní délky drsnosti cut-off. V případě neperiodického povrchu se hodnota filtru volí podle tabulky 5. Pokud se jedná o periodický povrch (nejčastěji soustružené či frézované díly), hodnota filtru se určí až po naměření velikosti RS_m .

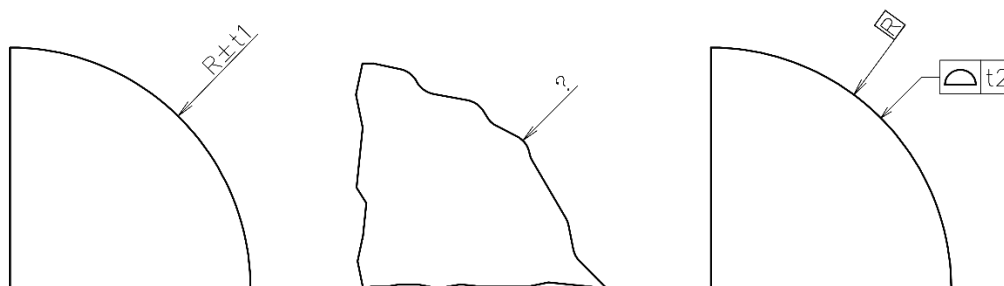
Tab 5) Volba základní délky cut-off dle tabulkových hodnot [12].

Ra [μm] Rz Rz1max [μm] RSm [mm]	Základní délka drsnosti l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti $l_n = 5 \times l_r$ [mm]
0,006 < Ra $\leq$ 0,02 0,025 < Rz, Rz1max $\leq$ 0,1 0,013 < RSm $\leq$ 0,04	0,08	0,4
0,02 < Ra $\leq$ 0,1 0,1 < Rz, Rz1max $\leq$ 0,5 0,04 < RSm $\leq$ 0,13	0,25	1,25
0,1 < Ra $\leq$ 2 0,5 < Rz, Rz1max $\leq$ 10 0,13 < RSm $\leq$ 0,4	0,8	4
2 < Ra $\leq$ 10 10 < Rz, Rz1max $\leq$ 50 0,4 < RSm $\leq$ 1,3	2,5	12,5
10 < Ra $\leq$ 80 50 < Rz, Rz1max $\leq$ 200 1,3 < RSm $\leq$ 4	8	40

2.10 Rádus a zkosení

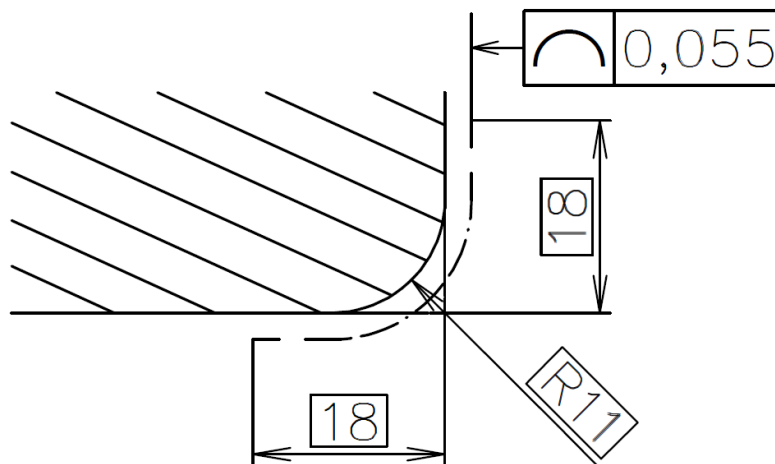
Z pohledu jednoznačnosti se rádus a zkosení vnějších/vnitřních hran doporučuje určit jednotlivě nebo pomocí globálně platné značky hran neurčitého tvaru nad nebo v popisovém poli. Všeobecně je doporučeno se těmito nelineárními prvky z metrologického hlediska nevěnovat z důvodu obtížného měření.

Rádus neboli poloměr je délkový rozměr z jednoho koncového bodu ležícího na kružnici do bodu druhého, který je ve středu kružnice. Jelikož se jedná o nelineární rozměr, tak není dostatečné ho zakótovat běžným způsobem skrze odchylky $\pm$ (viz obrázek 35). Interpretace takového rádusu je velmi nejednoznačná (viz obrázek 35). Proto je vhodné rádus specifikovat pomocí geometrické značky tvaru – profil libovolné plochy s určenou tolerancí a hodnotou rádusu v rámečku (viz obrázek 35).



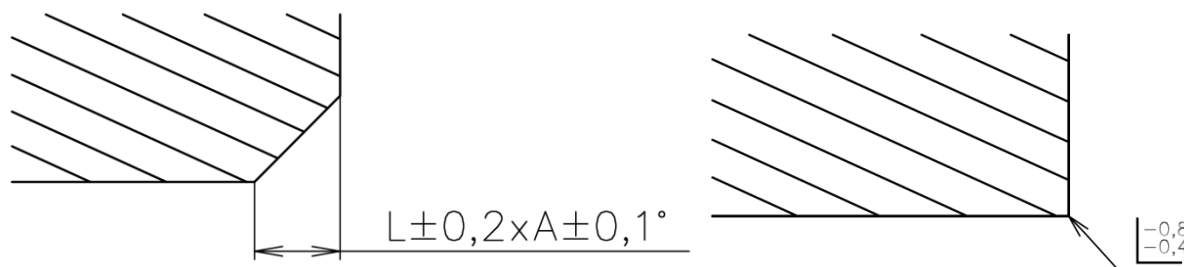
Obr. 35) Specifikace rádusu – nejednoznačná, její interpretace a jednoznačná.

Pokud je tvar rádiusu důležitou funkční plochou je nutné tvar určit pomocí čerchované čáry, která je odsazená od funkční plochy, na kterou se ustanoví geometrická značka tvaru profilu s hodnotou tolerance. Ostatní rozměry se zapisují do rámečku a značí tedy teoreticky přesné rozměry (viz obrázek 36).



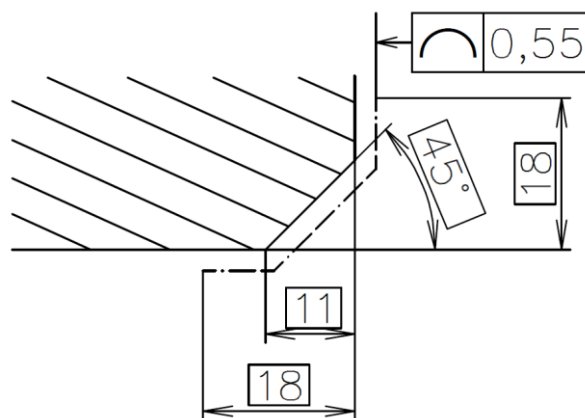
Obr. 36) Jednoznačná specifikace funkčního rádiusu.

Zkosení je slovní označení pro sraženou hranu specifikovanou délkovým a úhlovým rozměrem. Zkosení je dalším obtížně měřitelným prvkem a v případě běžného zakótování pomocí odchylek $\pm$ dochází k nejednoznačnosti. Pokud se jedná o hranu, kde nejde o její tvar, lze každou takovou hranu jednotlivě určit pomocí značky hran neurčitého tvaru (viz obrázek 37).



Obr. 37) Specifikace zkosení, nejednoznačné vlevo, vpravo jako hrana neurčitého tvaru.

Pokud je zkosení důležitou funkční plochou, je nutné takové zkosení blíže specifikovat. To se provádí odsazením čerchované čáry od funkční plochy, na kterou se určí geometrická značka tvaru – profilu a hodnotou tolerance. Ostatní rozměry se zakótují do rámečku (viz obrázek 38).



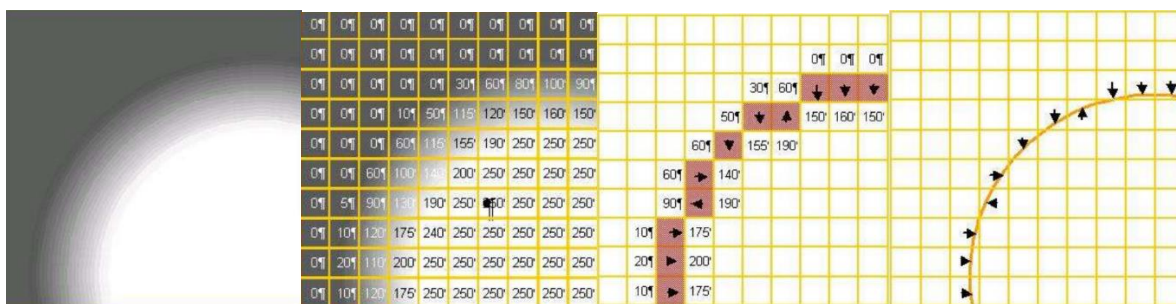
Obr. 38) Jednoznačná specifikace funkčního zkosení.

Měřidla na ověřování – rádius a zkosení

Nejjednodušší možností, jak ověřit vnitřní/vnější rádius je pomocí měrek dodávaných v sadě o různých hodnotách zaoblení. Jednotlivé měrky jsou vyrobeny z plechu, které se přikládají k ověřovanému zaoblení na součásti. Pokud mezi dílem a přiloženou měrkou lze vidět prosvěčující se světlo skrze nedokonalosti, je možné takový rádius vyhodnotit jako neshodný.

Konturograf je měřicí systém skládající se ze souřadnicového zapisovače na danou posuvovou jednotku. Software stroje vyhodnocuje naměřené hodnoty, které se snímají pomocí hrotu na konci ramene pohybující se po povrchu měřeného dílu. Výsledkem je naměřený profil součásti.

Profilprojektor je optický měřicí stroj pracující na principu projekce kontur součásti při současném zvětšení. Na začátku tohoto procesu zdroj světla svítí na měřený objekt, který propustí paprsky jen dle svého tvaru. Tyto paprsky jsou skrze soubor čoček usměrněny do snímací kamery, která obsahuje senzor zpracování obrazu. Tento princip zpracování je vyobrazen na obrázku 39.

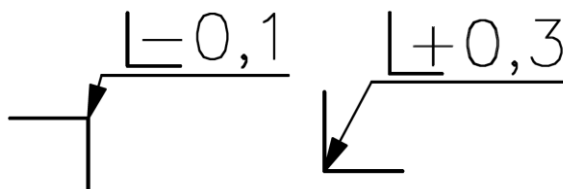


Obr. 39) Analýza obrazu (původní, digitalizovaný, kontura subpixelů a vyhodnocení BestFit Element subpixelů) [13].

V případě nevytížení souřadnicového měřicího stroje, lze stroj často doplnit o potřebné snímací/skenovací systémy s příslušným softwarem, se kterými lze následně měřit a vyhodnocovat parametry rádiusu či zkosení. V případě této strategie měření je výhodou použití již existujících upínacích přípravků.

2.11 Hrany neurčitých tvarů

Při zobrazování ideálního geometrického tvaru na technickém výkresu je zapotřebí nejčastěji z důvodu bezpečnosti předepsat úpravu hran. Pomocí značky hrany neurčitých tvarů (viz obrázek 40), je možné docílit požadavku např. odstranění ostrých otřepů vnějších hran, určení žádných ostrých hran a další (viz tabulka 6).



Obr. 40) Označení vnějších a vnitřních hran neurčitých tvarů.

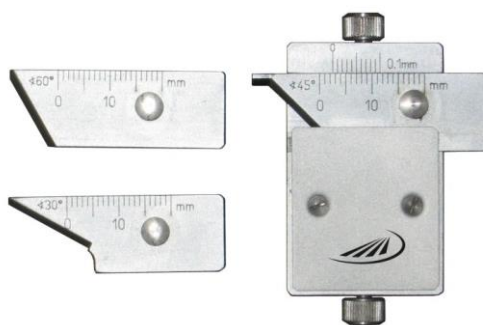
Tab 6) Rozdělení a význam hodnoty u označení hrany neurčitého tvaru [31].

Znaménko	Doporučená velikost [mm]	Význam v praxi	
		Vnější hrana	Vnitřní hrana
+	+2,5 +1 +0,5 +0,3 +0,1	Dovoluje se otřep, nedovoluje se zkosení	Dovoluje se přesah koutu, nedovoluje se vybrání koutu
-	-0,1 -0,3 -0,5 -1 -2,5	Dovoluje se zkosení, nedovoluje se otřep	Dovoluje se vybrání koutu, nedovoluje se přesah koutu
±	±0,05 ±0,02	Dovoluje se otřep i zkosení (ostrá hrana)	Dovoluje se přesah i vybrání koutu (ostrý kout)

Měřidla na ověřování – hran neurčitých tvarů

Kromě již popsanych měřidel výše jako je konturograf nebo profilprojektor, i u ověřování neurčitých hran je nejlevnější variantou pořízení šablon zkosení (pouze v případě, pokud toto vyhodnocení stačí z metrologického hlediska oddělení kvality).

Jednotlivé šablony se vkládají do těla jednoduchého měřidla, kde jsou tyto šablony posuvně uloženy (viz obrázek 41). Šablony existují v několika provedeních, nejčastěji však o úhlu 30°, 45° nebo 60° se kterými se přikládají k ověřované hraně.



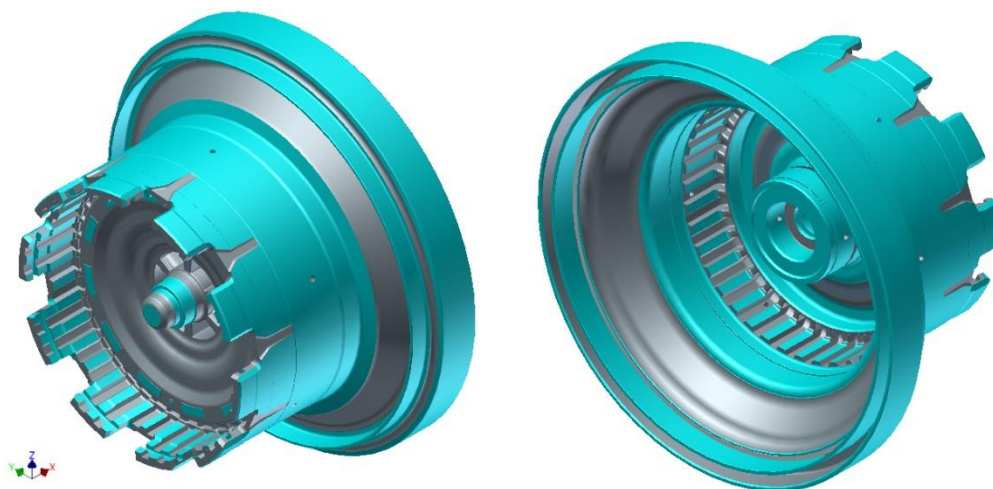
Obr. 41) Měrky na ověřování sražených hran [14].

3 ANALÝZA SPECIFIKACE TĚLA PŘEVODNÍKU

Jednotlivé kroky analýzy specifikace dílce byly zvoleny do sedmi podkapitol, které pojednávají o popisu dílce, jeho popisového pole, jednotlivých druhů rozměrů, prvků, textury povrchu a geometrických specifikací.

3.1 Analyzovaná součást

Jedná se o hliníkový odlitek se zalitým ocelovým pásem (viz obrázek 42). Tento odlitek je soustružen na dvě operace (vnitřní a vnější strana) na vertikálních soustruzích EMAG VL8. Po obrobení tento díl je součástí automatické převodovky, tudíž se jedná o velkosériový díl.



Obr. 42) Tělo převodníku krouticího momentu.

3.2 Popisové pole

Popisové pole, které se nachází vpravo dole na výkresu, obsahuje důležité informace o vykreslené části, a to především o použitých normách, kterému posuzovaný díl podléhá (viz obrázek 43).

Werkstoff (Endzustand) / material (fin.)			Oberfl.sch./surf.prot. DBL		Datum/date	Name/name
			Farbe/color		Bearb./auth.	
			Dekor/decoration		Prüf./check	
			Oberfl.ang./surf.texture		Norm/stand.	
			Oberfl.sch./surface (m ²)		Freig./rel.	
Stammdat./ master data	D-Pflicht/required		VerDoc-Relevanz/relevance		ESD-Kennzeichen/code	
	Art/ type	Anzahl Merkmale/ number of features	Anzahl/number of VPD-Ident-Nr./no.			
	DS 0	0	0		federf.Abt./resp.dep.	
	DZ 0	0				
Allg. Toleranzen/gen. tolerances			gesetzl. Merkmal/et. ftr.		ZGS	Auftr.-Nr./order no.
ISO 2768-m						
Referenz-Nr./reference no.		Masse/mass (kg)	Benennung/title			
Massstab/scale		System/system	Tělo převodníku krouticího momentu			
1:1 2,5:1 5:1 10:1 1:2		NX 11.0				
Tolerierung/tolerancing						
ISO 14405 (E)						
			Formstz.	Blatt/n.	Sach-Nr./basic number	
			R			

Obr. 43) Popisové pole.

Z hlediska specifikace jsou důležité tyto dvě v popisovém poli zmíněné normy:

ISO 2768-m

Norma, která pojednává o výrobních tolerancích pro netolerované rozměry (viz tabulka 7). Existují celkem čtyři třídy přesnosti: *f* – jemná, *m* – střední, *c* – hrubá, *v* – velmi hrubá.

Tab 7) Stanovené mezní úchytky rozměrů třídy přesnosti m [30].

