

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Bakalářská práce

Simulace obrábění soustružnického centra OKUMA

Autor: Jan Krejčík

Vedoucí: Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krejčík** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **440918**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Simulace obrábění soustružnického centra OKUMA

Název bakalářské práce anglicky:

Simulation of machining on OKUMA turning center

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je upravit stávající model stroje a doplnit jej o potřebné prvky tak, aby na jeho základě mohl být vytvořen funkční kinematický model použitelný ve vybraném CAM pro simulace obrábění včetně pohybu stroje (tzv. kinematické simulace). V rámci práce provedete

1. Rešerši na téma kinematické simulace a aktuální stav dané problematiky
2. Seznámíte se s SW a metodami nutnými pro vytvoření kinematického modelu
3. Tvorba modelu pro kinematickou simulaci
4. Kinematická simulace ve vybraném CAD/CAM - FeatureCAM
5. Ověřování modelu realizací obrábění
6. Vyhodnocení vlastností a funkčnosti navrženého řešení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

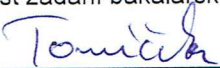
Ing. Jan Tomíček, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS


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

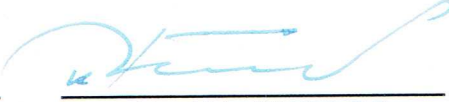
Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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.

24. 4. 2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne 31.7.2018

Podpis 

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval společnosti CAD CAM SYSTEMS s.r.o. a zejména Janu Navrátilovi, DiS. za umožněnou konzultaci na dané téma. Získané poznatky byly klíčové pro správnou realizaci kinematického modelu.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je tvorba kinematického modelu stroje Okuma Genos L200E-MY pro simulaci obrábění. V prvních dvou kapitolách jsou uvedeny úrovně kontroly CL dat, nebo NC kódu a příklady softwarů, které poskytují jejich simulaci a verifikaci. Dvě následující kapitoly hovoří o tvorbě kinematického modelu stroje a jeho testování.

Klíčová slova

kinematická simulace, FeatureCAM, CL data, NC kód

Abstract

The topic of the bachelor thesis is creation of the kinematic model of machine Okuma Genos L200E-MY for machining simulation. In the first two parts, there are descriptions of levels of control of CL data or NC code and examples of softwares which provide their simulation and verification. Next two capitols discuss about creation of kinematic model of the machine and its testing.

Keywords

Kinematic simulation, FeatureCAM, CL data, NC code

Obsah

1	Úvod	7
2	Kontrola CL dat a NC kódu.....	8
3	Příklady softwarů umožňujících simulaci nebo verifikaci.....	11
3.1	Autodesk HSM	11
3.2	Autodesk FeatureCAM 2018.....	11
3.3	NCSIMUL	13
3.4	Collision Avoidance Systém (CAS).....	14
3.5	NX CAM	14
4	Realizace kinematického modelu stroje.....	16
4.1	CAD data	17
4.2	Import CAD dat a jejich zarovnání	20
4.3	Definování hierarchie stroje	22
4.4	Definování sklíčidla a čelistí	23
4.5	Pohyby nástrojové hlavy, rotace zásobníku a umístění nástrojů	24
4.6	Definování nástrojových bloků	26
4.7	Úprava zobrazení a nastavení.....	29
4.8	Propojení s postprocesorem a přiřazení modelu úloze.....	30
5	Testování funkčnosti kinematického modelu	32
5.1	Realistická simulace testovací úlohy.....	32
5.2	Realistická simulace chybové testovací úlohy	33
5.3	Realistická simulace již obrobenej úlohy	34
6	Závěr	36
7	Zdroje	37
8	Přílohy.....	39
8.1	Elektronické přílohy	39
8.2	Textové přílohy	39

1 Úvod

Simulaci lze jinak vyjádřit jako napodobení nejen v případě obrábění. Simulace navíc doplněná o kinematický model stroje umožňuje programátorovi odhalit možné chyby v případě CL dat, nebo NC kódu. Také je možné dokreslit si představu o daném obrábění a na základě toho úlohu upravit tak, aby byla časově méně náročná.

Cílem této bakalářské práce je vytvořit funkční kinematický model stroje Okuma Genos L200E-MY pro CAD CAM software Autodesk FeatureCAM Ultimate 2018. Popisují zde, jaké kroky je nutné vykonat pro realizaci takového modelu a jaké jsou jeho možnosti v případě tohoto způsobu realizace. Práce je strukturována tak, aby mohla sloužit jako inspirace při tvorbě jiného kinematického modelu stroje v daném softwaru.

Problematika obrábění mě v průběhu studia orientovaného především na výrobní inženýrství zaujala nejvíce a hodlám se jí věnovat i v navazujícím magisterském studiu a posléze v profesní praxi. Mým cílem bylo vytvořit práci, která bude mít reálné využití a bude přínosná. Po dohodě s vedoucím práce Ing. Janem Tomíčkem, Ph.D. jsme došli k tomuto tématu. Primárním faktorem při volbě byl také fakt, že se softwarem Autodesk FeatureCAM Ultimate 2018 jsem již měl zkušenost z bakalářského studia.

2 Kontrola CL dat a NC kódu

Obrábění je velice progresivní oblast, ve které je neustále kladen větší důraz na snižování času výroby včetně přípravy, zvyšování přesnosti, zlepšování integrity povrchu atd. Názornou aplikací, která může nejen šetřit čas, jsou víceosé obráběcí stroje, které obsahují více metod třískového obrábění a není tak případně nutné obráběný díl upínat postupně na více příslušných strojích. To znamená, že je zde odbourána nepřesnost, která je zavedena několikanásobným ustavováním obráběného dílu. Dále dochází k úspoře času a stačí jeden NC kód.

U komplexního obrábění je snaha v maximální možné míře eliminovat vedlejší pohyby a toho se dosahuje tím, že neřezné dráhy nástrojů jsou těsně nad povrchem obráběného dílu a s tím narůstá riziko kolize. Dalším možným zdrojem rizika jsou revolverové hlavy osazené více typy nástrojů, které se při změně nástroje natáčejí. Opět hrozí riziko kolize nejen s obrobkem. Dalším případem jsou stroje s více vřeteny nebo hlavami, které nám umožňují obrábět na jednom vřetenu více nástroji najednou nebo na více vřetenech souběžně.

V případě stroje Okuma Genos L200E-MY se jedná o 4 osé soustružnické centrum s poháněnými nástroji. V první řadě je tedy možné na stroji soustružit a dále lze pracovat s poháněnými nástroji v radiálním a axiálním směru. Daný stroj je názorným příkladem toho, kde je žádoucí klást důraz na přípravu NC kódu a tedy v první řadě CL dat. Jejich odladění včetně odstranění možných kolizí pochopitelně zvyšuje kvalitu dat nutných pro práci stroje.

Řetězec tvorby NC kódu je všeobecně známý a je naznačen na Obr. 1. Při pohledu na něj je nutné si uvědomit, že mezi CL daty a NC kódem stojí postprocesor. Na tento fakt je nutné upozornit vzhledem k možným způsobům kontroly. CL data navíc nemusí obsahovat např. napojení jednotlivých drah a nezahrnují kinematiku stroje.

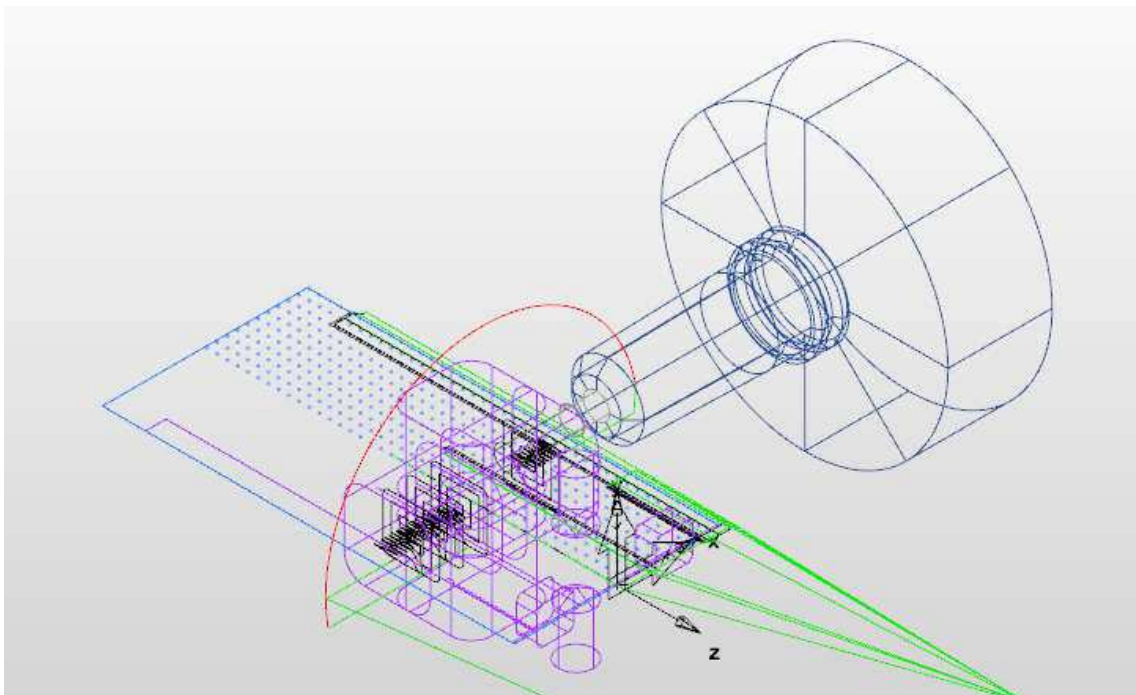


Obr. 1 Řetězec tvorby NC kódu

V případě kontroly správnosti CL dat, nebo NC kódu se nabízí celkem tři možnosti s tím, že každá z níže zmíněných je zaměřena na něco jiného. Jedná se o:

