

Ing. Michal FABIAN, Ph.D. – ukončil studium na Strojnické fakultě VŠT v Košicích v roce 1987 v oboru Dopravní a manipulační technika. V roce 1990 nastoupil na Centrum informatiky SJF Technické univerzity v Košicích na oddělení CAD systémů. V rámci projektu 2000 pracovišť Automatizace inženýrských prací měl od roku 1990 možnost pracovat v prostředí 2D grafiky AutoCAD Release10. Následně měl od roku 1991 možnost pracovat na fakultě s 3D softwarem CATIA V3, kde se věnoval objemovému a povrchovému modelování. Od roku 1994 se začal věnovat CNC programování 3osých frézek na bázi 3D virtuálního modelu v CAM prostředí CATIA V4. Od roku 1998 zavádí do výuky předmět CAD – úvod do objemového a povrchového modelování. V roce 2004 stál při zavádění hromadné výuky CATIA V5 na SJF TU v Košicích. Má bohaté zkušenosti s CNC obráběním na 3osé CNC frézce EMCO CONCEPT Mill 155. V roce 2008 úspěšně obhájil disertační práci na téma: Analýza možností ovlivnění kvality povrchu vybraných typů ploch parametry CAM systémů, následně mu byl udělen vědecko-akademický titul Ph.D. ve vědním oboru 23-07-9 Strojírenské technologie a materiály. Autor je publikačně činný, o čemž svědčí dvě vydané vysokoškolské učebnice a desítky vědeckých a odborných článků v časopisech doma i v zahraničí, kde se věnuje problematice využití CAD/CAM systémů ve strojírenské praxi. V pedagogické oblasti se snaží klást důraz na význam CA.. gramotnosti pro absolventy strojnických fakult. Mnoho jeho diplomantů úspěšně pracuje v oblasti automobilového průmyslu na Slovensku, v Česku i v Německu.

prof. Ing. Emil SPIŠÁK, CSc. – ukončil studium na Strojnické fakultě VŠT v Košicích v roce 1980 v oboru strojírenská technologie. Od roku 1982 působí na Strojnické fakultě Technické univerzity v Košicích jako interní aspirant, odborný asistent, docent (1994) a profesor (2001). Na Strojnické fakultě a Technické univerzitě v Košicích zastával různé funkce: člen a předseda Akademického senátu Strojnické fakulty, člen Akademického senátu TU v Košicích, vedoucí Katedry technologií a materiálů Strojnické fakulty TU v Košicích, proděkan Strojnické fakulty TU v Košicích a prorektor TU v Košicích. Je členem několika vědeckých rad, předsedou společné odborové komise „Strojírenské technologie a materiály“, garantem inženýrského a doktorského studia na Strojnické fakultě v oboru „Strojírenská technologie a materiály“, zncem v oboru Strojírenství, předsedou Fakultní odborové komise „Strojírenské technologie a materiály“ pro doktorské studium a předsedou Fakultní odborové komise „Soudní inženýrství“ pro Ph. D. Dlouhodobě pracuje v oblasti posuzování vlastností materiálů, chyb materiálů, analýzy a kvantifikace vlivu výrobních faktorů při výrobě výlisků z tenkých ocelových plechů. Zabývá se využitím CA.. technologií pro modelování, simulaci a optimalizaci technologických procesů a výrobou tvářecích nástrojů a forem. Je autorem dvou monografií, třinácti skript a mnoha příspěvků v zahraničních a domácích vědeckých a odborných časopisech. Aktivně se účastnil stovky domácích a zahraničních konferencí. Byl vedoucím řešitelem 15 tuzemských a 6 zahraničních projektů. Jeho práce jsou citovány strojařskou vědeckou komunitou doma i v zahraničí. Přednášel a přednáší 15 předmětů z oblasti technických materiálů, strojírenských technologií a aplikace CA technologií při návrhu a optimalizaci výroby. Vedl 112 diplomových prací. Mnoho jeho doktorandů a diplomantů pracuje hlavně v oblasti automobilového průmyslu doma i v zahraničí.

ISBN 978-80-85825-65-7



Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií

Michal Fabian, Emil Spišák

Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií

Michal Fabian
Emil Spišák

Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií

Michal Fabian
Emil Spišák

V CATIA V5



Důležitost

CA.. gramotnosti v strojírenské
praxi

a jejich hlavní vlastností je to, že nesou informaci o tvaru produktu, který se s jejich pomocí vyrábí.

1.2.2 Návrh a výroba v nedávné minulosti

Návrh tvarů automobilů byl vždy omezen technologickými možnostmi výroby jednotlivých komponentů. Požadavky na nové tvary, vyšší kvalitu a rychlejší výrobu se postupně promítaly i do vývoje nových technologických možností výroby jednotlivých komponentů. Příkladem mohou být automobilové světlomety, v minulosti většinou kruhové, dnes vyráběné v různých tvarech.



Obr. 1-49 Porovnání tvarů světlometů

Získání tvaru produktu – hliněný model

Prvotní návrh budoucího automobilu se realizoval klasickými designérskými a konstrukčními pomůckami – tužkou a papírem do podoby skic, zachycujících tvary navrhované karoserie. Ke zhmotnění těchto idejí do trojrozměrného modelu docházelo za podpory modelářské hlíny, nanesené na vhodnou kostru.

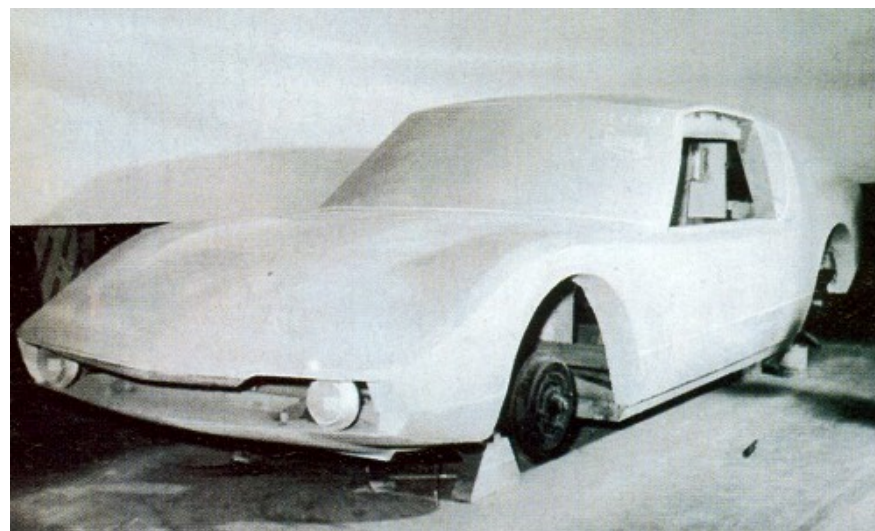
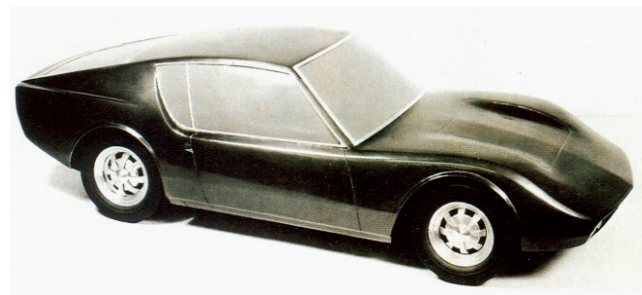


Obr. 1-50 Tvorbba hliněného modelu před pár desetiletími [104]

„Master model“ 1:1

V počáteční fázi se tvořily modely v měřítku 1:10 a po úpravách základních linií a tvarů se vytvářely modely 1:5, resp. 1:1. Po dalších úpravách se vytvářel závěrečný model

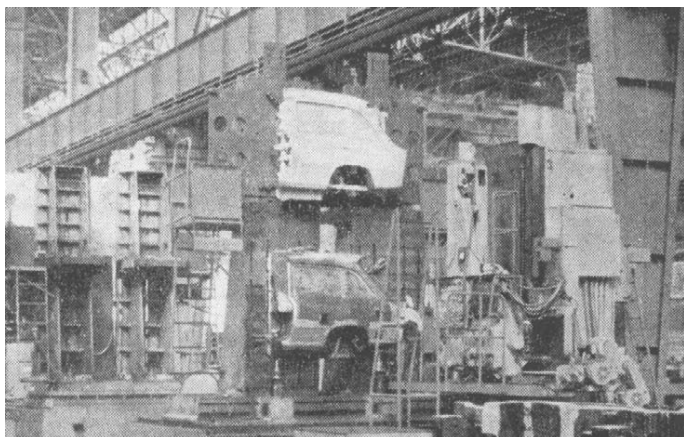
ve skutečné velikosti, sloužící pro doladění tvarů detailů. Tento tzv. „master“ model sloužil jako referenční předloha pro odvození tvarů nástrojů. Ve skutečném procesu navrhování se tyto činnosti vícenásobně opakovaly, porovnávaly se varianty návrhů a provádělo se mnoho úprav dokud se nedospělo ke konečnému stavu řešení.



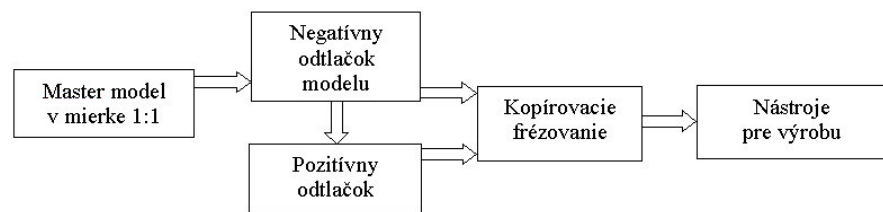
Obr. 1-51 Model 1:5 a hlavní model určený ke snímání tvarů pro výrobu nástrojů [99]

Kopírování tvaru na kopírovací frézce

Z referenčního „master“ modelu se jeho laminováním získávaly otisky, tj. negativní tvar pro dutinu nástroje. I pozitivní tvar, zohledňující tloušťku stěny budoucí součástky, se získával na základě tohoto otisku. Takto získané tvary činných částí budoucích nástrojů sloužily jako model – předloha pro kopírovací frézky, na kterých se zhotovovaly nástroje. Celý proces je popsán schématem.



Obr. 1-52 Kopírování tvaru lisovacího nástroje s pomocí laminátového modelu [74]

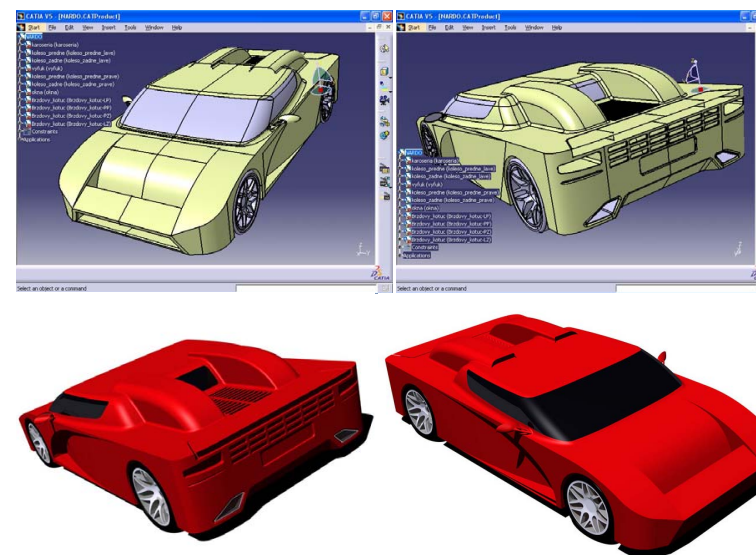


Obr. 1-53 Schéma „klasického“ procesu návrhu a výroby na bázi hliněného modelu

1.2.3 Návrh a výroba v současnosti

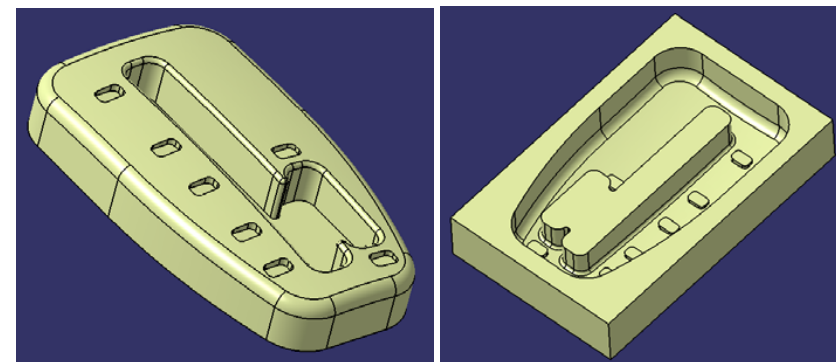
S nástupem CA.. technologií nastal designový a konstrukční boom, promítající se i do procesů návrhu a výroby v automobilovém průmyslu. To, současně s nástupem výkonné CNC techniky a progresivních technologií zpracování materiálů, umožňuje hromadně vyrábět součástky, které byly klasickou cestou za přijatelných nákladů nevyrobitelné.

Tvar výrobků se získává vytvořením počítačového modelu v grafickém prostředí CAD systému za použití přístupů povrchového a objemového modelování. Model vytváří přímo zdatný CAD designér nebo CA *modelář* na základě skic a návrhů designéra. Model na obr. 1-54 je tvořen v prostředí povrchového modeláře ze základních 2D prvků, na základě kterých jsou vytvořeny 3D tvarové plochy. Výsledkem je povrchový model tvaru.



Obr. 1-54 Virtuální model automobilu a vizualizace modelu [105]

Zhotovování hmotných modelů za účelem odvození tvaru nástrojů dnes ztrácí opodstatnění. Negativní tvary činných částí nástrojů se získávají v CAD systému jednoduchým použitím Booleovské operace odčítání. Tyto systémy umožňují zahrnout do výsledného tvaru nástroje vliv smrštění materiálu, jeho odpružení po deformaci apod.