Pro délkové rozměry	Třída přesnosti	od 0,5 do 3	od 3 do 6	od 6 do 30	od 30 do 120	od 120 do 400	od 400 do 1000	od 1000 do 2000	od 2000 do 4000
	m	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
Pro zkosení a zaoblení hran	Třída přesnosti	do 10	od 10 do 50	od 50	od 120	přes 140			
	m	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°05'			
Pro úhlové rozměry	Třída přesnosti	od 0,5 do 3	od 3 do 6	přes 6					
	m	±0,2	±0,5	±1					

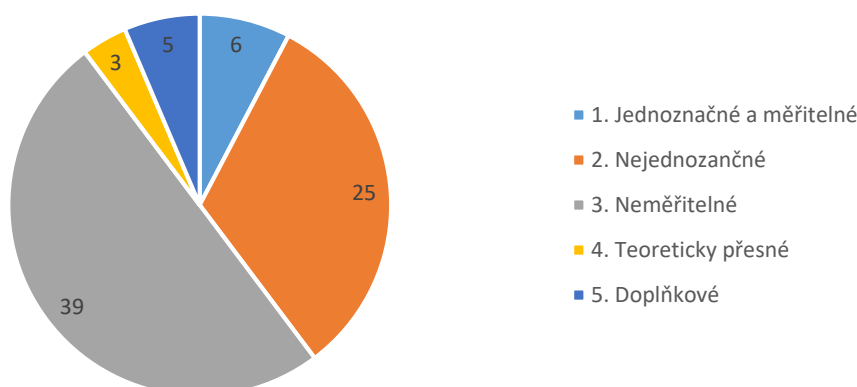
ISO 14405 $\textcircled{E}$

Norma o Rozměrových a geometrických specifikacích produktu, pojednává o lineárních a nelineárních rozměrech a o jejich následném ověřování. Specifikace požadavku na obálku $\textcircled{E}$ je kombinací modifikátorů $\textcircled{LP}$ a $\textcircled{GX}$ nebo $\textcircled{GN}$.

Zákaznickova – interní norma, která specifikuje texturu povrchu a odkazuje se na normy ISO 4288 v kombinaci s VDA 2006.

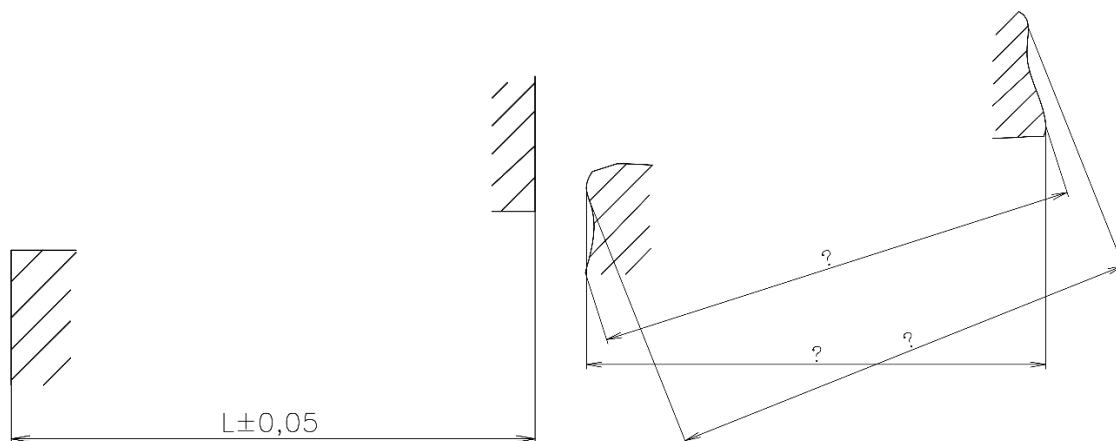
3.3 Specifikace rozměrů – délkových

Analýzovaný výkres má celkem na 78× délkových kót, které lze rozdělit do pěti základních skupin (viz obrázek 44 a příloha A).



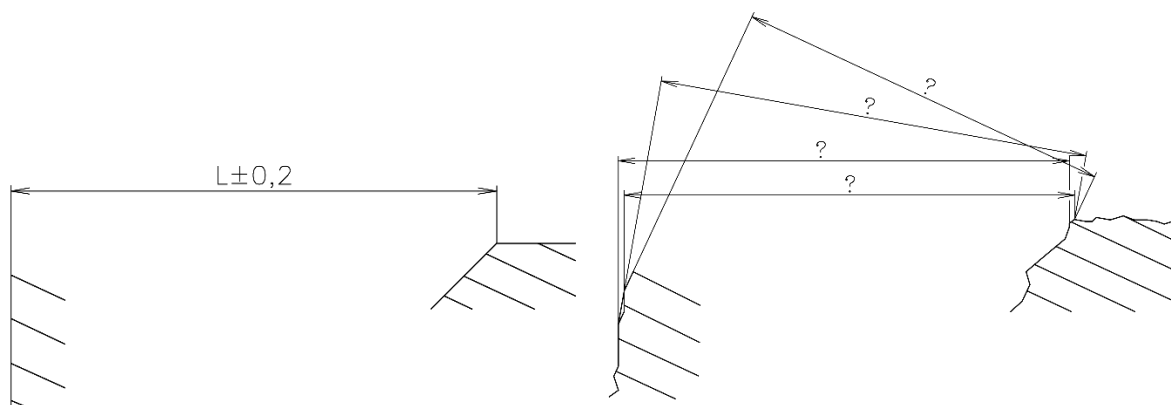
Obr. 44) Grafické znázornění analýzy délkových specifikací.

Kde jednoznačných, a tudíž bez problémů ověřitelných je pouhých šest. To jsou nejčastěji rozměry šířky drážky, které splňují požadavek na linearitu, tedy protilehlé plochy. Do druhé skupiny kót nejednoznačných (25×) spadají takové rozměry, které lze jednoznačně zakótovat, ale jsou zakótovány starým ještě stále běžným způsobem $\pm$ odchylka. Jaký význam má taková nejednoznačnost je možné vidět na vzorovém příkladu na obrázku 45 s vyobrazením jeho možné interpretace.



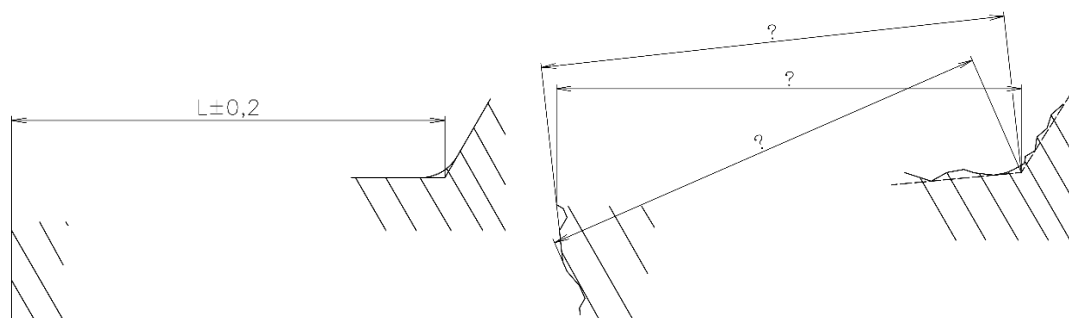
Obr. 45) Kótování dvou ne-protilehlých ploch a jejich interpretace.

Nejdůležitější skupinou délkových kót na výkrese (39×) jsou rozměry, které nelze změřit (viz obrázek 46). Je to zpravidla způsobené kótováním k hraně, popřípadě k hraně přechodu rádius/rovina.



Obr. 46) Kótování plocha – hrana a jejich interpretace.

Pod tuto skupinu kót patří i takové rozměry, kdy na výkrese jsou kótovány k pomyslné hraně (viz obrázek 47). Takové rozměry se vyhodnocují například promítnutím rovin pomocí vyhodnocujícího programu. Nicméně takové výsledky mohou sloužit nanejvýše jako orientační. Všeobecně tyto rozměry mají malou výpovědní hodnotu a nejsou obecně platné.

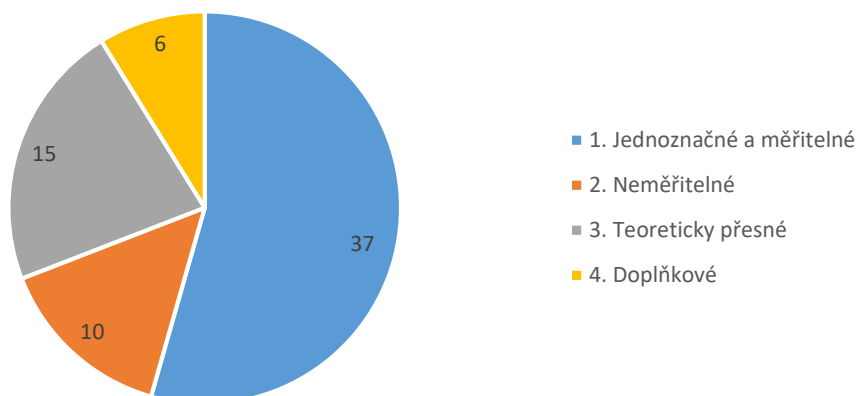


Obr. 47) Kótování plocha – teoretická hrana a jejich interpretace.

Do posledních dvou skupin se řadí jednak délkové kóty zaznamenané v rámečku, které pojednávají o teoreticky přesných rozměrech. Dále byly zařazeny délkové kóty v závorce neboli doplňkové, které jsou pouze informativního charakteru, a tudíž není potřeba na ně brát v této analýze velký ohled.

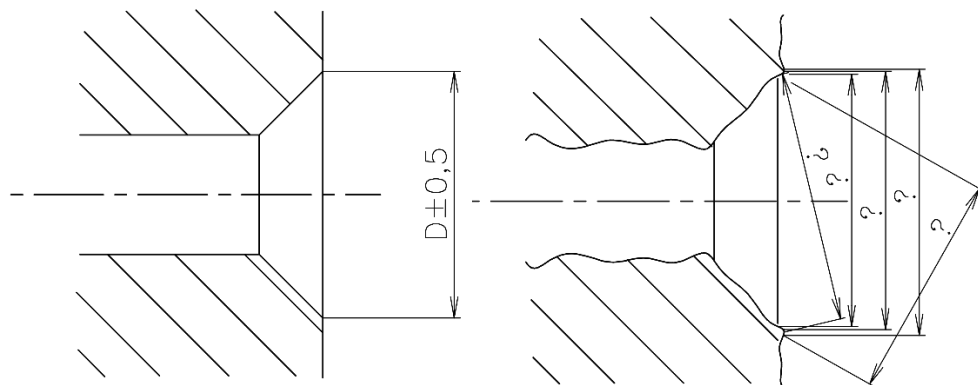
3.4 Specifikace rozměrů – průměrů

Jelikož se jedná o rotační součást, je v této analýze také specifikováno velké množství průměrů (68×). Na zákaznické výkrese byly vyčteny průměry viz obrázek 48 a příloha B.



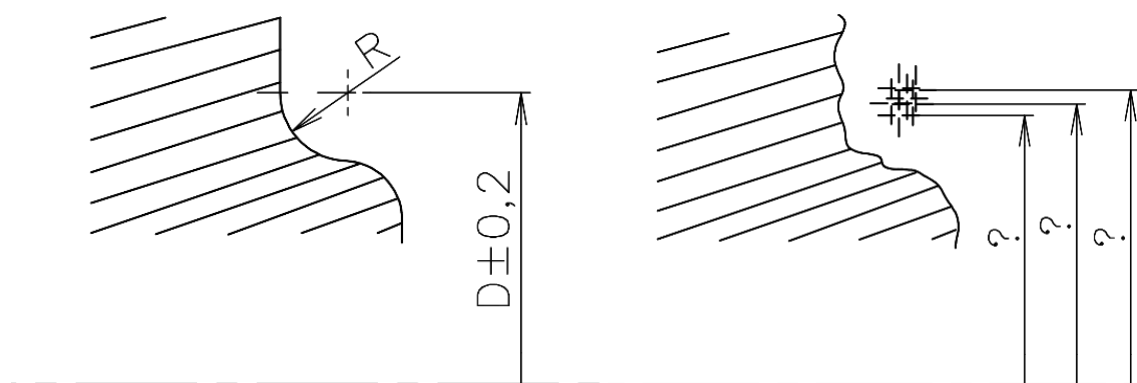
Obr. 48) Grafické znázornění analýzy specifikací průměrů.

Do první a zároveň nejpočetnější skupiny (37×) se řadí průměry jako jednoznačné a měřitelné. Je to způsobené tím, že průměry spadají pod lineární rozměry. Nicméně na výkrese je deset průměrů neměřitelných, jejich problematika spočívá v zakótování ke hraně (viz obrázek 49) nebo k teoretickému bodu. Pokud konstruktér zakótuje průměr k hraně, tak by si měl představit, jak ve skutečnosti bude vyrobený díl vypadat. Taková možná interpretace je vyobrazena na obrázku 49, kde lze vidět, že operátor nebude schopen bez dalších informací jednoznačně změřit požadovaný rozměr.



Obr. 49) Kótování průměru na hraně a její interpretace.

V druhém případě průměru zakótovaného k roztečné kružnici poloměru zaoblení na rotační součásti je vzorem, kdy se měří rozměr, který fyzicky neexistuje. Interpretace hledání požadovaného rozměru je vyobrazena na obrázku 50.



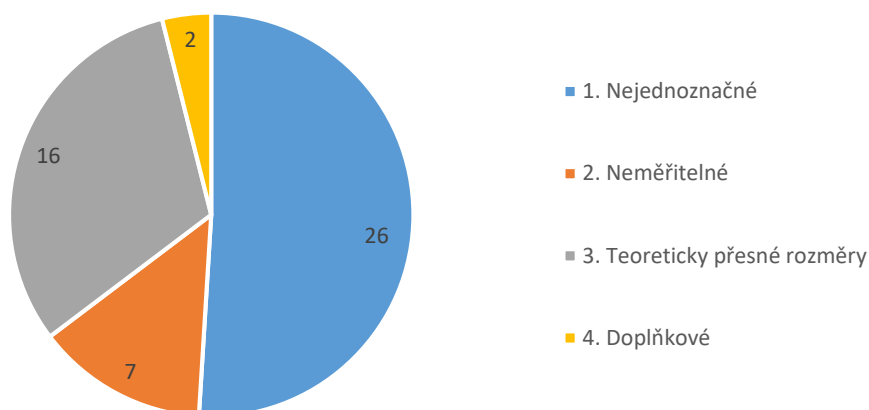
Obr. 50) Kótování průměru středu rádiusu a jeho interpretace.

3.5 Specifikace dalších prvků

V této podkapitole s názvem specifikace dalších prvků byly posuzovány úhly, rádiusy a zkosení.

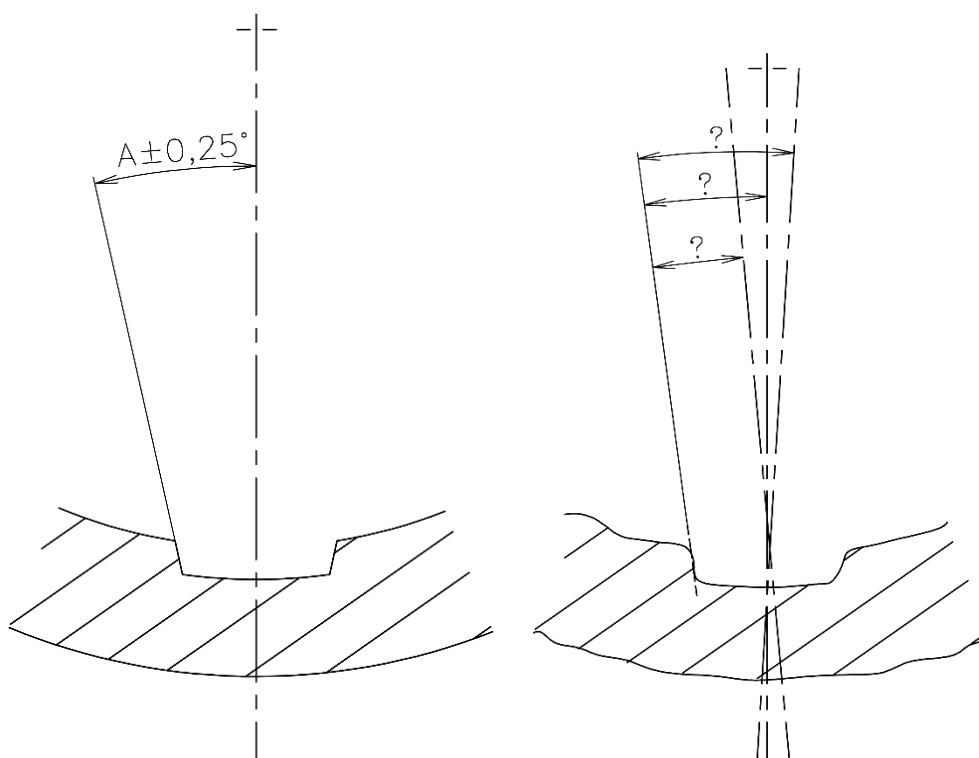
3.5.1 Úhel

Na analyzovaném výkrese bylo definováno na 51× kót obsahující informaci o úhlech. Ty je možné rozdělit do čtyř skupin viz obrázek 51 a příloha C.



Obr. 51) Grafické znázornění analýzy specifikací úhlů.

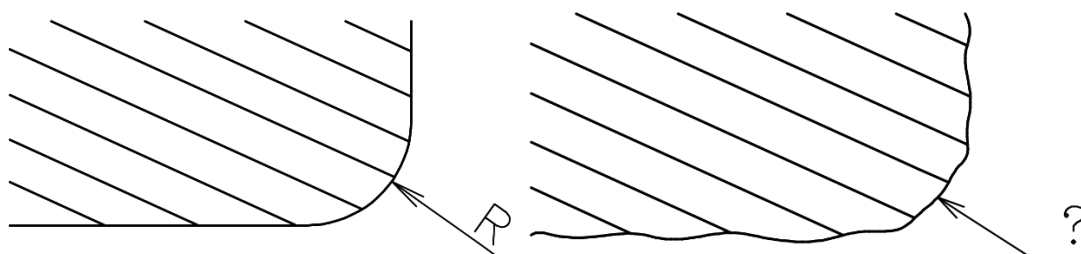
Nejvíce zastoupenou skupinou jsou úhly nejednoznačně zakótované (26×). Další skupinou jsou úhly neměřitelné (7×). Takový úhel je vyobrazený na následujícím obrázku 52, kde je možné vidět nezměřitelný požadavek úhlu, jelikož není možné fyzicky najít osu symetrie.