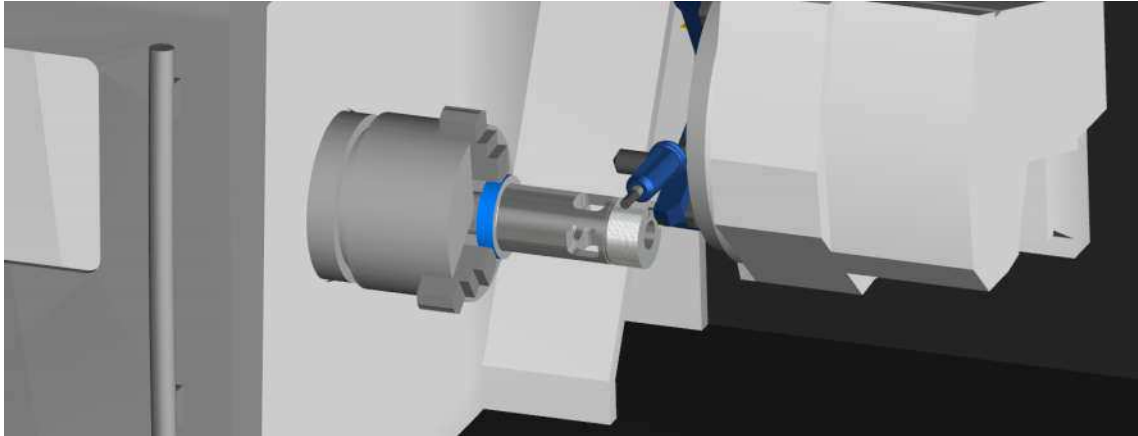
- vizualizaci
- simulaci
- verifikaci

V případě vizualizace se jedná o **zobrazení drah nástrojů** a pohybů obrobku **na základě CL dat**. Na Obr. 2 si lze povšimnout zeleně naznačených rychloposuvů, černě naznačených drah nástrojů v řezu a červeně naznačené dráhy, která představuje rotaci obrobku v ose C. Vizualizace je v daném případě dále doplněna o naznačený nástroj, který vykonává pohyb na základě příslušných drah, a také o siluetu polotovaru.



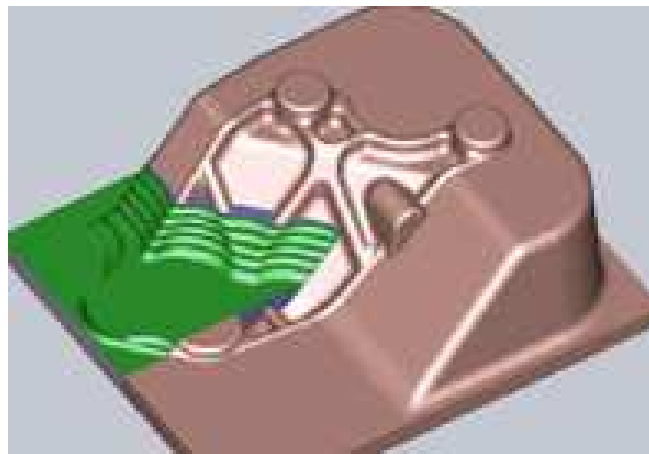
Obr. 2 Vizualizace v softwaru Autodesk FeatureCAM Ultimate 2018

Simulace spočívá v **napodobení** vlastního procesu obrábění opět **na základě CL dat**. Lze tedy sledovat pohyb nástrojů včetně úběru materiálu a vzniku patřičných tvarů obráběné součásti. Obr. 3 ukazuje příklad simulace doplněné o kinematický model, který je předmětem této bakalářské práce.



Obr. 3 Simulace v softwaru Autodesk FeatureCAM Ultimate 2018

Verifikace představuje nejvyšší stupeň kontroly, a to díky tomu, že je prováděna **na základě NC kódu**, nikoliv CL dat. Jejím předmětem je **ověření výsledků a drah obrábění**. Je tedy možné odhalit chybu způsobenou zásahem postprocesoru. Tuto možnost simulace a vizualizace nenabízí. Příklad verifikace je uveden na Obr. 4. Jedná se o verifikaci NC kódu v programu Autodesk HSM, což je software, který představuje CAM nadstavbu CAD softwarů.



Obr. 4 Verifikace v softwaru Autodesk HSM [1]

3 Příklady softwarů umožňujících simulaci nebo verifikaci

Následující kapitola pojednává o dalších možných alternativách, které v případě simulace lze použít. Záměrně uvádím různě orientované softwary a jejich simulační možnosti, které se značně liší. Zmiňuji software sloužící jako nadstavba CAD softwaru, CAD CAM software střední velikosti, sofistikovaný software umožňující simulaci na základě NC kódu, software určený k predikci kolice používaný přímo na stroji a na závěr v současnosti nejpokročilejší VNCK simulaci, kterou umožňuje software NX. Každý software blíže specifikuji, uvedu jeho možnosti v oblasti simulace a zhodnotím jej.

3.1 Autodesk HSM

Jedná se o CAM nadstavbu pro softwary Solidworks, Autodesk Inventor a Autodesk Fusion 360, která byla dříve známá pod názvem Inventor HSM. Existují verze Express, Premium a Ultimate s tím, že poslední zmíněná nabízí kromě 2,5D a 3D obrábění navíc i 5 osé. [1]

V tomto případě software nabízí simulaci i verifikaci, která je prováděna vzhledem k modelu obráběné součásti. Je možné zobrazovat přídavky, odměřovat, zobrazovat výsledky v řezu atd., jak je naznačeno na Obr. 4. NC kód lze vytvářet s užitím předdefinovaných postprocesorů různých výrobců, nebo je pochopitelně možné použít vlastní. Verifikace také odhalí případné kolize nástrojů, držáků atd. [1]

Toto řešení nenabízí takové možnosti jako specializovanější softwary, ale naproti tomu může být pro řadu zákazníků dostačující a cenově dostupnější. Dále lze počítat s nižšími náklady v případě školení pracovníků, jelikož např. Autodesk Inventor a Autodesk HSM poskytuje jeden dodavatel.

3.2 Autodesk FeatureCAM 2018

Jedná se o CAD CAM software střední velikosti, který se nabízí ve třech edicích. Autodesk FeatureCAM primárně umožňuje tvorbu NC kódů pro soustružnické a frézovací úlohy. Při tvorbě kinematického modelu jsem pracoval

s nejlépe vybavenou edicí Ultimate, která oproti edicím Standard a Premium nabízí navíc možnost práce s více hlavami a podporu osy B. Dále programování dlouhotočných automatů, měření sondou a 5 osé souvislé frézování. Výhodou tohoto softwaru je univerzálnost pro více technologií a rychlost přípravy NC kódů. Tomu nasvědčuje i fakt, že software umožňuje automatické rozpoznávání featurů, tedy prvků získaných obráběním (kapsa, zápich apod.). [2; 3]

Autodesk FeatureCAM v první řadě umožňuje vizualizaci, dále 3D simulaci a také 3D simulaci doplněnou o kinematický model stroje. Pokud není k dispozici konkrétní model, je možné použít některý z předdefinovaných. Možnosti jsou vcelku bohaté. Lze realizovat rotaci zásobníku s nástroji, upínání pomocí čelistí, protivřetení atd. Kinematický model stroje se poté propojí s postprocesorem a dále se definuje patřičný soubor, který ho představuje. V případě zásobníku pro více nástrojů si pozice může uživatel volit libovolně, a to přímo v dokumentu obrábění. V případě jakékoliv kolize se simulace zastaví a zobrazí se okno s chybovou hláškou. Je možné realizovat i modely víceosých strojů.

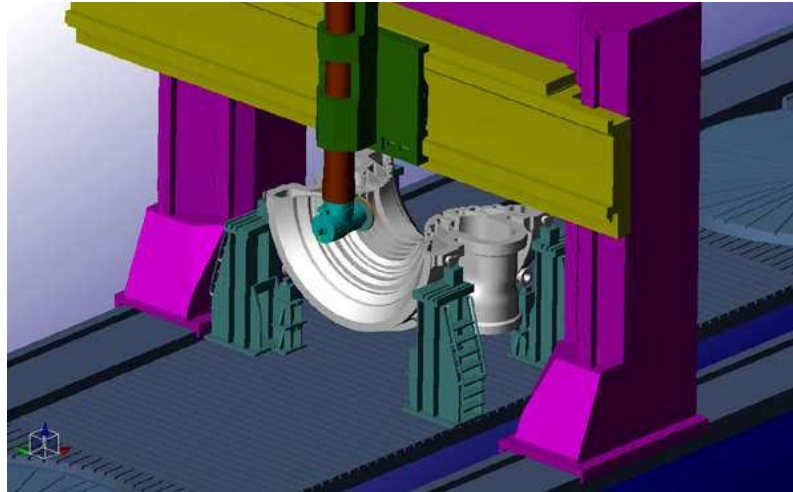
Autodesk FeatureCAM 2018 (zejména Ultimate) uspokojí řadu uživatelů především svou univerzálností z hlediska množství procesorů, jak ukazuje Obr. 5, a také simulace. Navíc spolu s Autodesk Inventor se jedná o produkt stejného výrobce, takže je zaručena kompatibilita jednotlivých softwarů. Nabízí se také finanční úspora v případě pořízení a následného školení od jednoho dodavatele.