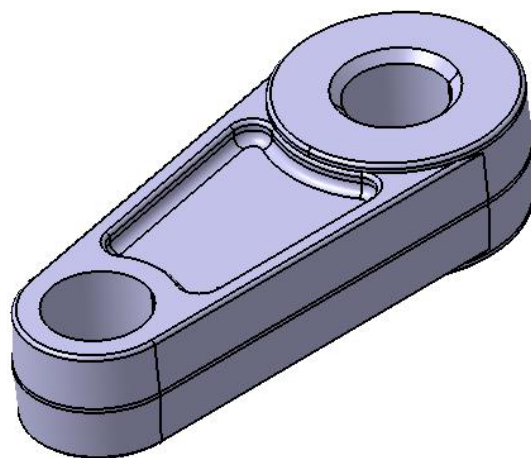


Obr. 1-55 Získání negativního tvaru v CAD za použití Booleovské operace odčítání [105]

Kopírování na bázi virtuálního modelu: CAD/CAM – CNC

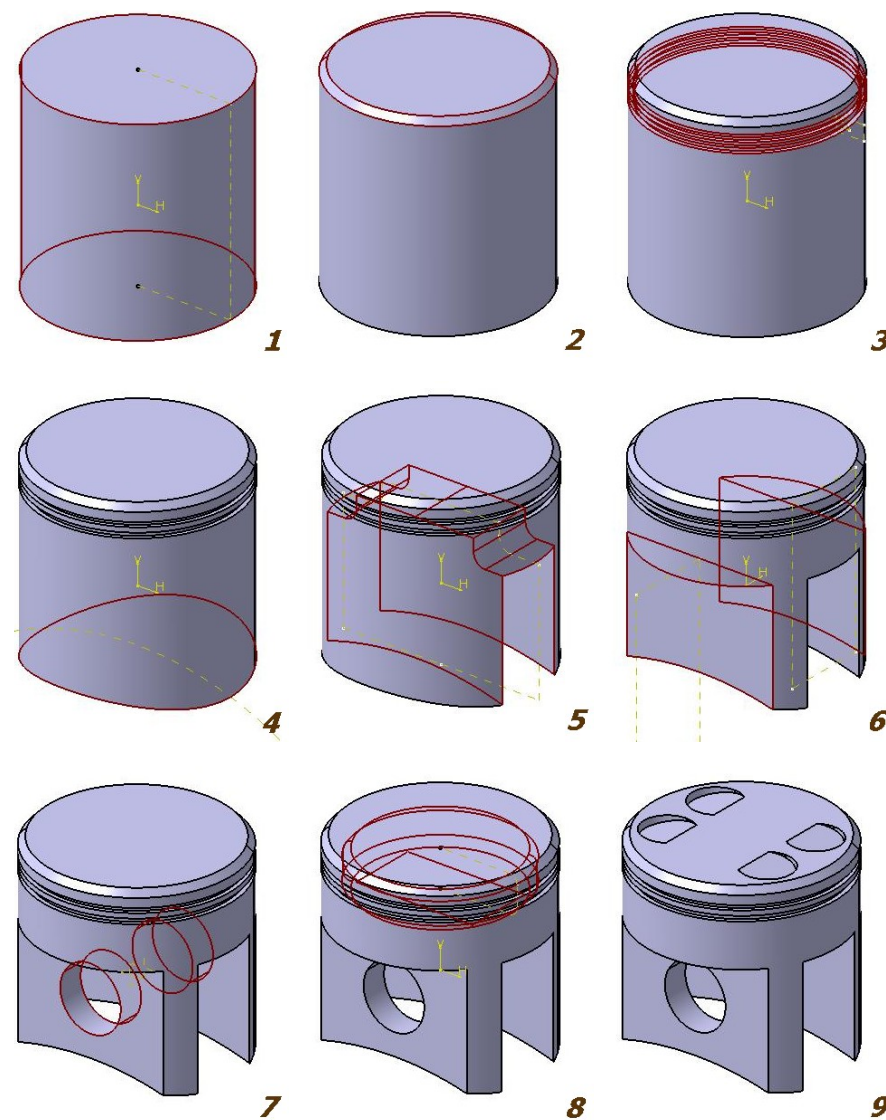
Z tvarů získaných v CAD systému se za pomoci modulů CAM systémů generují data pro NC výrobní techniku. Tímto postupem lze přenést tvary výchozího modelu do

Part Design



Obr. 2-77 Konečná podoba ojnice

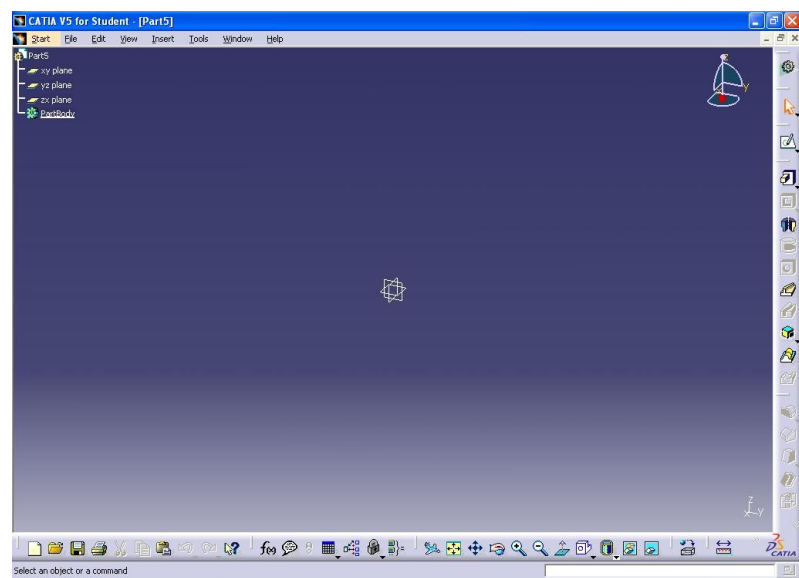
2.3 PÍST – jednotlivé fáze procesu návrhu součástky



1 – základ tělesa pístu vytvořený rotací profilu funkcí Shaft	2 – vytvoření sražení na horní hraně tělesa funkcí Chamfer	3 – vytvoření drážek pro pístní kroužky funkcí Groove
4 – vytvoření spodní radiální plochy funkcí Pocket	5 – vytvoření prostoru pro ojnicí funkcí Pocket	6 – vytvoření bočních odlehčení tělesa pístu funkcí Pocket
7 – vytvoření díry pro ojnicí čep funkcí Hole	8 – vytvoření vnitřního odlehčení pístu funkcí Groove	9 – vytvoření zhloubení pro ventily funkcí Pocket

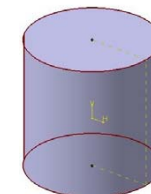
Obr. 2-78 Píst – jednotlivé fáze modelování

Na obrázku 2-78 vidíme postup namodelování součástky. Následně bude popsán postup jednotlivých kroků detailně. Modelování bude opět probíhat v pracovním prostředí **Part Design**. Tvar a rozměry součástky Píst jsou podle [115].



Obr. 2-79 Základní prostředí Part Design

2.3.1 Základ tělesa pístu vytvořený rotací profilu funkcí Shaft



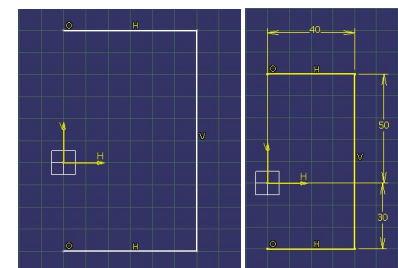
Nejprve se musíme přepnout do roviny YZ, kde pomocí funkce **Profile** vytvoříme skicu profilu.

- Ve stromu produktu vybereme rovinu YZ a ukážeme kurzorem myši na ikonu



Sketcher. Program nás automaticky přepne do normálového pohledu na tuto rovinu a zobrazí nám mřížku. Nastavení mřížky se dá měnit v menu **Tools-Options-mechanical Design-Sketcher**.

- Vzhledem k tomu, že těleso vznikne rotací, stačí načrtnout polovinu profilu po svislou osu označenou V.



Obr. 2-80 Základní skica těla pístu v Sketcher a zadání parametrů velikosti

- Profil je nejjednodušší ve skicáři nakreslit funkcí **Profile** nebo **Line** podle obrázku. Ukončení dialogu kreslení funkcí **Profile** se ukončí dvojklikem myši na požadovanou pozici kreslení profilu.
- Ve fázi skicování nemusíme brát ohled na přesný rozměr skici.
- Protože nakreslený profil totiž následně parametrizujeme, tj. zadáme jednotlivé délky resp. vzdálenosti pomocí ikony **Constraint**.



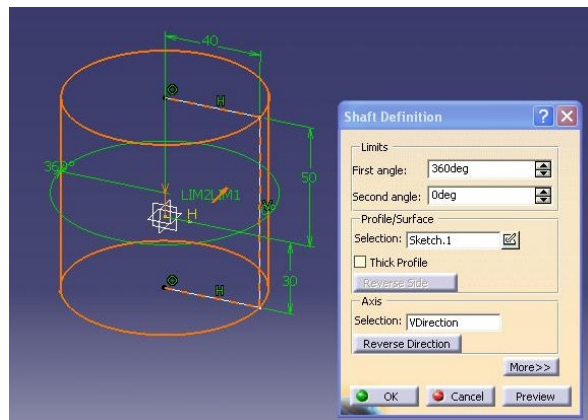
Tímto dosáhneme požadované rozměry skici.

Následně opustíme prostředí **Sketcher** přes příkaz **Exit workbench**.



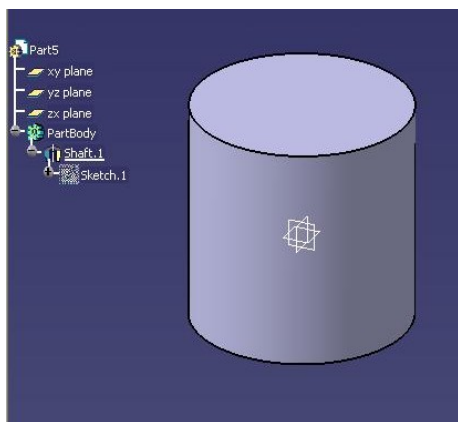
Opuštěním prostředí sketcher se dostaneme zpět do 3D modelovacího prostoru – workbench **Part Design**.

Vybereme příkaz **Shaft**  sloužící k vytvoření rotační součástky ze skici profilu. Definice tohoto příkazu vypadá následovně. Důležité je vybrat požadovaný profil, vybrat osu rotace a zadat počáteční a koncový úhel rotace.



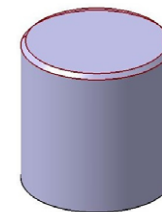
Obr. 2-81 Definice parametrů funkce Shaft na základě profilu skici

Dokončením operace získáme základní těleso pístu a strom se nám rozroste o položku **Shaft.1** vzniklou ze **Sketch.1**.

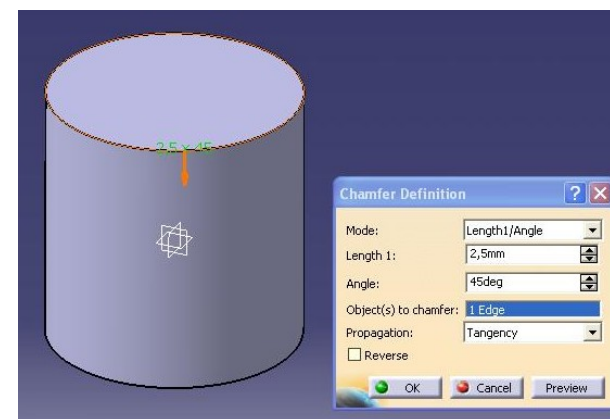


Obr. 2-82 Těleso vzniklé rotací profilu

2.3.2 Vytvoření sražení na horní hraně tělesa funkcí Chamfer



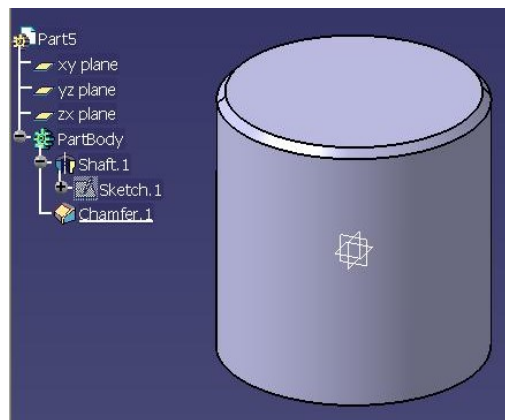
Sražení na horní hraně tělesa pístu vytvoříme pomocí funkce **Chamfer**  v prostředí **Part Design**. Operaci provedeme tak, že vybereme příkaz a následně se nám objeví dialogové okno funkce.



Obr. 2-83 Definice sražení horní hrany pístu

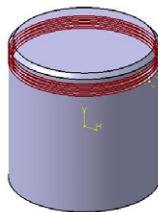
- Dialogové okno nás postupně vyzve zadat formát zadání sražení. Vzhledem k tomu, že jsme se rozhodli zadat sražení ve formátu **délka x úhel**, musíme zadat v dialogu tyto dvě hodnoty. Potom je nutné ukázat na hranu, kterou chceme srazit. Hrana se výběrem rozsvítí červeně a zobrazí se šipka orientace sražení. V našem případě by měla směřovat směrem dolů. Orientaci šipky lze jednoduše změnit kliknutím na ni.

Po potvrzení **OK** bude výsledek vypadat tak, jak ilustruje následující obrázek. Můžeme si všimnout, že strom produktu se rozrostl o položku **Chamfer.1**.