Obr. 52) Kótování úhlu plocha-osa a jejich interpretace.

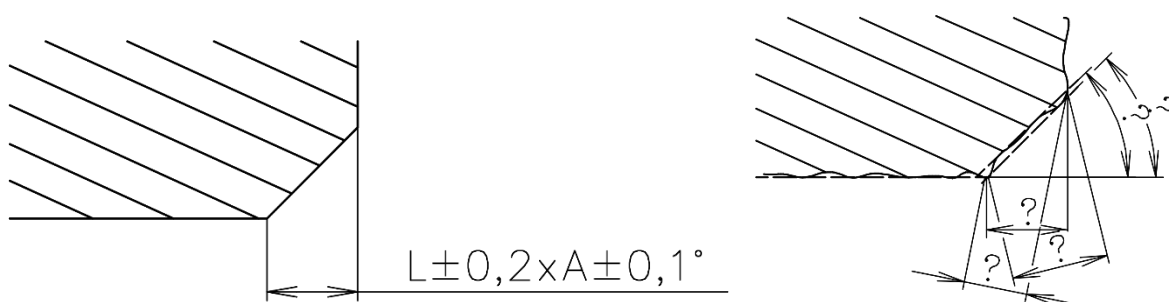
3.5.2 Rádus a zkosení

Jedním z posledních problémových geometrických prvků je rádus neboli zaoblení a zkosení. Na výkrese rádiusů bylo nalezeno celkem na 41× kót, a kromě jedné informativní jsou všechny nejednoznačně zakótovány (viz příloha D). Takhle běžně zakótovaná zaoblení mohou po výrobě vypadat jako na obrázku 53.

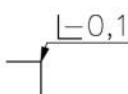


Obr. 53) Kótování zaoblení hrany a její interpretace.

Na obrázku 54 je možné vidět jeden z příkladů, jak se na posuzovaném výkresu kótují zkosené hrany stále běžným způsobem, které není jednoznačné. Jedná se o problematiku ověřování rozměrů délky k hraně a úhlu. Ověřit takto specifikované zkosení není možné (viz obr 54).



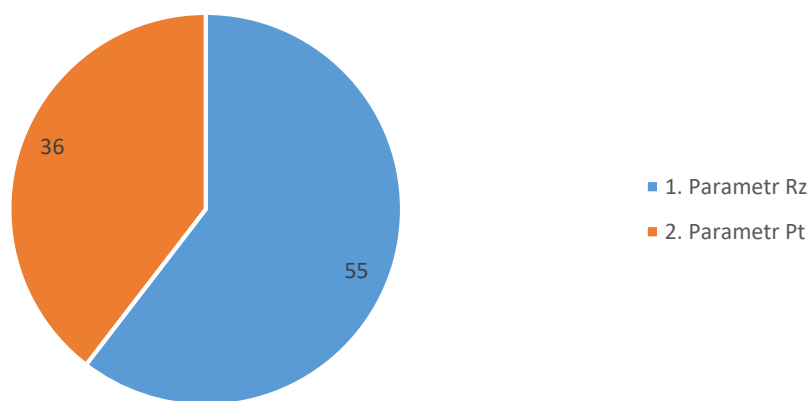
Obr. 54) Kótování zkosení a její interpretace.

Ostatní nepředepsané vnější hrany podléhají značce nad popisovým polem , která dovoluje zkosení o velikosti 0,1mm (dovoluje se zkosení, nedovuluje se otřep).

3.6 Specifikace textury povrchu

V popisovém poli se nachází zákaznickova norma¹, která specifikuje texturu povrchu stanovením pravidla při porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi, a to pravidlem maxima. Z důvodu dodatku o vynechání indexu maxima "max" na první pohled není zřejmé jakému pravidlu kóty podléhají. Tato interní norma se odkazuje na ISO 4288² v kombinaci s VDA 2006³.

Nejčastější specifikací na zákaznickově výkresu jsou právě požadavky v oblasti textury povrchu, celkem se jedná o 91 kót. Dle požadovaných parametrů je lze rozdělit do dvou hlavních skupin viz obrázek 55 a příloha E.



Obr. 55) Grafické znázornění analýzy specifikace textury povrchu.

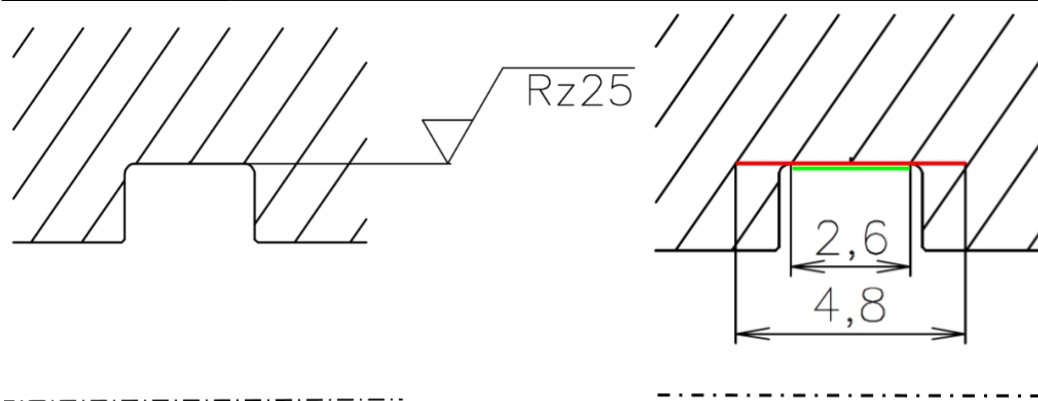
Předpokládá se, že se bude jednat o povrch soustružený s periodickou texturou, u kterých se hodnota požadované délky snímání určí z posuzovaného povrchu. V případě zvolení základní délky $\lambda_c = 0,8$ mm by z celkových 55× požadavků Rz bylo 20× nevyhovujících a v případě $\lambda_c = 2,5$ již 39× z důvodu ploch o krátkých vzdálenostech, tudíž v takových případech by nešlo provést měření, které je běžně o šesti délkách cut-off.

Na obrázku 56 lze vidět názorný příklad požadavku textury povrchu v drážce posuzovaného dílu, a to na parametr Rz25. Volba cut-off na periodických plochách předpokládejme po měření RS_m všude stejnou hodnotu menší $l_r = 0,8$ mm. Maximální možná délka měření v drážce $L = 2,6$ mm (viz zeleně vyznačená čára obrázek 56). Po zahrnutí pěti základních délek a jedné na náběh a přeběh vychází celková délka snímání na $l_n = 4,8$ mm viz červená čára na obrázku 56.

¹ Tato norma podle pokynů vedoucího práce není uvedena.

² Norma ISO 4288 spadá pod soubor norem GPS, popisuje texturu povrchu a obsahuje profilové metody, pravidla a způsob vyhodnocení textury povrchu.

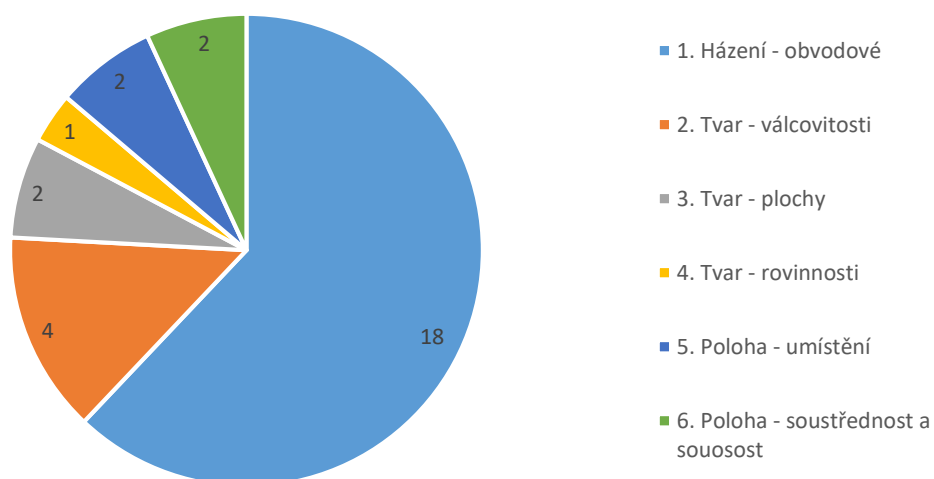
³ Norma VDA 2006 (Verband Der Automobilindustrie) vydána Asociací automobilového průmyslu, rozšiřuje všeobecné normy o doporučení měření textury povrchu v automobilovém průmyslu.



Obr. 56) Potřebná snímací plocha k vyhodnocení požadavku textury povrchu.

3.7 Specifikace geometrických tolerancí

Geometrických tolerancí na analyzovaném výkrese je možné najít celkem na 29× požadavků. Jedná se o značky viz obrázek 57 a příloha F.



Obr. 57) Grafické znázornění analýzy specifikací geometrických tolerancí.

Ve většině případů jsou geometrické tolerance specifikované k základnám. Z osmi stanovených základů jsou dvě (F a G) nejednoznačné a tím pádem jsou nejednoznačné všechny k nim závislé geometrické tolerance. Dalším potenciálním problémem jsou jednotlivé geometrické tolerance s menší hodnotou odchylky než odchylky základny D na kterou jsou vztaženy. Na základny A, B, C, E, F, G a H – chybí GD&T⁴.

⁴ GD&T – Geometrické kótování a tolerance

4 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO POSTUPU POSOUZENÍ SHODY

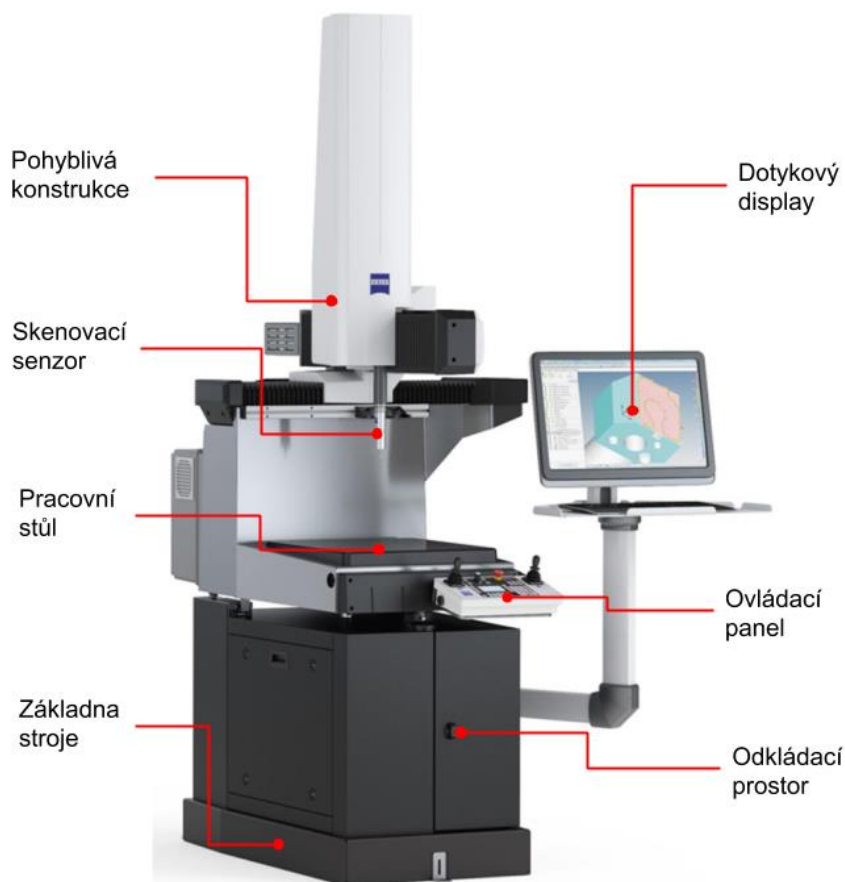
Kapitola je rozdělena na dvě hlavní podkapitoly. První slouží pro popis všech použitých měřidel a druhá pro definování základních postupů kontroly.

4.1 Použitá měřidla

V této podkapitole jsou uvedeny popisy jednotlivých měřidel, které se během výroby dílu používají. Všechna zmíněná měřidla jsou kalibrována podle stanovených lhůt, a to v akreditované laboratoři, která má návaznost na státní etalony a splňuje kalibrace pro automotive.

4.1.1 Zeiss DuraMax HTG

Souřadnicový měřicí stroj (viz obrázek 58), který svými rozměry, snadnému přemísťování či odolností proti prachu, vodě a vibracím, byl primárně zkonstruován pro umístění vedle výrobního stroje. Tím odpadá manipulace s díly až na oddělení kvality. Podnik tak snižuje výrobní prodlevy a náklady také z důsledku eliminace pevných kalibrů na pracovišti. Nejdůležitějšími komponenty je skenovací senzor a měřicí software.



Obr. 58) Zeiss DurMax HTG [16].

ZEISS VAST XXT

Skenovací senzor, který je určen jak pro měření jednotlivých bodů, tak i pro skenování geometrických prvků. Jednotlivé výměny snímačů ze zásobníku probíhají pomocí CNC řízení. Disponuje upínacím talířkem o průměru $D = 25$ mm, který zaručuje optimální reprodukovatelnost. Senzor VAST využívá technologii vysokorychlostního snímání s kompenzací dynamických chyb. Dynamické chyby se vyskytují při vysokém zrychlení při skenování, kdy dochází k ohýbání komponent. Tyto dynamické síly zásadně ovlivňují snímací sílu. Systém kompenzace má tedy aktivní řízenou snímací sílu a spolu s elektromagnetickými pohony namísto základních aplikovaných pružin také kompenzuje síly způsobené odstředivými silami. [15] Jednotlivé pohyby během skenování zajišťují osy X, Y a Z stroje.

CALYPSO

Tento použitý měřicí software byl navržen pro co nejsnazší měření. Při programování dokáže automaticky identifikovat geometrické prvky a následně generuje dráhy snímání, odjezdu mezi jednotlivými prvky. Velkou výhodou je kalibrace jednotlivých snímačů pomocí CNC programu. Při měření jsou veškeré hodnoty přehledně zobrazeny na obrazovce spolu s 3D modelem měřeného výrobku. Po skončení získávání měřených hodnot má obsluha možnost individuální grafické úpravy protokolu.

Vlastnosti měřicího stroje:

Teplotní stabilita v rozsahu od 15 °C do 40 °C,

Nevyžaduje tlakový vzduch,

Integrovaný systém pasivního tlumení vibrací,

Podstavec Shop Floor,

Odolnost proti prachu a vlhkosti,

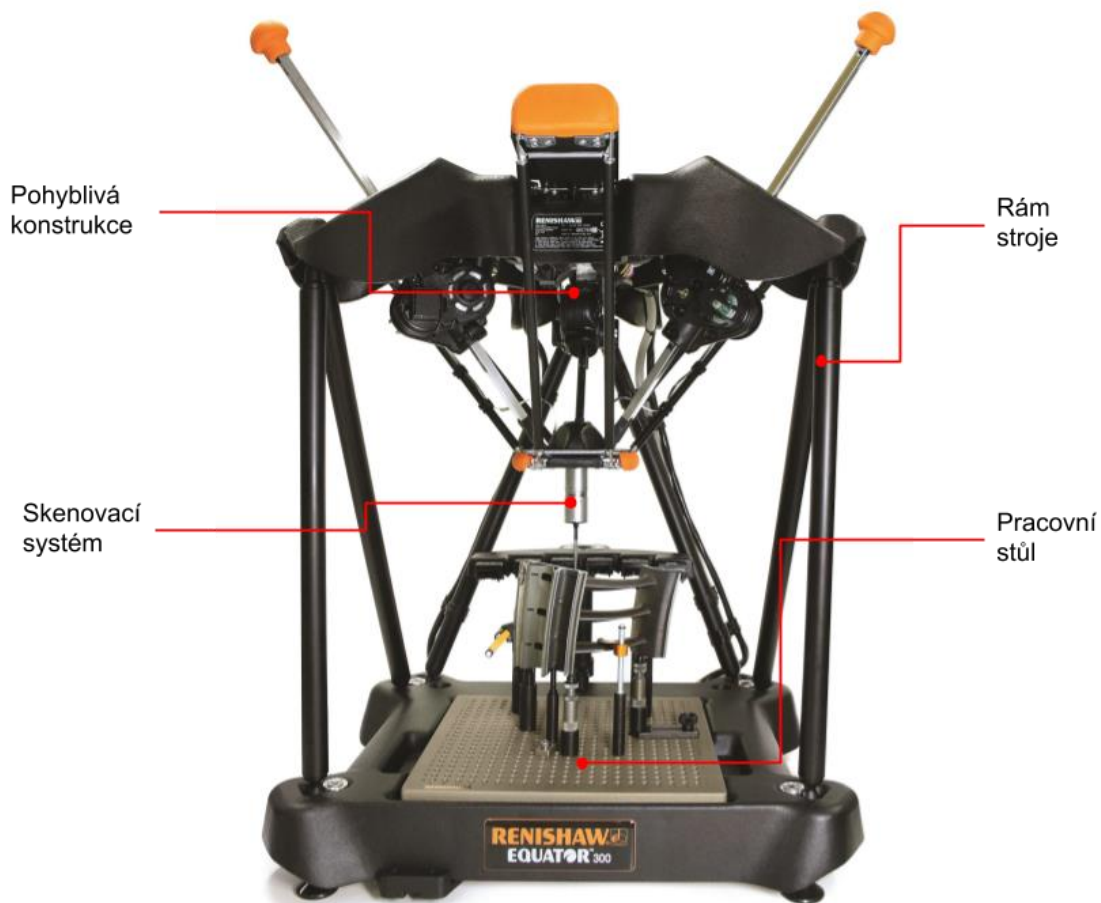
Otočné rameno pro klávesnici a monitor,

Uzamykatelný úložný prostor pro počítač,

Přemístitelné pomocí paletového nebo vysokozdvizného vozíku.