Obr. 5 Procesory softwaru Autodesk FeatureCAM Ultimate 2018

3.3 NCSIMUL

NCSIMUL je pokročilý software určený primárně ke kontrole NC kódu, tedy k verifikaci. K tomu konkrétně slouží modul NCSIMUL MACHINE, ve kterém si uživatel provádí realistickou simulaci včetně modelu stroje nebo robotického pracoviště. Je možné realizovat i víceosé, nebo konstrukčně složité stroje, jak ukazuje Obr. 6. [4]



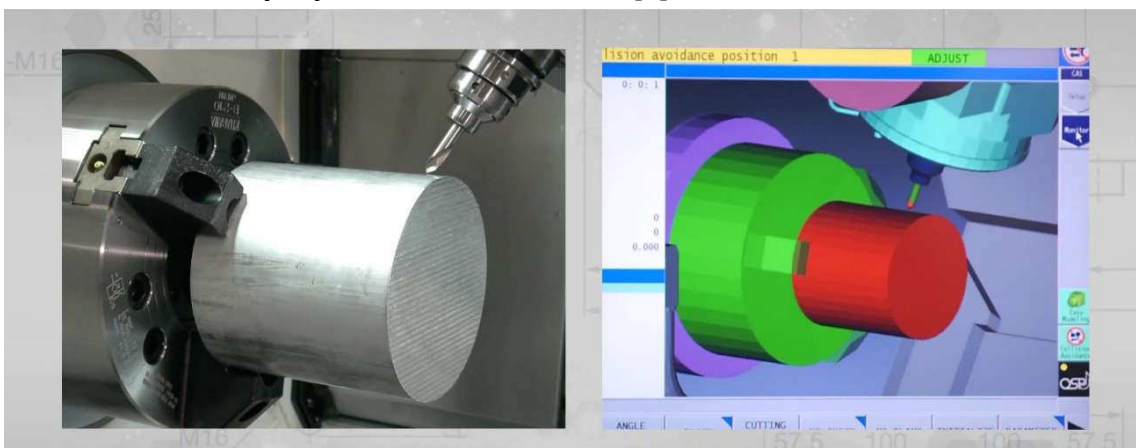
Obr. 6 Příklad kinematického modelu v softwaru NCSIMUL [4]

Kontrola probíhá na základě realistické simulace. V první řadě software vyhodnotí nesmyslné nebo nečitelné části kódu a umožní okamžitou editaci. Simulace probíhá spolu se čtením NC kódu a uživatel tak má přehled, v jaké části kódu se co odehrává. Dále dochází ke kontrole kolizí. [4]

Software také umožňuje optimalizaci už bezchybového NC kódu pomocí NCSIMUL OPTIMISATION, a to ve dvou krocích. Zprvė dojde k vyhodnocení posuvů a rychloposuvů na základě vytvořené obálky kopírující obráběný díl. Zadruhé dojde k rozdělení NC kódu do dílčích bloků doplněných o potřebné informace pro obrábění daného úseku za účelem dynamické změny obrábění pro nový NC kód. Nepochází ke změně drah, pouze se optimalizují technologické podmínky dle doporučených limitů uživatelem. Úspora času může být až 20 %, což je u několikahodinových obráběcích procesů značné zlepšení. [4]

3.4 Collision Avoidance System (CAS)

Jedná se o software dodávaný přímo výrobcem strojů Okuma, který slouží k předjetí kolize již v průběhu obrábění na stroji. Daný software nekontroluje vyloženě kvalitu NC kódu, ale předchází kolizi v průběhu obrábění, která může být způsobena chybně připraveným NC kódem nebo operátorem. Operátor v simulaci definuje upnutí, nástroj a obrobek. Vše se odehrává přímo na řídicím panelu stroje. Operátor spustí vlastní obrábění i simulaci, která však běží s předstihem několika milisekund. Pokud je detekována kolize, tak se obrábění okamžitě zastaví, jak je uvedeno na Obr. 7. [5]



Obr. 7 Ukázka detekce kolice s použitím CAS [5]

Účel je stejný jako v případě daného kinematického modelu stroje. V každém případě je nutné si uvědomit, že CAS běží na řídicím panelu stroje a NC kód ihned nelze editovat. V tom je spíše vyhovující kinematický model stroje, kdy simulace spolu s ním běží přímo v CAM softwaru. Naproti tomu lze předpokládat maximální kompatibilitu se stroji Okuma. Toto řešení je však cenově náročné.

3.5 NX CAM

Jedná se o součást komplexního CAD CAM systému NX společnosti Siemens PLM disponující pokročilou možností programování, postprocessingu a simulování. 3 a 5 osé obrábění nebo EDM je víceméně standardem u lépe vybavených edicí CAD CAM systémů, avšak NX CAM navíc nabízí např. speciální 5 osé operace pro obrábění lopatkových kol. [6; 7]

Doménou tohoto softwaru je však nejméně pravděpodobnější simulace současnosti, která využívá vestavěného jádra systému Sinumerik 840D. Je nazývána VNCK (Virtual NC Controller Kernel) a k řízení kinematického modelu využívá originální software řídicího systému Sinumerik 840D. Za předpokladu shodnosti kinematického modelu s reálným strojem se tedy kinematická simulace blíží reálnému procesu obrábění. [8]

Jak je již zmíněno v předchozím odstavci, jedná se o nejméně pravděpodobnější simulaci současnosti, a to nejen v případě obrábění. Lze realizovat také simulace robotických buněk. [9] Zákazník očekává maximální kvalitu, tedy naprostou eliminaci možných kolizí, a tomu odpovídá i vysoká cena. [10]

4 Realizace kinematického modelu stroje

Následující kapitola v první řadě pojednává o přípravě CAD dat a požadavcích, které na ně byly kladeny. Popisují zde, jakým způsobem jsem v průběhu realizace kinematického modelu data upravoval a z jakého důvodu, případně jak je nutné CAD data přizpůsobit, aby byla obecně vyhovující pro modul **konstrukce stroje pro simulaci** v softwaru Autodesk FeatureCAM.

Následně popisují práci v již zmíněném CAM softwaru. Popis je značně detailní, jelikož tato kapitola může zároveň sloužit jako inspirativní text při tvorbě jiného kinematického modelu stroje, proto jsou všechny důležité termíny, které jsou klíčové pro vykonání patřičného úkonu, tučně zvýrazněny. V takovém případě důrazně doporučuji dodržovat vše zmíněné, a to především **orientaci UCS**, jelikož jejich odlišná vzájemná orientace může způsobit závažné problémy v kinematice stroje a narušit jeho funkčnost. Následná detekce příčiny je velice obtížná, to mohu z vlastní zkušenosti jen potvrdit.

Tvorbě daného kinematického modelu předcházela řada kroků, bez jejichž správného provedení by minimálně nepracoval dle požadavků. Body jsou v následujících kapitolách důkladně popsány (v závorkách jsou uvedena čísla podkapitol, ve které je daný bod popsán):

- získání CAD dat a jejich případná úprava (4.1)
- import CAD dat do softwaru Autodesk FeatureCAM (4.2)
- zarovnání CAD dat vzhledem k předdefinovaným UCS (4.2)
- definování hierarchie stroje (4.3)
- definování vrchního stolu (4.4)
- definování upnutí obrobku (4.4)
- definování posunů patřičných částí stroje (4.4; 4.5)
- definování umístění nástrojů (4.5)
- definování nástrojových bloků (4.6)
- úprava vlastností zobrazení (4.7)
- úprava nastavení (4.7)
- propojení s postprocesorem (4.8)
- přiřazení stroje konkrétní úloze (4.8)

4.1 CAD data

V první řadě je nutné zmínit, že veškeré díly výsledné sestavy jsem modeloval sám, a to z toho důvodu, že pro tento konkrétní příklad bylo efektivnější si potřebné části stroje vymodelovat. V praxi se pracuje s CAD daty od výrobce, které jsou případně upraveny, jelikož obsahují řadu nepotřebných dílů pro simulaci jako motory apod.

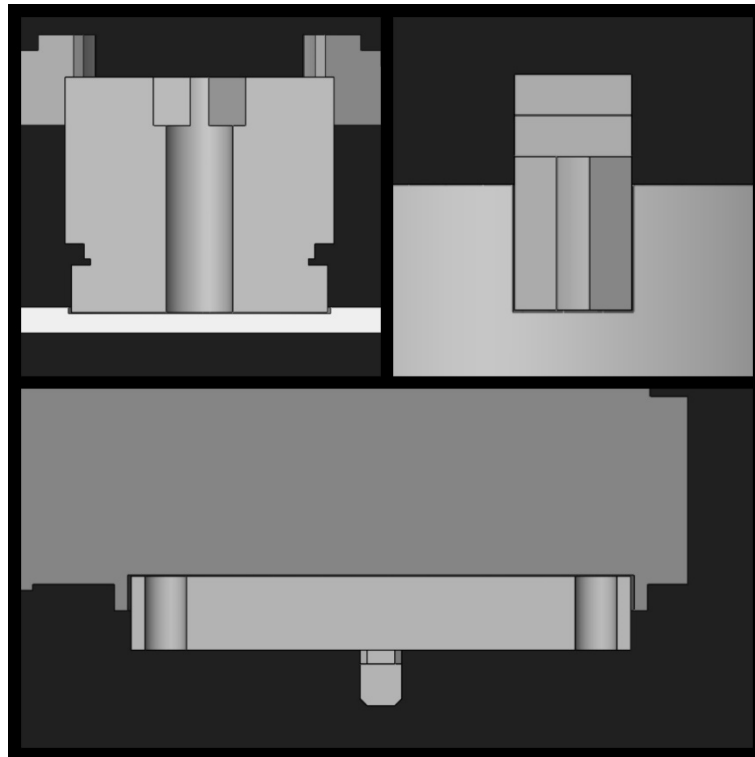
Finální podoba CAD sestavy vychází z požadavků, které byly na tuto úlohu kladeny. Cílem bylo vytvořit takový kinematický model, s jehož použitím by bylo možné predikovat případné kolize mezi nástroji a čelistmi, sklíčidlem či vnitřní přepážkou stroje, která je umístěna proti nástrojové hlavě (za sklíčidlem).

