



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Bezvýkresová dokumentace pro převodovku

Drawingless Documentation for Gearbox

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Vojtěch POSPÍŠIL

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 KONSTRUOVÁNÍ PODPOROVANÉ POČÍTAČEM

Vedoucí práce: Ing. Karel Petr, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pospíšil** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **501483**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Bezvýkresová dokumentace pro převodovku

Název bakalářské práce anglicky:

Drawingless Documentation for Gearbox

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vytvoření bezvýkresové dokumentace pro kuželočelní převodovku. V rešeršní/teoretické části budou zmíněny důvody používání bezvýkresové dokumentace, požadavky na ni kladenou. V praktické části se zaměří na porovnání přístupu mezi vybranými CAD systémy. Dále student z vybraných CAD systémů vyhodnotí a vybere vhodný CAD systém pro následnou realizaci bezvýkresové dokumentace, zvolí vhodný "free prohlížeč", ke kterému vytvoří návod pro zobrazování dokumentace a vše prakticky zrealizuje na sestavě kuželočelní převodovky. Grafickým tištěným výstupem bude (PDF) podklad k bezvýkresové dokumentaci zadané převodovky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Petr, K. STROJÍRENSKÉ KONSTRUOVÁNÍ - Tvorba výkresové dokumentace dle ISO norem. Praha: ČVUT v Praze (skripta), 04/2023. ISBN 978-80-01-06715-4
- [3] Příslušné normy jako ISO 1101:2017, 2017, ISO 16792:2021, ISO 22081:2021 apod.
- [4] Katalogy výrobců.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Petr, Ph.D. ústav konstruování a částí strojů FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **04.04.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **02.08.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

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

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Bezvýkresová dokumentace pro převodovku“ vypracoval samostatně s použitím zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury a pod vedením svého vedoucího Ing. Karla Petra, Ph.D..

V Praze dne

Podpis

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Karlu Petrovi, Ph.D. za ochotu, poskytnuté konzultace, cenné rady a čas při zpracování této práce. Zároveň bych zde chtěl poděkovat mému otci za provedení korektury textu.

Anotační list

Jméno autora:	Vojtěch POSPÍŠIL
Název BP:	Bezvýkresová dokumentace pro převodovku
Anglický název:	Drawingless Documentation for Gearbox
Rok:	2024
Studijní program:	B2341D Strojírenství
Obor studia:	FSI19P Konstruování podporované počítačem
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Karel Petr, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 46
	počet obrázků 51
	počet tabulek 5
	počet příloh 3
Klíčová slova:	PMI, bezvýkresová dokumentace, MBD, PLM, PDM, CAD, převodovka
Keywords:	PMI, drawingless documentation, MBD, PLM, PDM, CAD, gearbox

Anotace:

V teoretické části je popsáno, co je to bezvýkresová dokumentace, její využití ve strojírenství, výhodami spojenými s využíváním a požadavky na ni kladené. Praktická část se věnuje porovnání vybraných nižších CAD softwarů, realizaci bezvýkresové dokumentace pro kuželočelní převodovku ve vybraném programu, zvolení vhodného „free prohlížeče“ pro sdílení a vytvoření návodu pro zobrazování dokumentace.

Abstract:

In the theoretical part it is described what is drawingless documentation, its use in mechanical engineering, advantages associated with its use and requirements placed on it. The practical part is devoted to the comparison of selected lower CAD software, realization of drawingless documentation for bevel gearbox in the selected program, selection of suitable "free viewer" for sharing and creation of instructions for displaying the documentation.

Obsah

Úvod	1
1. Bezvýkresová dokumentace.....	2
1.1. PMI	2
1.2. Informace běžně uvedené v popisovém poli	3
2. Pravidla a předpisy pro tvorbu bezvýkresové dokumentace.....	3
2.1. Požadavky na model	3
2.1.1. Společné požadavky pro anotované modely a výkresy z modelů.....	3
2.1.2. Požadavky na model.....	4
2.1.3. Požadavky pouze na výkresy z modelů	5
2.2. Odkazové čáry	5
2.3. Použití základen.....	6
2.4. Geometrické tolerance.....	6
2.5. Svarové spoje	7
2.6. Textura povrchu.....	8
3. Využití PMI.....	9
3.1. Tvorba výkresové dokumentace	9
3.2. Oblast CAM	9
3.3. Oblast CMM	9
3.4. Toleranční analýza	10
4. Formáty pro přenos PMI informací.....	10
4.1. Step.....	10
4.2. JT	11
4.3. QIF	11
4.4. 3D PDF.....	11
5. Správce dat a životního cyklu výrobku.....	11
5.1. Informace typicky ukládané v PDM systému	12
5.2. PLM a PDM systémy.....	12
6. Volba softwaru pro práci	13
6.1. Iventor 2023	13
6.1.1. Tvorba PMI Inventor	14
6.2. Solid Edge 2023.....	14
6.2.1. Tvorba PMI Solid Edge.....	15
6.3. SolidWorks 2021	15
6.3.1. Tvorba PMI SolidWorks	16
6.4. Hodnocení práce s PMI	16
6.4.1. Zhodnocení zadávání kót.....	16
6.4.2. Zhodnocení zadávání GD&T.....	17
6.4.3. Definice základen	17
6.4.4. Zhodnocení zadávání textury povrchu.....	18
6.5. Výsledné zhodnocení	18
6.6. Způsob sdílení modelu	19
7. Tvorba bezvýkresové dokumentace	20

7.1.	Dokumentace součástí sestavy převodovky	20
7.1.1.	Aplikace PMI na model	21
7.1.1.1.	Kótovací styl	21
7.1.1.2.	Zadávání kót	21
7.1.1.3.	Zadávání GD&T	23
7.1.1.4.	Zadávání drsnosti povrchu	24
7.1.2.	Tvorba pohledů	25
7.2.	Export sestavy do formátu JT	27
7.3.	2D výkresy	31
8.	Závěr	34
	Citovaná literatura	35
	Zmíněné normy	37
	Seznam obrázků	38
	Seznam tabulek	39
	Seznam příloh	39

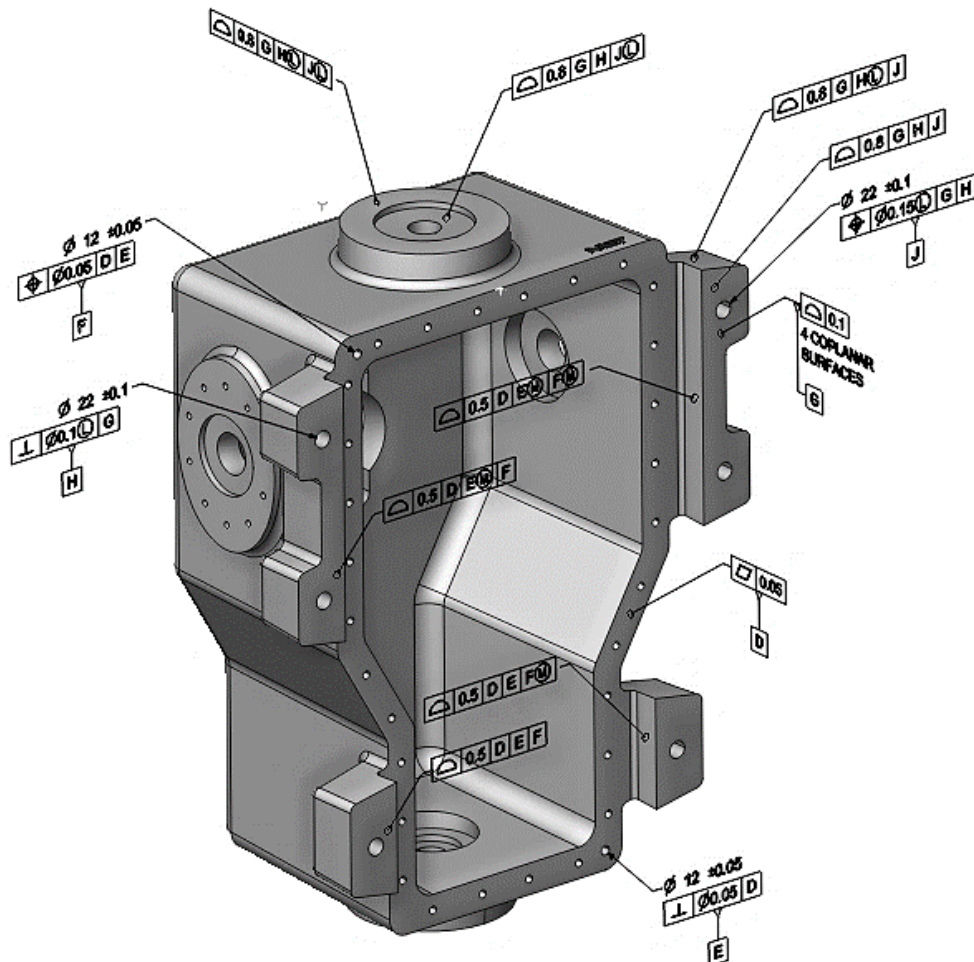
Úvod

V současné době je bezvýkresová dokumentace (Obr. 1) celosvětově hojně využívaným nástrojem pro tvorbu dokumentace, který přináší do výroby zjednodušení a zkrácení procesu výroby součásti, díky odstranění nutnosti vytváření 2D výkresové dokumentace, tím že se potřebné výrobní informace zapisují přímo do vytvořeného 3D modelu.

Pro tvorbu bezvýkresové dokumentace existuje řada velice pokročilých softwarů od různých firem, které jsou si velice podobné a zároveň v některých ohledech dosti odlišné.

Tato práce se bude zaměřovat právě na rozdíly nižších CAD softwarů (Inventor, Solid Edge, SolidWorks) od předních firem v této oblasti. V jednotlivých programech bude porovnávána práce se zanesením výrobních informací do 3D modelu.

Cílem práce bude vybrání optimálního softwaru pro následnou tvorbu bezvýkresové dokumentace a řešení možnosti sdílení této dokumentace.



Obr. 1: Ukázka bezvýkresové dokumentace [1]

1. Bezvýkresová dokumentace

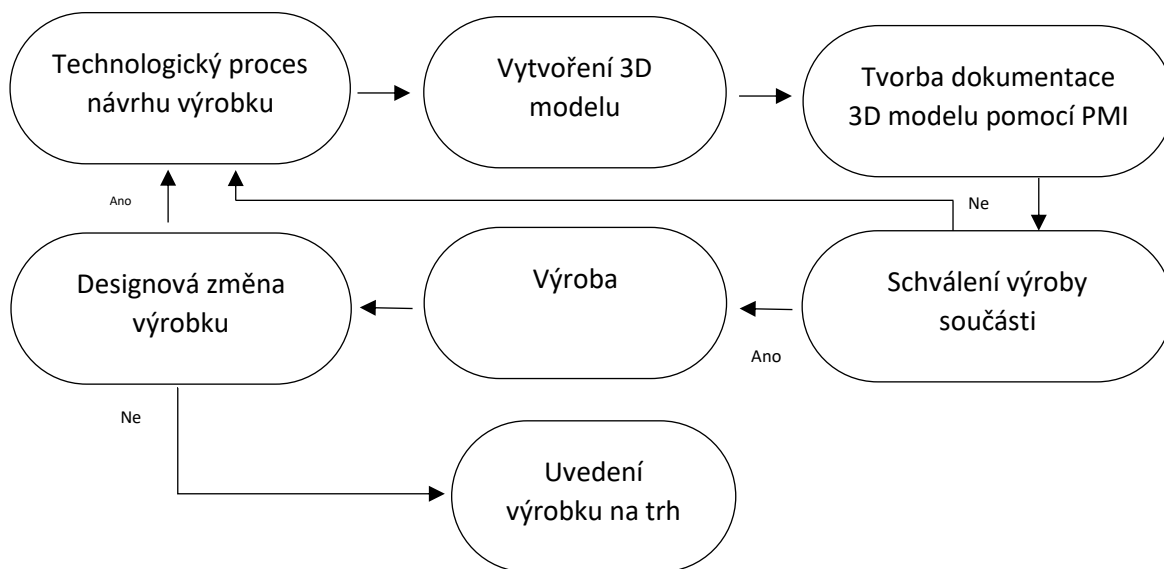
Bezvýkresová dokumentace je způsob výrobní dokumentace, při kterém se do 3D modelu vytvořeného v CAD softwaru zadávají informace důležité pro výrobu strojních součástí. [2]

Rozdělení:

- Drawingless (bezvýkresová) – Tento styl dokumentace je zaměřen čistě na práci s 3D modelem a definicí všech potřebných výrobních informací přímo do 3D modelu.
- Paperless (bez použití papíru) – Jak už název napovídá tento styl je zaměřen na výkresovou dokumentaci, která se nebude tisknout na papír tzn., že z 3D modelu se vytvoří virtuální 2D výkres.

Pro tvorbu bezvýkresové dokumentace je důležitou funkcí v CAD modelářích přidání anotací do vytvořeného modelu, nebo sestavy. Většina programů pracující s touto funkcí má v uživatelském prostředí záložku PMI (Product and manufacturing Information), nebo MBD (Model based definition), rozdíl těchto pojmů je v tom, že MBD je digitální definice produktu pomocí umístění PMI na 3D model a PMI jsou metadata v negeometrické podobě. Prakticky je tedy MBD nadřazeným pojmem pro PMI. [2]

Na Obr. 2 je znázorněn proces výroby za použití bezvýkresové dokumentace.



Obr. 2: Diagram postupu bezvýkresové výroby – upraveno a převzato z [3]

1.1. PMI

Product and manufacturing information (PMI) neboli informace o produktech a výrobě je součástí bezvýkresové dokumentace. Jedná se o drsnosti povrchu, geometrické tolerance, rozměrové tolerance, poznámky... [1]

1.2. Informace běžně uvedené v popisovém poli

Při tvorbě dokumentace formou modelu bez výkresu je potřeba, aby všechny informace jako seznam částí, poznámky, požadavky na značení rozměrů a tolerancí, byly obsaženy buď přímo v modelu, nebo je zapotřebí se na dané informace odkazovat. Další prvky formátu výkres, které jsou definovány v normách ISO 5457:1999 a ISO 7200:2004, není zapotřebí uvádět, až na výjimky: [4]

- zákonný vlastník datového souboru
- název datového souboru;
- číslo datového souboru;
- indikátory schválení a datum schválení
- číslo smlouvy, je-li požadováno
- jméno a datum tvůrce.

Pro tvorbu dokumentace ve formátu model + výkres je dáno, že výkres obsahuje všechny náležitosti stanovené v normách ISO 5457:1999 a ISO 7200:2004 a zároveň musí odkazovat na všechny modely ve výkresu obsažené a na veškerá data, která se týkají produktu. [4]

Obecně platí, že veškerá managementová data musejí být uvedena ve výkresu, nebo v modelu, nebo v odděleném souboru na který se musí odkazovat. [4]

2. Pravidla a předpisy pro tvorbu bezvýkresové dokumentace

Normy předepisující pravidla bezvýkresové dokumentace:

- ASME Y14.41:2019- Americká norma pro bezvýkresovou dokumentaci
- ISO 16792:2021- Evropská norma pro bezvýkresovou dokumentaci
- ČSN ISO 16792:2023- Český překlad Evropské normy
- ISO 1101:2017- Norma předepisující použití geometrických tolerancí

V následujících kapitolách je shrnutí základních požadavků a pravidel pro tvorbu bezvýkresové dokumentace pomocí PMI dat. Podrobnější informace se nacházejí v normách jednotlivých produktových informací. [4]

2.1. Požadavky na model

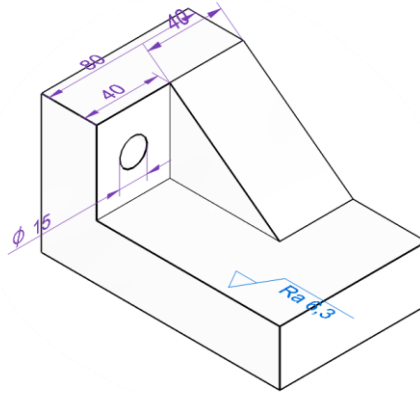
Níže uvedené informace o požadavcích na model pro bezvýkresovou dokumentaci vycházejí z normy ČSN ISO 16792:2023.