4.1.2 Renishaw Equator 300

Kontrolní zařízení (viz obrázek 59), které umožňuje kontrolu rozměrů dílců v dílenském prostředí. Princip kontroly spočívá v porovnávání rozměrů vyráběných dílů s dílem referenčním, který tedy je jakýmsi etanolem. Uplatnění si tyto stroje najdou ve středně až velkosériové výrobě. Nejdůležitějšími komponenty je souprava sondy SP25 a řídicí systém. Pohyb sondy je uskutečňován díky konstrukci, která pracuje na bázi paralelní kinematiky. Tento systém je nekartézský a tím se získávají výhody v podobě snížení setrvačných sil, které mají vliv jak na zlepšení opakovatelnosti, tak na spotřebu stroje.

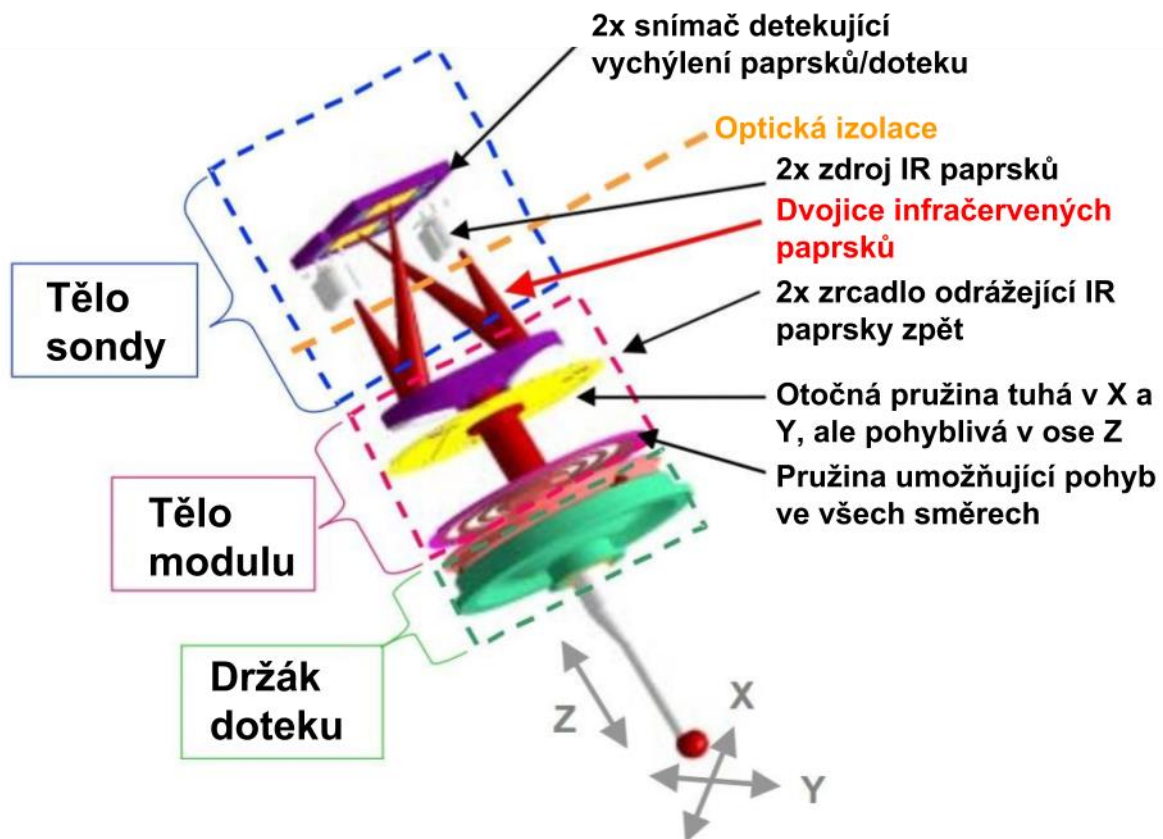


Obr. 59) Renishaw Equator 300 [17].

Renishaw SP25

Základní součástí skenovacího systému je tříosá analogová sonda SP25, která obsahuje dva snímače v jednom pouzdru. Jednotlivé doteky (skenovací a spínací) lze snadno na měřicím systému měnit, tudíž se jedná o velmi univerzální systém. Jak se napovídá z názvu sondy, její průměr je pouhých 25 mm a díky technologii izolovaného optického snímání se získávají vynikající výsledky při měření.

Obecné vnitřní uspořádání a princip sondy SP25 je vyobrazen na obrázku 60, kde dotek (nejčastěji rubínová kulička) se při skenování tvaru součástí vychyluje v osách X, Y a Z díky dvěma pružinám. Tyto pružiny jsou spojené s konkávními zrcadly, na které dopadají infračervené paprsky vysílané ze dvou zdrojů. Po odražení od zrcadel paprsky směřují na dva snímače, které detekují každé jejich vychýlení.



Obr. 60) Popis částí a principu sondy Renishaw SP25 [18].

Vlastnosti měřicího stroje:

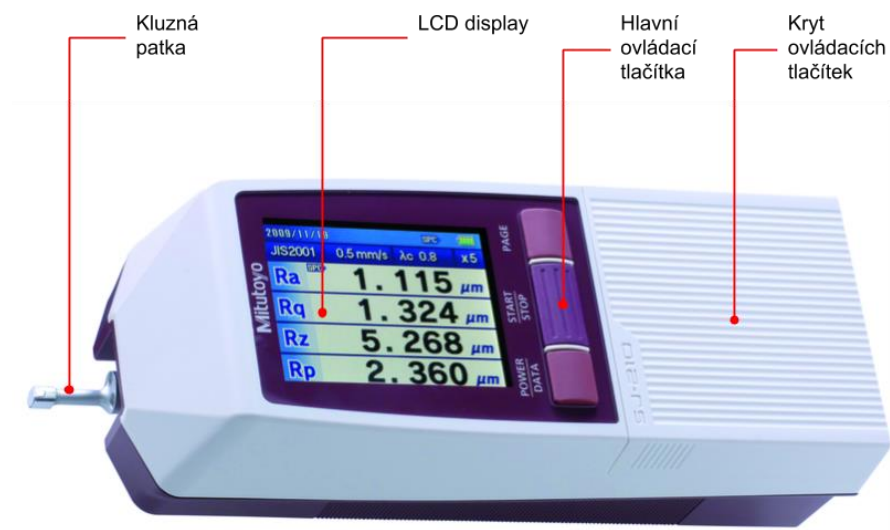
Pracovní prostor XY Ø300 mm, Z = 150 mm,

Nejistota porovnávání $\pm 0,002$ mm,

Požadovaná přesnost na upnutí dílce ± 1 mm,

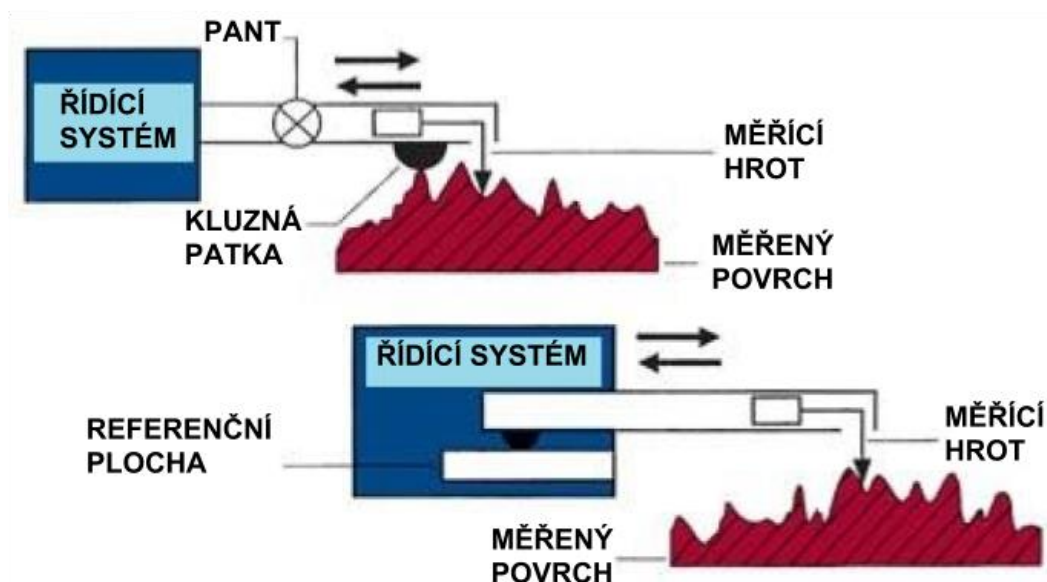
Zásobník na doteky

4.1.3 Profilometr Mitutoyo Surftest SJ-210



Obr. 61) Profilometr Mitutoyo Surftest SJ-210 [19].

Přenosný přístroj na měření textury povrchu (viz obrázek 61). Pracuje na principu kontaktní metody, kdy se hrot měřidla fyzicky dotýká měřeného povrchu. Použitý profilometr využívá kluznou patku, která se při měření dotýká zkoumaného povrchu a jejím cílem je mechanická filtrace vlnitosti povrchu (viz obrázek 62). Vždy při použití kluzných patek se jedná o metodu snímání relativní, kdy není možnost změřit základní profil (P), ale jen profil drsnosti (R). Jednotlivé patky se tvarově liší v závislosti na měřené ploše, která je buď rovinná nebo válcová.



Obr. 62) Schéma znázorňující rozdíl měření textury povrchu s, nebo bez kluzné patky [20].

Vlastnosti měřicího přístroje:

Měřicí síla snímače:	0,75 mN
Úhel snímacího hrotu:	60°
Poloměr snímacího hrotu:	2 μm
Rozsah měření:	16 mm
Příčný směr:	17,5 mm
Snímací dotek:	diamantový hrot
Rozsah měření:	360 μm
Poloměr patky měření:	40 mm
Měřené profily:	základní <i>P</i> , drsnosti <i>R</i>
Počet základních délek	1; 3; 5

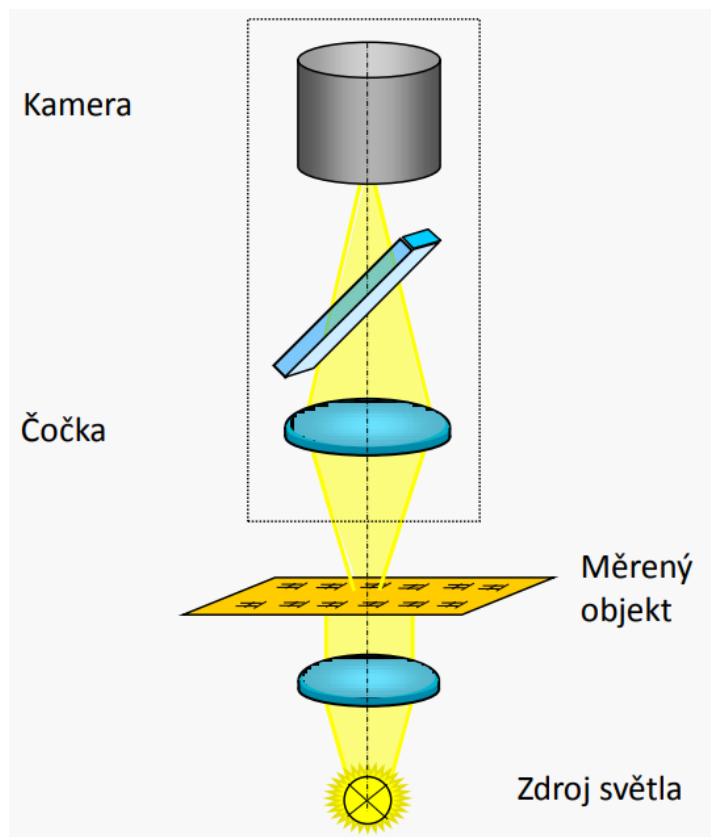
4.1.4 Profilprojektor KEYENCE IM-6700

Optický měřicí stroj (viz obrázek 63) se snímací hlavicí o velkém rozlišení a funkcí automatického zaostření pro předměty s rozdílnou výškou. Základ stroje tvoří soubor čoček a snímací kamera. Určeno pro analýzu tvarově složitých součástí např. ozubená kola, odlitky, lisované či gumové díly. Svými schopnostmi nahrazuje konvenční měřidla nebo optické souřadnicové systémy. Samotné měření probíhá ve velkém tempu v podobě až 99 naměřených hodnot za jednu sekundu s opakovatelností $\pm 1 \mu\text{m}$.



Obr. 63) Profilprojektor Keyence IM-6700 [21].

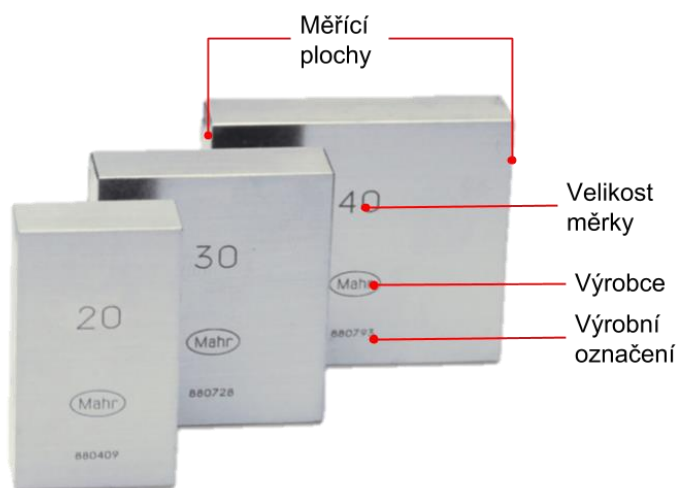
Při vložení součásti na pracovní plochu a zapnutí samotného měření, dopadají na součást paprsky vycházejících ze zdroje světla. Paprsky, které nepohltí materiál součásti pokračují skrze čočky do kamery (viz obrázek 64).



Obr. 64) Části snímacího senzoru profilprojektoru [13].

4.1.5 Koncové měrky

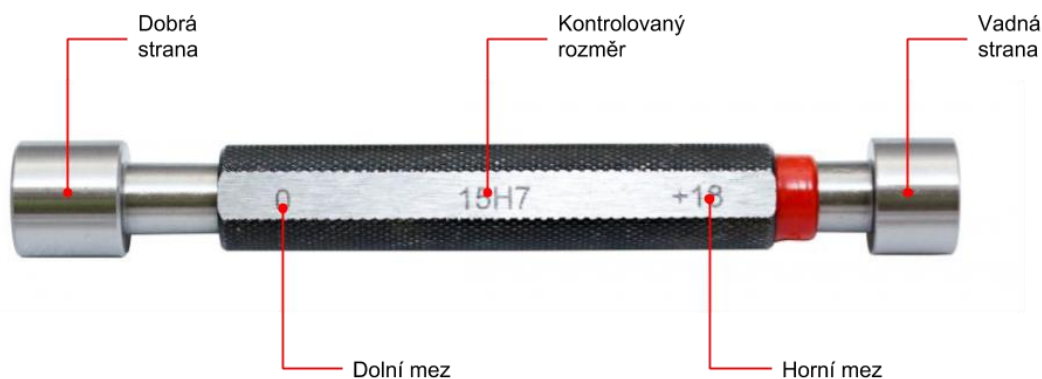
Jedná se o zhmotněné míry, které zavedl Carl Edvard Johansson. Nejčastěji se lze setkat s rovnoběžnými (viz obrázek 65) nebo úhlovými měrkami. Měřicí plochy jsou lapovány a jednotlivé odchylky rovnoběžnosti či rovinnosti jsou na garantovaných měřicích plochách v řádech nanometrů dle třídy přesnosti. Používají se čtyři kategorie přesnosti: *K* – kalibrační, *0* – etanologové, *1* – pracovní měřidla, *2* – dílenské. Měrky se prodávají v sadách po různých rozměrech, ze kterých se následně sestaví blok měrek o požadovaném rozměru. Ke spojení měrek se využívá vysoké rovinnosti a nízké textury povrchu, kdy při nasouvání jedné měrky na druhou vzniká adhezní síla. Měrky musí mít nízkou tepelnou roztažnost, odolnost vůči korozi a opotřebení. Tyto požadavky splňují nástrojové oceli třídy 19, karbid wolframu a oxidická keramika.



Obr. 65) Koncové měrky [22].

4.1.6 Válcový kalibr

Tak jako koncové měrky, i kalibry jsou zhmotněné míry. Kalibr je jednoduché měřidlo, kterým se nezjišťuje číselná hodnota rozměru, ale ověřuje se, zdali je kontrolovaný rozměr dobrý, opravitelný nebo neopravitelný. Nejčastěji používaný v praxi je kalibr dílenský toleranční (viz obrázek 66), který má jednu stranu dobrou a druhou vadnou (označená červeně pro přehlednost). Tyto strany představují ztělesněné horní a dolní meze rozměru díry. Kontrolovaný rozměr se nachází v tolerančním poli, pokud dobrá strana kalibru projde a vadná strana nikoliv.



Obr. 66) Toleranční válcový kalibr [23].