Za tímto účelem jsem se na modelování sklíčidla a čelistí zaměřil a kladl důraz na jejich přesnost. Ostatní díly sestavy jako dveře, část pláště stroje apod. nemají žádný funkční význam a slouží pouze k dokreslení podoby stroje, a proto jsem se u těchto dílů zaměřil i na modelování detailů, však bez většího důrazu na jejich rozměrovou přesnost. Jako příklady lze uvést madlo dveří, tvar nástrojové hlavy, prolisy pláště stroje a jiné. Je nutné zmínit, že s rostoucí náročností CAD dat roste i náročnost výpočtu simulace, avšak v rozsahu daného kinematického modelu je tento faktor zanedbatelný. V průběhu tvorby jednotlivých dílů jsem měřil rozměry stroje pomocí svinovacího metru, posuvného měřítka, úhloměru a také jsem nahlížel do přiložené dokumentace ke stroji. [11]

Na začátku tvorby sestavy jsem stroj vymodeloval kompletně a posléze jsem se rozhodl, že polovinu pláště stroje zanedbám. K tomuto kroku mě vedly dva důvody. V první řadě jsem řešil, jak model upravit tak, aby bylo možné na simulaci z různých úhlů nahlížet. V druhé řadě jsem neustále nemohl odbourat stále se opakující kolizi mezi nástrojovou hlavou či přímo nástroji a pláštěm stroje. Důvodem těchto kolizí nebyl chybně fungující kinematický model, ale fakt, že kinematika modelu a reálného stroje se liší.

Vzhledem k požadavkům nebylo nutné, aby byla přesně simulována kinematika stroje. Tomuto faktu se podřizují právě i CAD data například tak, že díl představující nástrojovou hlavu je umístěn v prostoru a pokud by se dostal do kontaktu s jiným dílem sestavy, tak bude detekována chyba, simulace se zastaví

a zobrazí se chybová hláška. Tato chyba však v případě reálného stroje nenastane právě z toho důvodu, že jeho pohyby jsou odlišné. Obdobná chyba může nastat u jakéhokoliv jiného pohybujícího se dílu, konkrétně tedy u zásobníku, který rotuje v nástrojové hlavě, u sklíčidla, které rotuje částečně utopené v plášti stroje, a také u čelistí, které svírají obrobek a spolu s obrobkem a sklíčidlem rotují kolem osy Z. V tomto případě musí být u všech pohybujících se dílů uvažována vůle, jak ukazuje Obr. 8.

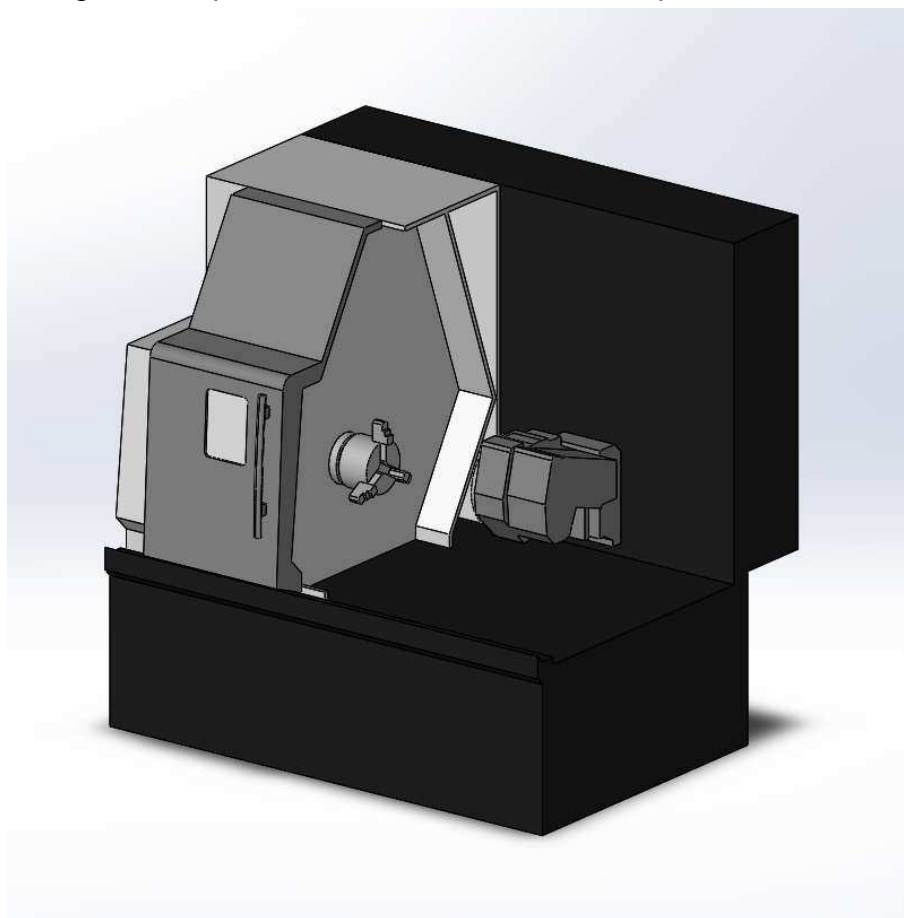


Obr. 8 Vůle u sklíčidla (vlevo nahoře), u čelistí (vpravo nahoře) a u zásobníku (dole)

CAD data lze importovat do softwaru Autodesk FeatureCAM už jako sestavu. Tu jsem si tedy vytvořil ještě v CAD softwaru Solidworks, ve kterém jsem díly modeloval, jelikož je zde práce s jednotlivými díly uživatelsky pohodlnější a rychlejší. Každopádně lze vkládat i jednotlivé díly a s užitím nástroje **transformovat** sestavu zkompletovat do patřičné podoby. Nástroj nám umožňuje s dílem v rámci možností pohybovat, natáčet jej atd. Jeho použití má význam především v situaci, kdy uživatel chce sestavu o nějaký díl doplnit, nebo jistý díl zaměnit a nechce znovu definovat veškeré potřebné vlastnosti modelu tak, aby byl opět plně funkční. V první řadě je nutné konkrétní díl označit a poté se tento nástroj aktivuje. Sestavu jsem uložil také ve formátu **.STEP**, jelikož tento formát umožní vložení importovaných dat jako **solidů** (jak je nazýváno v

softwaru Autodesk FeatureCAM), a to je žádoucí. CAD software Solidworks má jako výchozí formát **.SLDPRT** (Solidworks Part Document) v případě dílu a **.SLDASM** (Solidworks Assembly Document) v případě sestavy. Díly vložené v tomto formátu v softwaru Autodesk FeatureCAM vykazují charakter ploch a nikoliv solidů, a to je v daném případě nežádoucí. Nabízí se alternativa tvorby solidů z ploch po importování dat, ovšem tento krok je zdlouhavý a zbytečný.

Výsledná sestava se skládá celkem z 15 dílů s tím, že je použito 11 odlišných dílů. Čelist je použita třikrát, nástrojové bloky jsou vyhotoveny ve čtyřech provedeních (pro poháněné nástroje radiální, pro poháněné nástroje axiální, pro vnější soustružnické nože a pro vnitřní soustružnické nože) a blok pro vnější soustružnické nože je použit třikrát. Sestava je plně připravena k importování a není potřeba s ní po importování nijak manipulovat s výjimkou jejího zarovnání vzhledem k předdefinovaným UCS. V poslední řadě jsem pro dokreslení představy díly barevně upravil, jak ukazuje Obr. 9. Tento krok každopádně nemá přílišný význam, protože formát **.STEP** tyto vlastnosti nepřenáší a grafická úprava se v CAM softwaru musí provést znovu.

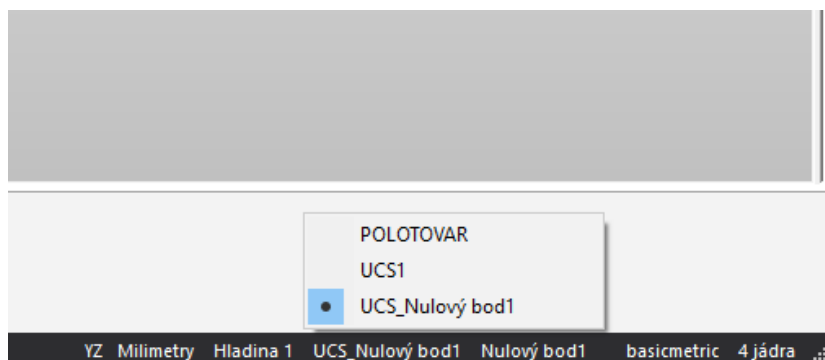


Obr. 9 Výsledná podoba sestavy včetně barevné úpravy

4.2 Import CAD dat a jejich zarovnání

Po spuštění softwaru Autodesk FeatureCAM jsem zvolil modul **konstrukce stroje pro simulaci** a jako jednotky měření jsem pochopitelně definoval **milimetry**. Dále jsem vytvořil nový dokument. Následovalo importování CAD dat, které se provádí přes **import pomocí exchange** v záložce **soubor**. Jak uvádím v předchozí kapitole, využil jsem možnosti importovat již zhotovenou sestavu stroje, tedy včetně vůlí u pohybujících se dílů sestavy, a to ve formátu **.STEP**, aby byly jednotlivé díly vloženy jako **solidy**. Pro přehlednost jsem veškeré solidy vlevo ve stromě **part view** patřičně přejmenoval.