2.1.1. Společné požadavky pro anotované modely a výkresy z modelů

Veškeré hodnoty a rozměry modelu je nutno získávat přímo z modelu. Hodnoty modelu musejí splňovat příslušné parametry přesnosti uvedené v normě ČSN ISO 16792:2023. [4]

Pro hodnoty prvku modelu, které nejsou tolerovány a jsou na nich definované základny, nebo rozsah omezené části prvku, je nutné uvedení hodnoty jako informativní. [4]

Pro anotace, myšleno v 3D dokumentaci kóty, geometrické tolerance a další popisy součástí, které jsou pozorované pod pravým úhlem je požadavek na čitelnost anotací podle norem ISO 3098-1:2015 a ISO 3098-5:1997. Z pozorovaného úhlu se jednotlivé anotace na modelu nesmí překrývat a pro text poznámek platí, že se nesmí překrývat s modelem, pokud to není vyloženě nutné. Příklad, jak se anotace zadávat nemají lze vidět na Obr. 3. [4]



Obr. 3: Příklad chybného zobrazení anotací

2.1.2. Požadavky na model

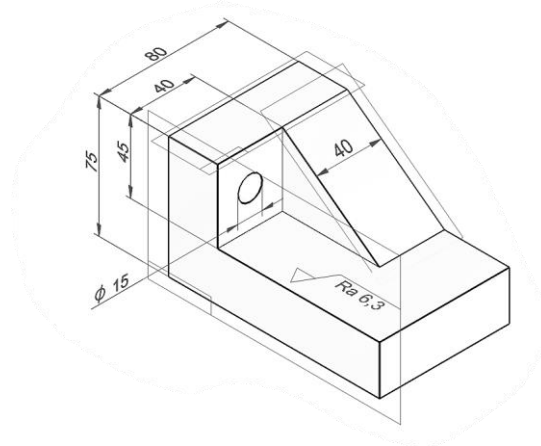
Hodnoty zobrazované anotací musejí být odpovídající k prvkům modelu, které popisuje. Pro anotace je přípustné, aby bylo více anotací definováno v jedné rovině za zachování orientace k modelu viz Obr. 4. [4]

K zajištění čitelnosti při změně pohledu je možno využít techniky úpravy směru čtení nebo vkládáním prostředků, které určují správný směr čtení ve změněném zobrazení. Pro anotace geometrických specifikací platí, že je nutno zachovat orientaci anotace ke geometrii z jakéhokoliv pohledu. [4]

Pravouhlý souřadnicový systém počátku, nebo jiný uživatelem definovaný pravouhlý systém musí být rovnoběžný s anotační rovinou. [4]

Pro indikaci anotace je pro vyznačení na modelu použito kótovací čáry, promítací čáry a odkazové čáry. V případě potřeby je povoleno dané anotace skrýt. [4]

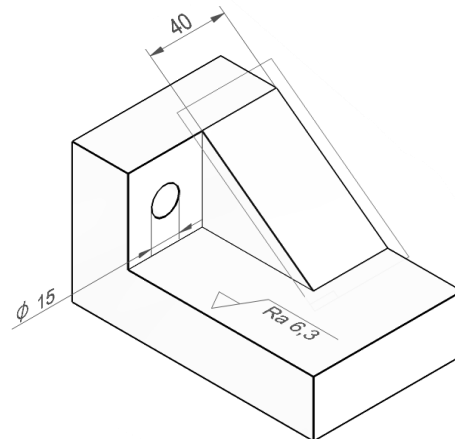
Pro anotace je nutno vybrat barvu tak, aby se daly odlišit od geometrie modelu. Barevné odlišení lze vidět na Obr. 3. [4]



Obr. 4: Zobrazení více anotací v jedné rovině

2.1.3. Požadavky pouze na výkresy z modelů

Jednotlivé anotace se nesmějí překrývat mezi sebou, ani s geometrií modelu. Pro zobrazování v axonometrickém pohledu platí, že orientace anotací musí být kolmá, rovnoběžná nebo shodná s popisovaným povrchem viz Obr. 5. Je-li možné, že dojde k nedostačující čitelnosti v axonometrickém pohledu je potřeba zajistit, aby byla daná anotace zobrazena v průmětně výkresu. [4]



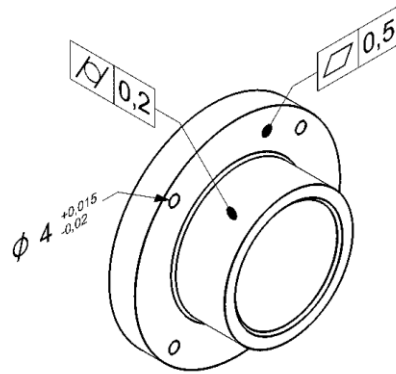
Obr. 5: Orientace anotací

2.2. Odkazové čáry

Směr a tvar odkazové čáry je pro příslušnou anotaci definován podle ISO 1101:2017 a dalšími normami pro geometrické tolerance. [4]

Pro zadávání informací vztahující se k ploše se použije zakončení ve tvaru tečky, která se umístí na odkazovanou plochu. Je povoleno, aby při použití odkazu na plochu byla tečka částečně zapuštěna do modelu. Při změně úhlu pohledu je přípustné, aby došlo k částečné deformaci tečky (Obr. 6). [4]

Pro odkazování na hrany nebo okraje prvku použijeme zakončení ve tvaru šipky (Obr. 6). Zakončení tvaru šipky použijeme v případě, že to povede k jasnějšímu pochopení účelu anotace. [4]



Obr. 6: Odkazové čáry

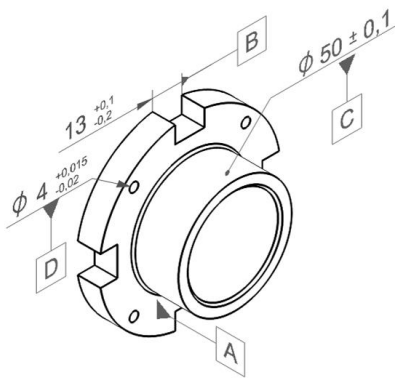
2.3. Použití základen

K povrchům, které představují prvky základny je přiřazena kolmo na danou plochu značka základny. [4]

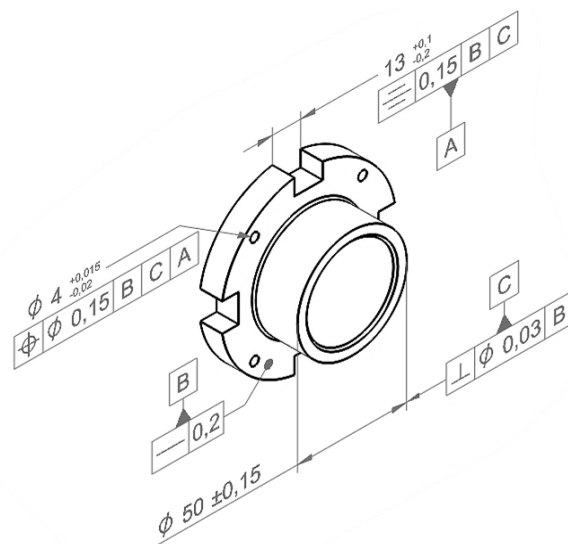
Existuje-li v modelu více než jedna soustava základen je přípustné, aby v modelu bylo zobrazeno více souřadných systémů. Pokud se v modelu nachází více soustav, musí být jednoznačně vidět, ke kterému souřadnicovému systému daná základna náleží. [4]

K identifikaci základen je možno použít:

- Přímé přiřazení – umístění základny kolmo na plochu (Obr. 7)
- Indikátor tolerance – umístění základny na prvek tolerance v dané rovině (Obr. 8)



Obr. 7: Přímé přiřazení základen



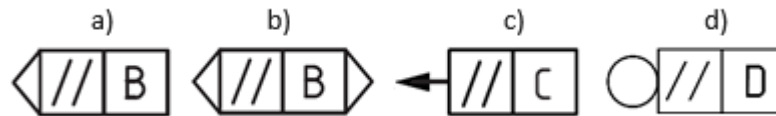
Obr. 8: Umístění základny na prvek tolerance

2.4. Geometrické tolerance

Obecně pro používání geometrických tolerancí platí specifikace dle ISO GPS (Geometrical Product Specifications).

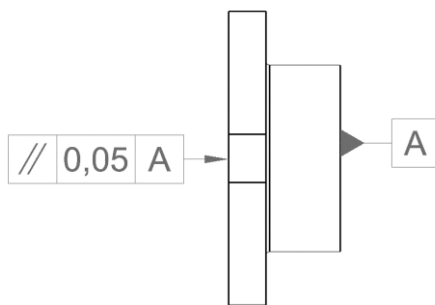
Při použití modelu s PMI na výkres je při použití pohledů v pravoúhlém systému (Obr. 10) dbáno na dodržení normy ISO 1101:2017, ISO 5459:2011 a dalších norem týkajících se

geometrických tolerancí. Pro orientaci v prostoru se využívají Indikátory roviny a prvku (Obr. 9). [4]

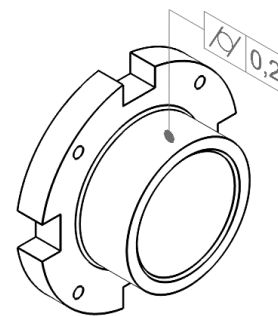


Obr. 9: Indikátory roviny a prvku – a) Indikátor průsečíku rovin b) Indikátor orientace rovin
c) Indikátor směru prvku d) Indikátor sružené roviny [5] upraveno

Při použití axonometrického pohledu (Obr. 11) na výkrese je doporučeno, aby daná tolerovaná část byla v pohledu viditelná. Pokud je v daném pohledu použita tolerance, která je vymezena na danou část plochy je potřeba tuto část zvýraznit pomocí doplňkové geometrie. [4]



Obr. 10: Zobrazení geometrické tolerance
boční pohled

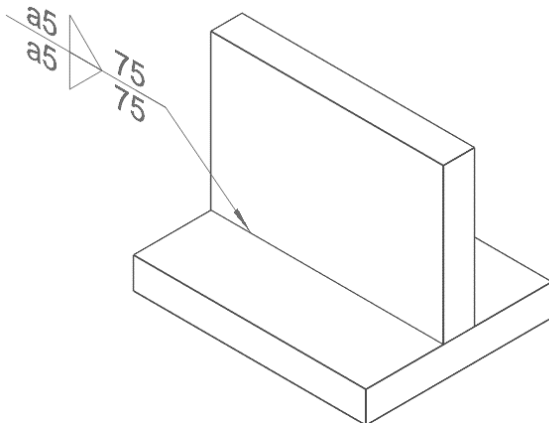


Obr. 11: Zobrazení geometrické tolerance
axonometrie

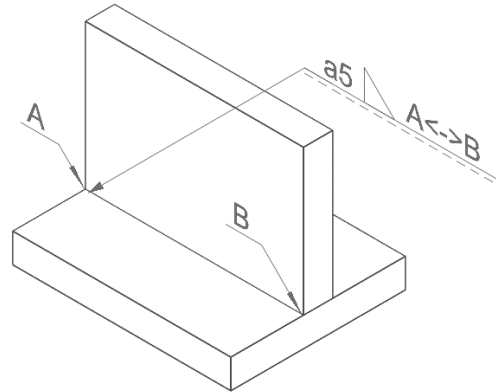
2.5. Svarové spoje

Značení svarů se neliší od použití na 2D výkresech, tudíž podléhá normě ISO 2553:2019. Liší se ve zobrazování, přiřazení a umístění. K předepsání dráhy svaru můžeme použít doplňkovou geometrii. Odkazová čára popisovaného svaru je zakončena šipkou a končí buď na svarovém spoji nebo na doplňkové geometrii (Obr. 12). [4]

Na modelu musí být značka svaru v popisované rovině a musí být kolmá k svařovanému spoji. Geometrie svarového spojení se na modelu zvýrazňuje, nebo jinak odlišuje od jiných částí modelu. Na modelu musejí být svařované plochy sružené. Pro upřesnění, kde se nachází svar, lze do modelu upřesnit definováním dráhy svarového spoje nebo stanovením jeho spojení. Pro definování svaru s omezenou délkou použijeme značku "mezi" (Obr. 13), nebo se zaznačí do modelu písemné odkazy ohraničující oblast svaru. Stanovení přesného umístění začátku se značí pomocí teoreticky přesné rozměrové kóty. [4]



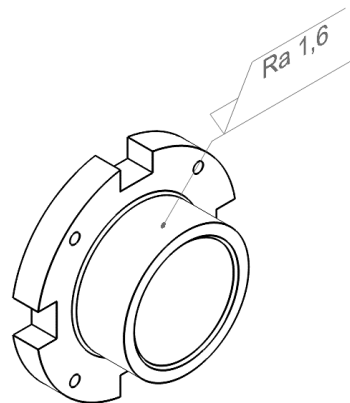
Obr. 12: Značení svaru spoje



Obr. 13: Značení dráhy svaru značkou „mezi“

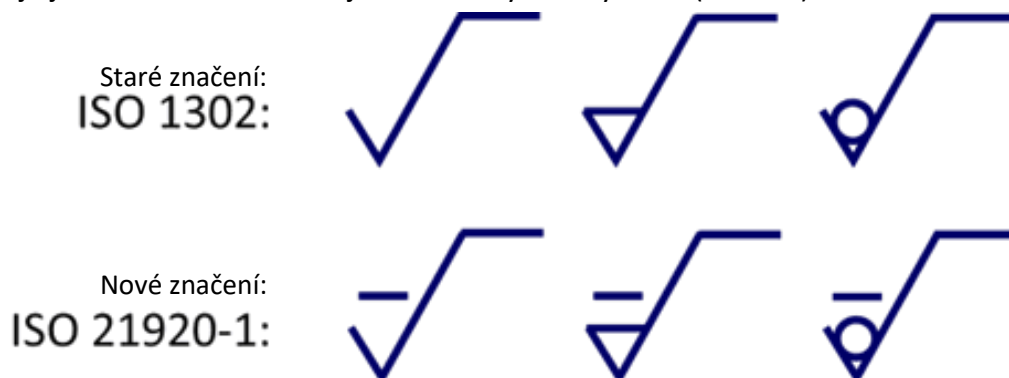
2.6. Textura povrchu

Značení textury povrchu v modelu se opět nijak zásadně neliší od použití na 2D výkresech. Značení podléhá normám ISO 21920-1:2021 (Profilová metoda) a ISO 25178-1:2016 (Plošná metoda). Pro zobrazování textury povrchu je upřednostňována forma zobrazení přes odkazovou čáru (Obr. 14) oproti vynášení hodnot přímo na povrch modelu. [4]



Obr. 14: Popis textury povrchu

Jelikož současné CADy ještě neumí tvořit značky povrchu podle nové normy, tak na Obr. 14 je ještě stará značka níže jsou uvedeny značky nové (Obr. 15).



Obr. 15: Značky textury povrchu [6] -upraveno

3. Využití PMI

Využití PMI informací zapsaných v 3D modelu je velmi široké. Dají se použít ve všech oblastech, kde lze modely využít v následných procesech. Využití PMI v procesu výroby implementovala nejen řada velkých zahraničních firem jako Boeing, Airbus, Caterpillar, ale už dochází k využívání i v řadě menších firem, díky zlevnění výroby, která z využívání plyne. [2]

3.1. Tvorba výkresové dokumentace

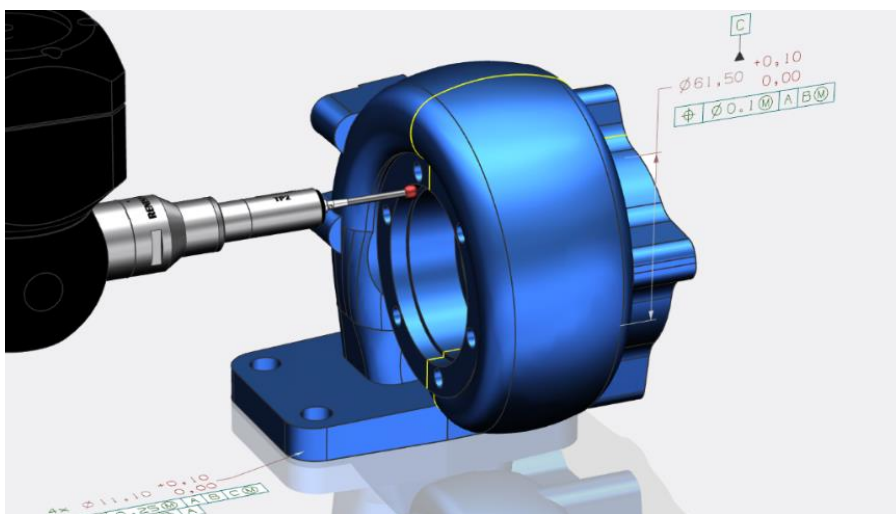
I když by se zdálo, že využití bezvýkresové dokumentace pro vytvoření výkresové dokumentace nedává příliš smysl, jsou stále firmy, které papírovou formu dokumentace stále využívají. V tomto případě se PMI informace z modelu přenesou do 2D podoby a doplní se chybějící rozměrové kóty. Výhodou je, že v případě potřeby upravit součást stačí upravit model. Výkres je na model vázaný, a tudíž se upraví automaticky. [2]

3.2. Oblast CAM

V oblasti CAM mají PMI informace jednoduché uplatnění během automatizace návrhů obráběcích strategií. Na základě PMI informací díky Feature Based Machiningu (obrábění na základě konstrukčních prvků) je CAM program schopen vytvářet automaticky návrhy potřebných výrobních operací. Například pokud je potřeba na jedné ploše dosáhnout jiné drsnosti povrchu a v daném modelu jsou zaneseny PMI informace, software na základě informací pro odlišné části plochy vytvoří jinou obráběcí strategii. [2]

3.3. Oblast CMM

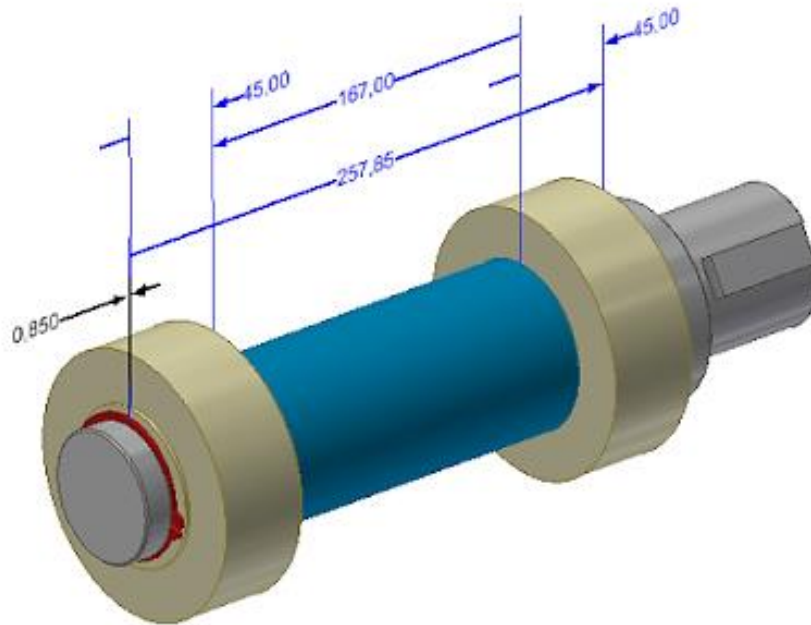
V dnešní době už rozšířenou oblastí, kde se PMI informace využívají, je při programování souřadnicových měřících systémů (CMM – Coordinate Measuring Machines) (Obr. 16). Systém je schopen, pokud jsou v modelu PMI informace, automaticky navrhnout měřící strategii, na základě které vytvoří program pro měření součásti. V porovnání s klasickým programovacím nástrojem jej vytvoří za velmi krátkou chvíli. [2]



Obr. 16: Řízení kvality součástí [7]

3.4. Toleranční analýza

Další oblastí, ve které jsou PMI velice hojně využívány, je toleranční analýza. Díky PMI obsažených ve 3D modelu je program schopen vytvořit a následně analyzovat uložení sestav (Obr. 17). V této oblasti jsou PMI už defacto základ. [2]



Obr. 17: Model s PMI pro vytvoření TA [8]

4. Formáty pro přenos PMI informací

Ukládání a sdílení 3D modelů s PMI je velkým tématem samo o sobě, níže jsou rozebrány nejpoužívanější typy přenosových formátů vhodných k přenosu 3D modelu se zachováním informací o PMI.