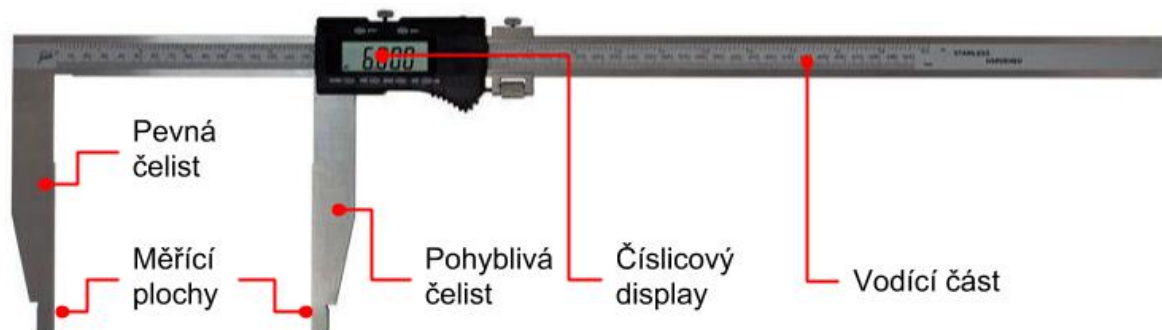
4.1.7 Posuvná měřidla

Měřidla na principu posuvu se řadí mezi základní ruční měřidla pro zjišťování rozměrů délkových. Nejpoužívanějším typem posuvného měřidla (viz obrázek 67) je možné změřit vnější i vnitřní rozměry, hloubky nebo osazení. Naměřená hodnota se v případě digitálních měřidel zobrazuje na číslicovém displeji měřidla a je získána pomocí zakomponování snímače. Existují dva systémy snímání dle použitých snímačů. První je systém absolutního⁵

⁵ Systém snímá absolutní pozici, která je definovaná na vodící části skrze vzory s různými periodami, které jsou uspořádány vzájemném vztahu mezi sebou. Eliminuje nutnost nastavení nulové pozice po zapnutí.

snímače a druhý inkrementální⁶ snímače. Rozsahy se běžně pohybují od (0-150) mm až (0-1000) mm. Na kalibraci posuvných měřidel se používají koncové měrky.

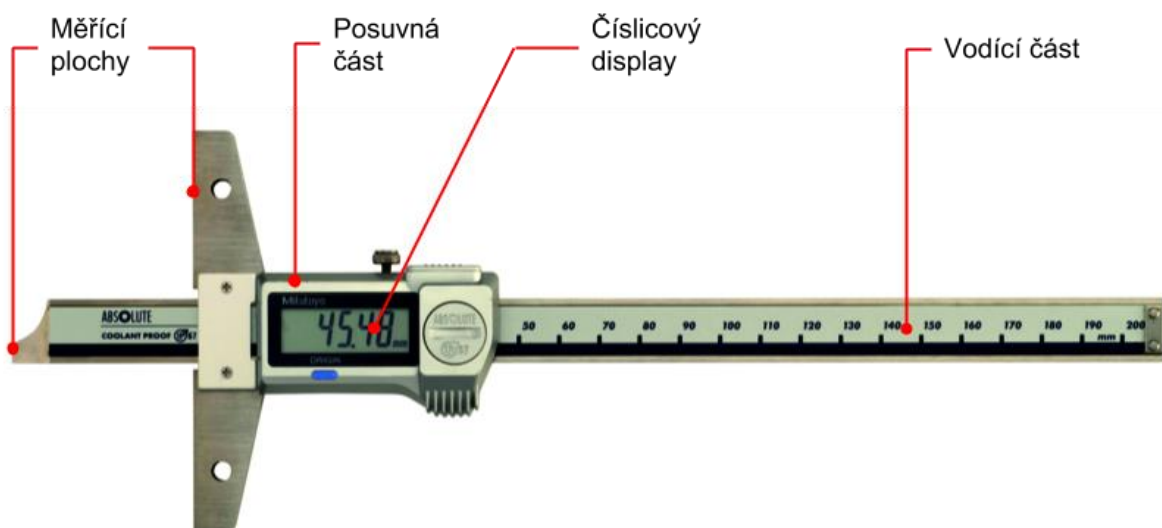
Celkem se používají dvě digitální posuvná měřidla o měřícím rozsahu 0-300 mm a 0-500 mm. Obě měřidla disponují rozlišením 0,01 mm.



Obr. 67) Digitální posuvné měřidlo [24].

4.1.8 Hloubkoměr Mitutoyo VDS

Jedná se o druh posuvného měřidla, který je zkonstruován pro jednodušší měření hloubek (viz obrázek 68). I zde se jedná o digitální měřidlo, tudíž naměřená hodnota se ukazuje na číslicovém displeji.



Obr. 68) Digitální hloubkoměr [25].

Vlastnosti:

Měřící rozsah 0-200 mm

Rozlišení 0,01 mm

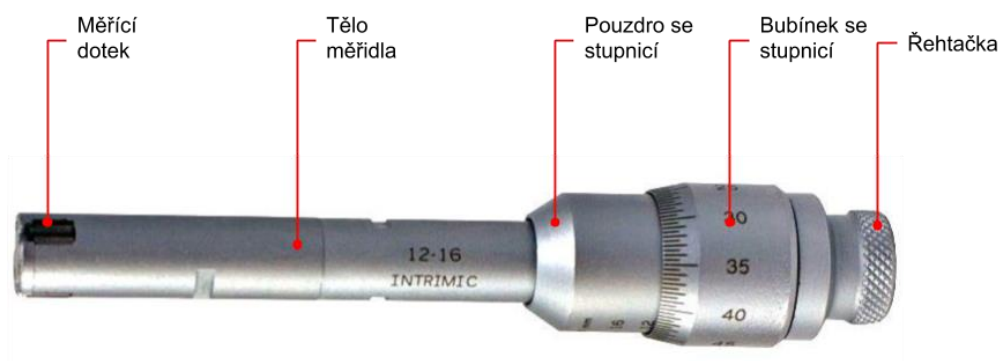
Přesnost 0,02mm

⁶ Systém využívá dělení stupnice na vodící části, které musí být počítáno a uloženo.

4.1.9 Dutinoměry

Měřidla určená pro porovnávání měření vnitřních rozměrů. Jeden z nejčastějších měřených rozměrů je průměr a v případě použití speciálních měřících doteků lze kontrolovat drážky, zápichy nebo vnitřní kužely. Celkem jsou použity tři dutinoměry, dva z nich pracují na principu mikrometrického šroubu, jedná se tedy o dutinoměry mikrometrické. Třetí je dutinoměr s číselníkovým úchylkoměrem.

Třídotekové dutinoměry značky INTRIMIC (viz obrázek 69), jsou měřidla, která pomocí mikrometrického šroubu a třech měřících doteků nacházející se v těle samotného měřidla, vyhodnocují a znázorňují hodnoty rozměru na dvou stupnicích, ze kterých je obsluha odečítá. Aby bylo dosaženo opakovatelně stejné upínací síly doteků s měřeným povrchem, jsou mikrometry vybaveny řehtačkou. Řehtačka je typ spojky, která při dosažení maximální nastavené upínací síly zastaví upínání měřících doteků, které se pozná dle charakteristického zvuku, od kterého vzešel název spojky.



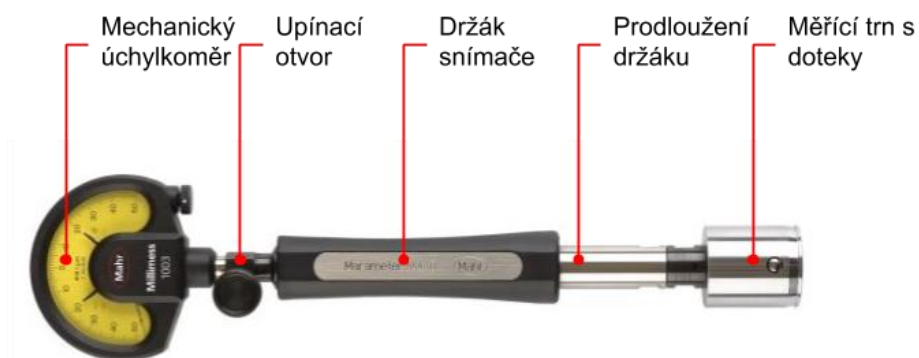
Obr. 69) Třídotekový mikrometrický dutinoměr [26].

Vlastnosti:

Měřící rozsah 20-25 mm a 16-20 mm.

Rozlišení 0,005 mm.

Použitý dvoudotekový dutinoměr obsluze skrze úchylkoměr (značky MAHR MILLIMESS) ukazuje o kolik se doteky v měřeném místě odchýlili od nastaveného rozměru (viz obrázek 70). Tento rozměr je nastavený pomocí přiloženého kalibračního kroužku.



Obr. 70) Dvoudotekový dutinoměr s úchylkoměrem [27].

Vlastnosti:

Měřicí rozsah od -50 μm do +50 μm .

Rozlišení 0,001 mm.

4.1.10 Třmenový mikrometr

Základní třmenový mikrometr byl navržen pro měření vnějších rozměrů. V praxi se lze setkat s provedením na měření vnitřních rozměrů (viz obrázek 71). Malá rozlišitelnost je dosažena pomocí mikrometrického šroubu, tuhé konstrukce (robustní rám) či tepelné izolaci. Použité měřidlo disponuje číslcovým displejem, ze kterého obsluha odečítá naměřené hodnoty, jedná se tedy o mikrometr digitální.



Obr. 71) Digitální třmenový mikrometr [28].

Vlastnosti:

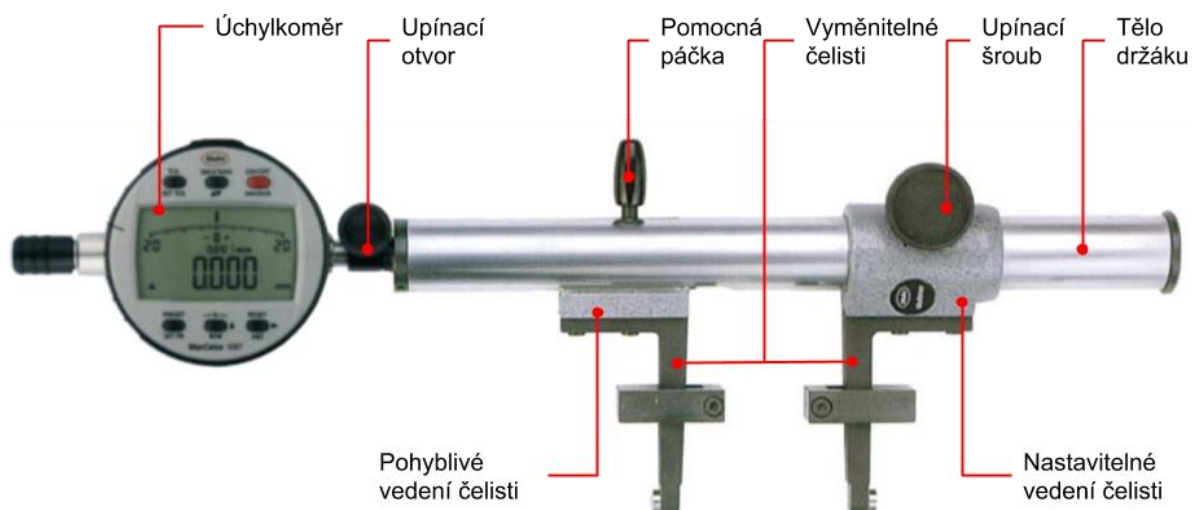
Měřicí rozsah 175 – 200 mm.

Rozlišení 0,001 mm.

Přesnost $\pm 3 \mu\text{m}$.

4.1.11 Universální měřidla na velké vnější nebo vnitřní rozměry

Multifunkční měřidlo, s kterým lze díky své konstrukci a vyměnitelnými čelistmi zjišťovat hodnoty různých rozměrů jak vnitřních, tak i vnějších (viz obrázek 72). Další výhodou je velký měřicí rozsah díky možnosti nastavení čelistí. Při měření je pohyb doteků přenášen pomocí konstrukce na úchylkoměr, který zobrazuje odchylku od nastavené hodnoty (hodnota nastavena skrze kalibrační přípravek). Rozlišitelnost je dána zvoleným typem úchylkoměru. V našem případě jsou použita tři tyto universální měřidla s úchylkoměry značky Millimes 1003, Somet a Filetta.



Obr. 72) Universální měřidlo s úchylkoměrem [29].

Vlastnosti dle použitých úchylkoměrů:

Měřící rozsah 0-10 mm.

Rozlišitelnost 0,001 mm.

4.1.12 Protikus

Vyráběný díl je součástí převodovky o velkém počtu dílů. Aby měl zákazník jistotu, že dodavatelem tento díl bude pasovat s dílem navazujícím, poslal referenční protikus. Tento kus slouží tedy jako měřidlo k funkčnímu ověření (viz obrázek 73).



Obr. 73) Ověřovací protikus.

4.2 Postupy měření dle účelu

Ve výrobě tohoto dílu se lze setkat se třemi různými postupy měření podle účelu. V případě pozorování obsluhy u strojů si lze povšimnout manipulace s různými měřidly. Tyto dílenská měřidla jsou, co se četnosti týče nejpoužívanější a jsou navedeny v postupech průběžných kontrol. Když se pozorovatel časově ocitne v průběhu konce a následném začátku směny, nepřerušené spuštění stroje je provedeno až po změření prvního vyrobeného kusu na souřadnicovém stroji. Tento postup je označován pro uvolnění výroby. Posledním nejméně četrým postupem měření, na který lze narazit je kompletní kontrola vyrobeného dílce při jeho úplném začátku u dodavatele nebo jeho větší změně/revizi.

4.2.1 Homologace

Během prvních vyrobených kusů nového dílu, nebo při každé změně/revizi dosavadního dílu probíhá homologace. Během tohoto procesu ověřování jsou první dva vyrobené díly analyzovány celkovou kontrolou kót podle (aktualizovaného) výkresu. Na tuto kontrolu je zapotřebí souřadnicový měřicí stroj Zeiss DuraMax HTG, profilprojektor KEYENCE IM 6700 a profilometr Mitutoyo SJ-210. Tyto hlavní měřidla jsou doplněna o běžná dílenská měřidla (hloubkoměr, mikrometr či posuvné měřidlo), sloužící k měření takových rozměrů, ke kterým nejsou blíže specifikovány zpřísňující požadavky a jsou velmi dobře přístupná pro změření.

Rozměry, které jsou přístupné nebo dostatečně velké se měří na souřadnicovém měřicím stroji. Jedná se o rozměry definující geometrický prvek, a to nejčastěji jeho délky, průměry a plochy. Měření rozměru probíhá buď skenováním nebo snímáním bodově. U měření skenováním se na daném rozměru nasnímá v rozmezí 10 až 20 tisíc bodů. U měření rozměru na principu snímání jednotlivých bodů se používá od 6 do 20 bodů v závislosti na požadované přesnosti. Naměřené hodnoty oběma metodami se dále aproximují dle Gaussovy metody (výjimku tvoří jediný průměr vyhodnocovaný vlastní specifikovanou metodou viz 4.2.2). Skenováním se snímají právě ty rozměry, ke kterým se vztahuje geometrická tolerance (obvodové házení, poloha, válcovitost atd.). Bodově se snímají rozměry ostatní.

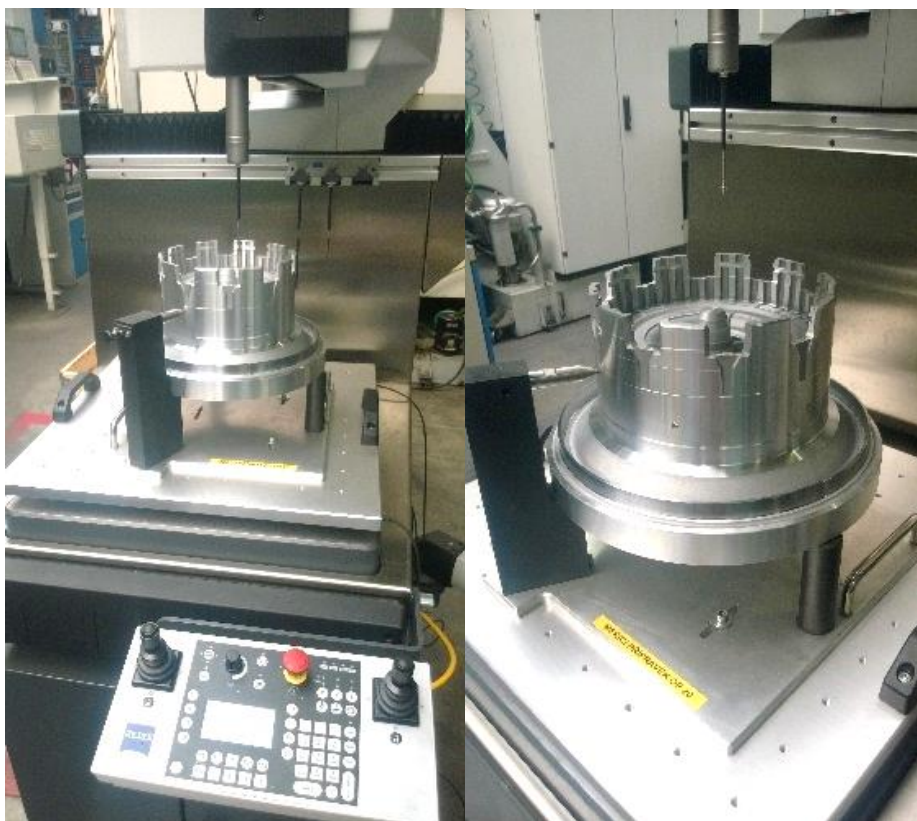
Měření ostatních geometrických prvků, které lze jen obtížně vyhodnotit nebo změřit na souřadnicovém měřicím stroji, se provádí na profilprojektoru. Jedná se především o čtená zkosení, úhly, rádiusy nebo rozměry o velmi malých hodnotách. Aby mohl být profil na posuzovaném dílu snímán, musí být opatrně rozřezán na pásové pile tak, aby se vlezl na pracovní plochu měřicího přístroje. Měření výrobku profilprojektorem značky Keyence je velice rychlý proces s uživatelsky intuitivním ovládáním. Nicméně software Keyence umožňuje vyhodnotit naměřené hodnoty pouze Gaussovou metodou.