Obr. 2-84 Výsledek operace sražení

2.3.3 Vytvoření drážek pro pístní kroužky funkcí Groove



Výběrem roviny YZ ve stromu produktu a následným výběrem ikony **Sketcher**



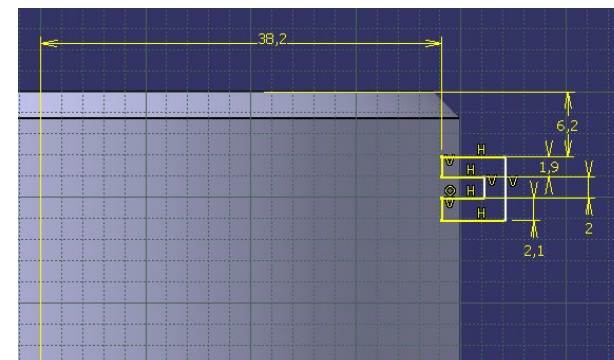
se přepneme do 2D roviny.



- V této rovině pomocí funkce **Profile** naskicujeme profil vybrání pro pístní kroužky. Následně jej parametrizujeme podle obrázku za pomoci funkce



Constraint. Kóta vzdálenosti 38,2 mm je od svislé osy V.



Obr. 2-85 Parametrizovaná skica vybrání na pístní kroužky

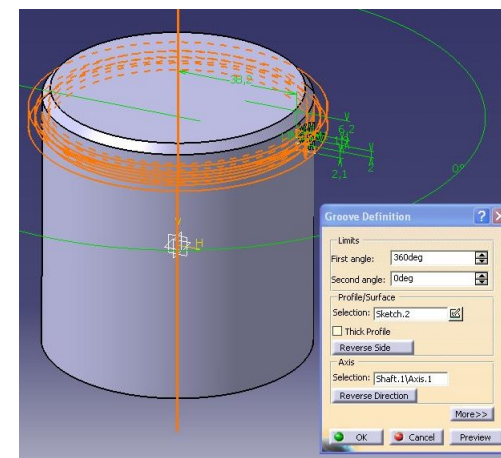
- Po dokončení skici opustíme prostředí **Sketcher** pomocí funkce **Exit workbench** a vrátíme se do 3D modelovacího prostoru **Part Design**.



V tomto prostředí vybereme funkci **Groove**, která slouží k odebrání materiálu rotací profilu skici z rotační součástky.



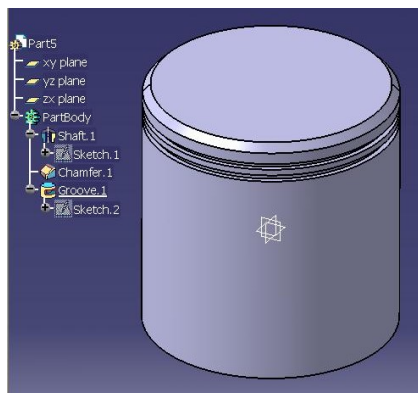
Dialog funkce vypadá následovně.



Obr. 2-86 Definice funkce Groove pro vytvoření vybrání na pístní kroužky

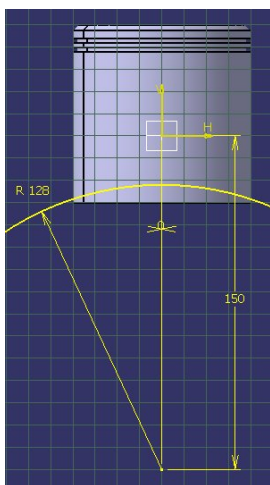
- V dialogovém okně je třeba zadat úhel rotace, skicu profilu, která má odebírat materiál a osu rotace, kolem které má skica rotovat.

Po dokončení definice potvrzením tlačítka **OK** dosáhneme následujícího vzhledu součástky. Vidíme, že strom produktu se rozrostl o položku **Groove.1**.

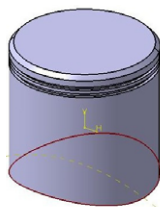


Obr. 2-87 Vytvoření vybrání na pístní kroužky

2.3.4 Vytvoření spodní radiální plochy funkcí Pocket



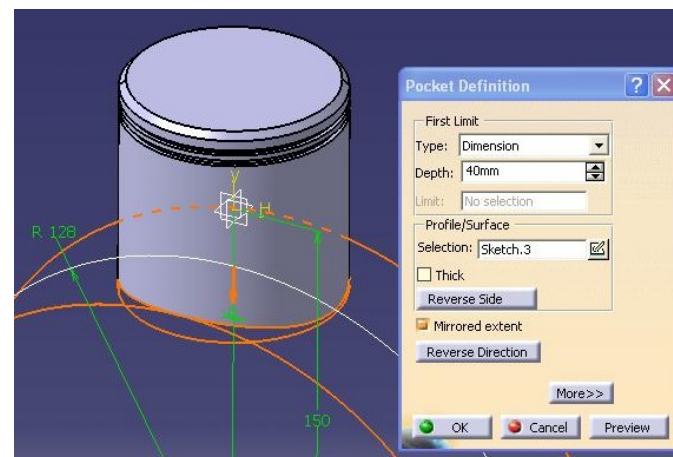
Obr. 2-88 Skica kružnice spodní radiální plochy pístu



Výběrem roviny YZ a následným kliknutím na ikonu **SKETCHER** se přepneme do vybrané roviny.

- Pomocí funkce **Circle** určíme, vyplněním dialogového okna této funkce, polohu středu kružnice a zadáme poloměr kružnice tak, jak je znázorněno na předchozím obrázku.
- Následně, pomocí funkce **Exit workbench** opustíme prostředí **Sketcher** a vrátíme se do 3D modelovacího prostoru **Part Design**.
- V tomto prostředí s pomocí funkce **Pocket** odebereme materiál ve tvaru skici z tělesa pístu.

Dialog funkce **Pocket** vypadá následovně.



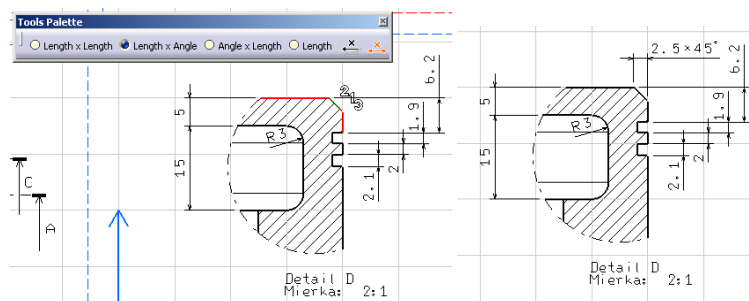
Obr. 2-89 Definice odebrání materiálu funkcí Pocket – vznik spodní radiální plochy pístu

- V dialogovém okně je nutné zadat hloubku odebrání materiálu. Vzhledem k tomu, že skica byla kreslená v rovině symetrie, je vhodné označit volbu *Mirrored extent* a zadat jen polovinu hodnoty průměru pístu (40 mm). Následně je ještě nutné označit profil naskicované kružnice.

Po dokončení definice potvrzením tlačítka **OK** dosáhneme následujícího tvaru součástky. Strom produktu se rozrostl o položku **Pocket.1**.

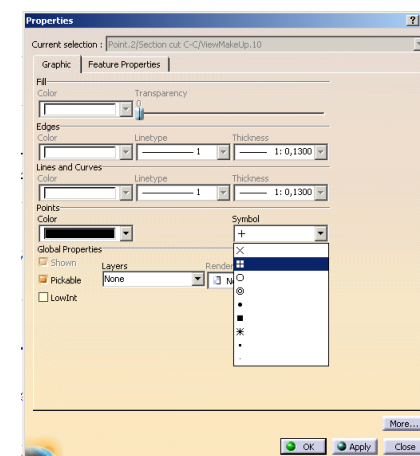
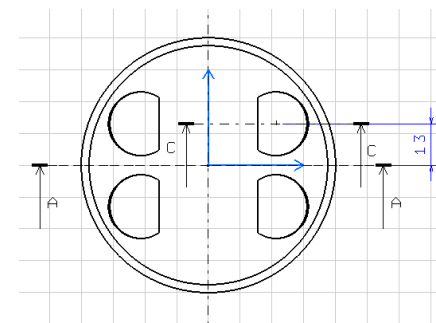
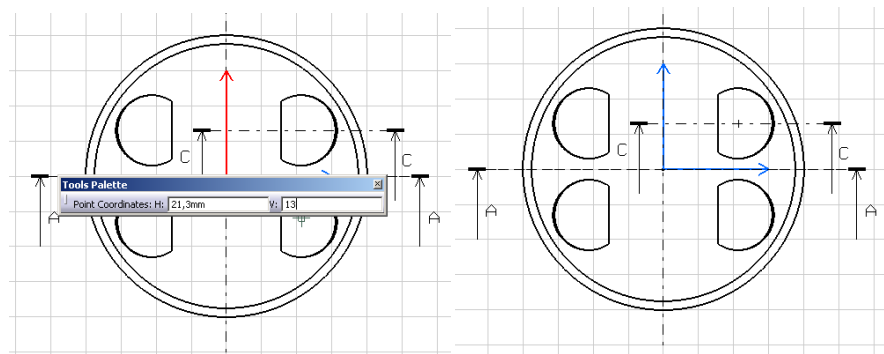
Výkresová dokumentace

Jediná změna je při kótování sražení. Při výběru sražené hrany se nám vysvítí pozice umístění kóty. Pokud se nám čísla, které se nám zjeví paralelně s hranou, vysvítí v pořadí **2 1 3**, kóta bude v horizontální poloze.



Obr. 2-165 Kótování Detailu D a sražení

Následně zakótujeme polohu řezové roviny C-C v primárním pohledu, tedy nejprve musíme aktivovat pohled. Abychom dokázali zakótovat tuto vzdálenost, musíme si vytvořit **pomocný bod** o souřadnici [21.3,13], kterým prochází osa vybraní na ventily. Nastavením se kurzorem na bod a kliknutím pravého tlačítka myši vyvoláme kontextové menu a v příkazu **Properties** změním symbol bodu na křížek. Následně zakótujeme polohu tohoto bodu, kterým prochází i řezová rovina C-C, paralelní s rovinou **YZ**.



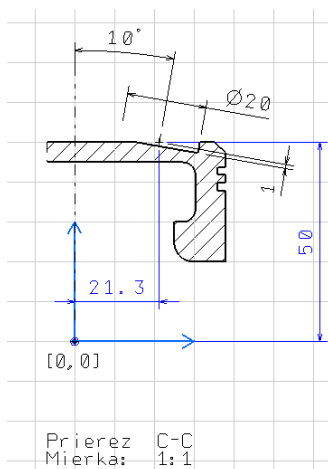
Obr. 2-166 Nakreslení bodu zadaného souřadnicemi a změna zobrazení bodu

Jako poslední zakótujeme Průřez C-C a nezapomeneme jej aktivovat.

Nejprve zakótujeme pomocí příkazu kótování úhlů úhel mezi osou válce, vybraní na ventily a osou pístu. Následně zakótujeme průměr vybraní na ventily.

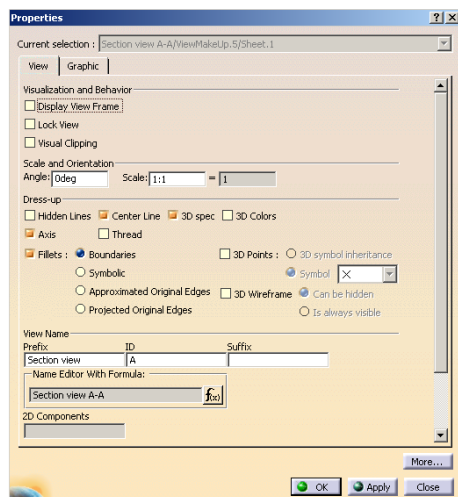
Nakonec musíme nakreslit bod se souřadnicemi [21.3,50] a následně jej zakótujeme. Vzdálenost bodu v horizontálním směru zakótujeme pomocí příkazu **Length / Distance Dimensions**. Nakonec zakótujeme zapuštění vybraní na ventily od bodu [21.3,50] do hloubky 1 mm. Na závěr nakreslíme bod v počátku [0,0]. Pravým tlačítkem myši se nastavíme na bod a vyvoláme příkaz **Properties**. V něm změním symbol znázornění bodu z tečky na křížek. Podobným způsobem můžeme změnit znázornění bodu [21.3,50].

Následně dopíšeme text [0,0]. Výsledná podoba okótovaného **Průřezu C-C** je na následujícím obrázku.



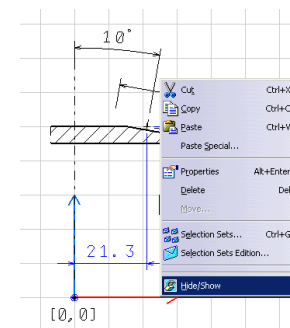
Obr. 2-167 Výsledná podoba okótovaného průřezu C-C

Při tisku výkresu se výkres automaticky tiskne i s rámečky a souřadnicovým systémem aktivního pohledu. Rámečky lze skrýt odznačením čtverečku **Display View Frame** v dialogovém okně **Properties**, záložka **View**.