Následovala možnost zarovnání importovaných CAD dat podle **aktuálního UCS** (aktuální UCS lze sledovat a přepínat vpravo dole, jak ukazuje Obr. 10). Možnost zarovnání jsem nevyužil, jelikož jsem věděl, že je nutné předdefinované UCS (UCS_Nulový bod1, UCS1, POLOTOVAR) nejen zarovnat, ale také umístit, a to konkrétně do středu sklíčidla, jako tzv. **vrchního stolu**. S tím však tento průvodce nepočítá.

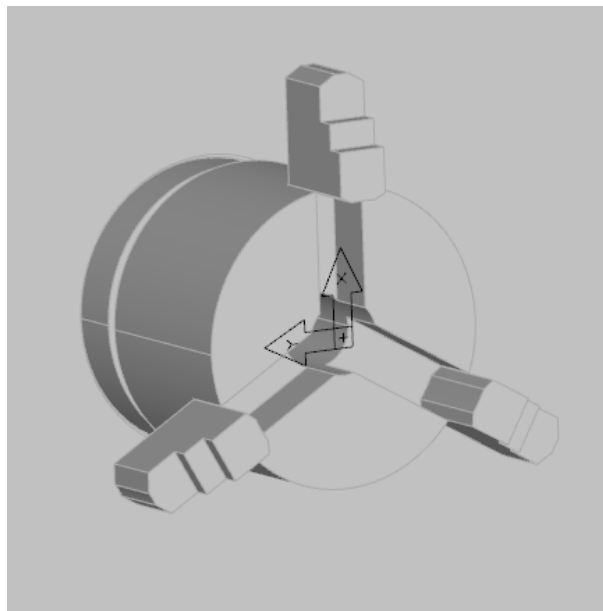


Obr. 10 Rychlá volba pro přepínání aktuálního UCS

K zarovnání předdefinovaných UCS jsem využil stejnojmenný nástroj **UCS**, který se nachází v záložce **domů** a sekci **vytvořit**. Tyto tři souřadné systémy slouží primárně k definování prostoru, do kterého jsou CAD data importována a kde je vytvářen kinematický model. Mají však vliv na správnost kinematického modelu a lze je aktivně využít pro jeho činnost. Souřadné systémy **UCS_Nulový bod1** a **UCS1** lze přemístit a otáčet, UCS **POLOTOVAR** však nikoliv. Z toho důvodu jsem jako první zarovnal do středu sklíčidla např. **UCS_Nulový bod1** (přemístitelný UCS) a podle něj pak sestavu stroje přesunul do počátku UCS **POLOTOVAR**, jelikož nástroj **transformovat** tuto možnost přesunutí podle UCS nabízí.

UCS_Nulový bod1 jsem do středu sklíčidla zarovnal opět pomocí nástroje **UCS**, konkrétně **zarovnat UCS**. Zvolil jsem možnost **rotační plocha** a jako plochu jsem zvolil plášť sklíčidla (tak, aby byla osa Z osou rotace sklíčidla). Zobrazil jsem náhled a ověřil, zdali se daný UCS automaticky zarovnal do středu čela sklíčidla, což je žádoucí. Pokud by se tak nestalo, bylo by nutné daný UCS zarovnat na čelo sklíčidla opět s využitím nástroje **transformovat**. Orientace os X a Y zatím nebyla důležitá.

Následně jsem všechny solidy stroje označil, a to vlevo ve stromě **part view**, v záložce **solidy**. Toto je stoprocentní způsob, jak označit kompletně veškeré příslušné solidy. Poté jsem v nástroji **transformovat** vybral možnost **na UCS** a transformoval jsem solidy na souřadný systém **POLOTOVAR**. V případě potřeby lze aktuální UCS přepínat vpravo dole, jak uvádí Obr. 10. Zkontroloval jsem náhled, a pokud byl UCS **POLOTOVAR** zarovnan na čelo sklíčidla, tak jsem přesun potvrdil. Poté jsem stroj rotoval kolem osy Z tak, aby jeho orientace byla shodná s orientací na Obr. 11. Zbývalo pouze zarovnat **UCS_Nulový bod1** do středu sklíčidla a orientovat jej stejně jako je orientován UCS **POLOTOVAR**. Správné řešení opět ukazuje Obr. 11. Na obrázku se všechny tři předdefinované UCS překrývají, jsou tedy všechny orientovány takto.



Obr. 11 Orientace a zarovnání UCS_Nulový bod1, UCS1 a POLOTOVAR

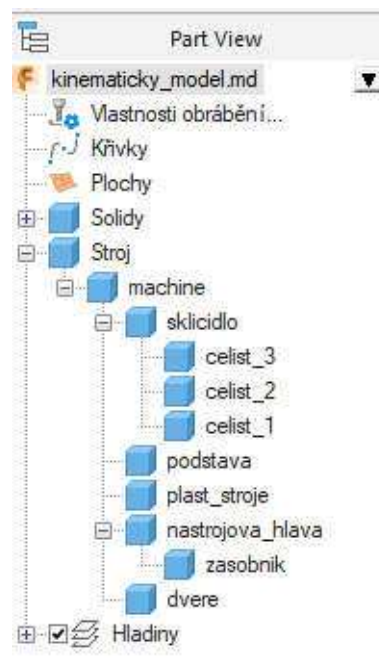
U pravoúhle orientovaných modelů stroje je doporučeno tuto orientaci dodržovat, lze tím předejít obtížně odhalitelných chybám, které narušují výslednou simulaci. Shodně orientovaný bude i UCS obráběné součásti.

4.3 Definování hierarchie stroje

Význam definování nadřazenosti a podřazenosti jednotlivých solidů je dvojího charakteru. V první řadě musí být v hierarchii obsaženy všechny solidy, které mají být zobrazeny při průběhu 3D simulace se strojem, a to nezávisle na tom, zdali vykonávají pohyb, či naopak. V tento moment je nutné zmínit, že nástrojové bloky, které představují držáky nástrojů, nejsou vyloženy součástí modelu stroje jako např. jeho podstava a v hierarchii se tedy **nevyskytují**. Nástrojové bloky jsou solidy definované pro daný druh nástrojů (vnější soustružnické nože, vrtáky atd.) a jejich pozice je závislá na číslu pozice nástroje v zásobníku, kterou definuje programátor pro danou obráběcí úlohu.

V druhé řadě je nutné kinematicky svázat určité solidy, konkrétně podřídít pohyb zásobníku nástrojové hlavě v osách X, Y a Z a dále podřídít rotační pohyb čelistí sklíčidlu. Jiný způsob, jak definovat více solidům duplikované pohyby, se nenabízí.

Nadřazenost a podřazenost se definuje v záložce **kinematika stroje**, konkrétně **nadřazený/podřazený vztah**. V hierarchii nejvýše je vždy **machine**. Nejedná se o žádný solid obsažený v modelu stroje, ale o nejvyšší položku v hierarchii každého stroje [12] a pro správnou funkci modelu je nutné tento fakt respektovat. Jako **solid1** (nadřazený) jsem tedy vybral **machine** a přes možnost **solid2** (podřazený) jsem do hierarchie postupně přiřazoval díly představující dveře, nástrojovou hlavu, plášť stroje, podstavu a sklíčidlo, poté jsem podřídil zásobník nástrojové hlavě. Nástrojovou hlavu jsem tedy zvolil jako **solid1** a zásobník jako **solid2**. Stejným způsobem jsem podřídil i čelisti sklíčidlu. Správnost hierarchie lze pozorovat vlevo ve stromě **part view** pod záložkou **stroj**, jak ukazuje Obr. 12.



Obr. 12 hierarchie stroje

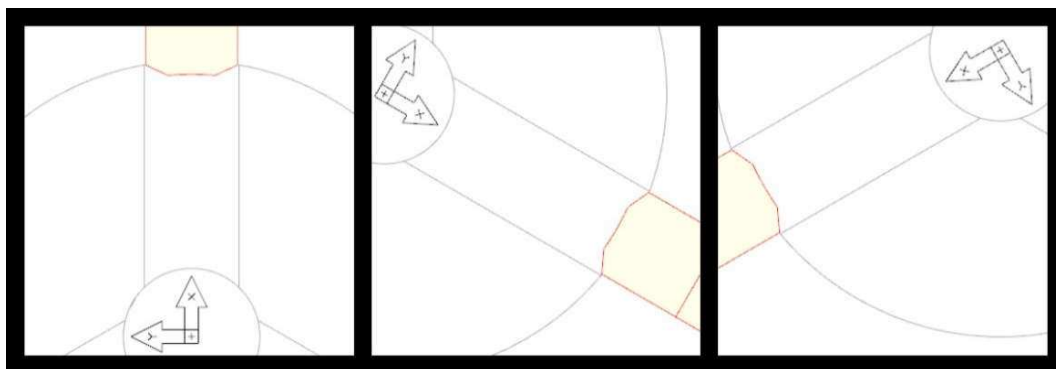
4.4 Definování sklíčidla a čelistí

Následující podkapitola popisuje, jak jsem definoval rotační pohyb sklíčidla, jakožto **vrchního stolu**, a čelistí. Konkrétně čelisti jsou velice užitečný prvek simulace, jelikož vždy dosednou na plášť obráběné součásti nezávisle na rozměrech.

Jako **vrchní stůl** je vždy zvolen takový solid, na kterém je v průběhu simulace umístěná obráběná součást a ke kterému jsou vztaženy upínací prvky, což znamená, že obráběná součást a upínací prvky budou kopírovat pohyb tohoto solidu. U frézky je tedy takto zvolen stůl a u soustruhu se jedná o sklíčidlo. V případě soustruhu s protivřetenem je **vrchní stůl** hlavní vřetenem. [13] Tento krok jsem provedl v záložce **kinematika stroje**, konkrétně s pomocí nástroje **vrchní stůl**. Jako solid jsem vybral sklíčidlo, dále jsem zatrhl možnost **existující UCS** a vybral **POLOTOVAR**. Vzhledem k umístění a orientaci daného UCS je toto možné. Na závěr jsem přiřadil tento UCS sklíčidlu, a to opět v záložce **kinematika stroje** s užitím nástroje **lokální souřadný systém**.