Poslední částí je kontrola textury povrchu. Pomocí výše zmíněného profilometru značky Mitutoyo se ověřují hodnoty na všech přístupných rozměrech, a to na požadavky R_z a P_t . Použitý profilometr i když podporuje vyhodnocení parametrů P_t , není z konstrukčního hlediska vhodný z důvodu použití kluzné patky.

4.2.2 Uvolnění výroby

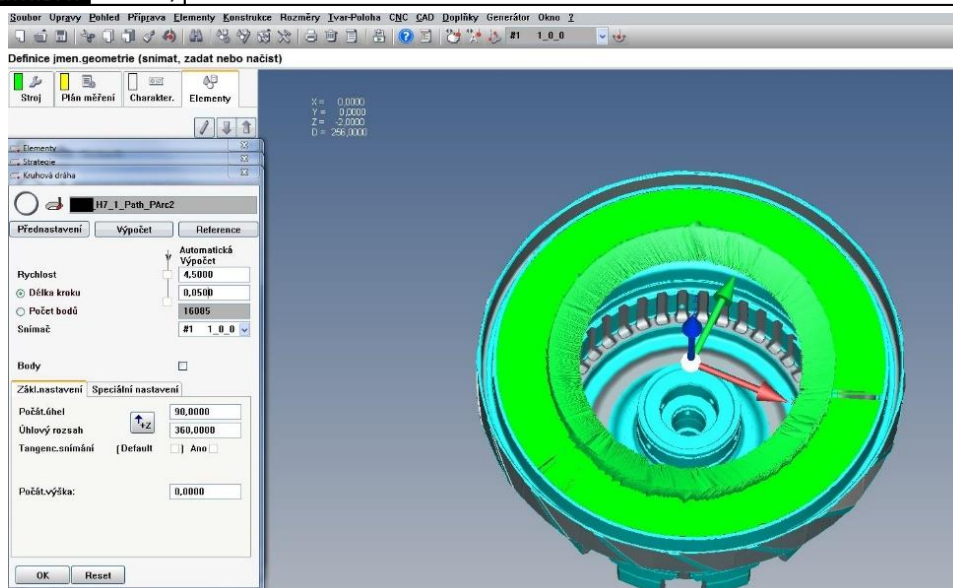
Na začátku každého dne probíhá uvolnění výroby série odlitků, to spočívá v měření prvního kusu na souřadnicovém stroji Zeiss DuraMax (viz obrázek 74). Z důvodu obrábění dílu na dvě operace se první vyrobený díl zkontroluje zkráceným programem, který obsahuje vybrané průměry. Pokud rozměry leží v tolerančním poli, začíná se obrábět kontinuálně. Během spuštění výroby se první díl zkontroluje znovu úplným programem (viz příloha G). Tento postup platí jak pro první, tak pro druhou stranu obrobeneho dílu.

U první strany lze ověření provést i na Renishaw Equator, v takovém případě porovnává naměřené hodnoty s nastavenými hodnoty dle Master dílu. Tento Master díl se předem změří na souřadnicovém měřicím stroji.



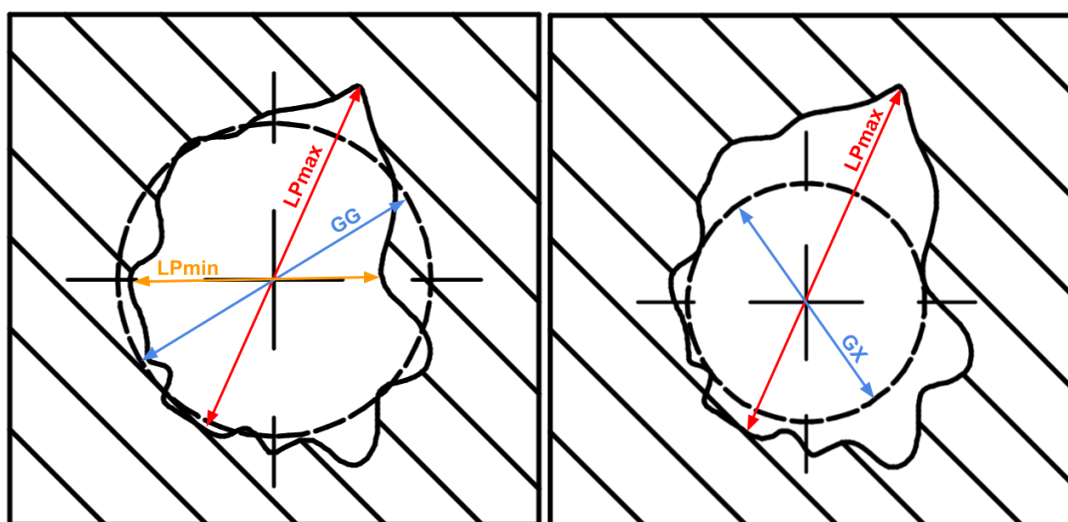
Obr. 74) Měření dílu na souřadnicovém stroji.

Při předkládání zákaznickových požadavků dodavateli byl spolu s výkresem předán program, dle kterého se měří určené kóty na souřadnicovém měřicím stroji. Tento program obsahuje blíže specifikované metody k jednotlivým kótám (počet měřených rovin a jakým způsobem jsou vyhodnocovány). Z tohoto programu nepodléhá vyhodnocení metodou obálky žádný rozměr. Nejspecifikovanější vlastní metodou měření je na vnitřním průměru (kóta č. 121), všechny ostatní požadované rozměry dle Gaussovy metody. Rozměr č. 121 je průměr, kde se měření provádí ve dvou rovinách, a to skenováním pomocí měřicího doteku. Na tomto rozměru v jedné rovině bylo nasnímáno na cca 16000 bodů (viz obrázek 75).



Obr. 75) Nasnímané body na průměru (kóta č. 121).

Hodnoty z každé roviny jsou aproximovány dle Gausse GG a dále vyhodnoceny minimální a maximální hodnoty rozměrů ze dvou bodů LP. Tento postup je v rozporu s postupem vyhodnocení pro rozměr, který je na výkrese specifikován obálkovou metodou. Správný postup by z naměřených hodnot vyhodnotil maximální vepsaný průměr GX a maximální rozměr ze dvou bodů LP (viz obrázek 76).



Obr. 76) Vlastní metoda vyhodnocení dle dodavatele vlevo a správná dle požadavku na výkrese (obálková metoda).

Rozměry jako jsou vzdálenosti nebo úhly (kužely) mezi dvěma prvky jsou softwarem měřicího stroje vyhodnoceny od nasnímaných ploch vymezující daný rozměr. Tyto plochy (např. čela obrobku) jsou naměřena bodově o počtu 10 až 20 bodů v závislosti na velikosti plochy. Výjimkou je čelo obrobku, na které je vztažena geometrická základna D, ta se snímá skenováním.

Pokud je na průměr vztažena geometrická tolerance (obvodové házení nebo válcovitost), měření je prováděno ve dvou rovinách skenováním. Nasnímané hodnoty na

průměrech nebo plochách jsou aproximovány Gaussovou metodou. Vyhodnocení samotných geometrických požadavků je skrze software CALYPSO plně automatické.

Kromě průměrů bez požadavků geometrických tolerancí, se všechny zbylé průměry v kontrolním programu snímají skenováním. Rozmezí počtu bodů na snímaném rozměru se přibližně pohybuje od 10000 do 20000 bodů. Počet bodů se dá manuálně nastavit, v našem případě si počet bodů program navolil sám automaticky. Tyto naměřené hodnoty se aproximují dle Gaussovy metody. Výrazné odchylky, které mohou být způsobeny například nečistotami jsou odfiltrovány pomocí filtru definovaného v softwaru CALYPSO.

Měření tedy probíhá na začátku dne a následně je kontrolován každý poslední kus z výrobní dávky dodávaných odlitků. Jelikož se ale ve výrobní hale nedrží konstantní teplota z důvodu nedostatečné klimatizace, dochází mezi začátkem směny a jeho koncem k velkým teplotním změnám. Tyto změny mají za následek neustálé se měnící rozměry vyrobených dílů. V provozu to znamená neustálé přepisování hodnot obrábění na důležitých rozměrech v obráběcím programu soustruhu. Kvůli tomuto problému se obsluha snaží preventivně změřit i více kusů za směnu podle časových možností.

4.2.3 Průběžná kontrola

Průběžná kontrola dílu se kromě běžných dílenských měřidel především zakládá na měřícím stroji Renishaw Equator 300 (viz obrázek 77), který porovnává hodnoty naměřených bodů s hodnotami z referenčního/kalibračního dílu, který byl dodán zákazníkem.

Z důvodu použité měřicí sondy, se kterou lze snímat povrch i skenováním, strategie měření je zcela podobná jako tomu bylo u souřadnicového stroje Zeiss. Z toho plyne měření metodou skenování na rozměrech důležitých (např. na které je požadována geometrická tolerance nebo přísná tolerance). Ostatní rozměry jsou naměřené bodově (od 6 do 20 nasnímaných bodů). Jednotlivá měřená místa a poloha rovin ke skenování musí být shodná s měřeným kalibračním dílem. Tuto polohu určuje upínací přípravek.

Pomocí stroje Renishaw se musí zkontrolovat každý desátý vyrobený kus. Opět i zde obsluha kontroluje častěji dle časových možností. Četnost takto zkontrolovaných dílů se pohybuje kolem čtyř až šesti obrobků podle časových možností obsluhy.



Obr. 77) Měření dílu na Renishaw Equator 300.

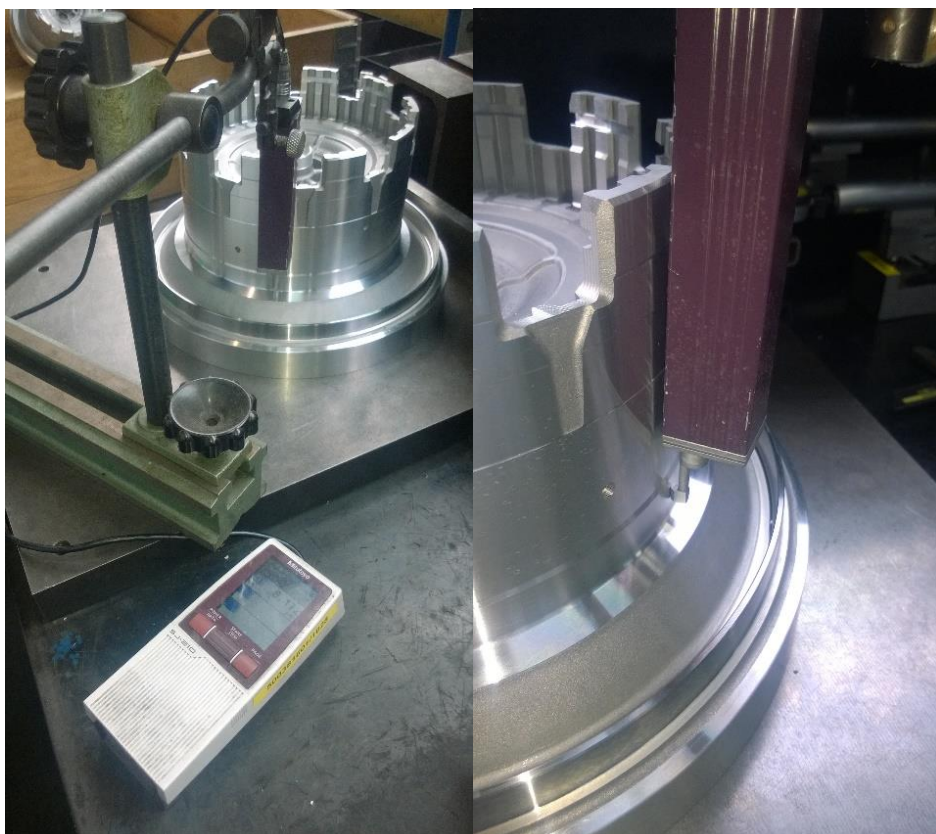
Na pracovišti se nachází dílenská měřidla se kterými obsluha během směny pracuje (viz obrázek 78). Jedná se o koncové měrky, posuvná měřidla, třmenový mikrometr, válcový kalibr, dutinoměry, hloubkoměr, universální měřidla s úchylkoměry, protikus a profilometr.



Obr. 78) Měření dílu pomocí dílenských měřidel (dutinoměr, koncová měrka a universální měřidlo).

V technologickém postupu je po obsluze požadováno měřit s těmito měřidly jednou za čtyři hodiny. Ve skutečnosti se měří opět častěji, a to s posuvnými měřidly, třmenovým mikrometrem, dutinoměry, hloubkoměry či s universálními měřidly. Naopak méně se provádí měření s koncovými měrkami, válcovým kalibrem a protikusem. V některých případech je takové jednání ze strany obsluhy oprávněné z důvodů častějšího měření na souřadnicových strojích.

Výjimkou je zanedbané měření požadovaných parametrů textury povrchu. Strategie firmy v tomto odvětví měření je v předpokládaný lepší obrobený povrch vůči požadovanému z důvodu použitých diamantových řezných destiček. V technologickém postupu je po obsluze požadováno změřit texturu povrchu (viz obrázek 79), a to parametry drsnosti $Rz\ 10\ (6\times)$ a $Rz\ 4\ (1\times)$. Jelikož se jedná o periodický povrch, volba hodnoty filtru cut-off λ_c nezávisí na požadovaném parametru, ale na hodnotě RS_m . To znamená před samotným měřením parametru Rz se nejprve povrch změří a vyhodnotí parametr RS_m , následně se dle jeho hodnoty v tabulce určí filtr λ_c a po jeho nastavení do profilometru se povrch měří znovu s již výslednou hodnotou Rz .



Obr. 79) Měření textury povrchu.

Z důvodu obrábění průměrů s nastaveným podobným posuvem řezného nástroje vůči jedné otáčky obrobku vychází na obráběných plochách stálá hodnota $RS_m = 0,15$ mm. Z toho jednoznačně vyplývá hodnota filtru $\lambda_c = 0,8$ mm (viz tabulka 5). Celková vyhodnocovaná délka měření bude po započítání šesti základních délek (5 minimum, 1 pro nájezd a přejezd) $l_t = 4,8$ mm. Tuto potřebnou délku splňuje každý povrch zapsaných v průběžné kontrole.

Mitutoyo SJ-210, který má nastavený filtr cut-off $\lambda_c = 0,8$ mm při zkušebním měření prokázal strategii firmy zjištěním hodnoty $R_z = 8,172$ μm (zákazníkem požadovaná hodnota $R_z = 10$ μm), stále je na první pohled velká rezerva. Kvalita textury povrchu je ale závislá na několika parametrech a kdykoliv se může výrazně změnit a nesplnit požadované pravidlo maxima, kdy nesmí žádná z naměřených hodnot přesáhnout požadovanou hodnotu parametru.

Každý obrobený díl je nutno vizuálně zkontrolovat. Obsluha se zaměřuje na pórovitost, otřepy, praskliny, vrypy, deformace, nalepené třísky na ocelovém zálisku a jiné povrchové nedokonalosti. Seznam kontrolovaných rozměrů je obsažen v příloze H.

5 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Z hlediska přehlednosti a nezávislosti byla tato kapitola doporučení rozdělena na dvě části. První část zaměřena dopady na zákazníka a druhá na dodavatele.

5.1 Pro zákazníka

Možné návrhy doporučení se pro zákazníka objevují především na jeho výkrese a během předkládání požadavků dodavateli.

5.1.1 Výkres dílu

Grafické úpravy

Všechna kritéria/modifikátory rozměrů mají dané své označení v oválném kroužku. Není tomu jinak i u označení kritéria obálky. To se na výkrese nachází v popisovém poli hned za napsanou normou ISO 14405. Oprava by spočívala v přepsání značky z (E) na $\textcircled{E}$.

Označení jednotlivých pohledů či řezů se zdá na první pohled velmi chaotické, stačilo by označení pouze pomocí písmen z abecedy. Např. označení pohledu řezu s daným měřítkem zvětšením/zmenšením: A-A 1:2. Nepřehlednosti také přispívají zvolená obdélníková vybraní jednotlivých detailů, kdy některá se dokonce překrývají. Elektronická verze výkresu by mohla obsahovat barevně rozlišená tato obdélníková vybraní detailů.

Úpravy kótování rozměrů a dalších prvků

Během předkládání požadavků jakožto budoucímu dodavateli dílů, bylo dohodnuto na specifických plánech měření. Ty například pojednávají o odlišném postupu měření u všech rozměrů, než je tomu uvedeno v popisovém poli globální značkou obáلكové metody. Pokud takové měření v praxi vyhovuje, bylo by namísto při další revizi výkresu zvážit, zdali napsat kritérium obálky pouze u vybraných rozměrů nebo ho zcela odstranit z popisového pole.

Nejnáročnější potřebnou úpravou na výkrese je ve formě správného zakótování rozměrů dle norem ISO GPS. Konstruktor by měl nejlépe rozřadit prvky dílu na funkční a nefunkční. V případě nefunkčních prvků, kde se jedná především o sražené hrany a radiusy, je velmi vhodné kótovat všeobecnou značkou hran neurčitého tvaru. Prvky funkční se musí plně definovat dle norem tak, aby byly jednoznačně popsány.