4.1. Step

Přenosový formát STEP byl představen mezinárodní organizací pro standardy roku 1994 a stal se součástí normy ISO 10303-242:2022. Formát STEP se stal nejrozšířenějším neutrálním formátem používaný v oblasti CAD a je využíván mnoha společnostmi ve strojírenské oblasti. Většina CAD a dalších strojírenských programů soubory typu STEP podporuje a umožňuje otevírání i ukládání souboru tohoto typu. [9]

Formáty:

- STEP AP203 – Definuje uspořádání, geometrii a správu konfigurace modelu komponent a sestav, které vytvořil uživatel.
- STEP AP214 – Má stejné vlastnosti jako STEP AP203, akorát navíc dokáže obsáhnout informace o barvách, vrstvách, geometrických tolerancích a designové prvky.
- STEP AP242 – Spojuje předešlé typy a představuje pracovní postup MBD. Zároveň vytlačuje předešlé typy, protože s jeho nástupem nejsou potřeba.

4.2. JT

V roce 2007 byl představen společností Siemens PLM Software přenosový formát JT, který spadá pod normu ISO 14306:2017. Tento přenosový formát dokáže přenášet PMI informace a díky způsobu ukládání modelu je dobře využitelný pro MBD. Jeho vnitřní způsob prezentace modelu je podporován normou pro formát STEP a formátem Parasolid. Ačkoliv je formát JT neutrálním formátem mnoho firem využívá pro práci se soubory typu JT specializovaný nástroj Siemens JT Open Toolkit. Tento nástroj je využíván hlavně když jsou v souboru typu JT uložena data Parasolid. V porovnání s dalšími neutrálními formáty není při potřebě pracovat v programech od jiné firmy než Siemens příliš populární. [9]

4.3. QIF

Třetím neutrálním formátem je QIF (Quality Information Framework), který představila v roce 2013 společnost DMSC a spadá pod normu ISO 23952:2020. Tento formát je schopný přenášet PMI informace, tak že s nimi dokáže pracovat jak člověk, tak i program který řídí stroj. I když je to nejnovější formát, tak je u výrobců velmi populární, protože se jedná o velice robustní formát, který se dá využít během celého procesu výroby produktu. [9]

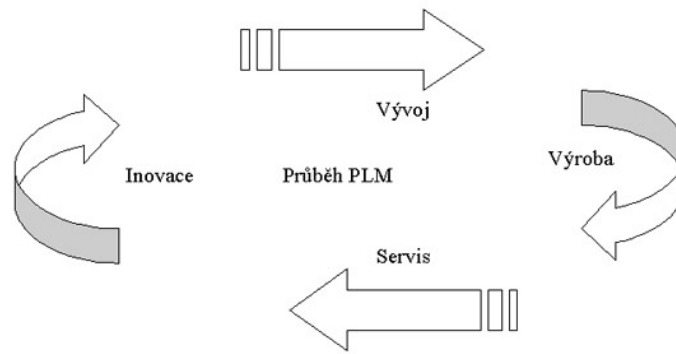
4.4. 3D PDF

Formát 3D PDF je čistě vizuálním přenosovým formátem od firmy 3D PDF Consortium představený v roce 2004. Tento formát spadá pod normu ISO 14739-1:2014. Formát 3D PDF je praktický hlavně díky tomu, že pro otevření stačí mít v zařízení nainstalovaný program Adobe Reader, nebo dnes už v systému Windows předinstalovaný 3D prohlížeč tudíž člověk nepotřebuje pro zobrazení modelu s informacemi žádný CAD program. Nevýhodou je velikost souborů a fakt, že reprezentace modelu není na příliš vysoké úrovni. [9]

5. Správce dat a životního cyklu výrobku

Správce výrobních dat, anglicky Product data management (PDM), je centrální systém využívaný společnostmi pro uchovávání veškerých informací potřebných pro výrobu. Data uchovávaná v systému lze využít napříč všemi výrobními odděleními ve společnosti. Díky tomu lze snadno zefektivnit výrobu a při správné volbě PDM softwaru lze snadno dosáhnout kompletního řízení životního cyklu výrobku. [10],[11]

Systém Řízení životního cyklu výrobku (Obr. 18), anglicky Product lifecycle management (PLM), je systém který uchovává veškerá data a slouží pro plánování jednotlivých procesů, které jsou s výrobou výrobku spojené, od počátečního návrhu, přes servis, až po likvidaci. Součástí PLM systému je i jako podsystém PDM systém či jiné podnikníkové systémy, případně kancelářské systémy jako MS Office. Díky PLM systému se firmám jednodušeji řídí proces výroby a vývoj, z čehož plyne i snazší uvedení výrobku na trh. [10],[11],[12]



Obr. 18: Průběh PLM [13]

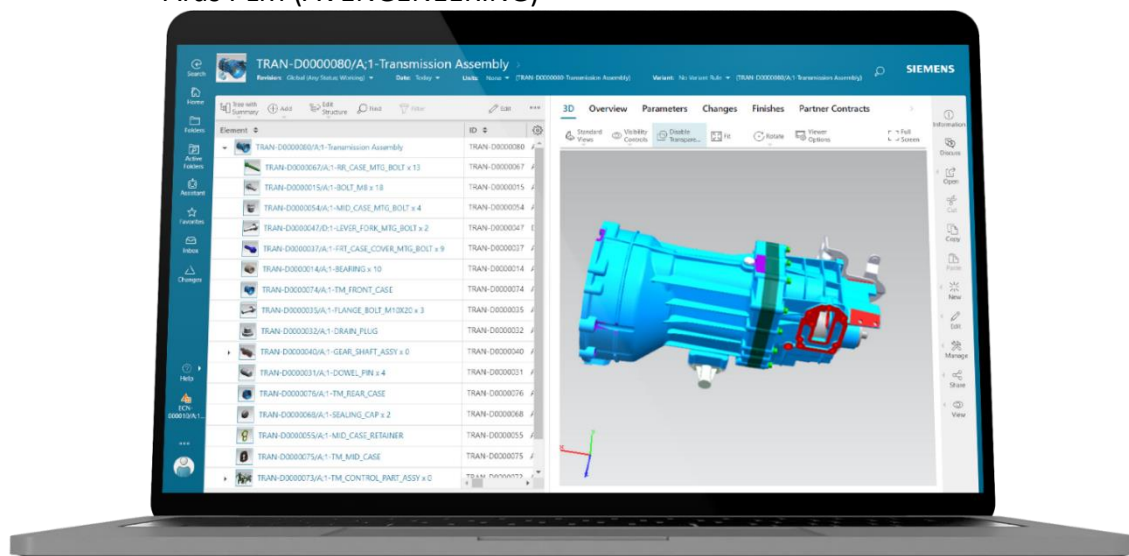
5.1. Informace typicky ukládané v PDM systému

- Výkresy
- Technické specifikace
- Kusovníky
- Konstruktérská dokumentace
- Další informace jako: obrázek finálního výrobku [14]

5.2. PLM a PDM systémy

Většina velkých firem jako Siemens, Autodesk, Dassault Systems, které poskytují CAD programy, vyvíjí i PDM nebo PLM systémy, které velmi úzce spolupracují s jejich CAD programem. Níže uvedené systémy jsou jedny s nejpoužívanějších: [15]

- SolidWorks PDM
- Autodesk Vault – PDM systém
- Oracle Agile – PLM systém
- Siemens Teamcenter – PLM systém (Obr. 19)
- Aras PLM (AVENGENEERING)



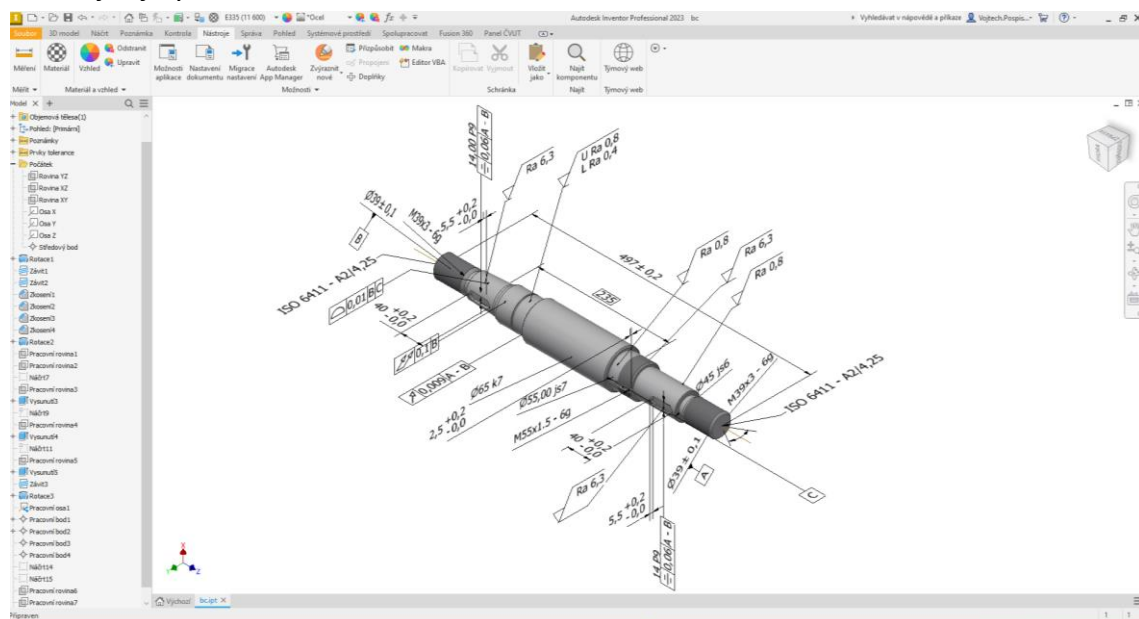
Obr. 19: Prostředí softwaru Teamcentre [16]

6. Volba softwaru pro práci

Pro volbu modelovacího programu byly vybrány tři programy „nižších“ CADů. Jedná se o program od firmy Autodesk a to Inventor 2023, program SolidWorks 2021 od firmy Dassault Systems a program Solid Edge 2023 od firmy Siemens. Jedná se o jedny z nejpopulárnějších modelovacích programů z řad nižších CADů používaných ve strojírenství. Tyto programy byly zvoleny hlavně pro jejich všestranné využití, hlavně implementace PMI do modelu a pro studenty dostupné licenci. V každém programu byl vytvořen model a do něj vytvořeny PMI. Následující části se věnují porovnávání a hodnocení kladů a záporů vybraných programů.

6.1. Inventor 2023

Jako první byl pro zhodnocení vybrán program Inventor, uveden roku 1999 [17]. Inventor je díky postojí firmy Autodesk velice rozšířeným, nejspíš i nejrozšířenějším programem na školách, jelikož firma dává pro studenty k dispozici studentské licence všech svých programů s velice malými odlišnostmi od klasických licencí. Zároveň je program pro studenty velice uživatelsky přívětivý. Co se týče praxe tam už se tomuto programu takové dominance nedostává [18], protože licence pro firmy jsou velice drahé, a proto se firmy přiklánějí k jiným variantám.

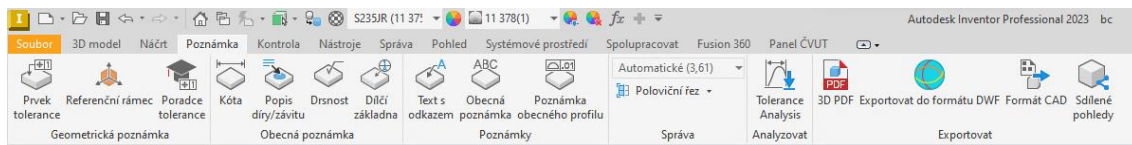


Obr. 20: Prostředí programu Inventor

Jak už bylo zmíněno výše, uživatelské rozhraní programu je pro uživatele velice přívětivé, a proto se s ním dokáže rychle sžít i úplný začátečník. Velikou předností programu je také vizuální stránka prostředí (Obr. 20), velmi široké možnosti programu samotného, s možností stáhnutí rozšiřitelných doplňků, které má firma Autodesk pro studenty plně k dispozici.

6.1.1. Tvorba PMI Inventor

Tvorba PMI (Obr. 21) do modelu byla nejméně intuitivní ze všech zkoušených programů. V programu je relativně náročné pochopit, jak funguje tvorba geometrických tolerancí a základen, protože nestačí pouze vybrat kótu, plochu nebo průměr na kterém chceme definovat geometrickou toleranci, ale je zde potřeba i označit plochy na které je geometrická tolerance (GT) vázaná. Po pochopení postupu zadávání už tvorba GT nebyla problémem, ale nemožnost přepsat, nebo smazat některé informace přímo při rozkliknutí GT je nešťastná. Například u GT rovnoběžnosti je nad značkou GT doplňující text obsahující kótu vzdálenosti, ke které je přiřazena tolerance P9. Hodnotu tolerance lze změnit pouze po rozkliknutí menu tolerance ve stromu součásti, což může být problematické najít.

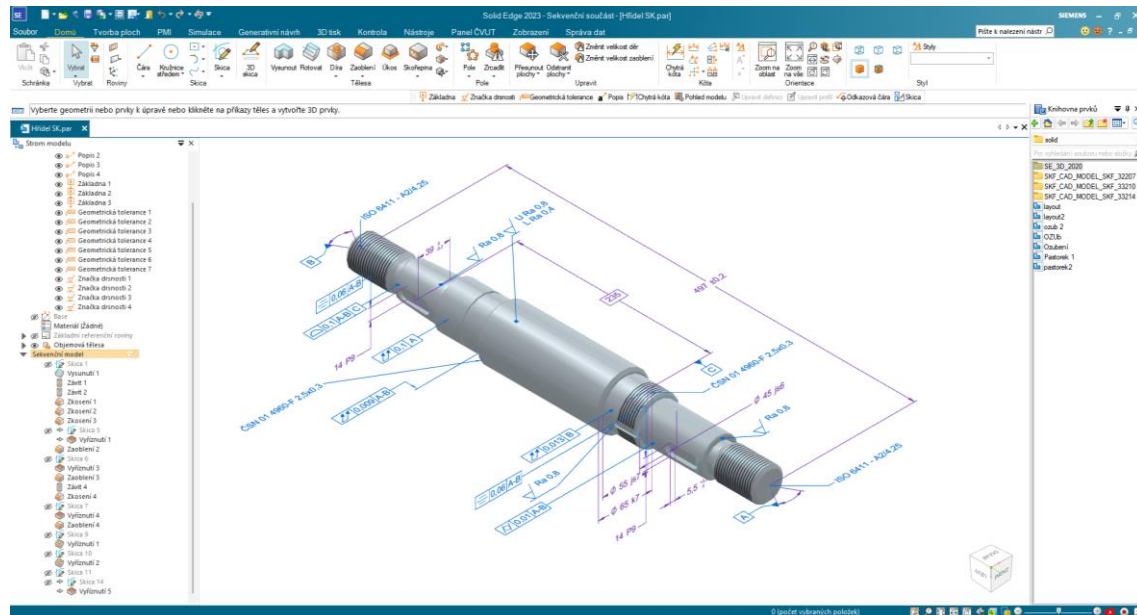


Obr. 21: Panel pro tvorbu PMI v programu Inventor

6.2. Solid Edge 2023

Program Solid Edge přišel na trh v roce 1995. Byl vytvořen na platformě Jupiter, která pracovala s operačním Windows a program přišel s funkcí tvorby sestav.[19]

Solid Edge je z vybraných programů nejméně využívaným programem, a to z hlediska jak studentů, tak firem [18]. Napřič tomu byl tento program do výběru zařazen, protože oproti Inventoru je zakoupení licence pro firmy znatelně levnější, a i tak má řadu skvělých vlastností, které přebírá z programu NX, což je CAD vyššího řádu od stejné společnosti.