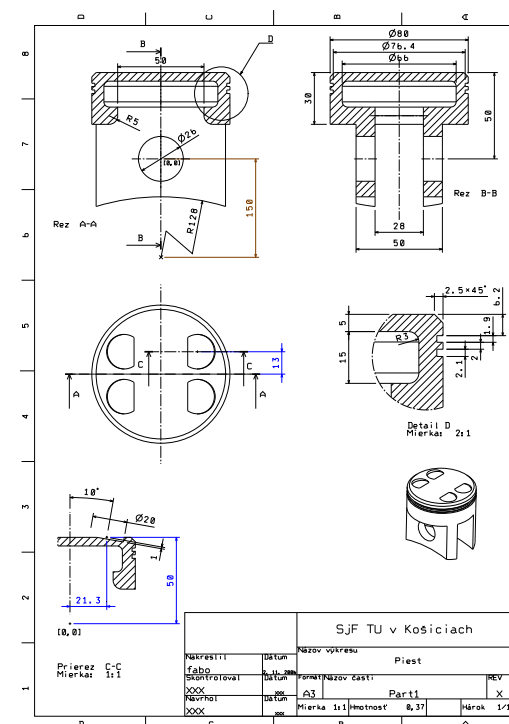
Obr. 2-168 Ukázka skrytí rámečku pohledu

Takto můžeme skrýt všechny rámečky. Souřadnicový systém skryjeme v aktivním pohledu vybráním souřadnicové osy pravým tlačítkem myši a ve vyvolaném kontextovém menu zvolíme **Hide**.



Obr. 2-169 Ukázka skrytí souřadnicového systému pohledu volbou Hide z kontextového menu

Nakonec ikonou **Sketcher Grid** na dolní liště můžeme vypnout zobrazení mřížky.

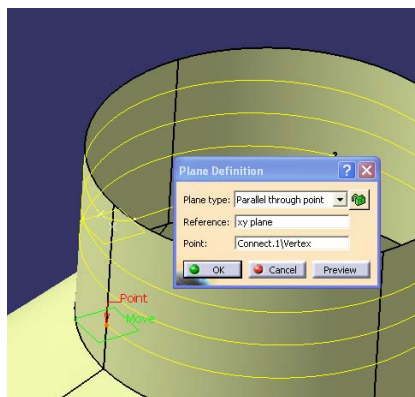


Obr. 2-170 Rozmístění pohledů na výkresu

Tvorba výkresové dokumentace píšť je tímto ukončena.

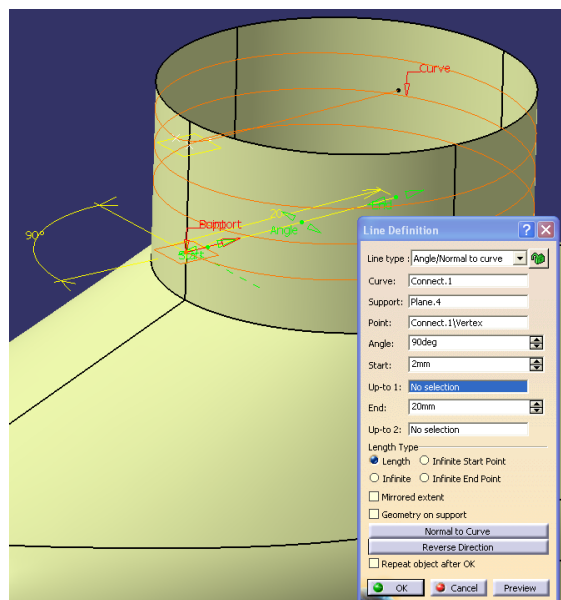
Generative Shape Design

Identický postup provedeme na spodní straně šroubovice. Přes koncový bod vytvoříme rovinu paralelní s XY.



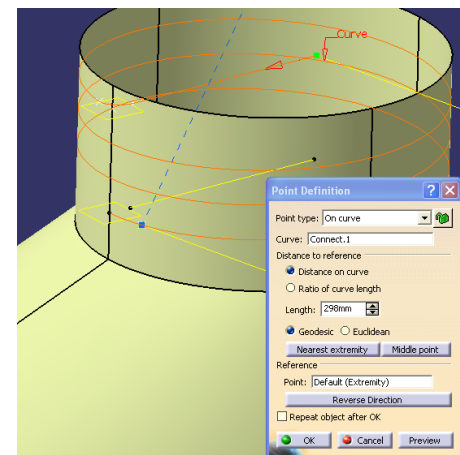
Obr. 3-85 Vytvoření roviny paralelní s XY na spodní části šroubovice

Následně vytvoříme normálovou čáru ke šroubovici v koncovém bodě. Při výběru roviny si nevšímáme zobrazovaného upozornění.



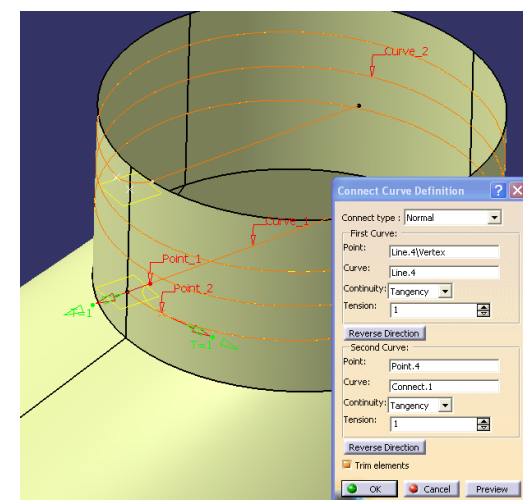
Obr. 3-86 Vytvoření normálové čáry ke šroubovici ve spodním koncovém bodě

Nyní bude vytvořen bod na křivce ve vzdálenosti 298 mm od začátku (hodnota se dá nastavit i intuitivně posuvem kurzoru po šroubovici).



Obr. 3-87 Vytvoření bodu na křivce

Následně vytvoříme spojení koncového bodu úsečky s bodem vytvořeným na křivce za pomoci příkazu **Connect Curves**.

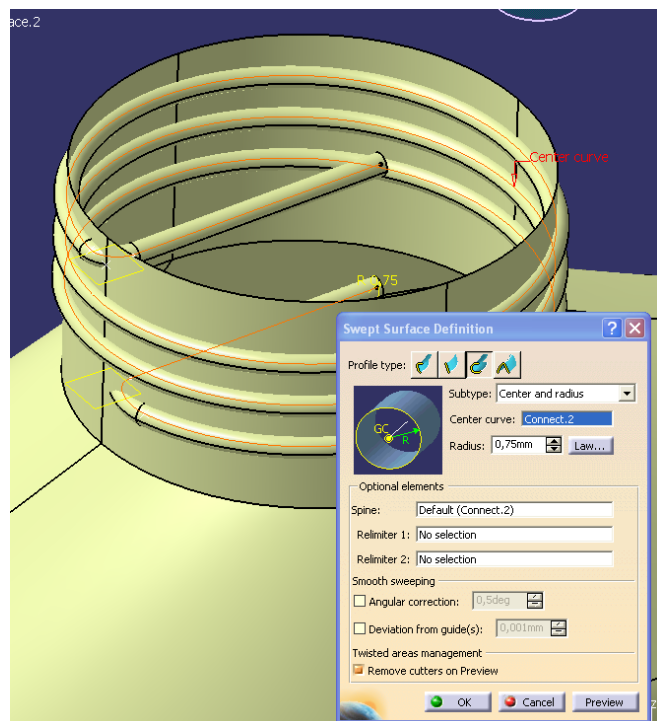


Obr. 3-88 Spojení úsečky se šroubovicí

Předposledním krokem bude vytvoření profilu závitů pomocí příkazu *Sweep*

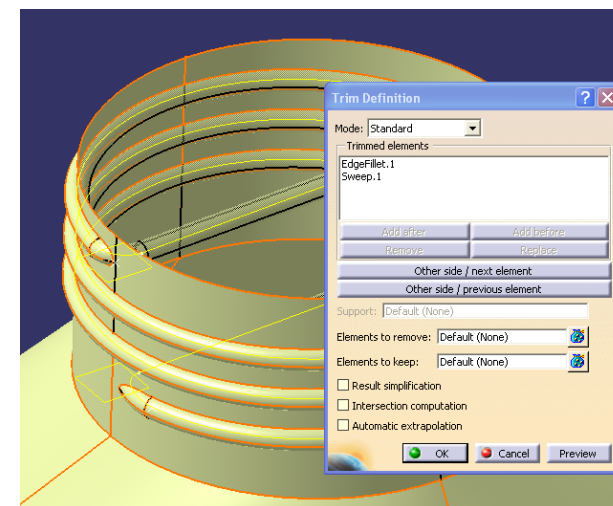


volba **Center and Radius**. Jako středovou křivku vybereme **Connect.2** a zadáme rádius $R=0,75$ mm.



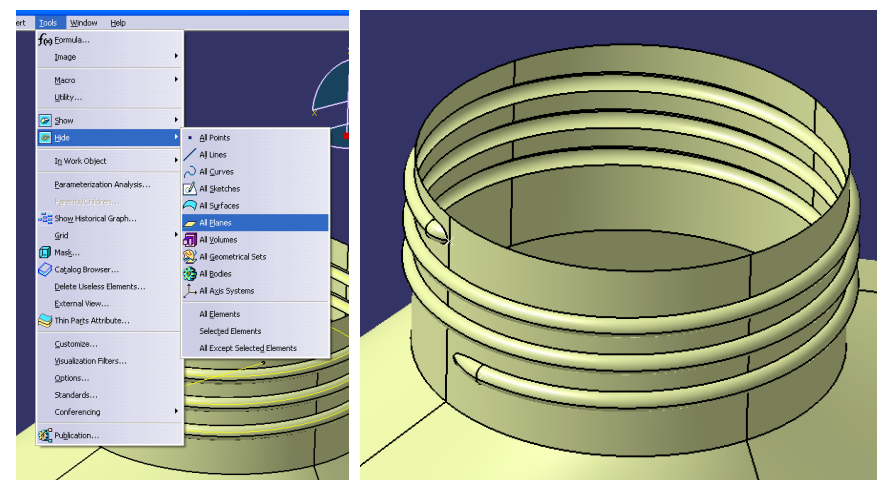
Obr. 3-89 Vytvoření radiální plochy po šroubovici – profil závitů

Nakonec nám ještě zbývá pomocí funkce **Trim** oříznout profil závitů vůči hrdlu láhve. Pro správné oříznutí musíme opět použít tlačítka **Reverse side** v menu **Trim Definition**.



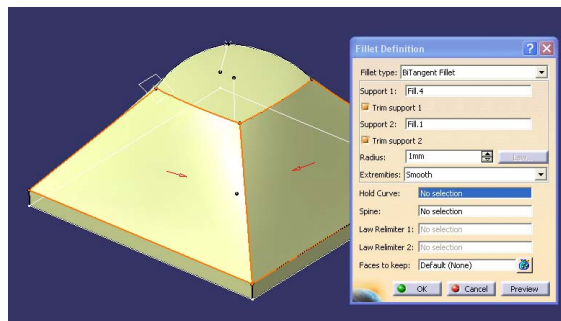
Obr. 3-90 Definice oříznutí profilu závitů vůči hrdlu láhve

Pomocí **Tools – Hide** skryjeme pomocné roviny a křivky.

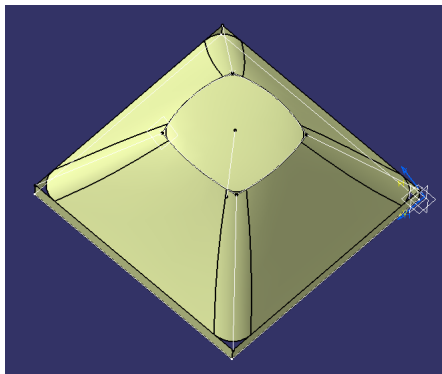


Obr. 3-91 Skrytí tvořící geometrie pomocí Hide

Na následujícím obrázku je kompletní model plastové láhve s držadlem a závitěm. Na obrázku je také kompletní strom produktu, v němž jsou postupně zobrazeny všechny operace použité při vytvoření modelu.



Obr. 3-102 Definice zaoblení Fillet Definition

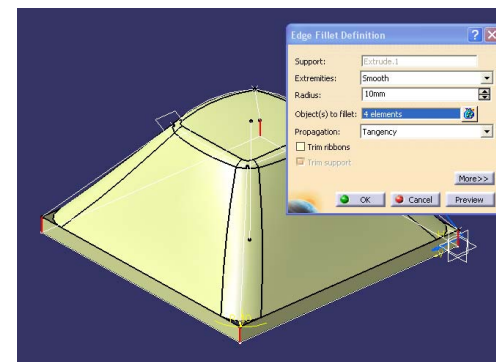


Obr. 3-103 Spojení ploch zaoblením

Následně spojíme vrchlík s bočními stěnami pomocí funkce **Shape Fillet** radiální plochou o $R=5$ mm.

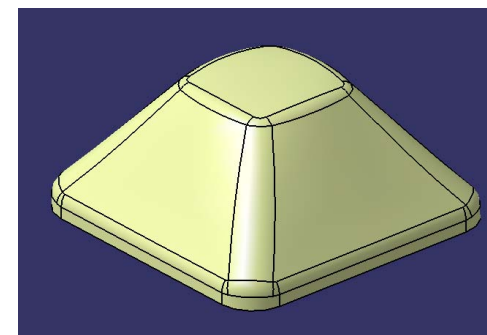
Obr. 3-104 Spojení vrchlíku s bočními stěnami $R=5$ mm

Vzhledem k tomu, že spodní základ byl vytvořen z obdélníku příkazem **Extrude**, tvoří tento základ jeden plošný model, a tak hrany můžeme zaoblit pomocí příkazu **Edge Fillet** o $R=10$ mm.



Obr. 3-105 Zaoblení hran podstavy

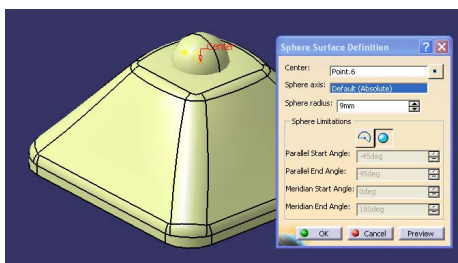
Nyní spojíme podstavu s horní částí snímače radiální plochou $R=5$ mm pomocí příkazu **Shape Fillet**. Pomocí funkce **Tools-Hide** skryjeme veškerou tvořící geometrii (skici, roviny, křivky a body).