Konstruktor uvažující nad zápisem požadavku textury povrchu musí mít na paměti, že parametry drsnosti podléhají určité potřebné délce snímání, definované podle základní délky cut-off, která je určena po změření hodnoty RS_m (jedná se o periodické povrchy). S hodnotou cut-off 0,8 mm je celkem na $20\times$ kót z $55\times$ o nedostatečné možné délce snímání. Tento problém by se dal vyřešit buď všeobecným definováním pevného filtru cut-off. Další možností jednotlivě na rozměrech definovat menší počet základních vyhodnocovaných délek, v případě nemožnosti měření ani na jedné základní délce je na místě zvážit volbu parametru P_t , který nepodléhá definované základní délce snímání cut-off. Druhým extrémem je například volba parametru P_t na plochách o délce $L = 0,141$ mm. Teoreticky s danými měřicími přístroji jsou tyto požadavky akceptovatelné, v případě nefunkčních ploch zbytečné a komplikující rychlost ověřování celého dílu.

Definované geometrické základny doplnit o vlastní geometrickou charakteristiku GD&T. Tu má určenou pouze jedna základna. Tímto se dostáváme k další problematice, kdy

dovolená tolerance základny je větší než tolerance na prvku, který je k této základně vztažen. Specifikace geometrických základů E a F jsou chaotické a nejednoznačné. Pro správnost je tedy nutné zvolit do další revize jinou plochu, která je skutečná a ke které bude vztažena nová geometrická základna.

5.1.2 Komunikace s dodavatelem

Po zvolení dodavatele následně předložit požadavky spolu s výkresem i se všemi interními normy, které jsou použité v popisovém poli (nejlépe vytištěné s jasně graficky vyznačenými místy, kde se nacházejí informace o důležitých změnách).

5.2 Pro dodavatele

Z důvodů několika neshod intervalů kontrol s danými měřidly v praxi oproti technologickému postupu, se nabízí opatření v podobě analýzy dosavadního technologického postupu. Výstupem by měla být aktualizace technologického postupu, obsahující změny intervalů kontrol dle dosavadního provádění, nebo naopak případné opatření pro dodržování měření na pracovišti v závislosti na použitém měřicím zařízení.

Vzorovým příkladem je zanedbaná kontrola parametru drsnosti R_z , která je zapříčiněná spolehnutím na lepší obrobený povrch díky použití diamantových řezných destiček. Obsluha se také příliš spoléhá na vizuální kontrolu.

V případě že se na výkrese v popisovém poli nachází zákaznickovy interní normy a nebyly dosud poskytnuty, je nutné si je na oddělení všechny sehnat a důkladně přečíst. Běžně se totiž stává, že se v nich skrývají důležité informace měnící proces ověřování. Příkladem je zjištění požadavku použití pravidla Maxima při vyhodnocování parametru drsnosti R_z .

Dalším doporučením je zakoupení měřicího stroje, který bude schopen vyhodnotit především parametr základního profilu P_t .

Největším doporučením a výzvou pro dodavatele by bylo zabezpečení stejné teploty měřidel po celý pracovní den. To by spolu se stejně nastavenou teplotou chladicí kapaliny zaručilo, že se díly nebudou příliš objemově, a tedy i rozměrově měnit. Řezná chladicí kapalina stroje stabilně drží teplotu na 22 °C, nicméně ze stroje jde obrobený díl do prostředí s teplotou v rozsahu 21-28 °C⁷. U každého měřeného dílu se tedy neustále mění jeho objem a rozměry.

⁷ Tento rozsah teplot byl zjištěn během měsíce květen.

5.3 Technicko – ekonomické posouzení

V ideálním případě by dodavateli měl vždy stačit pouze výkres součásti, podle kterého by byl vyroben a následně ověřen. V případě posuzovaného výkresu lze objevit mnoho nejasností, a proto zavádění součásti do procesu výroby a následného ověřování trvá déle, než by bylo třeba. Pokud by zákazník specifikoval výkres dílu důkladněji z hlediska jeho následného posuzování, ušetřilo by se času v komunikaci např. na téma „co se má nebo nemá měřit“. Šetří se čas v posílání dodatečných upřesněných seznamů kót, které určují, jaké kóty se mají ověřovat a jakým způsobem neboli metodou.

Některé důležité poznatky (např. uplatňování pravidla maxima) by zákazník mohl dopsat nad, nebo vedle popisového pole. Popřípadě tyto poznatky jasně vyznačit v přiložených interních normách při prvním předkládání požadavků zákazníka. Šetří se zde s časem od případného nedorozumění.

Pokud by ZLKL investovalo do klimatizovaných buněk s měřidly, došlo by k odstranění výrazné složky chyb v důsledku roztažnosti výrobků v závislosti na teplotě (chladicí kapalina oproti měnící se teplotě na pracovišti). Očekávalo by se zlepšení rozměrových parametrů a ušetření času tím, že obsluha nebude muset neustále měnit v programu obrábění jednotlivé hodnoty.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá obecnou geometrickou specifikací produktu a posléze zaměřenou na zvolený výrobek. U tohoto výrobku byla následně provedena analýza stávajícího postupu posouzení shody.

V kapitole 2 byla rozebrána problematika specifikace produktu podle souboru norem ISO GPS. Jednotlivé druhy rozměrů byly graficky zobrazeny z hlediska běžného a jednoznačného zakótování. Pro porozumění problematice bylo graficky zobrazeno, jak běžně zakótované rozměry na výkresu není možné posléze jednoznačně vyhodnotit na vyrobeném kusu. Dále byly v diplomové práci popsány základy geometrických tolerancí, textury povrchu, rozměry jiné než lineární (nelineární) a hrany neurčitých tvarů. Ke zmíněným oblastem byly popsány jejich základní principy používání s uvedenými vhodnými měřidly.

První cíl práce, analýza specifikace výroku, byl popsán v kapitole 3. Po představení analyzované součásti byl rozebrán zákazníkuv výkres z hlediska informací uvedených v popisovém poli a jednotlivých okótovaných pohledů součásti. Použité kóty byly analyzovány a následně rozděleny v rámci jejich typu do skupin (jednoznačné a měřitelné, nejednoznačné, neměřitelné, teoreticky přesné a doplňkové), ze kterých již lze usuzovat hlavní nedostatky výkresu, jelikož byly ke každé skupině zmíněné i počty výskytu na výkrese.

Kapitola 4 je zaměřena na druhý cíl práce, analýza stávajícího postupu posouzení shody. Nejprve jsou v této kapitole popsány jednotlivá měřidla, která se během ověřování používají. Ke zmíněným měřidlům byly popsány jejich základní části, popřípadě i software a základní principy na kterých tyto měřidla pracují a k čemu mohou být vhodná. Následně byla provedena analýza stávajícího postupu. Ten je rozlišen podle účelu na tři typy kontrol, a to na kontrolu dílu při jeho zavedení do výroby nebo jeho revizi (homologace), druhým dalším odlišným postupem kontroly dílu probíhá během rozjezdu série na začátku směny (uvolnění výroby) a třetím posledním nejčastěji používaným postupem jsou kontroly během výroby dílů (průběžná kontrola).

V kapitole 5 byl vypracován poslední cíl, doporučení pro praxi. Doporučení bylo rozděleno na dvě části, a to na doporučení pro zákazníka a dodavatele. Tyto kapitoly pojednávají o nalezených problémech z předešlých dvou kapitol a možných jejich řešeních. Dále je v této kapitole zmíněno technicko – ekonomické posouzení, které popisuje dopady jednotlivých doporučení. Největším předpokládaným vlivem na ušetření času a financí je návrh na zajištění ustálené teploty použitých měřidel (klimatizované buňky).

Případné pokračování práce by mohlo vést k experimentálnímu kroku, kde by se potvrdil nebo vyvrátil výše zmíněný návrh na zajištění ustálené teploty měřidel. Posuzované kusy by po obrobení urychleně putovali do měřicí místnosti s nastavenou teplotou (teplota chladicí řezné kapaliny soustruhu). Výsledky by se následně porovnály s výsledky naměřených kusů s měřidly umístěnými na hale.

Na práci bychom mohli dále navázat ověřením způsobilosti použitých měřidel, kde výsledkem by byla jejich hodnota indexu způsobilosti, respektive závislost způsobilosti měřidla na vyhodnocení nejmenší možné hodnoty parametru. Způsobilost by bylo vhodné změřit podle postupů uvedené v normě VDA, která pojednává o vhodnosti kontrolních procesů.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *E-LTex: Soustava technických norem* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/176/popularizace-technicke-normalizace/Soustava-technickych-norem.html> Článek
- [2] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. Druhé opravené vydání. Brno: Computer Press, 2007. Edice strojaře.
- [3] ČSN EN ISO 14405-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů: Část 2: Rozměry jiné než lineární rozměry*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [4] ŠTANTEJSKÝ, Jiří. *Metoda nejmenších čtverců a její použití*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Masarykova universita, Přírodovědecká fakulta, Ústav matematiky a statistiky.
- [5] ČSN EN ISO 14405-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Tolerování rozměrů: Část 1: Lineární rozměry*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [6] ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování: Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [7] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004 [cit. 2018-05-19]. ISBN 80-248-0671-1. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [8] ČSN EN ISO 8785. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Nedokonalosti povrchu: Termíny, definice a parametry*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [9] MURALIKRISHNAN, Bala. a J. RAJA. *Computational surface and roundness metrology*. New York: Springer, 2009. ISBN 978-184-8002-975.
- [10] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999.
- [11] HARČÁŘÍK, MATEJ. *Měření parametrů textury povrchu výrobků kontaktní a bezkontaktní metodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 81 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
- [12] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [13] BERÁNEK, Libor. *Průmyslová metrologie: Od profilprojektoru k opticko dotykové měřicí technice* [online]. Praha: ČVUT - Fakulta strojní [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PMTR/Od_profilprojektoru_k_opticko_dotykove_merici_technice.pdf
- [14] *HELIOS-PREISSER: Měrky na kontrolu zkosení hran* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.saweron-helios-preisser.pl/p1775,fazomierz.html>
- [15] HOCKEN, Robert J. a Paulo H. PEREIRA. *Coordinate measuring machines and systems*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2012. ISBN 978-157-4446-524.
- [16] ZEISS: *DuraMax* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/production-cmms/duramax.html>

- [17] Renishaw: *Upínací stavebnice pro Equator* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/upinaci-pripravky-pro-equator--20858>
- [18] Renishaw: *Hardware* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/sp25m--6688>
- [19] Mitutoyo: *Přenosné přístroje na měření drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/1292249246959/Surftest%20SJ-210/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/178-560-01D/index.xhtml?sessionId=AB2E1618CD2F71AD0DB8356771B0BA3A](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/1292249246959/Surftest%20SJ-210/$catalogue/mitutoyoData/PR/178-560-01D/index.xhtml?sessionId=AB2E1618CD2F71AD0DB8356771B0BA3A)
- [20] Quality 101: Surface Finish Measurement Basics. *Quality MAGAZINE* [online]. 2004 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/84505-quality-101-surface-finish-measurement-basics>
- [21] Speeding Up And Simplifying Solutions: Image dimension measurement system puts much faster in-process inspection within everyone's reach. Contributed by Keyence. *Equipment news* [online]. 2017 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.equipment-news.com/speeding-up-and-simplifying-solutions/>
- [22] Mahr: *GAGE BLOCK* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.mahr.com/en/Services/Production-metrology/Products/Precimar---Gage-Block-and-Dial-Gage-Testing-Unit/Precimar-826-PC---Gage-Block-Comparator/>
- [23] BO-IMPORT: *Mezní válečkové kalibry* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.bo-import.cz/meridla/kalibry/mezni-valeckove-kalibry-trny/mezni-valeckovy-kalibr-din7162-din7164-35h7-92035h7-24086.html>
- [24] SOMETCZ: *Digitální posuvná měřítka* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://www.sometcz.com/obchod/posuvna-meritka/digitalni/digitalni-posuvne-meritko-500-250#tab_tab3
- [25] Mitutoyo: *Hloubkoměry* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.030.02/VDS-P20/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/571-252-20/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.030.02/VDS-P20/$catalogue/mitutoyoData/PR/571-252-20/index.xhtml)
- [26] SOMETCZ: *Dutinoměry* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://www.sometcz.com/en/store/bore-gauges-and-instruments/three-point-internal-micrometer-10-12#tab_tab3
- [27] Mahr: *Dutinoměry* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://mahruk.com/product/indicating_measuring_instruments_for_inside_dimensions_844_dg_dimension_1_150_mm/
- [28] Mitutoyo: *Třmenové mikrometry* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/all/all/Digit%C3%A1ln%C3%AD%20t%C5%99menov%C3%BD%20mikrometr%20IP-65%20s%20C5%99ehta%C4%8Dkou/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/293-253-30/parameters/index.xhtml?result=1525380860537](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/all/all/Digit%C3%A1ln%C3%AD%20t%C5%99menov%C3%BD%20mikrometr%20IP-65%20s%20C5%99ehta%C4%8Dkou/$catalogue/mitutoyoData/PR/293-253-30/parameters/index.xhtml?result=1525380860537)
- [29] Unimetra: *Měřidla s číselníkovým úchylkoměrem* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.unimetra.cz/cz/katalog/meridla-s-ciselnikovym-uchylkomerem/meridla-pro-mereni-velkych-rozmeru/56-meridla-pro-mereni-velkych-rozmeru.html#!prettyPhoto>
- [30] E-konstrukter: *Tolerance netolerovaných rozměrů* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/tolerance-netolerovanych-rozmeru>

[31] Stanley: *ORIENTACE V TECHNICKÉ DOKUMENTACI* [online]. [cit. 2018-05-24].
Dostupné z: <http://www.stanley.8u.cz/skola/data/ze/vykresy.pdf>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

ISO GPS	Geometrické specifikace produktu
LP	rozměr ze dvou bodů
GG	Gaussova metoda (zkráceně G)
GN	minimální opsání prvku
GX	maximální vepsání prvku
E	obálková metoda vyhodnocení rozměru
<i>RSm</i>	průměrná šířka prvku profilu drsnosti
<i>Rz</i>	největší výška profilu drsnosti
<i>Pt</i>	celková výška základního profilu
<i>Zp</i>	výška výstupku profilu
<i>Zv</i>	hloubka prohlubně profilu
λ_s	krátkovlnný filtr – vznik základního profilu
λ_f	filtr pro oddělení profilu vlnitosti
λ_c	filtr pro oddělení profilu drsnosti
cut-off, <i>lr</i>	základní délka drsnosti
<i>lt</i>	vyhodnocovaná délka drsnosti
GD&T	geometrické kótování a tolerance
SP25	tříosá analogová sonda od Renishaw
VDA	Verband der Automobilindustrie

8.1 Seznam tabulek

TAB 1) ROZDĚLENÍ ROZMĚRŮ DLE CHARAKTERISTIKY [3].	21
TAB 2) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ – CHARAKTERISTIKY A JEJICH ZNAČKY [6].	28
TAB 3) GRAFICKÉ ZNAČKY TEXTURY POVRCHU.....	34
TAB 4) PARAMETRY PROFILŮ POVRCHU.	36
TAB 5) VOLBA ZÁKLADNÍ DÉLKY CUT-OFF DLE TABULKOVÝCH HODNOT [12].....	38
TAB 6) ROZDĚLENÍ A VÝZNAM HODNOTY U OZNAČENÍ HRANY NEURČITÉHO TVARU [31].	41
TAB 7) STANOVENÉ MEZNÍ ÚCHYLKY ROZMĚRŮ TŘÍDY PŘESNOSTI M [30]. 44	

8.2 Seznam obrázků

OBR. 1) OZNAČENÍ ČSN.	17
OBR. 2) ZNAČKA PRAVOÚHLÉHO PROMÍTÁNÍ.	18
OBR. 3) ZÁKLADNÍ ROZLOŽENÍ POHLEDŮ VÝROBKU.	19
OBR. 4) INTERPRETACE VÝROBKU V ZÁVISLOSTI NA HISTORII (1900, 1950 A 2018).	20
OBR. 5) SCHÉMA PROCESŮ VÝROBKU.	20
OBR. 6) ROZMĚR SE SPECIFIKACÍ A JEHO VYHODNOCENÍM V ZÁVISLOSTI NA MODIFIKÁTORECH.	21
OBR. 7) ZNÁZORNĚNÁ METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ.	22
OBR. 8) VÁLEC SE SPECIFIKACÍ.	22
OBR. 9) MODIFIKÁTOR LP.	23
OBR. 10) MODIFIKÁTOR GX.	23
OBR. 11) MODIFIKÁTOR GN.	23
OBR. 12) MODIFIKÁTOR GG.	23
OBR. 13) SPECIFIKACE ÚHLU – NEJEDNOZNAČNÁ, JEJÍ INTERPRETACE A JEDNOZNAČNÁ.	25
OBR. 14) SPECIFIKACE ROZMĚRU – NEJEDNOZNAČNÁ, JEJÍ INTERPRETACE A JEDNOZNAČNÁ.	26
OBR. 15) SPECIFIKACE ROZMĚRU – NEJEDNOZNAČNÁ, JEJÍ INTERPRETACE A JEDNOZNAČNÁ.	26
OBR. 16) SPECIFIKACE ROZMĚRU – NEJEDNOZNAČNÁ, JEJÍ INTERPRETACE A JEDNOZNAČNÁ.	27
OBR. 17) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ ROVINNOSTI [6].	28
OBR. 18) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ VÁLCOVITOSTI [6].	29
OBR. 19) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ PROFILU LIBOVOLNÉ PLOCHY [6].	29
OBR. 20) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ POLOHY [6].	30
OBR. 21) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ SOUSTŘEDNOSTI A SOUOSOSTI [6].	30
OBR. 22) GEOMETRICKÉ TOLEROVÁNÍ OBVODOVÉHO HÁZENÍ [6].	30
OBR. 23) MOŽNOSTI UMÍSTĚNÍ ZÁKLADEN.	31
OBR. 24) PŘÍKLAD POŽADAVKU GEOMETRICKÉ TOLERANCE A JEHO POPIS.	31
OBR. 25) MĚŘENÍ PŘÍMOSTI POMOCÍ PŘÍMĚRNÉ DESKY A ÚCHYLKOMĚŘŮ [7].	32
OBR. 26) MĚŘENÍ ROVINNOSTI INTERFERENCÍ SVĚTLA [7].	32