Obr. 22: Prostředí Solid Edge

Co se týče uživatelského rozhraní je Solid Edge v přehlednosti a jednoduchosti velice podobným programem jako Inventor (Obr. 22).

Možnost přidání doplňků je zde, minimálně ve studentské verzi, pouze v podobě stáhnutí externích programů a některé funkce programu jsou pro tuto licenci deaktivovány.

Během používání občas docházelo ke grafickým bugům a nepříjemným škubáním například když se při posunu modelu, změně délky, nebo při změně trajektorie čáry v náčrtu zobrazovala čára vícekrát. Mohlo to být způsobeno, tím že byl přístup pouze ke starší verzi programu, nebo nedostatečnou kompatibilitou a optimalizací s používaným systémem.

Absence off-line knihovny normalizovaných součástí je zde vyřešena přes katalog modelů 3DFindIt, která dokáže přímo do otevřené sestavy vložit model. Nevýhodou je, že práce bez přístupu k internetu zde není možná a hledání v katalogu je značně nepřehledné, protože na výběr je spousta součástí od různých výrobců a v některých případech je to spíše na škodu.

6.2.1. Tvorba PMI Solid Edge

Intuitivní ovládání jednotlivých funkcí programu, je zde přenesena i do tvorby PMI (Obr. 23). Proto je zadávání PMI lehké a pochopitelné i pro nezkušené uživatele. Geometrické tolerance nejsou potřeba definovat přes související prvky, menu je přehledné a definování základen byla mnohem jednodušší než například v programu Inventor, a to hlavně tím, že je zde možnost definice už v menu, a ne z definice geometrické tolerance jako u programu Inventor.



Obr. 23: Panel pro tvorbu PMI v programu Solid Edge

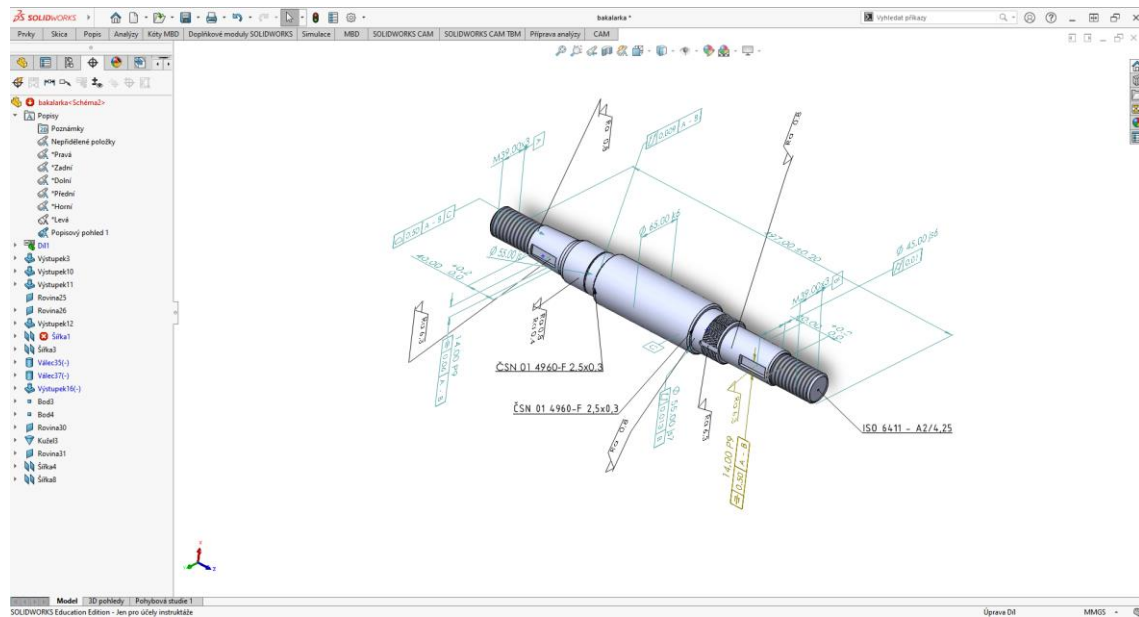
6.3. SolidWorks 2021

Posledním porovnávaným programem je SolidWorks (Obr. 24). Program SolidWorks byl uveden na trh v roce 1995 a je vytvořen na platformě Windows, což v té době bylo něco neobvyklého, protože ostatní CAD systémy byly tvořeny na Unix. [20]

Tento program sice není pro studenty bezplatně dostupný, ale i tak je v praxi i na školách rozšířený, a to hlavně díky ceně, která je z porovnávaných programů nejnižší [18].

Co se týče rozhraní programu, tak z porovnávaných programů je nejméně srozumitelné, na druhou stranu má oproti programu Solid Edge více funkcí a je tu možnost doplňků.

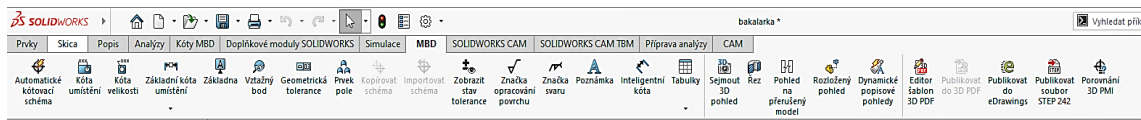
Obzvlášť v programu SolidWorks je pro pohodlné používání programu potřeba praxe, aby se uživatel dopodrobna seznámil s jednotlivými funkcemi programu, protože program má množství funkcí, ale pro nového uživatele může být velice obtížné pochopení práce s nimi, což může vést k odrazení od používání.



Obr. 24: Prostředí SolidWorks

6.3.1. Tvorba PMI SolidWorks

V programu SolidWorks není ani tak moc problém tvořit geometrické tolerance ani poznámky, ale tvorba tolerovaných kót je zde opravdu pro zkušené. Nemožnost okótovat vzdálenost dvou vytvořených bodů, nebo dvou krajů kružnic vedla ke zdlouhavému procházení manuálů a návodů bez výsledku. Celkově tvorba délkových kót zde byla nepřehledná. Co se týče definování základen nebyl zde takový problém, jako v programu Inventor, ale možnost posazení základny na kótu zde chybí (Obr. 25).



Obr. 25: Panel pro tvorbu PMI v programu SolidWorks

6.4. Hodnocení práce s PMI

Pro všechny tabulky týkající se hodnocení programů je dáno, že v případě číselných hodnot objevujících se v tabulkách platí, že čím vyšší číslo (max. 5, min. 1) tím lépe se v programu s informací pracuje. Co se týče funkcí, které se v programech buď objevují nebo se v daném programu daná funkce nenachází je v tabulce vždy pro vyjádření, že lze v programu najít určitou funkci číslo 5, v opačném případě se v tabulce objeví číslo 1.

6.4.1. Zhodnocení zadávání kót

V Tab. 1. je zhodnoceno kritérium ve kterém zohledňují způsob, jak se v jednotlivých programech zadávají kóty do modelu, jestli lze v daném programu tvořit kóty od bodů v modelu, přehlednost úpravy.

Tab. 1: Zadávání kót (5 nejlepších)

Program	Inventor	Solid Edge	Solidworks
Úprava kót	3	4	4
Možnost přidat kóty na bod	1	5	1
Schopnost skrýt hodnotu kóty	5	5	5
Definování kótované vzdálenosti	4	4	2
Zarovnání kót	2	5	3
Čitelnost	3	4	2
Přidání tolerance	4	4	4
Součet	22	31	21

Jak už bylo zmíněno výše v programech Solidworks a Inventor je zadávání kót a jejich úprava horší a oproti programu Solid Edge celkem výrazně. Asi největší výhodou má Solid Edge v zarovnávání k základním rovinám.

6.4.2. Zhodnocení zadávání GD&T

Hodnocení nacházející se v Tab. 2 se týká stylu zadávání geometrických tolerancí do modelu, možnosti úprav geometrických tolerancí a možnost úprav informací.

Tab. 2: Zadávání GD&T (5 nejlepších)

Program	Inventor	Solid Edge	Solidworks
Intuitivnost definice	2	5	3
Úprava	3	3	4
Přehlednost	2	4	3
Zarovnání	2	5	2
Součet	9	17	12

Jako u předešlého hodnocení by měla být vyzdvížena možnost kotvení odkazových čar v programu Solid Edge i samotná tvorba je velmi snadná. Jediné, co chybí je možnost doplňkových informací nad značkou GT přímo v možnostech GT, na druhou stranu se to dá obejít kombinací GT a například kóty na kterou se dá přichytit. Program Inventor je v zadávání GT jednoznačně nejhorší hlavně kvůli nepřehlednému menu tvorby. V programu SolidWorks chybí hlavně funkce zarovnání podle osmisměrné růžice jako je v programu Solid Edge (Obr. 36).

6.4.3. Definice základů

Dalším kritériem je definice základů, ve kterém hodnotím způsob definování základů pro geometrické tolerance a možnosti kam lze základny v modelu umisťovat. Hodnocení se nachází v Tab. 3.

Tab. 3: Definice základny (5 nejlepších)

Program	Inventor	Solid Edge	Solidworks
Přidání základny na kótu	3	5	3
Definice základny	2	5	3
Součet	5	10	6

V programech Inventor i Solidworks není možnost přidání základny na libovolnou kótu, tudíž nelze definovat základnu například na značení středícího důlku jako v programu Solid Edge (Obr. 38). V programu Inventor je definování základny trochu schované ve funkci „Prvek tolerance“.

6.4.4. Zhodnocení zadávání textury povrchu

Tab. 4 je věnovaná vyhodnocení, jak se v jednotlivých programech pracuje se zadáváním předepísané textury povrchu součásti.

Tab. 4: Zadávání textury povrchu (5 nejlepších)

Program	Inventor	Solid Edge	Solidworks
Možnost ukládat značky	5	5	5
Úprava	3	4	3
Čitelnost	4	4	4
Součet	12	13	12

Co se týče definice textury povrchu, tak jsou programy velmi vyrovnané. Program Inventor lehce zaostává v možnostech úpravy, a to hlavně v přehlednosti úprav. V programu Solidworks je problematické nastavení orientace značky.

6.5. Výsledné zhodnocení

Vezme-li se v potaz porovnání od jaké verze se s PMI v programech pracuje:

- Solid Edge V19 - 2007 [21]
- SolidWorks 2015 [20]
- Inventor 2018 [22]

Je logické, že program Solid Edge má v oblasti vývoje používání PMI značnou časovou výhodu. Z toho plyne, že z porovnávaných programů byla práce se zadáváním PMI do modelu nejsnazší a nejkvalitnější. Program má určitě řadu nedostatků v oblasti tvorby modelu a práce se sestavou, ale na tvorbu bezvýkresové dokumentace je nejlepší z porovnávaných programů. Jak lze vidět v Tab. 5 program od firmy Autodesk v oblasti bezvýkresové dokumentace lehce zaostává za programem Solidworks, a to především zbytečně „chytrým“ prostředím, na druhou stranu se možnost zadávání PMI v Inventoru objevuje nejkratší dobu. Co se týče programu Solidworks, tak program příliš nepřekvapil, tak jak se pracuje v celém programu, tak se pracuje i se zadáváním PMI do modelu, tudíž se uživatel setkává s občasnými kostrbatými způsoby zadávání a absencí některých základních funkcí. Na druhou stranu pro uživatele, který s programem pracuje už delší dobu je zde funkce automatické kótovací schéma, které při správném nastavení dokáže ušetřit čas.

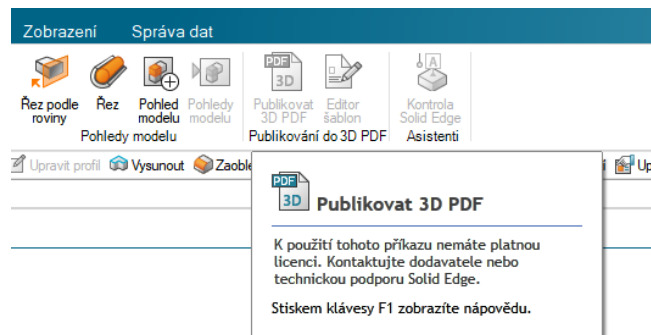
Tab. 5: Celkové zhodnocení (vyšší->lepší)

Program	Inventor	Solid Edge	Solidworks
Celkem bodů	48	71	51

Ze získaných dat plynoucích z odzkoušení práce v jednotlivých programech byl pro další práci na zadání zvolen program Solid Edge, který získal nejvíce bodu z porovnávaných programů.

6.6. Způsob sdílení modelu

Původním záměrem bylo vytvoření souboru typu 3D PDF, které si může otevřít kdokoli, kdo má na počítači nainstalovaný prohlížeč PDF například od firmy Adobe. Zde však nastal problém s dostupnou verzí licence programu Solid Edge, protože ve volně dostupné studentské verzi softwaru je možnost publikace do 3D PDF znepřístupněna, jak lze vidět na Obr. 26 a pouhý export do 3D PDF, který je v dostupné verzi Solid Edge možný, nevyhovoval nárokům na požadované zobrazování vytvořených pohledů.



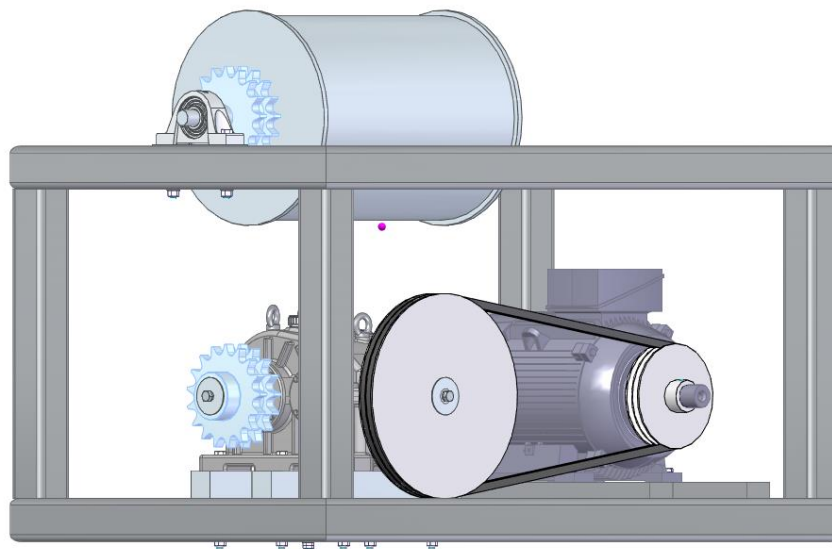
Obr. 26: Uzamčení funkce „Publikovat 3D PDF“

Jelikož ani po kontaktování společnosti Siemens nebyla možnost publikace modelu do 3D PDF umožněna, byl nakonec zvolen formát JT.

Pro prohlížení souboru JT byl vybrán software přímo od společnosti Siemens JT2GO, který je zdarma ke stažení na stránkách společnosti Siemens. Program umožňuje zobrazení sestav a zobrazení všech pohledů, které byly vytvořeny pro jednotlivé komponenty a následně provázat soubor JT s externě vytvořeným PDF souborem, ve kterém jsou zaznamenány doplňující výrobní informace pro součásti. Podrobný popis realizace je popsán v Příloze 3 („Návod pro JT2Go“). K sepsání návodu bylo využito těchto zdrojů. [23]

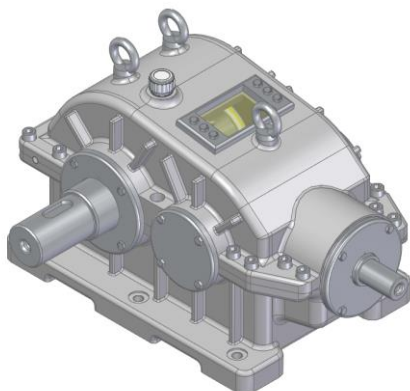
7. Tvorba bezvýkresové dokumentace

K tvorbě bezvýkresové dokumentace byla vybrána sestava kuželočelní převodovky, která byla navrhována pro pohon bubny pásového dopravníku. Sestavu, ze které byla sestava vzata, je vidět na Obr. 27

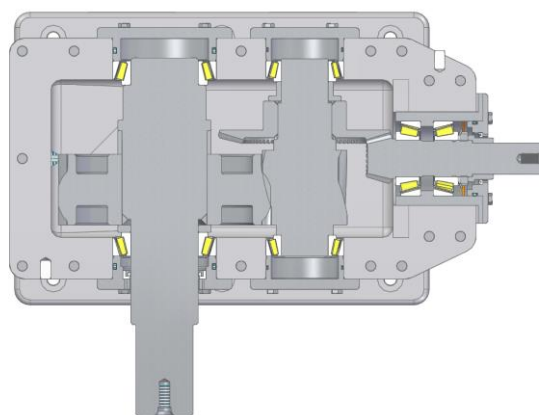


Obr. 27: Sestava pohonu bubnu

Na obrázcích Obr. 28 a Obr. 29 je vyobrazena samotná sestava kuželočelní převodovky bez řemenice a řetězového kola.