Obr. 3-106 Spojení podstavy s horní částí

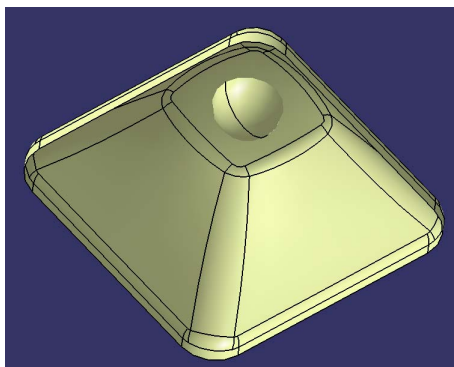
3.4.7 Vytvoření kulového vrchlíku

Následně namodelujeme kouli příkazem **Sphere** o středu v bodě $[40,40,37]$ a s poloměrem 9 mm.

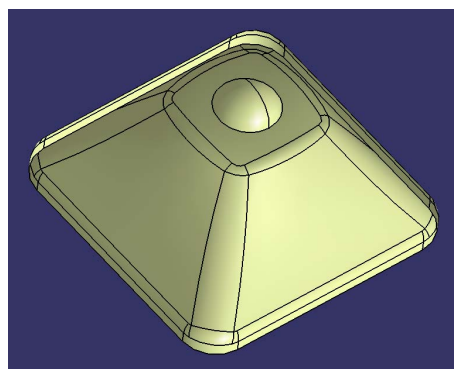


Obr. 3-107 Definice kulové plochy

Vzhledem k tomu, že vytvořená kulová plocha nám zasahuje do nitra tělesa, ořežeme ji pomocí příkazu **Trim**  vůči vrchlíku.



Obr. 3-108 Přesah kulové plochy do nitra tělesa

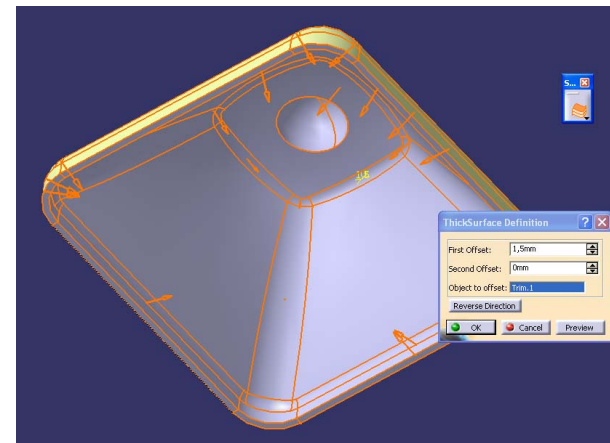


Obr. 3-109 Kulová plocha po ořezání

3.4.8 Vytvoření skořepiny

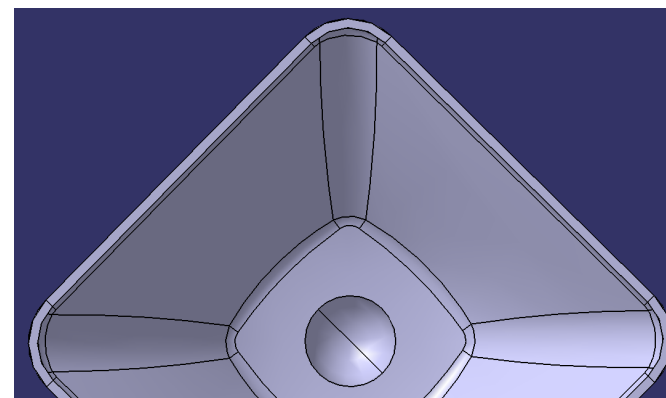
Posledním krokem, bude vytvoření skořepiny z tohoto povrchového modelu. Nicméně, musíme se přepnout do prostředí **Part Design** přes menu **Start-Mechanical**

Design-Part Design. V tomto menu si vybereme příkaz **Thickness**  a zvolíme 1,5 mm tloušťku skořepiny. Orientace skořepiny je určena směrem šipek, orientujeme je dovnitř.



Obr. 3-110 Definice Thick Surface Definition

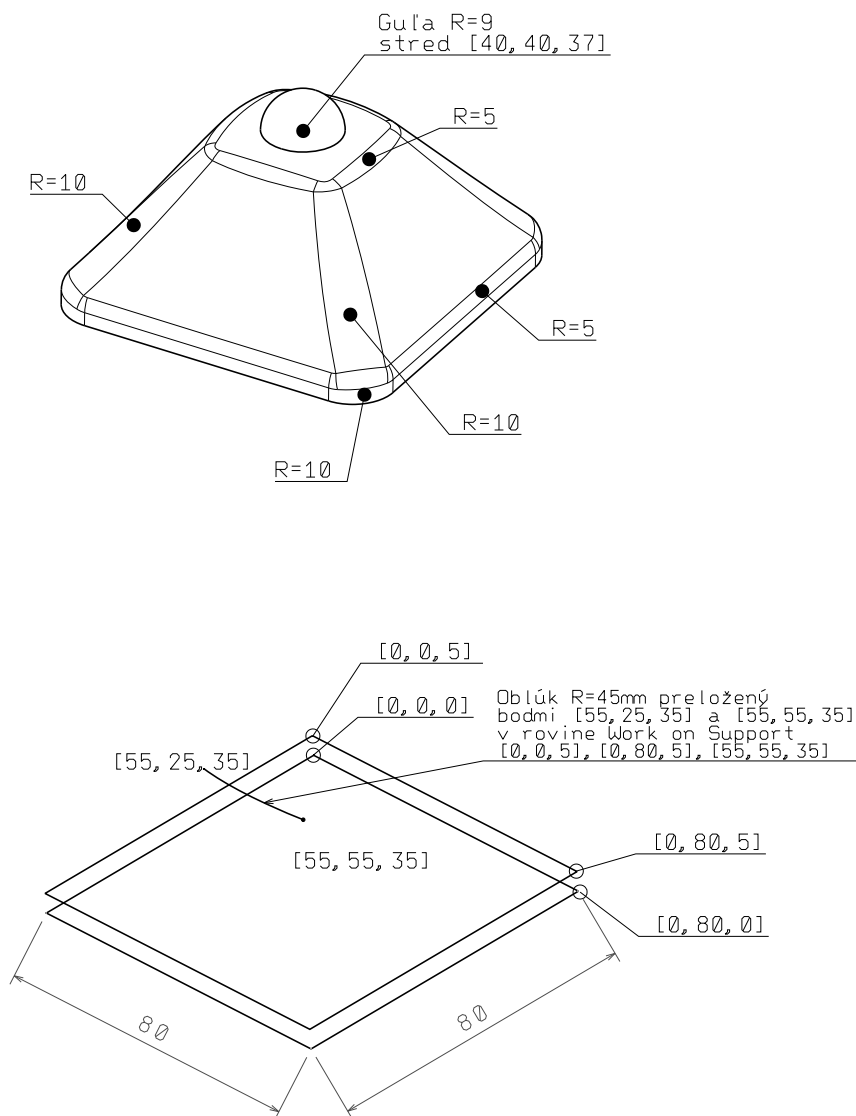
Povrchový model skryjeme pomocí příkazu **Hide** a zůstane nám vizualizovaný pouze objemový model skořepiny tělesa.



Obr. 3-111 Normálový pohled na tloušťku stěny skořepiny

Obrábění pomocí CNC techniky

Kryt snímače



Obr. 3-116 Rozměry krytu snímače

Počítačem podporovaná výroba CAM (Computer Aided Manufacturing)

4 CA.. technologie a obrábění pomocí CNC techniky

CAD/CAM systémy způsobily revoluci v oblasti návrhu a výroby forem v automobilovém i spotřebním průmyslu. Mnoho tvarů vložek lisovacích nástrojů není možné vyrobit klasickou cestou: model – kopírovací frézka. Zde je prostor pro použití CAD/CAM systémů pro vytvoření virtuálního modelu a vygenerování dat pro CNC obráběcí centra.

Základy CNC řízení strojů sahají do druhé poloviny 50. let minulého století jako odpověď na výzvu amerického leteckého průmyslu. Jednalo se však o přímé programování řídicích systémů NC strojů.

První veřejné představení NC stroje, řízeného za pomoci dat z CAD/CAM, se pravděpodobně konalo v roce 1972 na výstavě Machine Tool Exhibition v Olympii v New Yorku.

4.1 Základní teorie NC řízení strojů

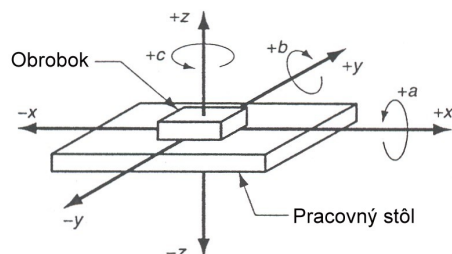
Princip CNC stroje spočívá v tom, že nástroj je veden na základě souřadnic z počítačového modelu, čímž se přenáší tvar modelu do polotovaru. Děje se tak na základě NC dat vygenerovaných CAM modulem na základě virtuálního CAD modelu.

Dále bude stručně popsána základní teorie řízení NC resp. CNC strojů.

4.1.1 Numerický řídicí systém

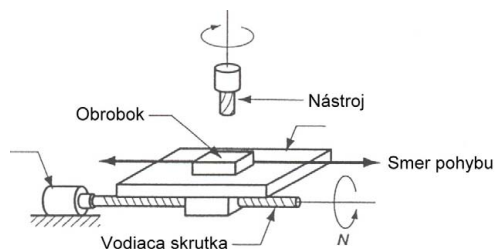
Numerický řídicí (NC) systém je metoda řízení pohybu komponentů obráběcího stroje kódovanými instrukcemi ve formě alfanumerických dat. Řídicí systém stroje automaticky interpretuje tato data a převádí je do výstupních signálů. Tyto signály řídí jednotlivé komponenty stroje, jako jsou otáčky vřeten, výměna nástrojů, pohyb obrobku nebo nástroje po určené dráze, zapnutí nebo vypnutí chlazení nástroje emulzí. [60] Tato data generuje většinou CAM systém ve tvaru APT. Je to všeobecný programovací jazyk NC strojů, kterým jsou popsány jednotlivé strojové instrukce jednoduchými příkazy. Tento programovací jazyk vznikl v roce 1958 jako výsledek výzkumu v leteckém průmyslu v USA. [52]

Základem správné komunikace je vzájemná koordinace souřadnicového systému CAD/CAM se souřadnicovým systémem obráběcího stroje.



Obr. 4-1 Souřadnicový systém používaný v NC řízení [52]

Schéma NC polohovacího systému je na následujícím obrázku.



Obr. 4-2 Schéma polohovacího systému v NC řízení [52]

4.1.2 Základní data NC řízení

Základní data numerického řízení by se dala rozdělit takto:

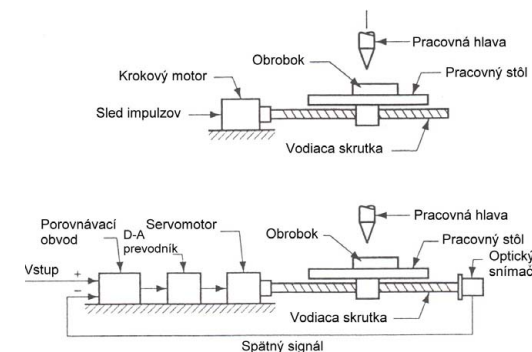
- Vstupní data** – Numerické informace vygenerované CAD/CAM systémem, uložené na paměťovém médiu nebo přímo v paměti počítače.
- Procesní** – Řídicí data načtená do řídicího systému stroje za účelem jejich zpracování.
- Výstupní data** – tyto informace jsou přeloženy do impulsních signálů pro řízení pohonů stroje. Pohony řídí polohu pracovního stolu s obrobkem vzhledem k vřetenu stroje, roztáčejí vřeteno s nástrojem, atd.

4.1.3 Typy řídicích obvodů

Numericky řízené stroje mohou být řízeny dvěma typy řídicích obvodů: *otevřeným obvodem* nebo *uzavřeným obvodem*.

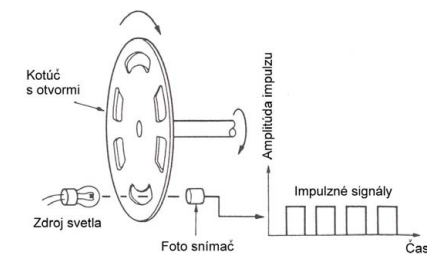
U systému řízení otevřeným obvodem signály k servomotoru posílá procesor, ale pohyb a cílová poloha pracovního stolu není kontrolována na přesnost.

Systém řízení uzavřeným obvodem je vybaven různými měniči, snímači a počítačy, které přesně měří polohu. Skrze zpětnou kontrolu je poloha porovnávána s vysílanými signály. Pohyb stolu je ukončen, když je dosaženo požadované polohy. Uzavřený systém řízení je však složitější a dražší oproti otevřenému systému.



Obr. 4-3 Schéma otevřeného a uzavřeného obvodu řízení pohybu [52]

Tyto systémy používají různé snímače založené na magnetickém nebo fotoelektrickém principu.