OBR. 27) MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI BODOVÝMI METODAMI [7].	33
OBR. 28) MĚŘENÍ ODCHYLKY KRUHOVITOSTI KRUHOMĚRY [7].	33
OBR. 29) STRATEGIE MĚŘENÍ VÁLCOVITOSTI [7].	33
OBR. 30) PŘÍKLAD POŽADAVKU TEXTURY POVRCHU S POPISEM.	35
OBR. 31) ZÁKLADNÍ PROFILY TEXTURY POVRCHU [9].	35
OBR. 32) NEJVĚTŠÍ VÝŠKA PROFILU DRSNOSTI RZ [11].	36
OBR. 33) DOTYKOVÝ PROFILOMETR [7].	37
OBR. 34) SCHÉMA JEDNOTLIVÝCH KROKŮ MĚŘENÍ PARAMETRŮ.	37
OBR. 35) SPECIFIKACE RÁDIUSU – NEJEDNOZNAČNÁ, JEJÍ INTERPRETACE A JEDNOZNAČNÁ.	38
OBR. 37) SPECIFIKACE ZKOSENÍ, NEJEDNOZNAČNÉ VLEVO, VPRAVO JAKO HRANA NEURČITÉHO TVARU.	39
OBR. 38) JEDNOZNAČNÁ SPECIFIKACE FUNKČNÍHO ZKOSENÍ.	40
OBR. 39) ANALÝZA OBRAZU (PŮVODNÍ, DIGITALIZOVANÝ, KONTURA SUBPIXELŮ A VYHODNOCENÍ BESTFIT ELEMENT SUBPIXELŮ) [13].	40
OBR. 40) OZNAČENÍ VNĚJŠÍCH A VNITŘNÍCH HRAN NEURČITÝCH TVARŮ.	41
OBR. 41) MĚRKY NA OVĚŘOVÁNÍ SRAŽENÝCH HRAN [14].	41
OBR. 42) TĚLO PŘEVODNÍKU KROUTICÍHO MOMENTU.	43
OBR. 43) POPISOVÉ POLE.	43
OBR. 44) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ANALÝZY DÉLKOVÝCH SPECIFIKACÍ.	44
OBR. 45) KÓTOVÁNÍ DVOU NE-PROTILEHLÝCH PLOCH A JEJICH INTERPRETACE.	45
OBR. 46) KÓTOVÁNÍ PLOCHA – HRANA A JEJICH INTERPRETACE.	45
OBR. 47) KÓTOVÁNÍ PLOCHA – TEORETICKÁ HRANA A JEJICH INTERPRETACE.	46
OBR. 48) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ANALÝZY SPECIFIKACÍ PRŮMĚRŮ.	46
OBR. 49) KÓTOVÁNÍ PRŮMĚRU NA HRANĚ A JEJÍ INTERPRETACE.	47
OBR. 50) KÓTOVÁNÍ PRŮMĚRU STŘEDU RÁDIUSU A JEHO INTEPRETACE.	47
OBR. 51) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ANALÝZY SPECIFIKACÍ ÚHLŮ.	48
OBR. 52) KÓTOVÁNÍ ÚHLU PLOCHA-OSA A JEJICH INTERPRETACE.	48
OBR. 53) KÓTOVÁNÍ ZAOBLENÍ HRANY A JEJÍ INTERPRETACE.	49
OBR. 54) KÓTOVÁNÍ ZKOSENÍ A JEJÍ INTERPRETACE.	49
OBR. 55) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ANALÝZY SPECIFIKACE TEXTURY POVRCHU.	50

OBR. 56) POTŘEBNÁ SNÍMACÍ PLOCHA K VYHODNOCENÍ POŽADAVKU TEXTURY POVRCHU.....	51
OBR. 57) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ANALÝZY SPECIFIKACÍ GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ.....	51
OBR. 58) ZEISS DURMAX HTG [16].	53
OBR. 59) RENISHAW EQUATOR 300 [17].	55
OBR. 60) POPIS ČÁSTÍ A PRINCIPU SONDY RENISHAW SP25 [18].	56
OBR. 61) PROFILOMETR MITUTOYO SURFTEST SJ-210 [19].....	57
OBR. 62) SCHÉMA ZNÁZORNŮJÍCÍ ROZDÍL MĚŘENÍ TEXTURY POVRCHU S, NEBO BEZ KLUZNÉ PATKY [20].	57
OBR. 63) PROFILPROJEKTOR KEYENCE IM-6700 [21].	58
OBR. 64) ČÁSTI SNÍMACÍHO SENZORU PROFILPROJEKTORU [13].	59
OBR. 65) KONCOVÉ MĚRKY [22].....	60
OBR. 66) TOLERANČNÍ VÁLCOVÝ KALIBR [23].....	60
OBR. 67) DIGITÁLNÍ POSUVNÉ MĚŘIDLO [24].	61
OBR. 68) DIGITÁLNÍ HLOUBKOMĚR [25].....	61
OBR. 69) TŘÍDOTYKOVÝ MIKROMETRICKÝ DUTINOMĚR [26].....	62
OBR. 70) DVOUDOTEKOVÝ DUTINOMĚR S ÚCHYLKOMĚREM [27].....	62
OBR. 71) DIGITÁLNÍ TŘMENOVÝ MIKROMETR [28].....	63
OBR. 72) UNIVERSÁLNÍ MĚŘIDLO S ÚCHYLKOMĚREM [29].	64
OBR. 73) OVĚŘOVACÍ PROTIKUS.....	64
OBR. 74) MĚŘENÍ DÍLU NA SOUŘADNICOVÉM STROJI.	66
OBR. 75) NASNÍMANÉ BODY NA PRŮMĚRU (KÓTA Č. 121).....	67
OBR. 76) VLASTNÍ METODA VYHODNOCENÍ DLE DODAVATELE VLEVO A SPRÁVNÁ DLE POŽADAVKU NA VÝKRESU (OBÁLKOVÁ METODA).67	
OBR. 77) MĚŘENÍ DÍLU NA RENISHAW EQUATOR 300.....	68
OBR. 78) MĚŘENÍ DÍLU POMOCÍ DÍLENSKÝCH MĚŘIDEL (DUTINOMĚR, KONCOVÁ MĚRKA A UNIVERSÁLNÍ MĚŘIDLO).....	69
OBR. 79) MĚŘENÍ TEXTURY POVRCHU.	70

9 SEZNAM PŘÍLOH

Specifikace rozměrů – seznamy

- Příloha A** Analýza délkových specifikací.
- Příloha B** Analýza specifikace průměrů.
- Příloha C** Analýza specifikace úhlů.
- Příloha D** Analýza specifikace rádiusů a zkosení.
- Příloha E** Analýza specifikace textury povrchů.
- Příloha F** Analýza specifikace geometrických tolerancí.

Kontrolní plány

- Příloha G** Seznam kót pro kontrolu na souřadnicovém stroji, uvolnění výroby.
- Příloha H** Seznam kót pro kontrolu s dílenskými měřidly, průběžná kontrola.

SPECIFIKACE ROZMĚRŮ – SEZNAMY

Příloha A

Čísla obsažená v seznamech se odkazují k jednotlivým kótám na výkrese.

Analýza délkových specifikací.				
Jednoznačné a měřitelné	Nejednoznačné	Neměřitelné	Teoreticky přesné	Doplňkové
31	16	14	145	3
82	28	18	146	94
170	58	19	394	111
228	61	20		113
267	69	21		362
240	71	59		
	81	70		
	83	104		
	106	132		
	173	188		
	178	189		
	186	201		
	187	206		
	210	221		
	211	239		
	241	243		
	242	260		
	244	270		
	245	274		
	247	285		
	248	298		
	271	339		
	272	341		
	297	342		
	302	345		
		347		
		348		
		351		
		353		
		354		
		357		
		359		
		360		
		384		

Příloha B

Čísla obsažená v seznamech se odkazují k jednotlivým kótám na výkrese.

Analýza specifikace průměrů.			
Jednoznačné a měřitelné	Neměřitelné	Teoreticky přesné	Doplňkové
8	4	332	54
9	77	337	65
26	103	338	102
55	127	340	174
57	154	343	176
64	160	344	367
73	177	346	
74	293	349	
75	396	350	
76	397	352	
101		355	
105		356	
121		358	
122		375	
128		382	
148			
152			
172			
175			
190			
191			
192			
207			
223			
249			
288			
291			
292			
294			
295			
313			
327			
378			
387			
388			
389			
390			

Příloha C

Čísla obsažená v seznamech se odkazují k jednotlivým kótám na výkrese.

Analýza specifikace úhlů.			
Nejednoznačné	Neměřitelné	Teoreticky přesné	Doplňkové
23	1	138	315
24	2	140	330
36	139	149	
39	314	150	
45	316	153	
48	328	308	
53	329	309	
93		310	
108		318	
114		319	
133		323	
157		324	
166		325	
168		333	
185		334	
197		383	
204			
225			
237			
255			
263			
281			
284			
299			
399			
385			

Příloha D

Čísla obsažená v seznamech se odkazují k jednotlivým kótám na výkrese.

Analýza specifikace rádiusů a zkosení.		
Rádus		Zkosení
Neměřitelné	Doplňkové	Neměřitelné
22	169	79
32		115
33		116
42		119
43		199
50		217
51		227
52		229
66		251
67		256
90		266
92		276
95		307
100		317
109		331
110		363
130		366
159		392
161		393
162		
164		
165		
181		
182		
205		
226		
232		
235		
261		
264		
279		
282		
303		
304		
320		
335		
361		
369		
376		
377		

Příloha E

Čísla obsažená v seznamech se odkazují k jednotlivým kótám na výkrese.

Analýza specifikace textury povrchů.			
Číslo kóty	Hodnota požadavku	Dostatečná délka v případě Cut-off 0,8? (nad 4,8 mm)	Dostatečná délka v případě Cut-off 2,5? (nad 15 mm)
10	PT 25	-	-
11	RZ 10	ne	ne
12	RZ 10	ano	ne
13	PT 25	-	-
15	RZ 25	ano	ne
25	RZ 25	ne	ne
29	RZ 10	ne	ne
30	RZ 10	ne	ne
34	Rz 25	ano	ne
35	PT 25	-	-
37	Rz 25	ano	ano
38	PT 25	-	-
40	Rz 25	ano	ano
44	Rz 25	ano	ne
47	Rz 10	ano	ne
49	Pt 25	-	-
56	Pt 25	-	-
60	Rz 25	ano	ne
62	Rz 25	ano	ano
63	Rz 25	ano	ano
68	Pt 25	-	-
72	Rz 25	ne	ne
80	Pt 100	-	-
85	Pt 100	-	-
86	Pt 100	-	-
87	Pt 100	-	-
88	Rz 25	ano	ne
89	Rz 100	ano	ne
91	Pt 100	-	-
96	Pt 100	-	-
98	Pt 100	-	-
112	Rz 25	ano	ano
117	Pt 100	-	-
118	Pt 100	-	-
120	Pt 25	-	-
123	Rz 25	ano	ano
125	Rz 100	ano	ano
126	Pt 25	-	-

131	Pt 100	-	-
158	Rz 25	ano	ne
163	Rz 25	ne	ne
167	Rz 4	ne	ne
171	Rz 4	ano	ne
184	Pt 100	-	-
194	Rz 25	ne	ne
195	Rz 25	ano	ne
196	Rz 25	ano	ano
198	Rz 10	ano	
200	Pt 25	-	-
202	Pt 25	-	-
203	Rz 25	ne	ne
208	Pt 25	-	-
209	Rz 25	ano	ne
212	Pt 25	-	-
215	Rz 10	ano	ne
218	Rz 25	ano	ne
220	Pt 25	-	-
222	Rz 10	ne	ne
224	Pt 25	-	-
230	Pt 25	-	-
231	Pt 25	-	-
233	Rz 10	ne	ne
234	Rz 10	ne	ne
236	Pt 25	-	-
238	Rz 25	ano	ne
250	Rz 10	ne	ne
252	Pt 25	-	-
253	Rz 10	ne	ne
254	Rz 25	ano	ne
257	Rz 25	ne	ne
258	Pt 25	-	-
259	Rz 25	ano	ne
262	Pt 25	-	-
265	Rz 10	ne	ne
268	Rz 10	ne	ne
269	Rz 10	ne	ne
273	Pt 100	-	-
277	Rz 10	ne	ne
278	Rz 10	ne	ne
283	Rz 10	ne	ne
286	Rz 10	ano	ne
287	Rz 10	ne	ne
289	Rz 16	ano	ne
296	Rz 25	ano	ano

305	Rz 25	ano	ne
306	Rz 25	ano	ne
364	Pt 25	-	-
365	Pt 25	-	-
368	Rz 25	ne	ne
379	PT 25	-	-
398	Rz 25	ano	ne

Příloha F

Čísla obsažená v seznamech se odkazují k jednotlivým kótám na výkrese.

Analýza specifikace geometrických tolerancí.		
Číslo kóty	Popis požadavku	Zdůvodnění nejednoznačnosti
6	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
7	Tvaru – válcovitosti 0,05	-
27	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám EB	-
41	Tvaru – válcovitosti 0,05	-
46	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
78	Házení – obvodové 0,3 vůči základnám DA	-
124	Házení – obvodové 0,15 vůči základnám DA	Základna D se stejnou tolerancí 0,15
129	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
137	10 x Tvaru plochy 0,1 H-B G	Základna G nejednoznačná
141	10 x Tvaru plochy 0,1 H-B G	Základna G nejednoznačná
147	4 x Polohy – umístění $\varnothing$ 0,3 DF A-B	-
151	2 x Polohy – umístění $\varnothing$ 0,3 DF A-B	-
179	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
180	Tvaru – válcovitost 0,05	-
183	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
193	Házení – obvodové 0,05 vůči základnám EB	-
214	Házení – obvodové 0,05 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
275	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
280	Házení – obvodové 0,08 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
290	Házení – obvodové 0,05 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
311	Polohy – soustřednosti a souososti $\varnothing$ 0,1 EB	-
321	Házení – obvodové 0,3 vůči základnám CB	-
322	Polohy – soustřednosti a souososti $\varnothing$ 0,1DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
336	Házení – obvodové 0,3 vůči základnám CB	Na teoretický průměr
381	Tvaru – válcovitosti 0,05	-
391	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
395	Tvaru – rovinnosti 0,15	-
400	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15
401	Házení – obvodové 0,1 vůči základnám DA	Základna D s větší tolerancí 0,15

KONTROLNÍ PLÁNY

Příloha G

Seznam kót pro kontrolu na souřadnicovém stroji, uvolnění výroby.

Uvolnění výroby			
Délka	Průměr	Úhel	G. Tolerance
17	8	45	6
28	9	316	7
31	26		46
69	57		179
71	73		180
81	74		214
82	75		275
83	76		280
173	105		381
178	121		
188	122		
210	128		
240	172		
241	190		
244	207		
245	288		
247	291		
248	292		
271	295		
	313		
	327		
	378		
	396		

Příloha H

Seznam kót pro kontrolu s dílenskými měřidly, průběžná kontrola.

Průběžná kontrola				
Číslo kóty	Druh rozměru	Hodnota	Použité měřidlo	Četnost
16	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
28	Délka	$L \pm 0,1$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
69	Délka	$L \pm 0,05$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
82	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
106	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
178	Délka	$L \pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
187	Délka	$L \pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
189	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
228	Délka	$L + 0,1$	Johansonovy měrky	1x za 4 hodiny
240	Délka	$L + 0,15 - 0,05$	Johansonovy měrky	1x za 4 hodiny
242	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
244	Délka	$L \pm 0,1$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
245	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
247	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
248	Délka	$L \pm 0,1$	Hloubkoměr 0-300 mm	1x za 4 hodiny
267	Délka	$L + 0,1$	Johansonovy měrky	1x za 4 hodiny
271	Délka	$L \pm 0,1$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
272	Délka	$L \pm 0,1$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
7	Geometrická tolerance	Tvaru – válcovitosti 0,05	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
41	Geometrická tolerance	Tvaru – válcovitosti 0,05	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
147	Geometrická tolerance	4 x Polohy – umístění $\varnothing$ 0,3 DF A-B	Válcový kalibr	1x za 4 hodiny

8	Průměr	D h6	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
9	Průměr	D $\pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
26	Průměr	D $\pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
74	Průměr	D h7	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
75	Průměr	D $\pm 0,1$	Posuvka 0-300 mm	1x za 4 hodiny
121	Průměr	D H7	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
122	Průměr	D $\pm 0,1$	Posuvka 0-300 mm	1x za 4 hodiny
128	Průměr	D $\pm 0,1$	Posuvka 0-300 mm	1x za 4 hodiny
148	Průměr	4x D	Válcový kalibr	1x za 4 hodiny
172	Průměr	D F8	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
174	Průměr	D H8	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
175	Průměr	D H9	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
190	Průměr	D $\pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
207	Průměr	D $\pm 0,1$	Válcový kalibr	1x za 4 hodiny
223	Průměr	D $+0,1$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
288	Průměr	D $+0,1$	Dutinoměr	1x za 4 hodiny
291	Průměr	D $\pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
292	Průměr	D $\pm 0,05$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
294	Průměr	D $\pm 0,1$	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
295	Průměr	D e9	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
378	Průměr	D R6	Renishaw Equator 300	každý 10-tý
12	Drsnost povrchu	RZ 10	Drsnoměr	1x za 4 hodiny
47	Drsnost povrchu	Rz 10	Drsnoměr	1x za 4 hodiny
198	Drsnost povrchu	Rz 10	Drsnoměr	1x za 4 hodiny
215	Drsnost povrchu	Rz 10	Drsnoměr	1x za 4 hodiny
277	Drsnost povrchu	Rz 10	Drsnoměr	1x za 4 hodiny
286	Drsnost povrchu	Rz 10	Drsnoměr	1x za 4 hodiny