Obr. 28: Sestava převodovky



Obr. 29: Řez modelem sestavy

7.1. Dokumentace součástí sestavy převodovky

Dokumentace jednotlivých dílů byla tvořena podle nové normy ISO 22081:2021, která nahrazuje normu ISO 2768-2. Změna spočívá ve zrušení obecného předpisu geometrických tolerancí, kde u normy ISO 2768-2 je předepisována třída přesnosti a u nové normy je zápis realizován pomocí geometrické tolerance plochy. Norma ISO 2768-1:1989 je stále platná a s normou ISO 22081:2021 se dá kombinovat. [24]

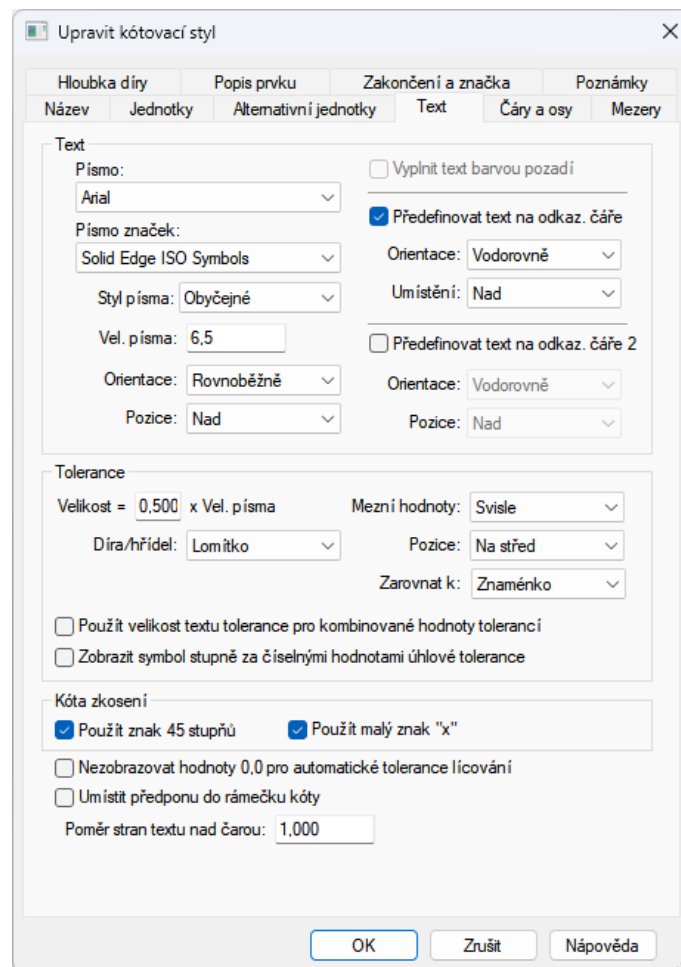
Pro znázornění, jak byla tvořena dokumentace jednotlivých součástí sestavy uvedené v Příloze 1 („3D model“) a v Příloze 2 („Kusovník“), byla vybrána součást „VÝSTUPNÍ HŘÍDEL“.

7.1.1. Aplikace PMI na model

V této podkapitole je ukázáno, jak byla realizována aplikace PMI na modely součástí. Byly vybrány pouze PMI, které byly při dokumentaci nejvíce využívány.

7.1.1.1. Kótovací styl

Z kótovacích stylů v programu Solid Edge byl vybrán styl „ISO“, ve kterém byla provedena pouze úprava orientace a pozice textu (Obr. 30).

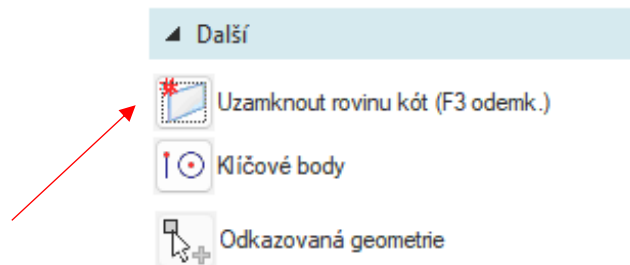


Obr. 30: Nastavení kótovacího stylu

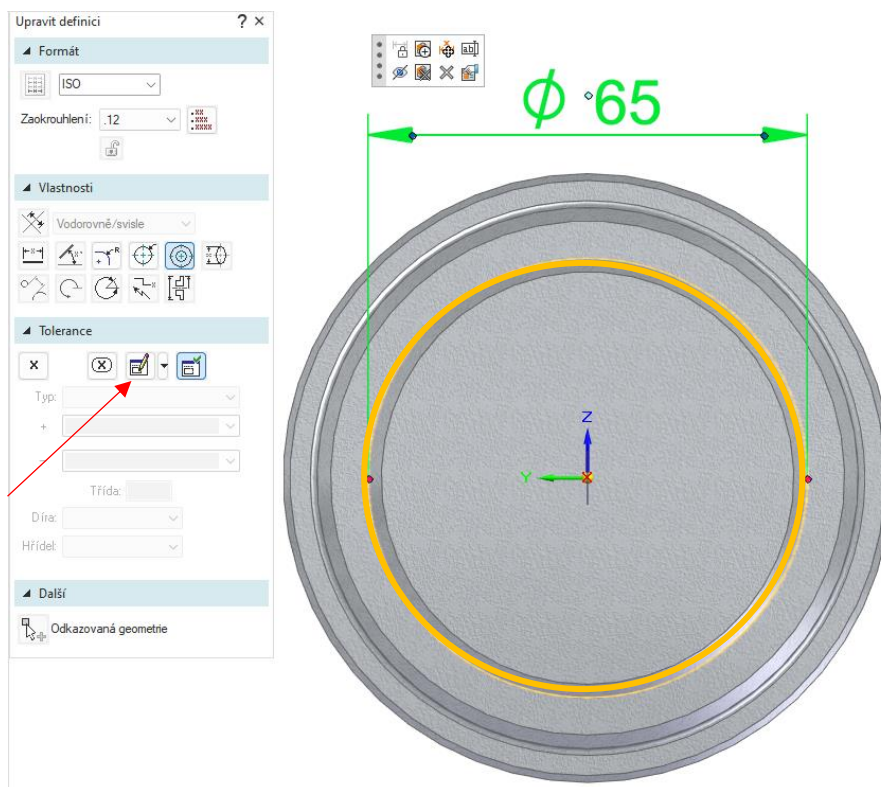
7.1.1.2. Zadávání kót

Aplikace kót je velice podobná 2D kótování, kde pomocí funkce „Chytrá kóta“ je po vybrání prvku, v tomhle případě kružnice zvýrazněná oranžovou barvou (zvýraznění je upravené pro lepší viditelnost), vytvořena kóta průměru obrazce, jedná-li se o přímku vytvoří se klasická kóta délky. Menu, které se zobrazí při kliknutí na kótu slouží k přidání tolerance, změně vzhledu, atp.

Orientace kót se odvíjí od toho, z jakého úhlu se při aplikaci PMI na 3D model zadavatel dívá, případně se dá později upravit ve vlastnostech kóty, například na zobrazení v ose kótovaného prvku. Další možnost, jak definovat orientaci je přímo při zadávání PMI přes funkci „Uzamknout rovinu kót“ (Obr. 31). Tato možnost je u všech PMI.

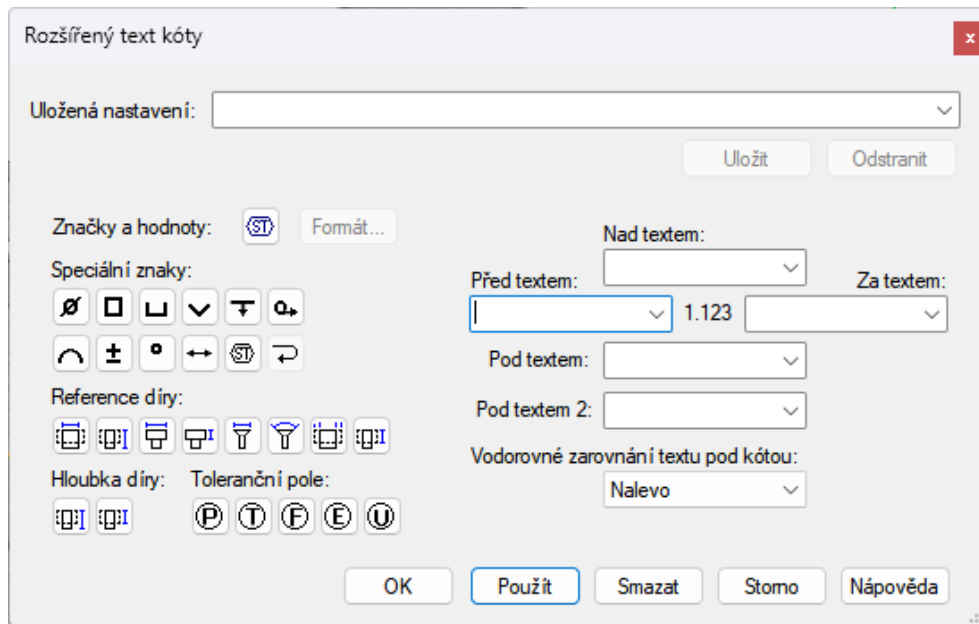


Obr. 31: Uzamčení roviny kót



Obr. 32: Zadávání kót

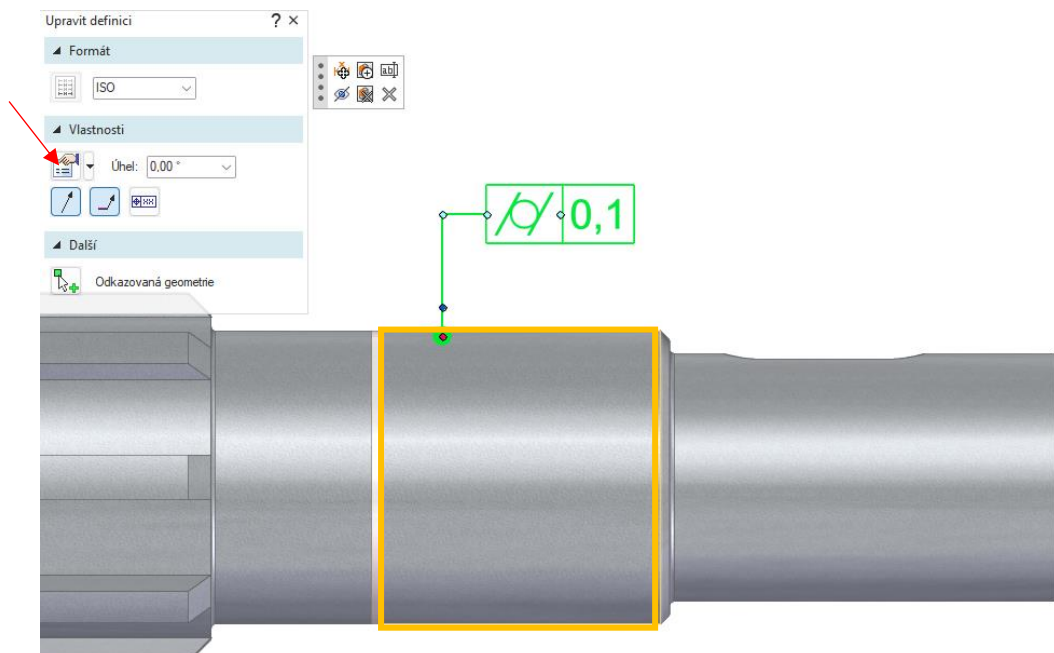
Šipkou označené tlačítko skrývá funkci „Upravit definici“ (Obr. 32), pomocí které se kóta dá rozšířit o další informace (Obr. 33).



Obr. 33: Možnost rozšíření textu kóty

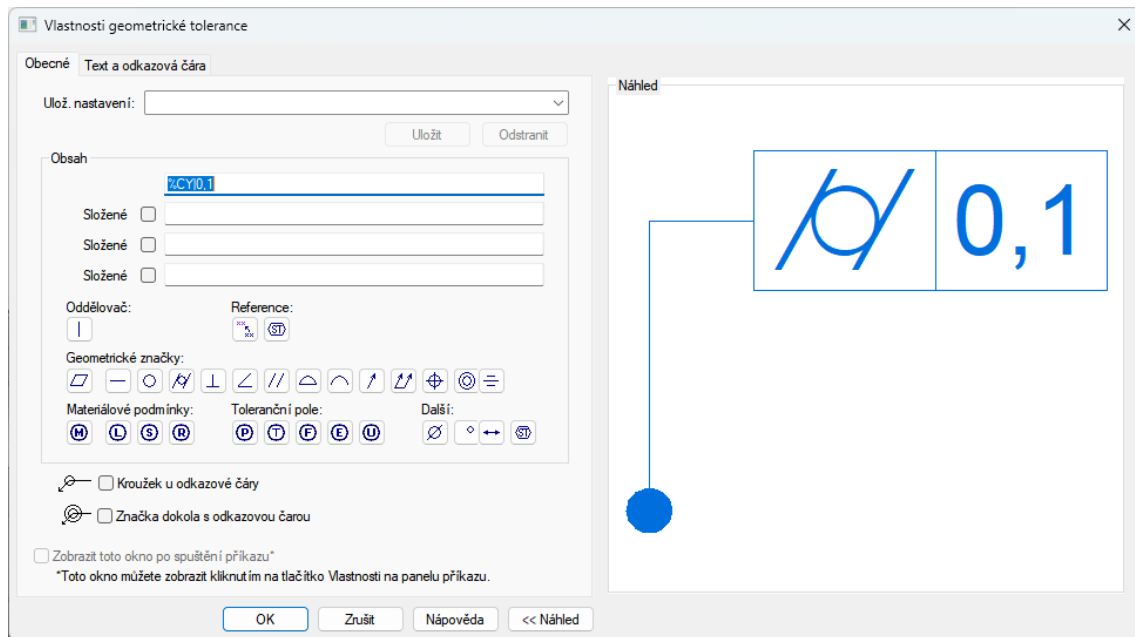
7.1.1.3. Zadávání GD&T

Dalším a asi nepoužívanějším prvkem, který se na modelech objevuje je geometrická tolerance. Ve vyobrazeném případě je aplikace válcovitosti na válec, zvýrazněný oranžovou barvou (zvýraznění je upravené pro lepší viditelnost) (Obr. 34). V první řadě je potřeba si danou geometrickou toleranci vytvořit (Obr. 35), případně zvolit z uložených položek, cesta do vlastností je znázorněna červenou šipkou na Obr. 34.



Obr. 34: Zadávání GD&T

V případě, že ve vlastnostech geometrické tolerance chybí znak, je možné projít ještě nezobrazené znaky přes pravé tlačítko pod textem „Reference:“. Ve vlastnostech také chybí možnost vkládání textu nad geometrickou tolerancí, což lze realizovat přes funkci „Popis“, ale text je potřeba si správně zarovnat.