Obr. 4-4 Princip práce fotoelektrického snímače [60]

4.1.4 Systémy řízení pohybu

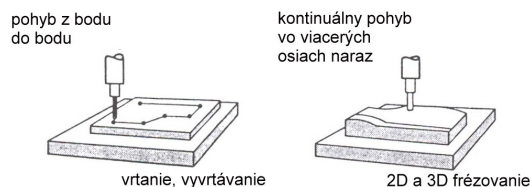
Systém řízení pohybu při NC se dá rozdělit na 2 typy:

- Systém z bodu do bodu
- Systém spojitě-kontinuální dráhy

Při polohování systémem z *bodu do bodu* je pohyb nástroje nebo pracovního stolu realizovaný přemístěním do požadované polohy, neuvažujíc dráhu pohybu k dosažení požadované pozice. Když je pohyb do dané pozice ukončen, provede se obráběcí ope-

race, nejčastěji vrtání. Jde vlastně o polohování nástroje do bodu, v němž se operace provádí. Většinou se provádí pohyb pouze v jedné ose, nikdy není pohyb ve dvou osách najednou. [60]

Při polohování systémem *kontinuální dráhy* se provádí pohyb ve více než jedné ose najednou. Tento systém umožňuje nástroji obrábět dvojdimenzionální křivky nebo trojrozměrné kontury. Takový systém se využívá hlavně při soustružení, frézování, broušení a řezání plamenem. [60]

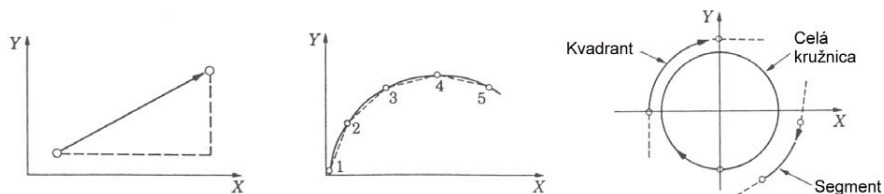


Obr. 4-5 Schématické ukázky systémů řízení pohybu [60]

Pohyb podél dráhy nebo interpolace se provádí inkrementálně, jednou z několika základních metod.

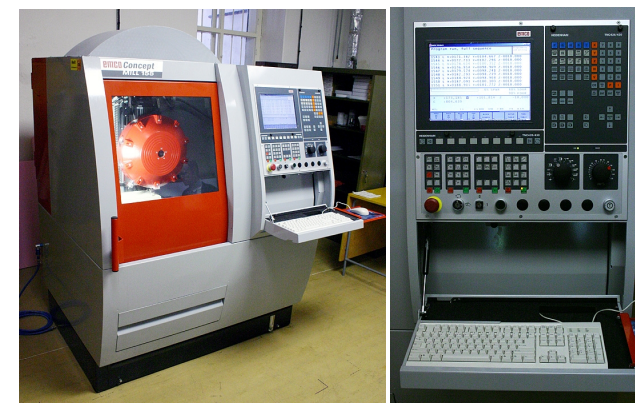
Při *lineární interpolaci* se nástroj pohybuje po přímé dráze od startovacího bodu po koncový bod dráhy ve dvou nebo třech osách najednou. Teoreticky všechny typy profilů mohou být opracovány tímto druhem interpolace, tím, že zvolíme malou hodnotu vzdálenosti mezi dvěma body. Každá dráha může být aproximovaná krátkými úsečkami.

Při *kruhové interpolaci* je nutné zadat souřadnice koncových bodů oblouku, střed kružnice, rádius kružnice a orientaci pohybu nástroje podél oblouku. [60]

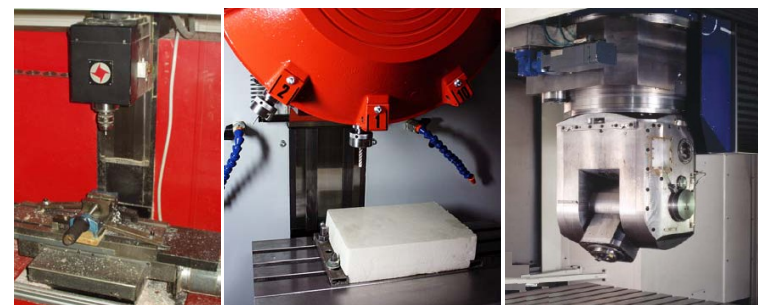


Obr. 4-6 Typy interpolace: lineární, kontinuální dráha aproximovaná úsečkami, kruhová [60]

Na následujícím obrázku je znázorněna 3D frézka EMCO Concept MILL 155 a na dalším je znázorněna pracovní hlava 3D a 5D frézky.



Obr. 4-7 3D frézky EMCO MILL 155 a ovládací panel stroje



Obr. 4-8 Jednoduchá pracovní hlava 3D frézky, karuselová hlava 3D frézky a hlava 5D frézky

4.1.5 CAM – generování dat pro CNC obrábění na základě virtuálního modelu

Následně se budeme zabývat generováním NC dat na základě CAD modelu.

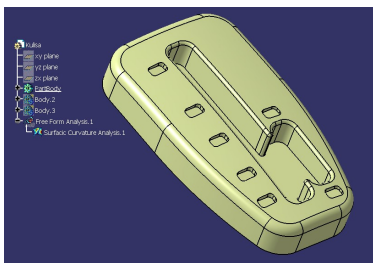
Pojem Computer Aided Manufacturing by se dal stručně charakterizovat takto: je to použití počítačů a počítačových technologií, které asistují ve všech fázích výroby produktu.

Pomocí geometrie modelu, který byl vytvořený v CAD systému použitím CAM, umíme vygenerovat data pro jeho výrobu. V podstatě v CAM systému definujeme dráhu nástroje obráběcího stroje, který bude kopírovat tvar povrchu modelu vytvořeného v CAD.

Na základě povrchového modelu se generují s pomocí CAM modulu systému data pro CNC stroj.

4.1.6 Sled činností při definování obrábění frézováním v CAM prostředí CATIA

- Výběr obráběcího stroje, definování základních parametrů,
- sladění souřadnicového systému modelu se souřadnicovým systémem stroje,
- základní vymezení: polotovaru, obrobku, bezpečné roviny (rovina, v níž se bude nástroj přemísťovat mezi jednotlivými operacemi pro vyloučení nežádoucí kolize mezi nástrojem a obrobkem),
- definování parametrů nástroje,
- definování částečných operací obrábění: výběr polotovaru, obrobku, bezpečné roviny, horní a spodní roviny, kontrolních kontur nebo ploch, přidavku na obrábění pro konkrétní operaci,
- volba strategie dráhy nástroje po jednotlivých površích součástky pro konkrétní operaci,
- definování řezných podmínek, nastavení parametrů ovlivňujících výslednou kvalitu obráběného povrchu,
- definování maker pro přísun nástroje do záběru a odsun nástroje ze záběru,
- vizualizace a verifikace korektnosti dráhy nástroje,
- generování NC kódu pro CNC stroj ve tvaru APT (Automatically Programmed Tool), CL File (Cutter Location File) případně přímo pro konkrétní řídicí systém CNC stroje.



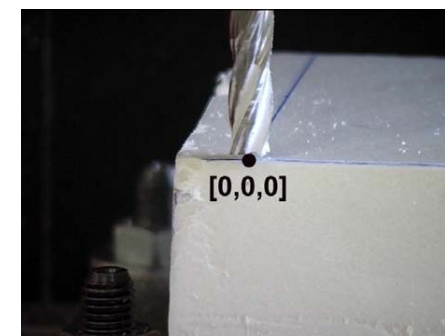
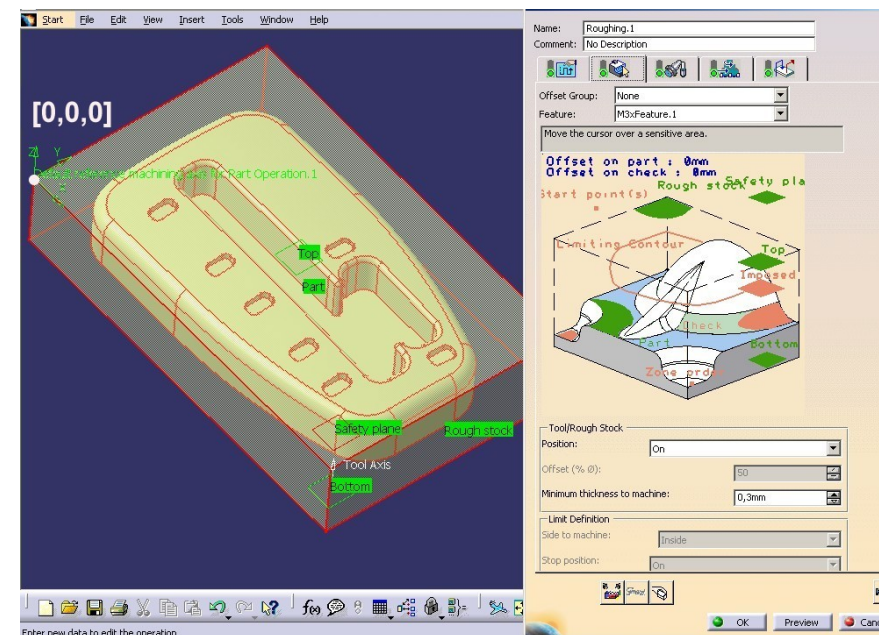
Obr. 4-9 Model kulisy řazení automatické převodovky [105]

4.1.7 Sladění počátků souřadnicových systémů

Základem správného přenesení tvaru virtuální předlohy do polotovaru je sladění souřadnicového systému CAD/CAM prostředí s počátkem souřadnicového systému stroje. Počátek, definovaný na polotovaru v CAD/CAM, se ztotožní s počátkem na fyzickém polotovaru upnutém na polohovacím stole stroje. Vzhledem k tomu, že reálný polotovar má ve směru delší strany přidavek na upnutí (v CAD/CAM je tento polotovar namodelovaný bez tohoto přidavku), počátek na polotovaru, upnutém ve stroji, nebude v rohu kvádra, ale posunutý o tento přidavek.

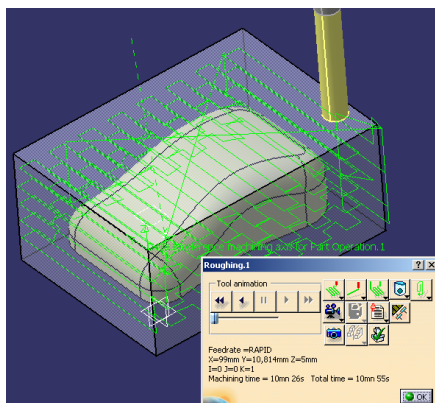
4.1.8 Definování dráhy nástroje pro operace obrábění na hrubo

V prvním kroku bude popsána základní strategie dráhy nástroje pro hrubování polotovaru **Roughing** na modelu kulisy řazení. Jde vlastně o rychlé odebrání přebytečného materiálu z polotovaru v několika paralelních rovinách. Dialog definice základních prvků je na následujícím obrázku. Vizualizace zpracování přibližného tvaru kulisy v šesti paralelních rovinách je znázorněna na dalších obrázcích.



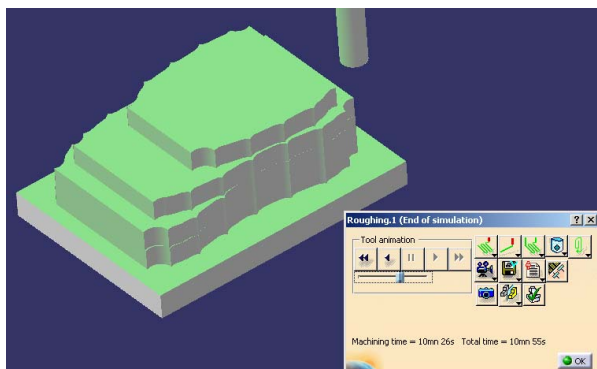
Obr. 4-10 Definování jednotlivých prvků pro obrábění nahrubo a sladění počátku souřadnicového systému CAD/CAM se souřadnicovým systémem stroje

Computer Aided Manufacturing



Obr. 4-43 Polotovár, naznačená dráha nástroje a menu animace dráhy nástroje po výběru funkce Tool Path Replay

Stisknutím tlačítka **Forward Replay**  se spustí simulace.



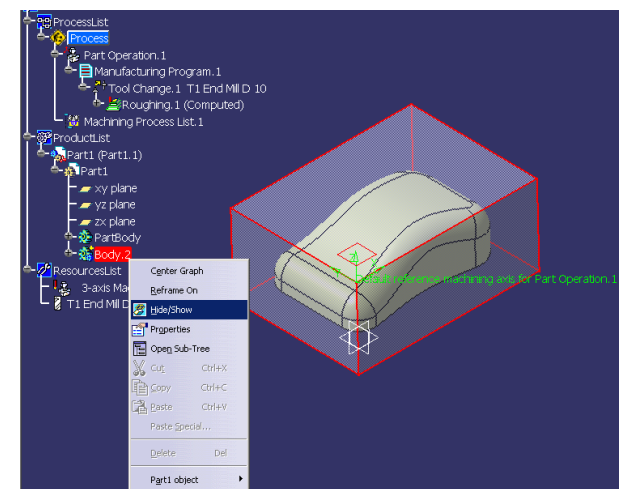
Obr. 4-44 Vizualizace úběru materiálu nástrojem

Obrobení polotovaru nahruho bylo dokončeno.

4.2.3 Obrábění načisto operací Sweeping

4.2.3.1 Definice nástroje

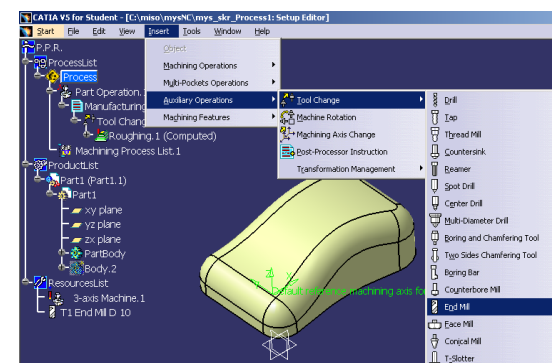
Nyní nadefinujeme nástroj pro operaci obrábění načisto. Polotovár již splnil svoji úlohu a k definici jej už nebudeme potřebovat. Myší se nastavíme na **Body.2** ve stromu produktu a pravým tlačítkem vyvoláme kontextové menu, kde vybereme položku **Hide**. Tím jsme těleso polotovaru skryli do vrstvy „skryta/zobrazena“ (Hide/Show).