Definování rotačního pohybu jsem provedl opět v záložce **kinematika stroje**, konkrétně s nástrojem **posun**. Jako solid jsem vybral opět sklíčidlo a jako možný pohyb jsem vybral **rotace -C** v části **stůl**. Není nutné zadávat limity, automaticky budou přiřazeny limity od -360° do 360° . [14]

Pro definování čelistí bylo nutné mít aktivní nástroj **pohyb upnutí obrobku** v záložce **kinematika stroje**. Pro jeho aktivaci jsem zvolil možnost **povolit UI soustruh/fréza** v nastavení kinematiky. Dále jsem v záložce **Domů** s pomocí nástroje **UCS** vytvořil pro každou čelist vlastní UCS, který jsem zarovnal osou X proti dané čelisti, jak ukazuje Obr. 13. [15]



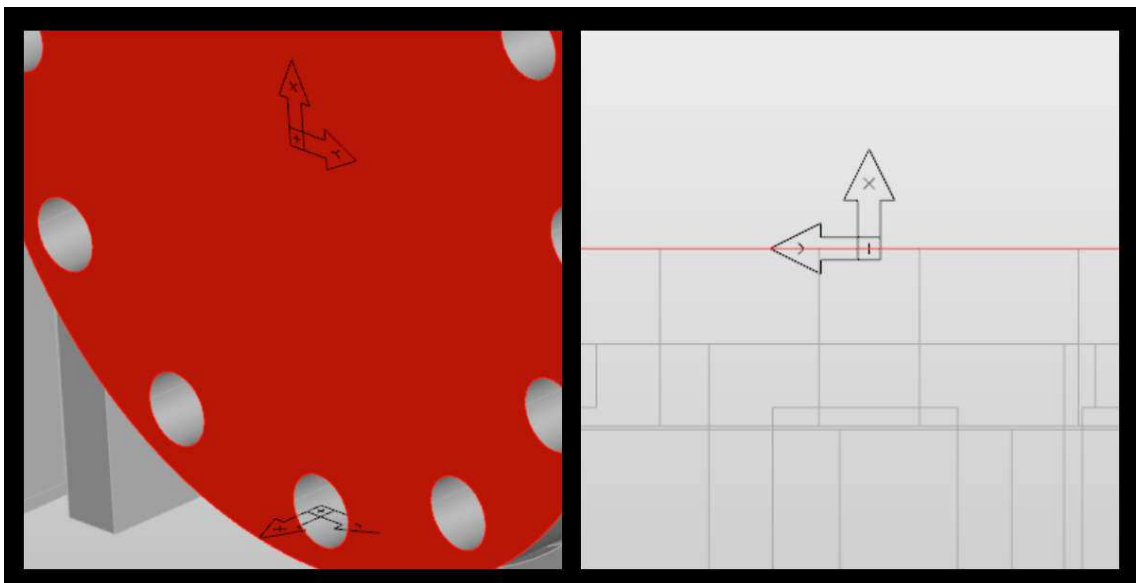
Obr. 13 Čelní pohled: orientace UCS pro čelist 1 (vlevo), čelist 2 (uprostřed) a čelist 3 (vpravo)

Nakonec jsem s pomocí nástroje **pohyb upnutí obrobku** u všech čelistí zaškrtl možnost **pohyb v LCS X** v sekci **čelisti** a patřičné UCS přiřadil jednotlivým čelistem opět pomocí nástroje **lokální souřadný systém** jako v případě sklíčidla. [15]

4.5 Pohyby nástrojové hlavy, rotace zásobníku a umístění nástrojů

Pohyb nástrojové hlavy jsem definoval stejně jako v případě sklíčidla. V záložce **kinematika stroje** jsem opět zvolil nástroj **posun**, vybral jsem solid představující nástrojovou hlavu a v sekci **strojová hlava** jsem zaškrtl možnosti **pohyb +delta X**, **pohyb +delta Y** a **pohyb +delta Z**. [14] Ani v tomto případě jsem nedefinoval limity, protože pro danou aplikaci nejsou potřebné.

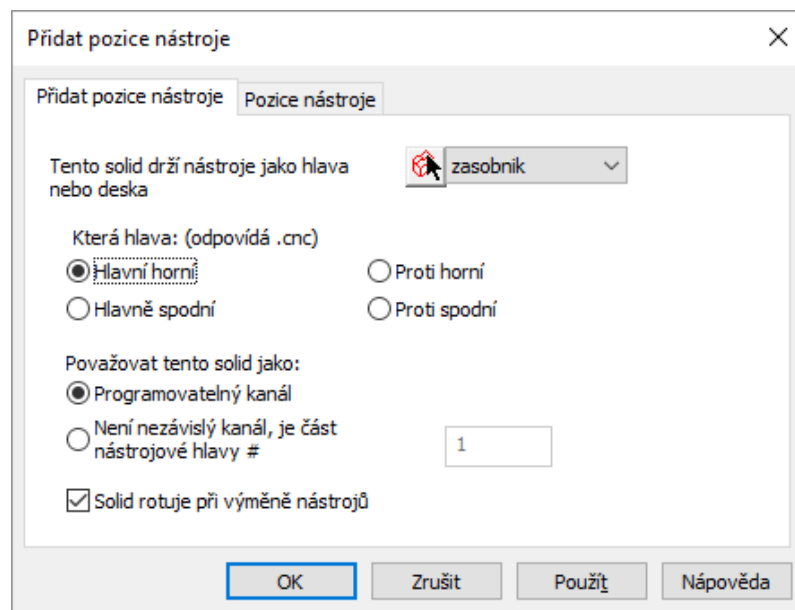
Rotaci zásobníku i umístění nástrojů jsem definoval pomocí nástroje **přidat umístění nástroje** v záložce **kinematika stroje**. Nejdříve jsem si ale musel vytvořit dva UCS. První UCS jsem opět s použitím nástroje **lokální souřadný systém** přiřadil solidu, který představuje zásobník. Pomocí zarovnání podle rotační plochy jsem tento UCS zarovnal do středu zásobníku a na červeně zvýrazněnou plochu na Obr. 14. Druhý UCS jsem zarovnal na primární nástrojovou pozici také pomocí rotační plochy a následného natáčení v nástroji **UCS**, jak ukazuje Obr. 14.



Obr. 14 Orientace UCS zásobníku (vlevo) a UCS primární nástrojové pozice (pohled shora vpravo)

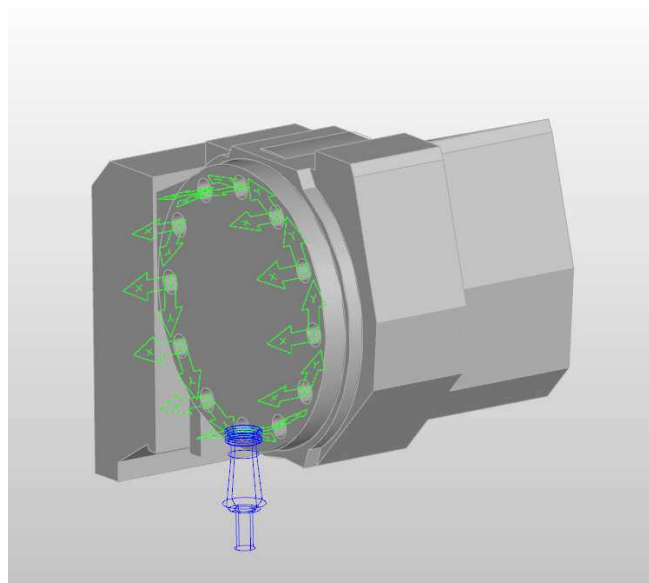
Pro snadné zarovnání jsem si skryl nástrojové bloky. Vlevo ve stromě **part view** jsem pravým tlačítkem myši klikl na patřičný solid a zvolil jsem **skrýt vybrané**. Stejným způsobem jsem poté solid opět zviditelnil. Pro správnou funkčnost doporučuji dodržet primární nástrojovou pozici, přestože neodpovídá té reálné. U pravoúhle orientovaných strojů s revolverovým zásobníkem je doporučené za primární pozici volit tu nejspodnější.

Poté jsem pomocí nástroje **přidat pozice nástroje** v první záložce zvolil solid představující zásobník a zatrhl zbylé možnosti viz Obr. 15. [16]



Obr. 15 Vzor vyplnění záložky přidat pozice nástroje

V následující záložce jsem zvolil možnost **přidat** a poté v okně **přidat umístění nástroje** jsem zvolil UCS pro primární pozici nástroje. Jako **typ** jsem vybral možnost **nástrojová hlava**, jako typ upnutí jsem zatrhl **pro vnější nasazené nástroje** a dále jsem nastavil hodnotu **opakování 12**. Zobrazený náhled byl shodný s Obr. 16.



Obr. 16 Náhled UCS nástrojových pozic

Po kliknutí na **další** jsem zaškrtl všechny možnosti dle Obr. 17 a dokončením tohoto kroku jsem pozice nástrojů definoval.