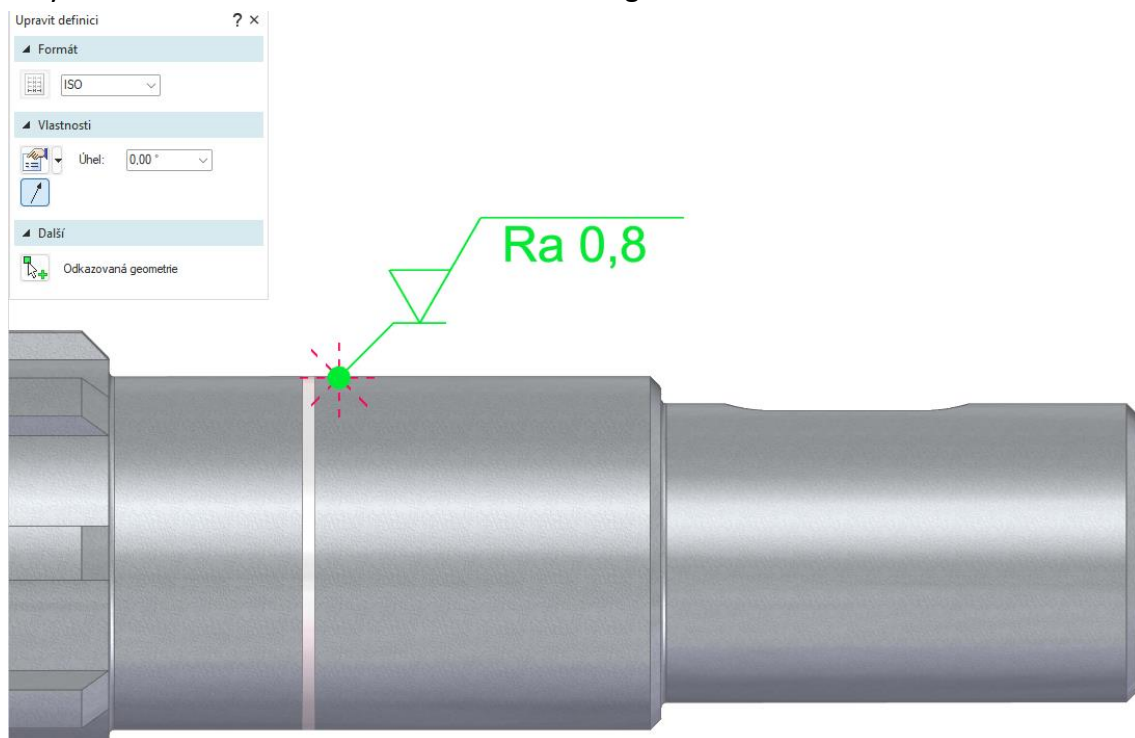


Obr. 35: Tvorba geometrické tolerance

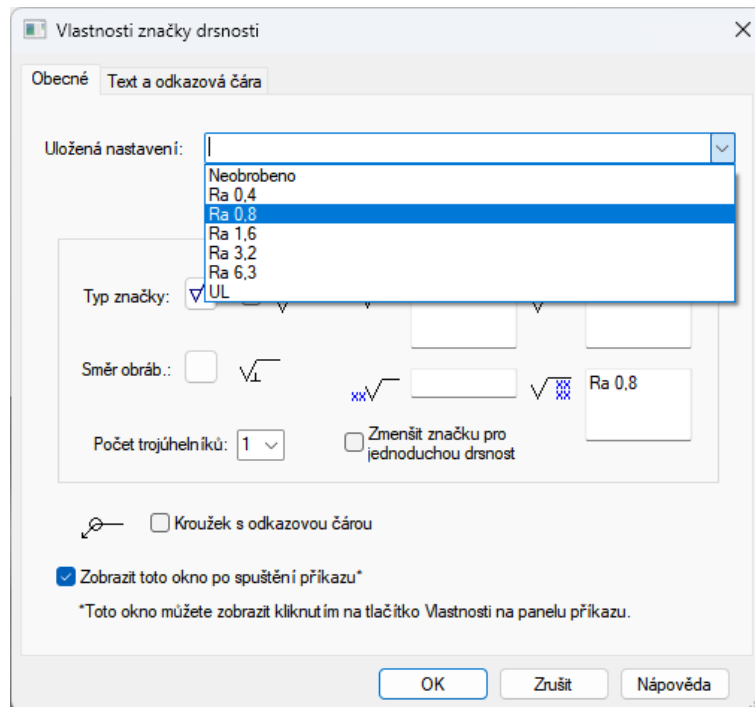
7.1.1.4. Zadávání drsnosti povrchu

Aplikace drsnosti povrchu je velmi podobná aplikaci geometrické tolerance, zde však není potřeba kompletní tvorby, ale pouze vepsání textu do správné kolonky, případně výběr typu značky podle potřeby. I zde bylo vytvořeno několik základních předpisů pro rychlejší a snadnější realizaci dokumentace (Obr. 37).

Orientaci PMI napomáhá osmisměrné kotvení pozic viditelné na Obr. 36, toto kotvení lze využít u všech PMI s odkazovou čarou včetně geometrické tolerance.



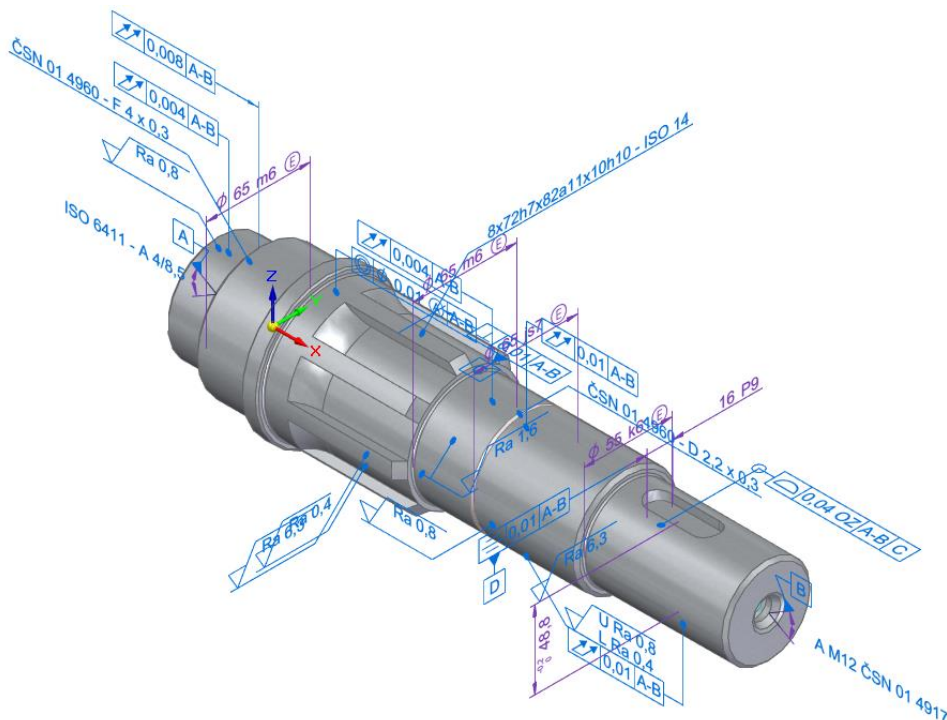
Obr. 36: Zadávání drsnosti povrchu



Obr. 37: Tvorba značky drsnosti povrchu

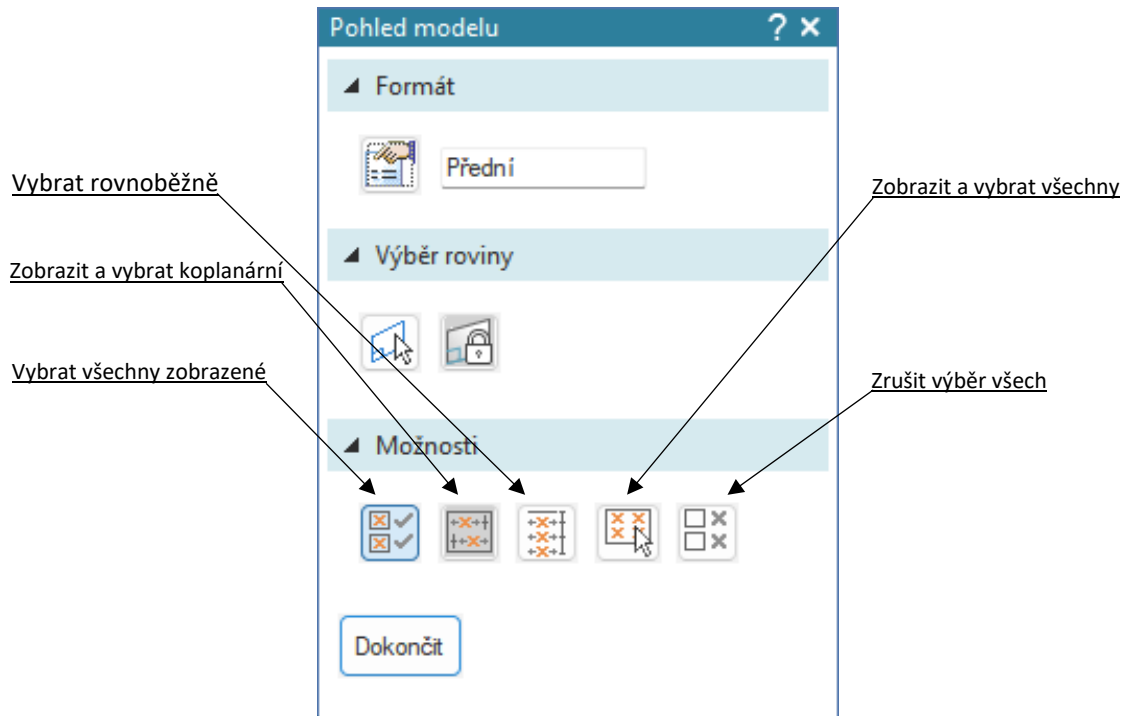
7.1.2. Tvorba pohledů

Pro přehlednost byly vytvořeny u jednotlivých komponent převodovky pohledy na 3D model součásti, které zobrazují pouze PMI v definované rovině. Pohledy připomínají zobrazení jako ve 2D výkresové dokumentaci. Na Obr. 38 je model se zapnutým zobrazením všech PMI, zatím co na Obr. 41 je model ve vytvořeném pohledu s vyfiltrovanými PMI.



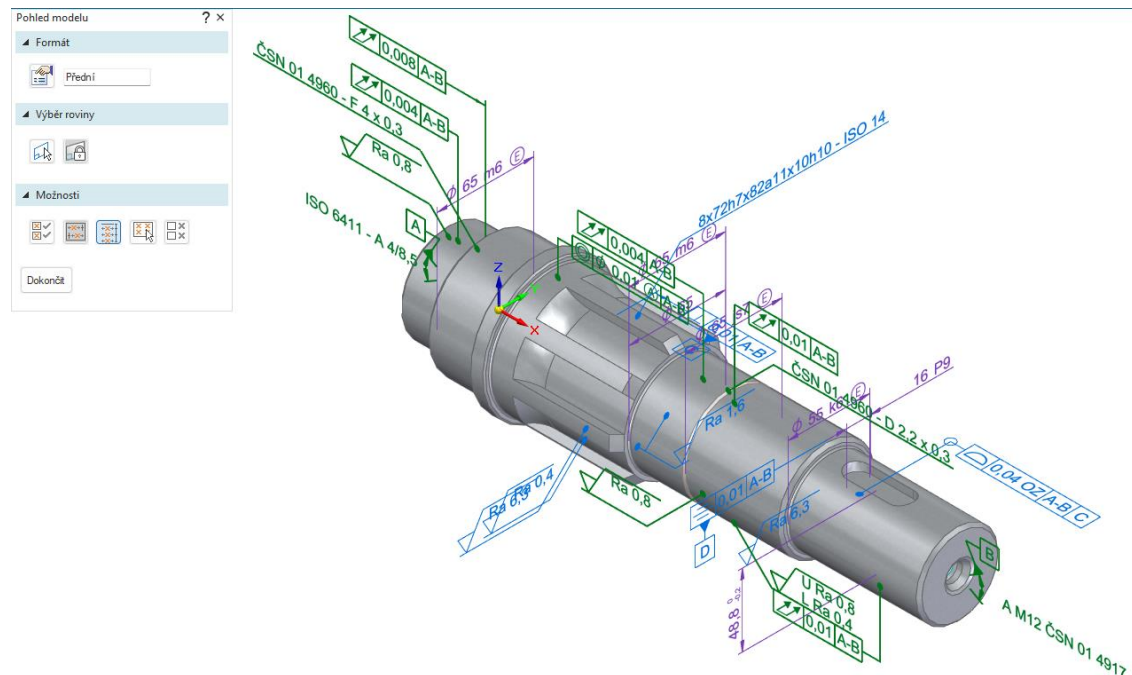
Obr. 38: „VÝSTUPNÍ HRÍDEL“ se všemi PMI

V programu Solid Edge je tvorba pohledů realizována přes funkci „Pohled modelu,, (Obr. 39) v kartě PMI. Zde se vybere možnost zobrazení PMI podle potřeby. V tomto případě bylo voleno funkce „Vybrat rovnoběžně“. Rovina ke které mají být PMI rovnoběžné se volí buď přes funkci „Výběr roviny“ (Obr. 39), nebo automatickým výběrem podle toho z jakého úhlu se na model uživatel dívá.



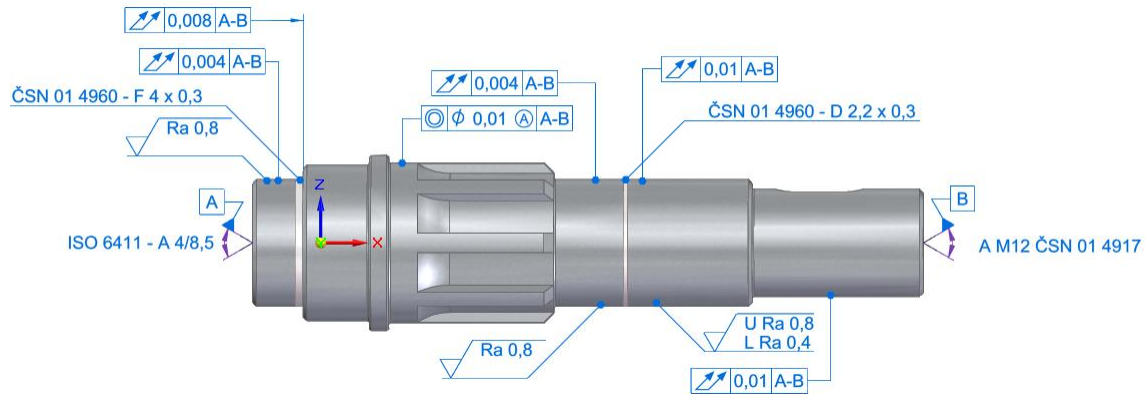
Obr. 39: Funkce „Pohled modelu“

V případě nevhodnosti zobrazení se dá pomocí klávesy „Shift“ nebo „Ctrl“ a kliknutím pravým tlačítkem myši výběr zrušit.



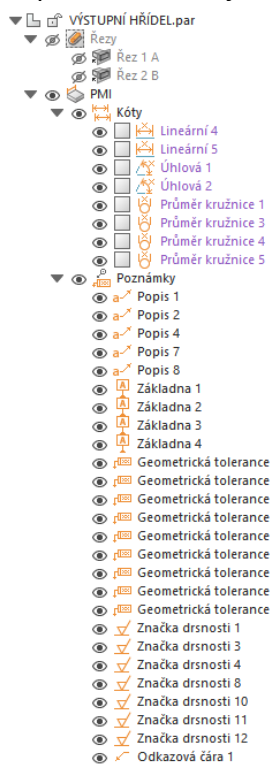
Obr. 40: Výběr PMI do pohledu

Na Obr. 40 lze vidět zeleně zbarvená PMI, která jsou rovnoběžná s rovinou „ZX“. Ostatní PMI se po dokončení v daném pohledu nebudou zobrazovat. Pro tento obrázek byl zvolen „Izometrický“ pohled, aby bylo vidět která PMI se vyberou a která ne. Na obrázku Obr. 41 je už výsledný pohled.

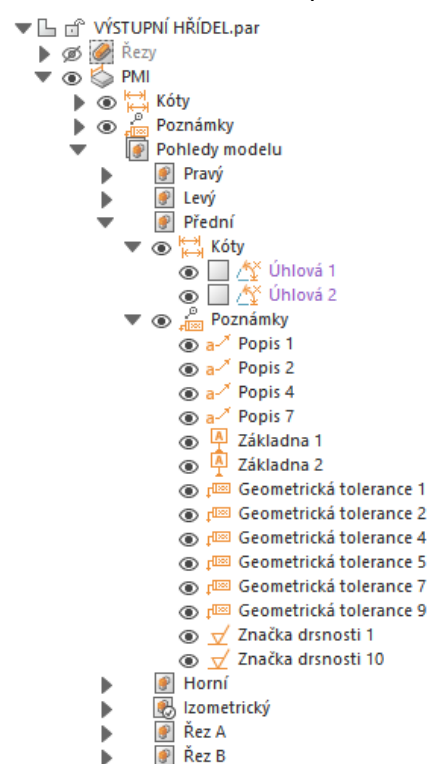


Obr. 41: VÝSTUPNÍ HŘÍDEL pohled „Přední“

Na Obr. 42 je seznam všech PMI, které jsou k součásti přiřazeny a na Obr. 43 je výběr pohledů, kde je rozbalený pohled „Přední“, s vyfiltrovanými PMI které jsou zobrazovány v rovině pohledu. I zde je možnost přes pravé tlačítko odstranit PMI z pohledu.



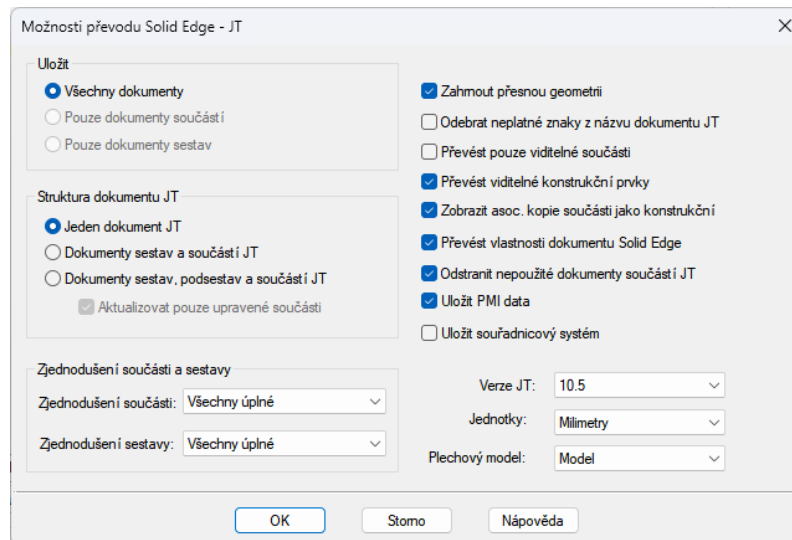
Obr. 42: Seznam všech PMI



Obr. 43: PMI v pohledu „Přední“

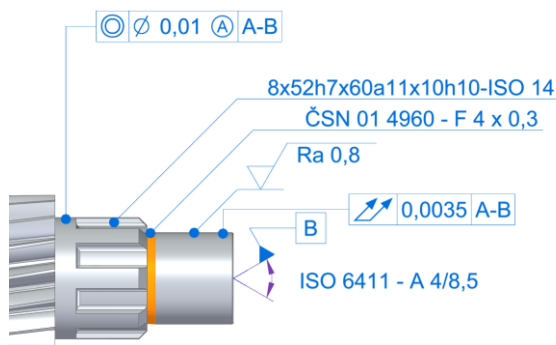
7.2. Export sestavy do formátu JT

Po dokončení dokumentace jednotlivých součástí sestavy kuželočelní převodovky byla sestava exportována do formátu JT. Jelikož ve formátu JT je možnost uchovávat informace o veškerých PMI, s absencí původní orientace PMI, na jednotlivých součástech/podsestavách, tak byl kompletní model vyexportován do jediného souboru.