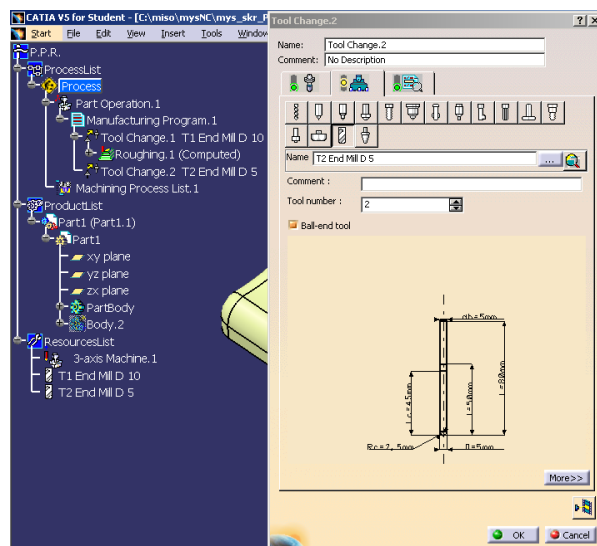
Obr. 4-45 Skrytí tělesa polotovaru Body.2 do vrstvy Hide

Operaci hrubování budeme provádět stopkovou frézou s půlkulatou hlavou průměru $D=5$ mm. Nástroj definujeme známým postupem přes menu **Insert**, jako na následujícím obrázku.

Následně musíme ukázat na poslední operaci, kterou chceme uskutečnit výměnu nástroje. V našem případě ukážeme na **Roughing.1** ve stromu produktu. Tak se nová operace provede již s nově definovaným nástrojem.



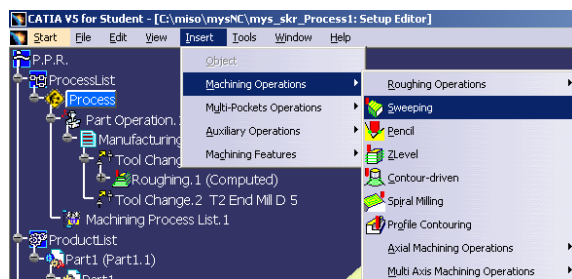
Obr. 4-46 Vyvolání menu definice nového nástroje



Obr. 4-47 Definice nástroje pro operaci načisto

Parametry nástroje definujeme podle hodnot na obrázku. Nesmíme zapomenout změnit i průměr v názvu nástroje na D 5, aby název nástroje ve stromu produktu odpovídal nastavené hodnotě v definičním okně. Vidíme, že strom se rozrostl o položku **Tool Change.2** v **Manufacturing Program.1** a o **T2 End Mill D 5** v **ResourceList**.

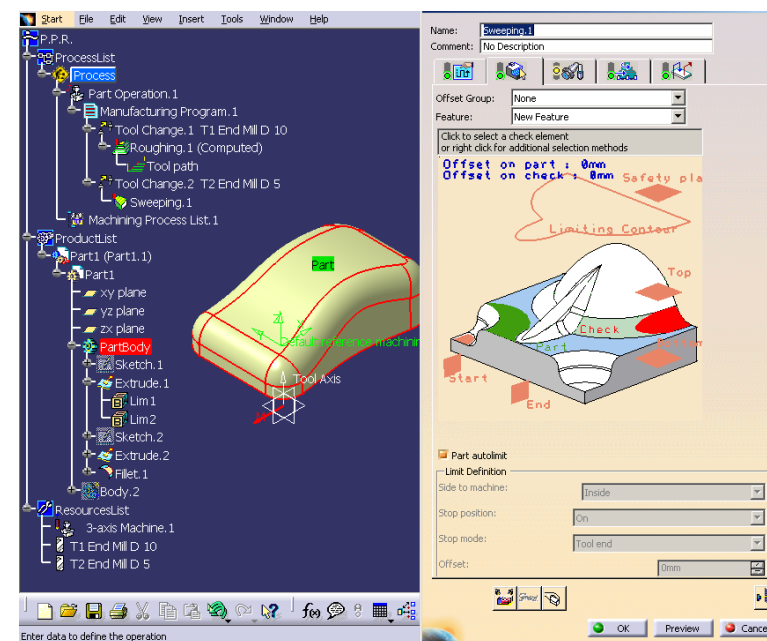
4.2.3.2 Definice strategie dráhy nástroje Sweeping



Obr. 4-48 Spuštění operace Sweeping

Strategii dráhy nástroje **Sweeping** pro obrábění načisto vybereme přes známé menu **Insert**.

Následně musíme ukázat na položku **Tool Change.2**, což znamená, že operace se provádí s tímto nástrojem.



Obr. 4-49 Definiční okno definice příkazu Sweeping

Vzhledem k tomu, že obrábíme načisto, můžeme změnit přídavek na obrábění na nulovou hodnotu – **Offset on part=0 mm**. Rovněž offset od kontrolních ploch může být nulový. **Offset on check=0 mm**. (V našem případě nebylo potřeba tyto plochy definovat).

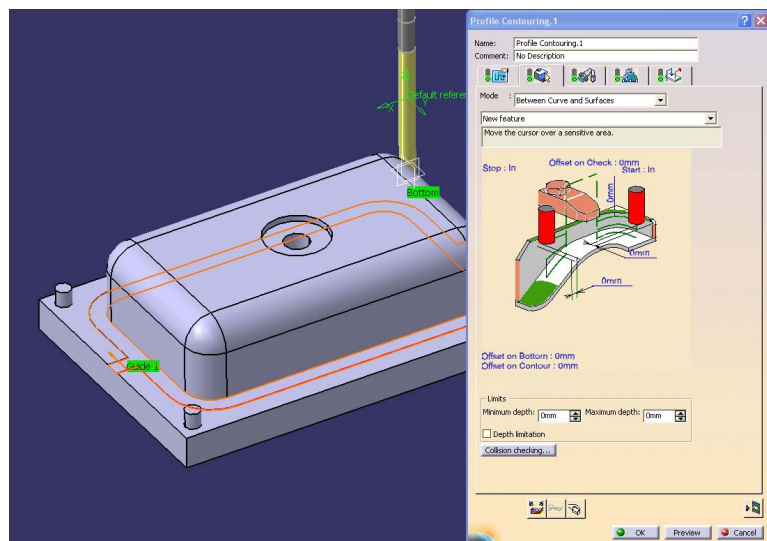
Výběr obrobku provedeme kliknutím na ikonu **Part** v obrázku dialogového okna a následně ukážeme na **PartBody** ve stromu produktu, který reprezentuje náš model, jako na obrázku nahoře.

Následně definujeme bezpečnou rovinu kliknutím na ni.

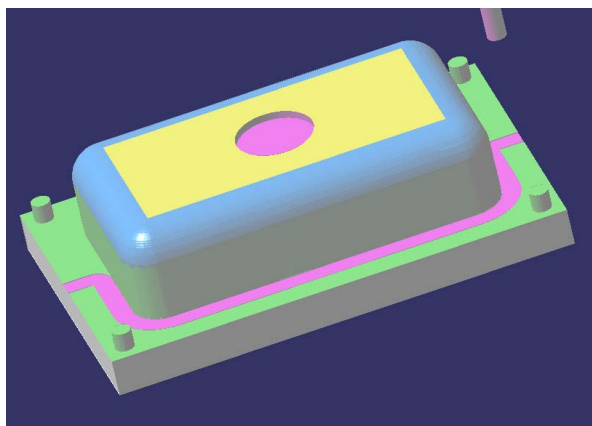
Vzhledem k tomu, že **Safety plane** přísluší k **Body.2**, kterou jsme skryli do **Non Show** vrstvy, ukážeme si, jak ji vybrat. Ukázáním myši na **Safety plane** v dialogovém okně **Sweeping** nás program přepne do modelovacího prostoru, kde bychom měli kliknout na tuto rovinu. Tato rovina však není viditelná, ale víme, že je ve vrstvě **Non**

Show. Proto klikneme na ikonku přepínače **Swap Visible Space**, čímž se přepneme do vrstvy, kde jsou skrytá jednotlivá tělesa jakož i geometrie, kterou jsme dali skryt.

Forma

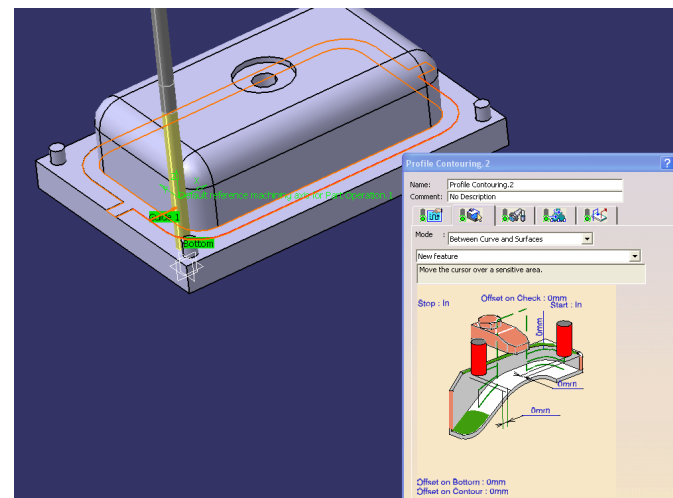


Obr. 5-115 Definování první poloviny kanálku

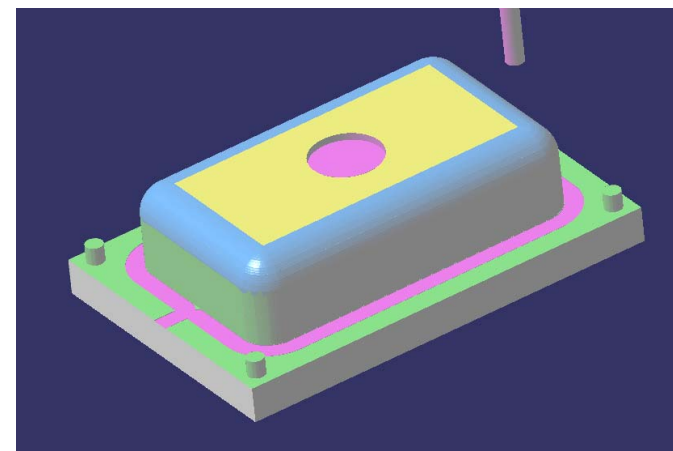


Obr. 5-116 Obrobek po provedení operace Profile Contouring

Druhou polovinu vytvoříme podobně. Abychom nemuseli označovat klikáním celou křivku, stačí nám ukázat na první část a z menu vybrat první volbu **Navigate on Belt of Edge**. Tato volba nám zajistí, že program automaticky selektuje kontinuální křivku.



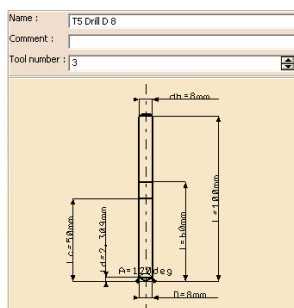
Obr. 5-117 Definování druhé části kanálku



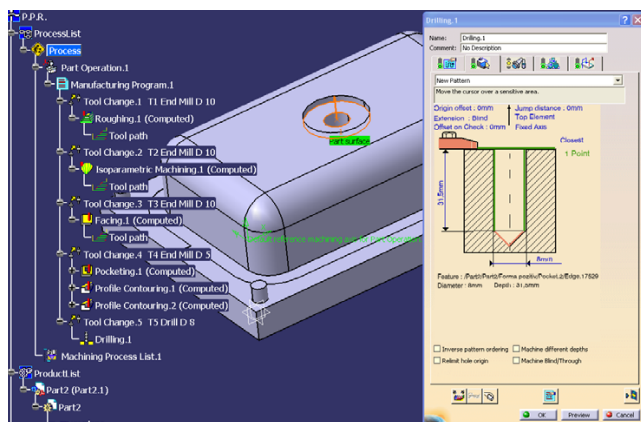
Obr. 5-118 Obrobek po obrobení druhé části kanálku

Poslední operací bude vytvoření díry prvního stupně vtoku vrtáním. Nejprve definujeme vrták průměru $D=8\text{ mm}$ a následně použijeme operaci **Drilling**.