Každá nová pozice

Pozice nástroje mohou být:

- Rotační X
- Rotační Z
- Vnější nůž
- Z soustr. vyvrtávací tyč
- Soustr. upichovák

Mohou řešit:

- Hlavní vřeteno
- Protivřeteno

Odsazení simulace úhlu C

Počáteční pozice

Delta pozice nástroje :

- Zobrazit nástrojový blok
- Zobrazit držák fréz
- Zobrazit držák nožů
- Přidán opačný směr otáčení rotačního nástroje oproti první pozici nástroje
- Přepnout opačný směr (směr otáčení) každé další pozice nástroje
- Má ATC

< Zpět **Dokončit** Zrušit Nápověda

Obr. 17 Okno pro definování vlastností pozic

V průběhu tvorby této bakalářské práce jsem narazil na další dvě práce se stejnou tematikou, ve kterých se jednalo o tvorbu CNC soustruhu a CNC frézky také v softwaru Autodesk FeatureCAM. V případě CNC frézky stačilo definovat pouze jeden UCS, jelikož stroj neobsahuje žádný zásobník a i v praxi nástroj vyměňuje obsluha. [17] V případě CNC soustruhu bylo nutné definovat jeden UCS pro vnější soustružnické nože a druhý UCS pro vnitřní soustružnické nože a vrtáky. [18] V tomto případě student po sérii neúspěšných řešení vytvořil pro každý UCS jeden kinematický model, což není uživatelsky úplně praktické.

4.6 Definování nástrojových bloků

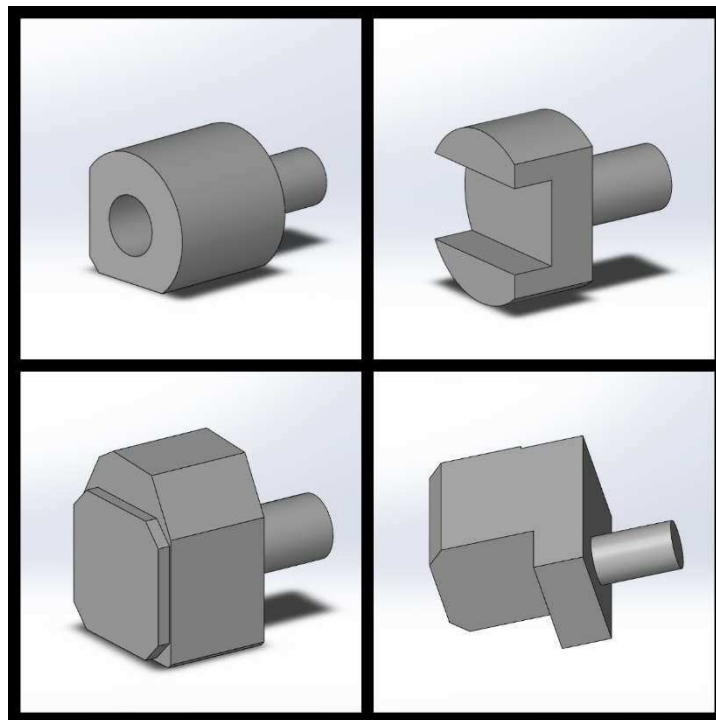
Jak je již zmíněno v kapitole týkající se hierarchie, nástrojové bloky nejsou vyloženy součástí kinematického modelu stroje. Jedná se o solidy, které představují nástrojové držáky a jejich definování je věnována následující kapitola.

V případě každého bloku je potřebné definovat 2 UCS. Jeden slouží k umístění nástroje (držáku nástroje) vzhledem k nástrojovému bloku a druhý nám určuje pozici nástrojového bloku vzhledem k zásobníku. [19]

První zmíněný je charakteristický pro různé skupiny nástrojů a to znamená, že v daném případě je nutné definovat celkem 6 nových UCS pro 6 bloků. Definování UCS je závislé na konstrukci nástrojových držáků, proto v příloze uvádím tabulku nástrojů a příslušných nástrojových bloků. Název bloků je shodný s bloky v přiloženém elektronickém souboru kinematického modelu, nikoliv s názvy v přiložených CAD datech, a to z toho důvodu, že nástrojový blok definovaný v softwaru Autodesk FeatureCAM jako držák vnějších soustružnických nožů je v kinematickém modelu třikrát, každopádně ve všech případech je použitý stejný CAD model. Výsledkem tohoto řešení je, že držák nástroje nebude utopený, nebo mimo nástrojový blok.

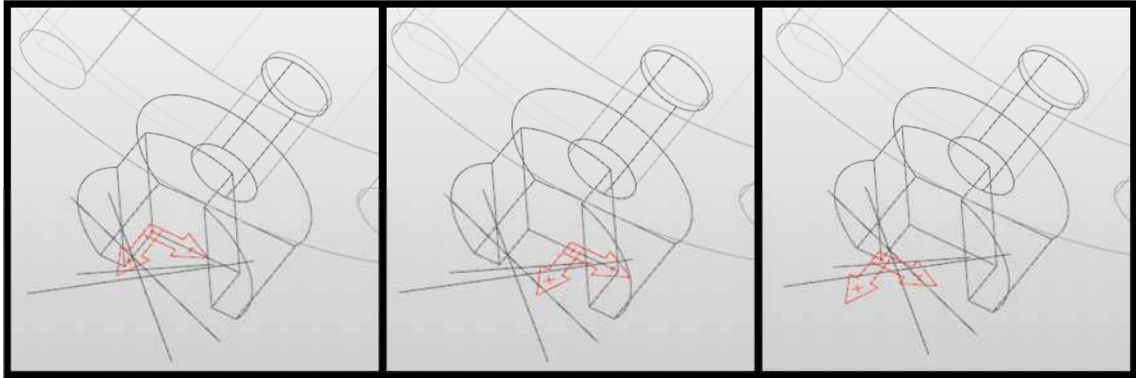
Druhý zmíněný je společný a konkrétně se jedná o UCS, který definuje primární pozici nástroje v zásobníku. U nástrojových bloků není nutné počítat s konstrukční vůlí, jelikož v tomto případě nehrozí riziko uměle vytvořené chyby, která by byla způsobena kontaktem dvou solidů.

Pro danou aplikaci jsem potřeboval 4 CAD modely bloků vzhledem k možným použitým typům nástrojů, jelikož každý typ je charakteristický svým uložením v nástrojovém bloku. Všechny typy ukazuje Obr. 18.

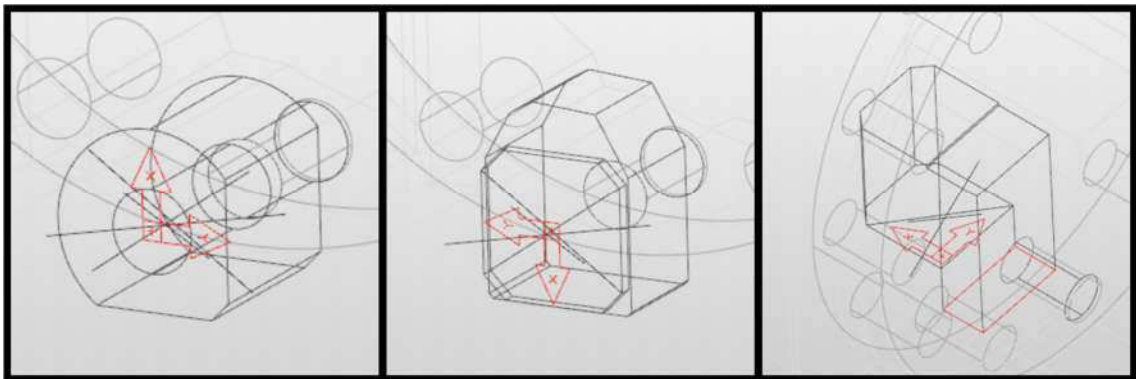


Obr. 18 CAD modely nástrojových bloků (pro vnitřní soustružení – vlevo nahoře, pro vnější soustružení – vpravo nahoře, pro axiální poháněné nástroje – vlevo dole, pro radiální poháněné nástroje – vpravo dole)

V první řadě jsem si vytvořil 6 nových UCS a zřetelně je pojmenoval podle patřičného nástrojového bloku, abych neztratil přehled v tom, pro jaký blok jsou určeny. Poté jsem začal UCS patřičně zarovnávat a výsledek ukazují Obr. 19 a 20.



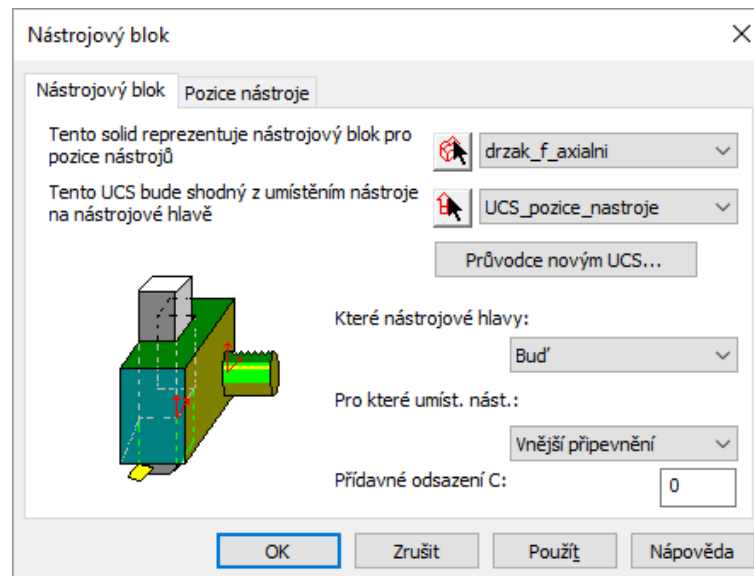
Obr. 19 Zarovnání UCS pro drzak_s_vnejsi_1 (vlevo), drzak_s_vnejsi_2 (uprostřed), drzak_s_vnejsi_3 (vpravo)



Obr. 20 Zarovnání UCS pro drzak_s_vnitri (vlevo), drzak_f_axialni (uprostřed), drzak_f_radialni (vpravo)

Pro usnadnění zarovnávaní jsem si vytvořil dva kříže. V záložce **konstrukce** jsem využil nástroje **čára**. UCS jsem zarovnával přes možnost **plocha** a jako bod jsem vždy označil průsečík příslušného kříže. Je důležité dodržet, aby kříže byly rovnoběžné s danou plochou, jinak se UCS nezarovnají správně. Poté jsem už pouze otáčel jednotlivé UCS tak, aby jejich orientace odpovídala opět Obr. 19 a 20. Na Obr. 20 u **drzak_f_radialni** je navíc zvýrazněná plocha, v jejíž úrovni je zarovnán daný UCS. Využil jsem deaktivace stínování v záložce **domů**.