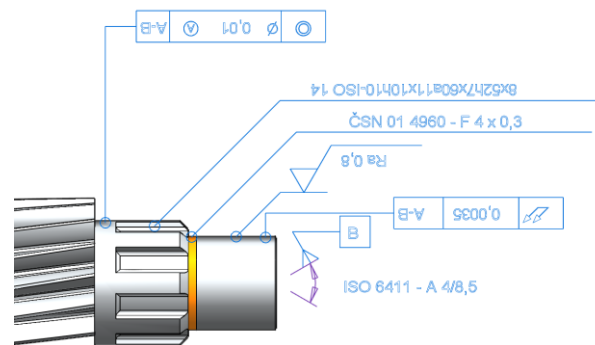


Obr. 44: Možnosti převodu do JT

Nedostatkem JT je absence uchování náčrtů, které byly využity například pro zaznačení středících důlků a umístění základny na úhlovou kótu. Absence náčrtu je vidět na Obr. 41 u základen „A“ a „B“. Jak už bylo zmíněno výše, tak dochází ke ztrátě původní orientace PMI, což vede k nesprávným zobrazováním některých PMI (Obr. 45 a Obr. 46).



Obr. 45: Původní zobrazení v programu Solid Edge



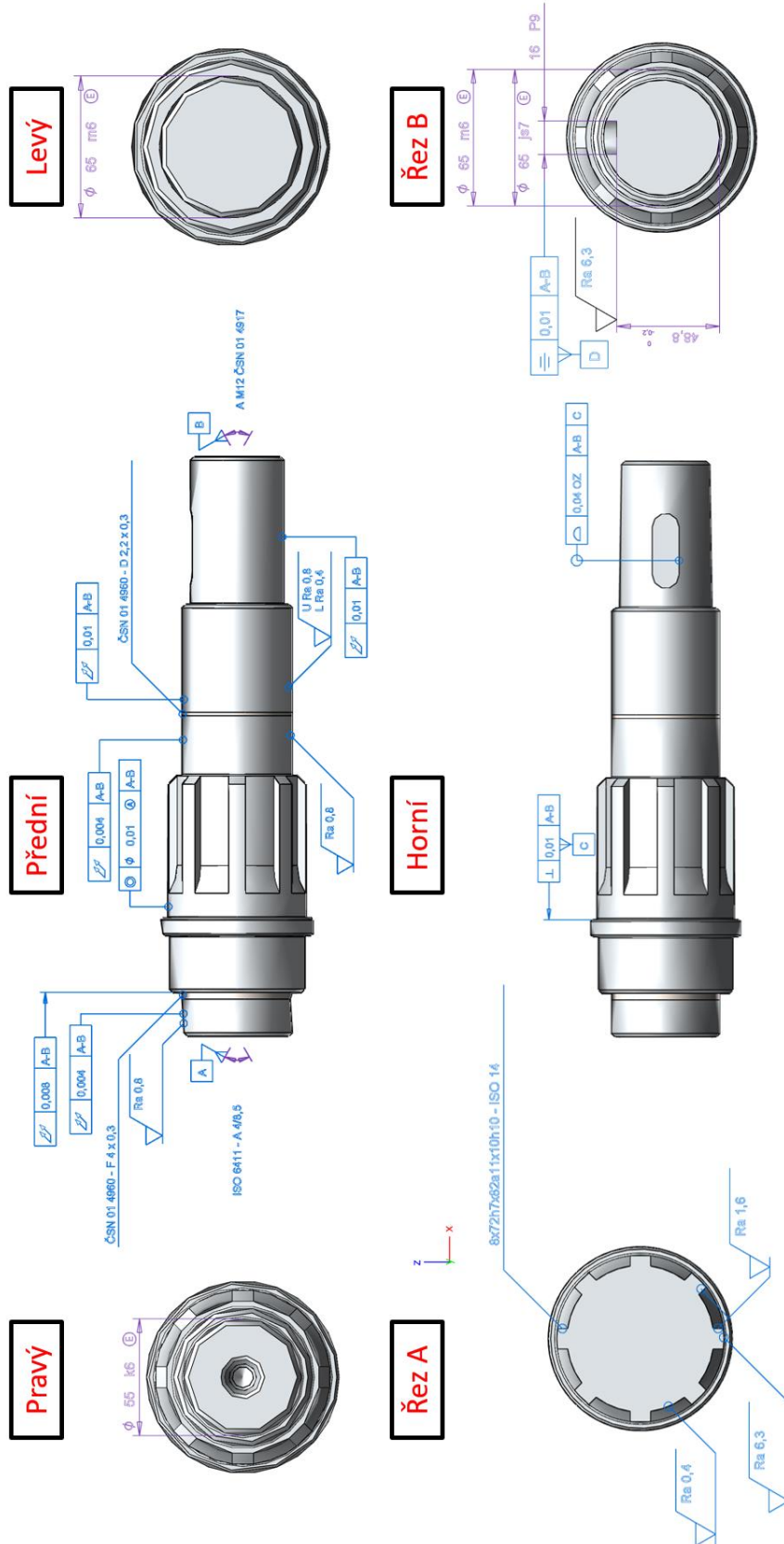
Obr. 46: Zobrazení v JT2Go

Obr. 47 představuje jednotlivé pohledy součásti „VÝSTUPNÍ HŘÍDEL“ zobrazené v prohlížeči JT2Go, ke kterému je přiřazena stránka „Virtuálního kusovníku“ (Obr. 48). Červený text nad pohledy odpovídá názvům pohledů v kusovníku (pokud nedošlo k překlepu při realizaci kusovníku).

Na Obr. 48 je stránka z vytvořeného kusovníku sestavy. Kusovník kromě klasického seznamu součástí obsahuje i jejich popisová pole. Nad popisovými poli jsou klasické doplňující informace společně s doplňujícími informacemi, které jsou potřebné pro určení tolerance netolerovaných rozměrů (to je text nad drsnostmi). Geometrická tolerance plochy, která je k tomu také vztažena, byla implementována do popisového pole.

Modrý text (hypertextový odkaz) (Obr. 48) vedle obrázků pohledů modelu je určen k rychlejšímu zobrazení daného pohledu v prohlížeči JT2Go. Obrázky modelu (Obr. 48) v tabulce vedle textu jsou spíše informativní pro lepší znázornění, o který pohled se jedná.

Červeně zvýrazněný text v popisovém poli (Obr. 48) je určen čistě pro rychlejší návrat na stránku kusovníku.



Obr. 47: 3D dokumentace

POHLED		POHLED	
<u>Přední</u>		<u>Horní</u>	
<u>Levý</u>		<u>Pravý</u>	
<u>Řez B</u>		<u>Řez A</u>	

Rozměry TED podle CAD modelu VÝSTUPNÍ HŘÍDEL

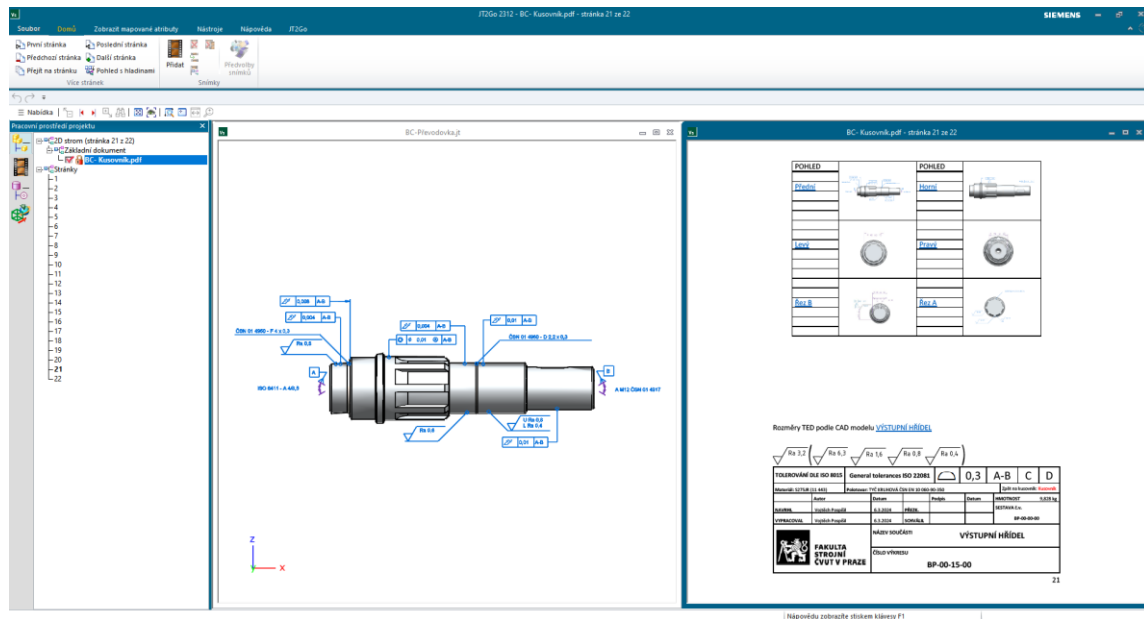


TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015		General tolerances ISO 22081			0,3	A-B	C	D
Materiál: S275JR (11 443)		Polotovary: TYČ KRUHOVÁ ČSN EN 10 060-90-350				Zpět na kusovník: Kusovník		
	Autor	Datum		Podpis	Datum	HMOTNOST		9,828 kg
NAVRHL	Vojtěch Pospíšil	6.3.2024	PŘEZK.			SESTAVA č.v.		
VYPRACOVAL	Vojtěch Pospíšil	6.3.2024	SCHVÁLIL			BP-00-00-00		
FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE		NÁZEV SOUČÁSTI						
		VÝSTUPNÍ HŘÍDEL						
FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE		ČÍSLO VÝKRESU						
		BP-00-15-00						

21

Obr. 48: Náhled na propojenou stránku kusovníku s modelem

V praxi to po otevření kusovníku v prohlížeči JT2Go vypadá následovně (Obr. 49):



Obr. 49: Otevřený kusovník v JT2Go

Kompletní dokumentace všech součástí sestavy je v Příloze 1 („3D model“), kusovník s doplňujícími informacemi k součástem v Příloze 2 („Kusovník“).

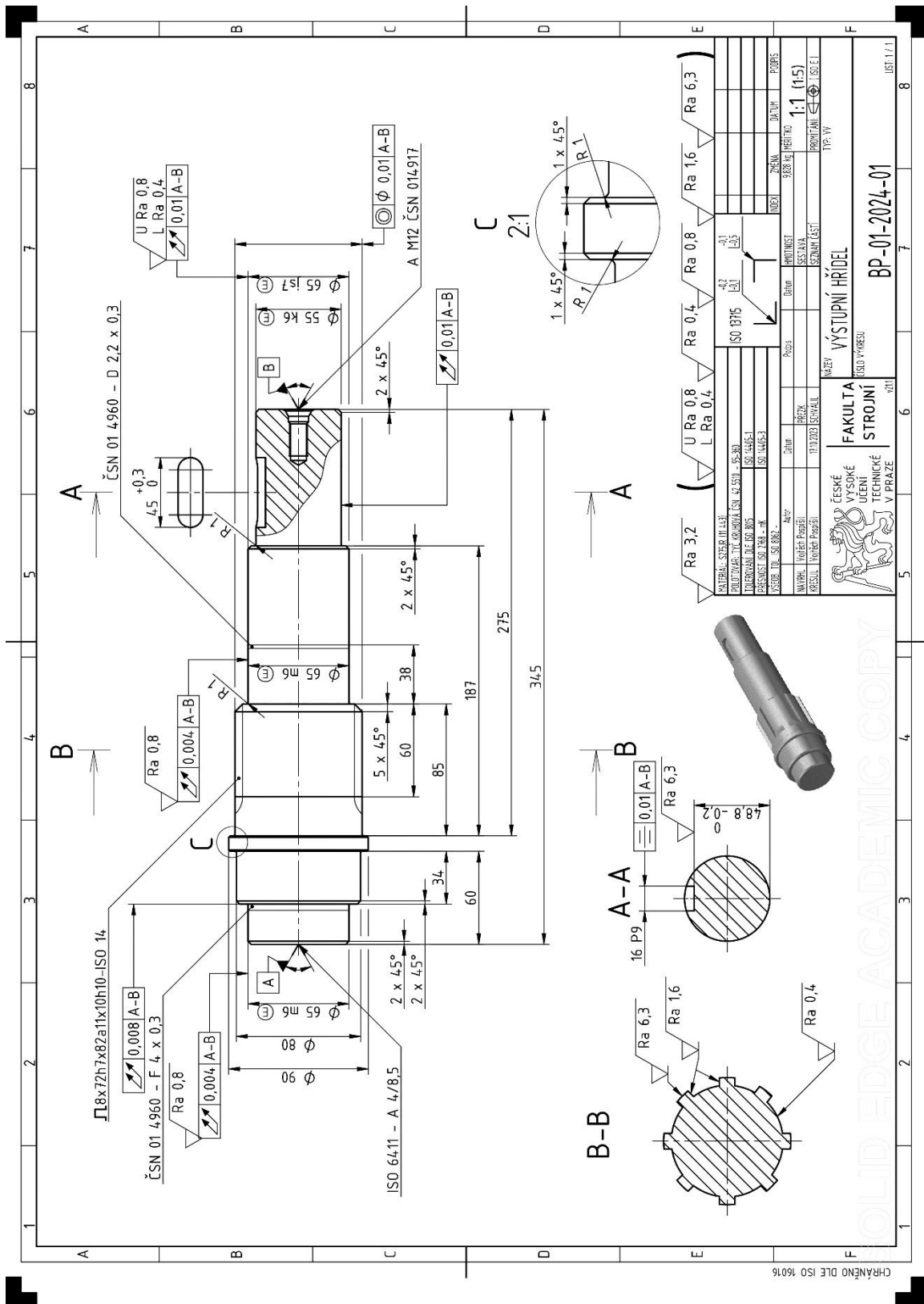
K realizaci dokumentace a kusovníku bylo čerpáno z těchto zdrojů: [24], [25], [26], [27]

7.3. 2D výkresy

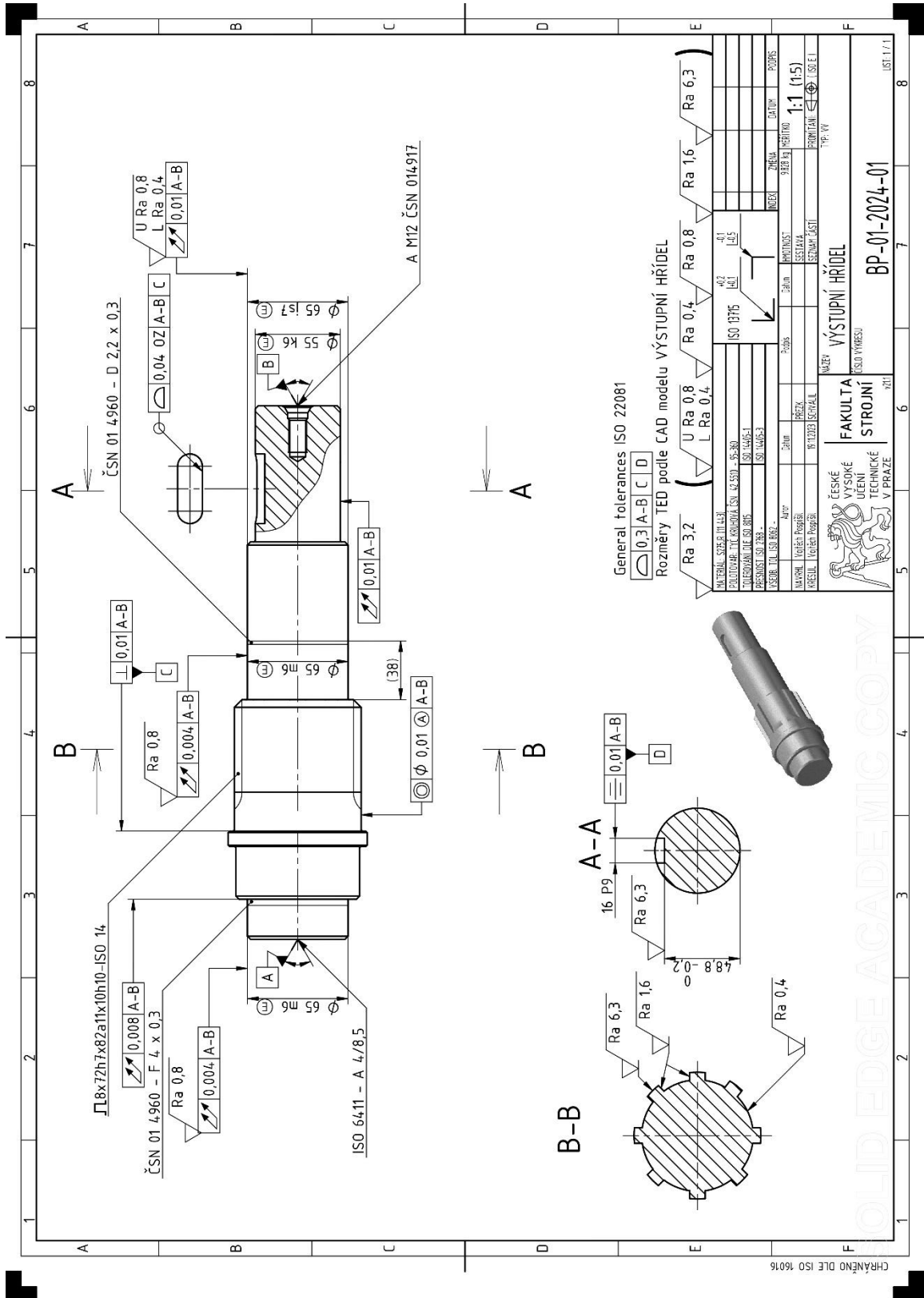
Pro porovnání s klasickou dokumentací součástí byly vytvořeny dva výkresy. Jeden který reprezentuje tolerovaní nepředepsaných tolerancí podle staré normy ISO 2768-2:1994 (Obr. 50) a druhý který koresponduje s novou normou ISO 22081:2021 a tudíž je velmi podobný 3D dokumentaci.