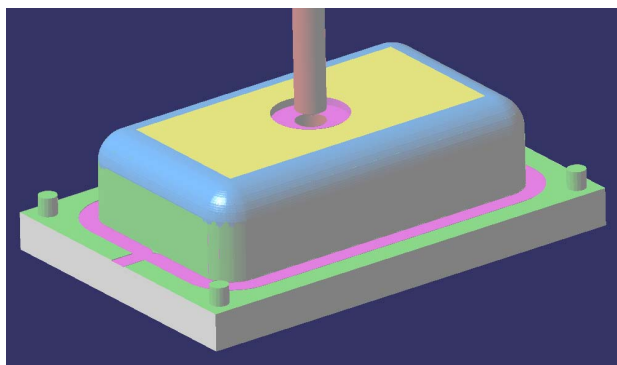




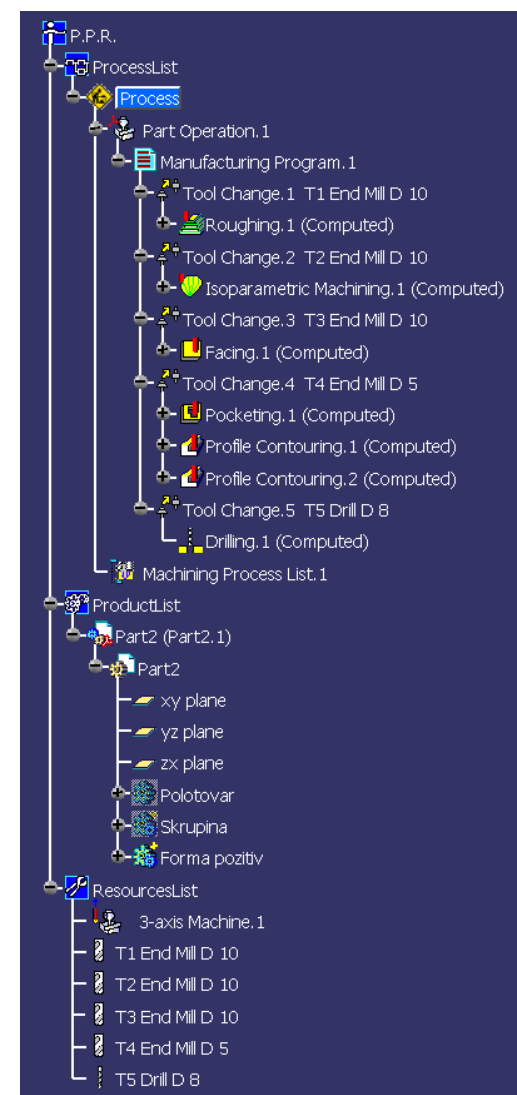
Obr. 5-119 Definování vrtáku průměru D=8 mm



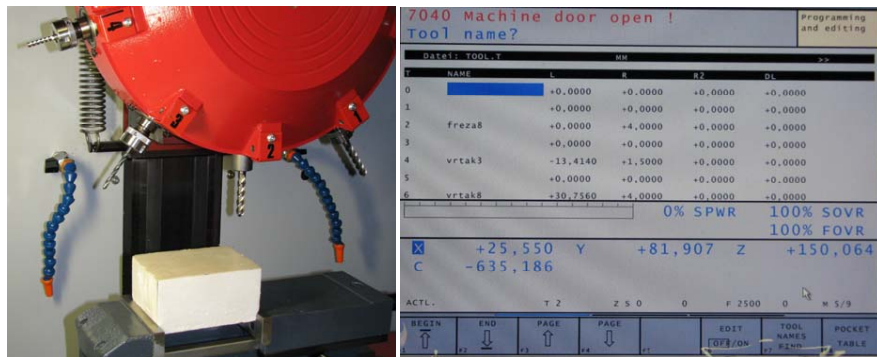
Obr. 5-120 Definování operace vrtání



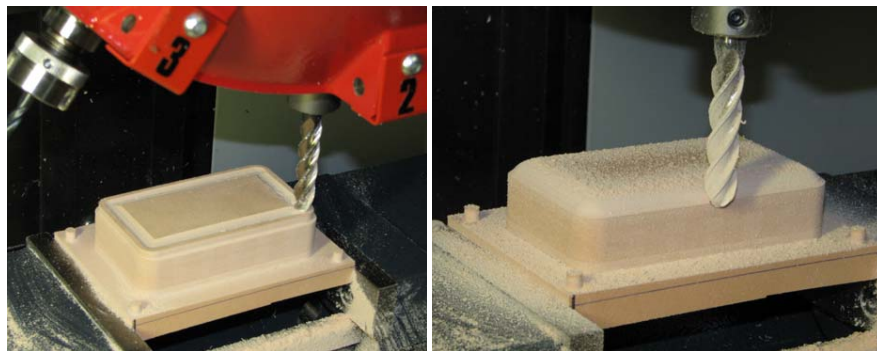
Obr. 5-121 Kompletně obrobena Vložka formy



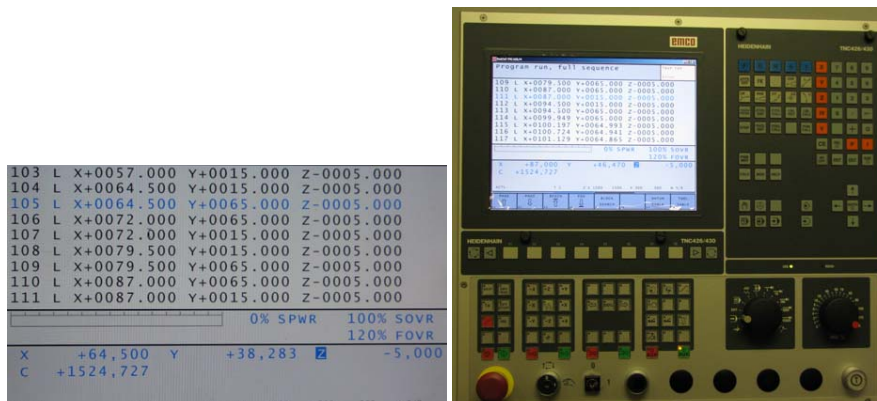
Obr. 5-122 Kompletní strom historie vytvoření produktu



Obr. 5-123 Nástrojové osazení a tabulka korekcí nástrojů



Obr. 5-124 Obrábění vložky formy



Obr. 5-125 Sekvence příkazů CNC programu a řídicí panel frézy



Obr. 5-126 Model formy ze syntetického dřeva



Obr. 5-127 Porovnání virtuálního modelu s reálně obroběným modelem

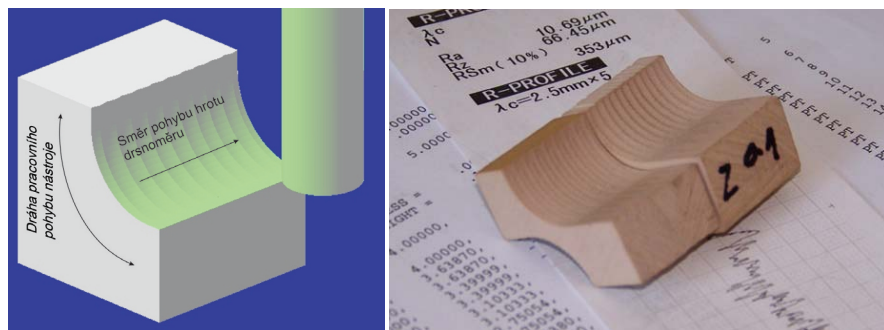
Kvalita povrchu

6.3 Vliv nastavení parametrů CAM na kvalitu frézované konkávní a konvexní plochy

Problematika možnosti ovlivnění kvality frézování šikmé plochy nastavením parametrů CAM systémů byla popsána v předchozí podkapitole.

Vzhledem k tomu, že přechody mezi plochami jsou většinou spojeny „zaoblením“, bude tato podkapitola pojednávat o obrábění konkávní a konvexní plochy, která vzniká při přechodech spojování rovinných ploch zaoblením.

Modelován bude případ obrábění těchto ploch tak, že vedlejší pracovní pohyb nástroje bude ve vertikálním směru. Drsnost bude měřena a vyhodnocována v příčném směru na dráhu nástroje.



Obr. 6-44 Definování směru měření drsnosti, srovnání kvality povrchu vzorků

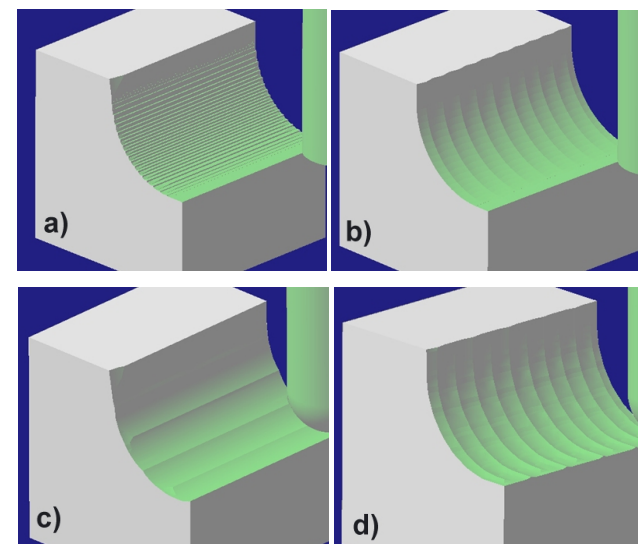
Tvar nástroje, strategie obrábění a čas obrábění

V následujícím bude poukázáno na vliv tvaru nástroje a jeho pohybu na celkový čas obrobení plochy. Ve všech čtyřech případech byla nastavena stejná hodnota maximální výšky nerovnosti MSH=0,05 mm.



Obr. 6-45 Použité nástroje

- a) Obrábění válcovou čelní frézou horizontálně, čas $t = 3 \text{ min } 5 \text{ s}$
- b) Obrábění válcovou čelní frézou vertikálně, čas $t = 0 \text{ min } 40 \text{ s}$
- c) Obrábění kopírovací frézou horizontálně, čas $t = 0 \text{ min } 25 \text{ s}$
- d) Obrábění kopírovací frézou vertikálně, čas $t = 0 \text{ min } 27 \text{ s}$



Obr. 6-46 Způsoby obrábění konkávní plochy

6.3.1 Frézování konkávní plochy – vertikální – pohyb nástroje ve směru osy Z

Posuzované kombinace strategií dráhy nástroje:

Simulované a vyhodnocované budou tyto strategie frézování, a to v pořadí:

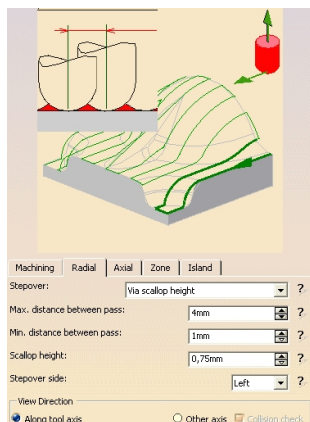
Obousměrné frézování

1. první dráha – klesající nesousledné frézování, druhá dráha stoupající sousledné frézování
2. druhý případ nebude simulován

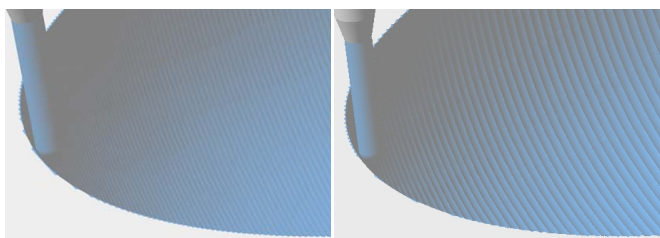
Jednosměrné frézování

3. frézování klesající nesousledné
4. frézování klesající sousledné
5. frézování stoupající nesousledné
6. frézování stoupající sousledné

Optimalizace



Obr. 6-73 Dialogové okno nastavení parametrů MSH a MD

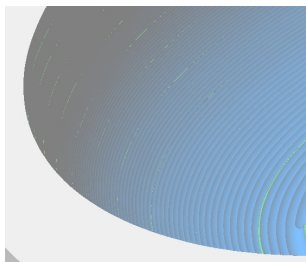


Obr. 6-74 Vizualizace obrobeného povrchu při dvou různých nastaveních MSH=0,25 mm, MD=2mm (vlevo) a MSH=0,75 mm, MD=4 mm (vpravo)

V následujícím budou analyzovány ještě dvě strategie a to *Zlevel* a *Contour Driven*.

Strategie Zlevel – konstantní Z výška

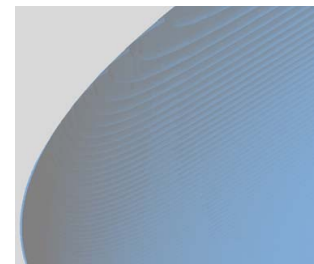
Analýza ukazuje, že čas je při zachování ostatních parametrů obrábění téměř dvojnásobný, 6 hodin a 10 minut.



Obr. 6-75 Vizualizace obrobeného povrchu při strategii Zlevel

Strategie Contour Driven

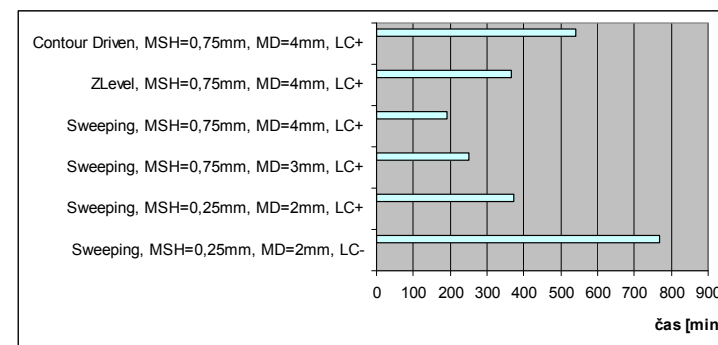
Při této strategii zadáme obráběnou plochu a její limitní křivku. Následně vybereme konturu, kterou bude uzavřena křivka a orientace obrábění bude určena na základě vymezení ve čtyřech po sobě následujících bodech. Hodnoty nastavených parametrů zůstávají jako při předchozích strategiích, aby bylo možno porovnat časy obrábění. Obrábění touto strategií by trvalo 9 hodin.



Obr. 6-76 Vizualizace obráběného povrchu při strategii Contour Driven

Sweeping, MSH=0,25mm, MD=2mm, LC-	768
Sweeping, MSH=0,25mm, MD=2mm, LC+	374
Sweeping, MSH=0,75mm, MD=3mm, LC+	252
Sweeping, MSH=0,75mm, MD=4mm, LC+	190
ZLevel, MSH=0,75mm, MD=4mm, LC+	366
Contour Driven, MSH=0,75mm, MD=4mm, LC+	542

Tab. 6-2 Časy [min] při aplikaci jednotlivých strategií obrábění načisto (LC – Limit Contour)



Obr. 6-77 Graf časů [min] obrábění při jednotlivých strategiích frézování na čisto

V tabulce je vidět, že mezi nejkratším a nejdelším časem při obrábění načisto je rozdíl 578 minut, což představuje úsporu 9 hodin a 38 minut.