Na první pohled lze vidět, že výkres na Obr. 50 obsahuje oproti výkresu na Obr. 51 mnohem víc kót, protože u výkresu podle ISO 22081:2021 se TED rozměry berou přímo z modelu, což je znatelné hlavně v úspoře času.

Vzhledem k tomu, že 2D výkresy se převážně tvoří tak, že se nejprve vytvoří 3D model, který se následně převede na 2D a tvoří se dokumentace, je tento způsob zbytečně zdlouhavý a v dnešní digitální době nepraktický. Je jasné, že ne každá firma si může dovést drahé PLM případně PDM systémy a využívá stále výkresovou dokumentaci, na druhou stranu tato práce dokazuje, že bezvýkresová dokumentace se dá tvořit i pouze s omezenými zdroji.



Obr. 50: 2D výkres podle normy ISO 2768



Obr. 51: 2D výkres podle normy ISO 22081

8. Závěr

Nástupem nových měřících technologií se mění nároky na výrobní dokumentaci, která přechází čím dál více do digitální formy, tudíž přichází do popředí bezvýkresová dokumentace.

V úvodu rešeršní části práce bylo shrnuto, co je to bezvýkresová dokumentace a s tím spojené PMI. Následně byly rozebrány možnosti využití bezvýkresové dokumentace, nároky kladené na její tvorbu a s tím spojené zadávání PMI do 3D modelu. Jelikož je potřeba 3D modely, které obsahují PMI, otevírat v různých softwarech, byly popsány nejpoužívanější datové formáty pro přenos informací o 3D modelu společně s PMI. V kapitole 5 bylo popsáno co to jsou PLM a PDM systémy a jejich využití ve výrobě.

Ve výběru programu pro následnou realizaci bezvýkresové dokumentace figurovaly tři CADy nižší řady: Inventor, Solid Edge a Solidworks. V každém z programů byl vytvořen testovací 3D model hřídele, na kterou byly následně aplikovány PMI. Po odzkoušení možností, které jednotlivé programy v rámci tvorby bezvýkresové dokumentace přináší, byla vybrána kritéria pro výsledné zhodnocení: Zhodnocení práce s PMI, Zhodnocení zadávání kót, Zhodnocení zadávání GD&T, Definice základen a Zhodnocení zadávání textury povrchu. Ve všech kategoriích byl nejlepším programem Solid Edge, který byl následně zvolen k další práci.

Co se týká sdílení bezvýkresové dokumentace, tak by bylo lepší to brát jako jedno z kritérií, protože jak už bylo zmíněno v práci, tak Solid Edge má pro studenty uzamčenou možnost sdílení dokumentů do 3D PDF, což by bylo v této práci ideálním nástrojem. Z tohoto pohledu by pak stálo za zvážení, jestli by pro následnou práci nebyl vhodnější program Solidworks, který funkci sdílení do 3D PDF má přístupnou a editor šablon je zde na dobré úrovni.

Nicméně pro sdílení byl zvolen formát JT, který ve své podstatě nahradí 3D PDF, a pro zobrazení dokumentace doporučen program JT2Go, akorát pro doplňující informace k součásti zde musel být vytvořen externí PDF soubor. Jelikož prohlížeč JT2Go není příliš známý, tak k němu byl vytvořen návod (Příloha 3) pro snazší pochopení, jak s programem pracovat. V návodu je také ukázáno, jak se výsledná forma JT (Příloha 1: 3D model) + PDF (Příloha 2: Kusovník) tvořila.

Po vyřešení možnosti sdílení a jak bude ve finále celková bezvýkresová dokumentace pojata, byly jednotlivé součásti sestavy kuželočelní převodovky v programu Solid Edge vymodelovány a doplněny o výrobní informace ve formátu 3D (PMI). Jak se do 3D modelů zadávaly výrobní informace je ukázáno v kapitole 7 na součásti „VÝSTUPNÍ HŘÍDEL“.

Pro součást „VÝSTUPNÍ HŘÍDEL“ byly vytvořeny i dva výkresy. Jeden splňující normu ISO 2768 a druhý splňující normu ISO 22081:2021, pro časové porovnání s tvorbou výkresové dokumentace oproti bezvýkresové (čistě z hlediska zadávání kót, GT, poznámek, tvorby pohledů a zadávání textury povrchu). Dle očekávání byla nejrychlejší realizace ve 3D. U 3D dokumentace byla časová úspora oproti 2D výkresu podle ISO 22081:2021 přibližně 20% a u 2D výkresu podle ISO 2768 přibližně 35%.

Citovaná literatura

- [1] SprutCAM. SprutCAM 12 All lang User Manual. [Online] [Citace: 20. březen 2023.] <https://kb.sprutc.com/docs/SprutCAM/16/en/10028.html>.
- [2] Nechvátal, Filip. 2013. Bezvýkresová dokumentace – nastupující realita. CAD.cz. [Online] 29. srpen 2013. <https://www.cad.cz/pdmpm/86-pdmpm/4632-bezvycreso-va-dokumentace-nastupujici-realita.html>.
- [3] Mooyoung , Yoo a Namhyuk , Ham. 2020. *Productivity Analysis of Documentation Based on 3D Model in Plant Facility Construction Project*. [Online] 7. únor 2020. [Citace: 16. květen 2024.] <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/1126>.
- [4] ČSN ISO 16792:2023. Technická dokumentace produktu – Postupy zpracování digitálních dat definujících produkt. Praha: ÚNMZ, 2023.
- [5] Petr, Karel. Popis školení. [Online] [Citace: 29. duben 2024.] <https://www.skoleniisogps.cz/skoleni/iso-gps-rozmerove-a-geometricke-tolerance-jednodenni/>.
- [6] Blateyron, François . What are the differences between ISO 4287 and ISO 21920? [Online] [Citace: 30. duben 2024.] <https://www.digitalsurf.com/blog/what-are-the-differences-between-iso-4287-and-iso-21920/>.
- [7] Precision Manufacturer Integrates Inspection Programming Digitalizing Production Operations. *metrology.news*. [Online] 2. březen 2021. [Citace: 15. duben 2023.] <https://metrology.news/precision-manufacturer-integrates-inspection-programming-digitalizing-production-operations/>.
- [8] Horálek, Ladislav. 2018. Toleranční analýza pro Inventor. Inventor guru. [Online] 7. listopad 2018. [Citace: 2. květen 2023.] <https://www.inventorguru.cz/2018/11/tolerancni-analyza-pro-inventor-2019.html>.
- [9] Nguyen, Jimmy. 2021. CAPVIDIA. Top 8 Neutral 3D CAD File Formats. [Online] 18. leden 2021. [Citace: 26. únor 2023.] <https://www.capvidia.com/blog/top-neutral-3d-cad-file-formats>.
- [10] SIEMENS. Product data management. [Online] [Citace: 13. duben 2024.] <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/product-data-management-pdm/>.
- [11] PLM software. PDM nebo PLM. [Online] [Citace: 10. říjen 2023.] <https://www.plmsoftware.cz/pdm-nebo-plm>.
- [12] AVENGENEERING. PLM – řízení životního cyklu výrobku. [Online] [Citace: 13. duben 2024.] <https://www.aveng.cz/plm-rizeni-zivotniho-cyklu-vyrobku/>.
- [13] IT Systems. 2009. PLM systémy pro řízení životního cyklu výrobku. [Online] 6. Zaří 2009. [Citace: 19. duben 2024.] <https://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/plm-systemy-pro-rizeni-zivotniho-cyklu-vyrobku.htm>.
- [14] Miller, Ed. 2007. What Is PDM? [Online] 27. srpen 2007. [Citace: 19. duben 2024.] <https://web.archive.org/web/20070227151543/http://www.memagazine.org/ba ckissues/membersonly/october98/features/pdm/whatis.html>.
- [15] G2 Score. Best PLM Software. [Online] [Citace: duben 19, 2024.] <https://www.g2.com/categories/plm>.



- [16] SAP. SAP Teamcenter by Siemens. [Online] [Citace: 19. duben 2024.] <https://www.sap.com/uk/products/scm/teamcenter-by-siemens.html>.
- [17] Gaddy, Corey. 2022. Autodesk Inventor: What Is It Used For? [Online] 16. březen 2022. [Citace: 3. květen 2024.] <https://www.tpm.com/blog/autodesk-inventor-what-is-it-used-for/>.
- [18] 6sense . *CAD Software*. [Online] [Citace: 3. květen 2024.] <https://6sense.com/tech/cad-software>.
- [19] Suradkar, Tushar. 2018. Solid Edge History – V1 to V5. Siemens. [Online] 29. květen 2018. [Citace: 8. říjen 2023.] <https://blogs.sw.siemens.com/solidedge/solid-edge-history-v1-to-v5/>.
- [20] Oanes, Sam. 2024. The History of SOLIDWORKS. *goengineer*. [Online] 12. Únor 2024. [Citace: 15. Březen 2024.] <https://www.goengineer.com/blog/history-of-solidworks>.
- [21] Solid Edge V19. *Technickyportal.cz*. [Online] 1. Leden 2006. https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/solid-edge-v19_11586.html.
- [22] What's New in Autodesk Inventor 2018. [Online] 2018. [Citace: 8. Říjen 2023.] <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/ENU/?guid=GUID-917AEB83-27BB-44BA-A809-44E0748A41AE>.
- [23] Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 2016. JT2 plus PDF: User guide. [Online] 2016. [Citace: 5. Únor 2024.] [www.siemens.com/plm.61338-A111/16 B](http://www.siemens.com/plm.61338-A111/16.B).
- [24] Petr, Karel. 2022. ISO 22081:2021 – Všeobecné/Obecné geometrické tolerance dle ISO GPS – ČÁST 1. *Školení v oblasti ISO GPS a TPD*. [Online] 29. Květen 2022. [Citace: 12. Duben 2024.] <https://www.skoleniisogps.cz/iso-220812021-vseobecne-obecne-geometricke-tolerance-dle-iso-gps-cast-1/>.
- [25] SKF. 2012. Hřídelová těsnění. [Online] duben 2012. [Citace: 12. březen 2024.] https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196802e8ff2/pdf_preview_medium/0901d196802e8ff2_pdf_preview_medium.pdf. PUB SE/P1 10919 CS.
- [26] SKF. 2019. Valivá ložiska. *SKF*. [Online] Březen 2019. [Citace: 5. Prosinec 2023.] https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968096351e/pdf_preview_medium/0901d1968096351e_pdf_preview_medium.pdf#cid-121486. PUB BU/P1 17000/1 CS.
- [27] Leinveber, Jiří a Vávra, Pavel. 2011. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. Páté vydání*. Úvaly : Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.

Zmíněné normy

- [1] ASME Y14.41:2019- Americká norma pro bezvýkresovou dokumentaci
- [2] ISO 10303-242:2022 - Reprezentace a výměna dat o výrobku
- [3] ISO 1101:2017- Norma předepisující použití Geometrických tolerancí
- [4] ISO 14306:2017- Specifikace formátu souboru JT pro 3D vizualizaci
- [5] ISO 14739-1:2014- 3D použití formátu Product Representation Compact (PRC)
- [6] ISO 16792:2021- Evropská norma pro bezvýkresovou dokumentaci
- [7] ISO 21920-1:2021- Textura povrchu: Profil
- [8] ISO 22081:2021- Obecné geometrické specifikace a specifikace obecné velikosti
- [9] ISO 23952:2020- Quality information framework (QIF)
- [10] ISO 25178-1:2016- Textura povrchu: Plocha
- [11] ISO 2553:2019- Svarové spoje
- [12] ISO 2768-1:1989- Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů
- [13] ISO 2768-2:1994- Nepředepsané geometrické tolerance
- [14] ISO 3098-1:2015- Obecné požadavky
- [15] ISO 3098-5:1997- Písmo CAD latinské abecedy, číslice a značky
- [16] ISO 5457:1999- Rozměry a úprava výkresových listů
- [17] ISO 5459:2011 -Základny a soustavy základen
- [18] ISO 7200:2004- Údaje v popisových polích a záhlavích dokumentů

Seznam obrázků

Obr. 1: Ukázka bezvýkresové dokumentace [1]	1
Obr. 2: Diagram postupu bezvýkresové výroby – upraveno a převzato z [3]	2
Obr. 3: Příklad chybného zobrazení anotací	4
Obr. 4: Zobrazení více anotací v jedné rovině	5
Obr. 5: Orientace anotací	5
Obr. 6: Odkazové čáry	6
Obr. 7: Přímé přiřazení zakladen	6
Obr. 8: Umístění základny na prvek tolerance	6
Obr. 9: Indikátory roviny a prvku – a) Indikátor průsečíku rovin b) Indikátor orientace rovin c) Indikátor směru prvku d) Indikátor sdružené roviny [5] upraveno	7
Obr. 10: Zobrazení geometrické tolerance boční pohled	7
Obr. 11: Zobrazení geometrické tolerance axonometrie	7
Obr. 12: Značení svaru spoje	8
Obr. 13: Značení dráhy svaru značkou „mezi“	8
Obr. 14: Popis textury povrchu	8
Obr. 15: Značky textury povrchu [6] -upraveno	8
Obr. 16: Řízení kvality součástí [7]	9
Obr. 17: Model s PMI pro vytvoření TA [8]	10
Obr. 18: Průběh PLM [13]	12
Obr. 19: Prostředí softwaru Teamcentre [16]	12
Obr. 20: Prostředí programu Inventor	13
Obr. 21: Panel pro tvorbu PMI v programu Inventor	14
Obr. 22: Prostředí Solid Edge	14
Obr. 23: Panel pro tvorbu PMI v programu Solid Edge	15
Obr. 24: Prostředí SolidWorks	16
Obr. 25: Panel pro tvorbu PMI v programu SolidWorks	16
Obr. 26: Uzamčení funkce „Publikovat 3D PDF“	19
Obr. 27: Sestava pohonu bubnu	20
Obr. 28: Sestava převodovky	20
Obr. 29: Řez modelem sestavy	20
Obr. 30: Nastavení kótovacího stylu	21
Obr. 31: Uzamčení roviny kót	22
Obr. 32: Zadávání kót	22
Obr. 33: Možnost rozšíření textu kóty	23
Obr. 34: Zadávání GD&T	23
Obr. 35: Tvorba geometrické tolerance	24
Obr. 36: Zadávání drsnosti povrchu	24
Obr. 37: Tvorba značky drsnosti povrchu	25
Obr. 38: „VÝSTUPNÍ HŘÍDEL“ se všemi PMI	25
Obr. 39: Funkce „Pohled modelu“	26
Obr. 40: Výběr PMI do pohledu	26
Obr. 41: VÝSTUPNÍ HŘÍDEL pohled „Přední“	27
Obr. 42: Seznam všech PMI	27
Obr. 43: PMI v pohledu „Přední“	27
Obr. 44: Možnosti převodu do JT	28
Obr. 45: Původní zobrazení v programu Solid Edge	28
Obr. 46: Zobrazení v JT2Go	28
Obr. 47: 3D dokumentace	29
Obr. 48: Náhled na propojenou stránku kusovníku s modelem	30
Obr. 49: Otevřený kusovník v JT2Go	31
Obr. 50: 2D výkres podle normy ISO 2768	32
Obr. 51: 2D výkres podle normy ISO 22081	33

Seznam tabulek

Tab. 1: Zadávání kót (5 nejlepších)	17
Tab. 2: Zadávání GD&T (5 nejlepších).....	17
Tab. 3: Definice základů (5 nejlepších)	18
Tab. 4: Zadávání textury povrchu (5 nejlepších)	18
Tab. 5: Celkové zhodnocení (vyšší->lepší)	19

Seznam příloh

Příloha 1: 3D model – Sestava kuželočelní převodovky- elektronicky na CD.....	CD
Příloha 2: Kusovník – elektronicky na CD.....	CD
Příloha 3: Návod na použití JT2Go – elektronicky na CD.....	CD