Dále jsem pomocí nástroje **nástrojový blok pro pozice nástrojů** jednotlivé bloky definoval. Obr. 21 ukazuje správné vyplnění záložky **nástrojový blok** pro blok představující nástrojový držák pro axiální poháněné nástroje. Ve všech šesti případech jsem tedy zvolil UCS pro primární pozici nástroje a pouze jsem volil příslušné solidy bloků.



Obr. 21 Vzorové vyplnění záložky nástrojový blok

Na další záložce následovalo přidání pozice nástroje a její definice podle příslušného typu bloku. Zvolil jsem patřičný UCS a volbu **modelováno pro řez s vřetenem** jsem neměnil, zanechal jsem tedy předdefinovanou hodnotu **oba**. Pro blok držící axiální poháněný nástroj jsem zatrhl možnost **rotační Z**, pro blok držící radiální poháněný nástroj jsem zatrhl možnost **rotační X**, pro blok držící vnější soustružnický nůž jsem zatrhl možnost **vnější soustružení** a **umístí zadek nástroje** a pro blok držící vnitřní nůž jsem zatrhl **vnitřní soustružení**. Ve všech šesti případech jsem nechal zaškrtnuté možnosti **zobrazit držák fréz** a **zobrazit držák nožů**.

Pokud bude vnitřní soustružnický nůž způsobovat kolizi při natáčení zásobníku, tak je to způsobeno tím, že je moc vsunut do nástrojového bloku a tedy až do zásobníku nebo nástrojové hlavy, a je tedy nutné upravit jeho vyložení.

Nástrojové bloky se jednotlivým nástrojům přiřazují přímo v **.fm souboru** na cestě **featury a obrábění → nástroje → použité nástroje → vyberte držák**. Zde se také určuje pozice v nástrojové hlavě, a to tak, že do pole **číslo nástroje** se zapíše hodnota 1 až 12, poté se zvolí možnost **stejně** a poté **nastavit**.

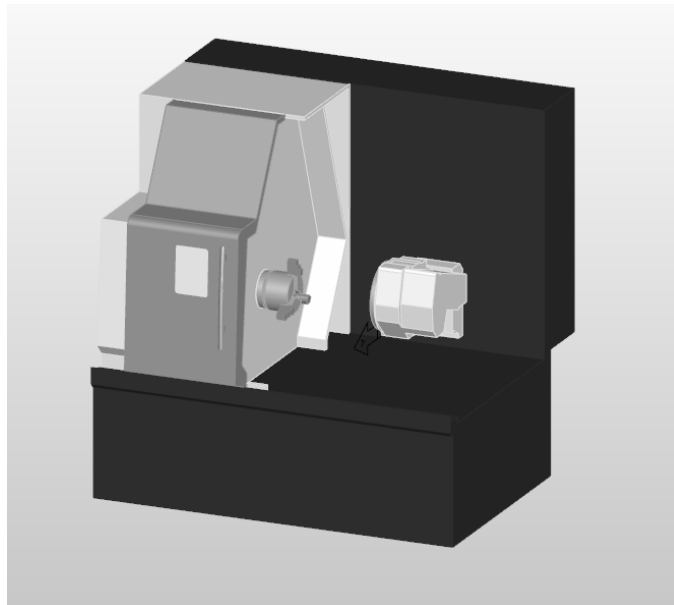
4.7 Úprava zobrazení a nastavení

Úprava zobrazení má nejen vliv na vzhled a kvalitu zobrazení stroje, ale také na jeho funkčnost. V případě daného kinematického modelu docházelo ke kolizím jen kvůli nedostatečnému vyhlazení pohyblivých solidů vzhledem

k malým vůlím (řádově milimetrovým). Bylo tedy nutné maximalizovat jemnost u solidů, u kterých docházelo ke kolizím (zásobník, nástrojová hlava, sklíčidlo, čelisti, plášť stroje). Z důvodu kvalitního zobrazení modelu jsem nastavil maximální jemnost u všech solidů stroje včetně nástrojových bloků. Zvýšení jemnosti nemělo vliv na rychlost výpočtu simulace. Jemnost se zvyšuje v záložce **kinematika stroje**, konkrétně ve **vlastnostech zobrazení**. U všech solidů jsem tedy nastavil hodnotu **1**.

Dále jsem v záložce **pohled** upravil barvy jednotlivých solidů. Nejdříve jsem vlevo ve stromě **part view** vybral příslušný solid a poté se aktivoval nástroj **změnit vybrané**. [20] Barvy stroje jsem v daném případě odhadem přiblížil realitě. Výsledek ukazuje Obr. 22.

Poté jsem v možnostech simulace na cestě **soubor** → **možnosti** → **simulace** → **2D/3D stínování** ověřil, zdali jsou zatrhlé možnosti **zastavit při kolizi** a **zobrazit zprávu při kolizi**.



Obr. 22 Výsledná podoba stroje

4.8 Propojení s postprocesorem a přiřazení modelu úloze

Propojení s postprocesorem jsem provedl pomocí aplikace XBUILD (Turn/Mill). Kinematický model jsem propojil s postprocesorem, který je pro práci na daném stroji používán. Na cestě **sim-Info** → **nastavit .md** jsem vybral příslušný soubor kinematického modelu stroje ve formátu **.md**. Dále jsem musel deaktivovat možnost **adresovat proti-vřeteno** na cestě **CNC-info** → **Nástrojové**

hlavy. Možnost byla zatrhnuta, přestože stroj není protivřetenem vůbec vybaven. Na základě toho přestala být hlášena chyba při kinematické simulaci.

Po otevření určité úlohy jsem vpravo dole definoval postprocesor s již přiřazeným kinematickým modelem a deaktivovanou možností adresace protivřetena. Vedle na liště jsem definoval stroj a to volbou možnosti **použit specifikovaný v souboru.cnc**, ve stejném okně se definuje i odsazení obráběné součásti od **vrchního stolu** (sklíčidla).

5 Testování funkčnosti kinematického modelu

V poslední řadě bylo nutné ověřit funkčnost kinematického modelu. Konkrétně, zdali model při vlastní realistické simulaci nabízí veškeré požadované funkce včetně detekce kolizí a je také schopný zpracovat bezchybně úlohu, kterou zpracuje stroj. Testování jsem provedl následujícími třemi způsoby:

- realistickou simulací testovací úlohy
- realistickou simulací chybové testovací úlohy
- realistickou simulací již obrobené úlohy

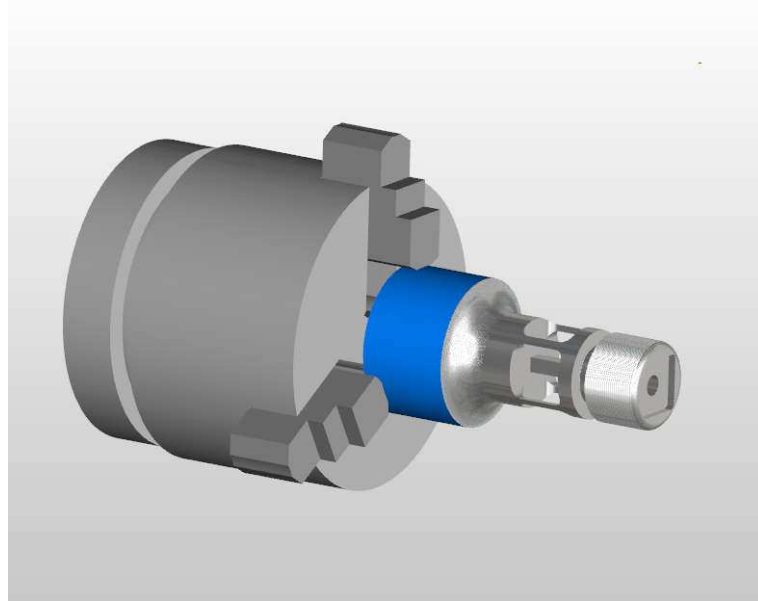
5.1 Realistická simulace testovací úlohy

Úlohu jsem připravil v softwaru Autodesk FeatureCAM bez použití CAD modelu. Pro danou aplikaci bylo toto řešení dostačující a z časového hlediska úspornější. Podotýkám, že se jedná pouze o test a proto jsem neřešil vhodnost daných strategií, řezných podmínek apod. Naopak jsem pracoval tak, aby byl výsledek co nejnázornější. Úloha je také koncipována jako ukázala veškerých možností, kterými disponuje reálný stroj. Obsahuje tedy:

- vnitřní a vnější soustružení
- soustružení zápichu a závitu
- frézování do čela i pláště
- vrtání do čela

V první řadě jsem definoval polotovary a následně začal vkládat jednotlivé featury. Vnitřní a vnější soustružení jsem realizoval za pomoci křivek, které jsem použitím geometrie (CAD) vytvořil. Frézovací a vrtací operace jsou vytvořeny z rozměrů a pomocí souřadnic umístěny. Stejně tak tomu je i v případě soustružení závitu a zápichu.

Dále jsem uspořádal nástroje v zásobníku tak, aby byl jeho pohyb při změně nástroje názorný a bylo ukázáno, že dokáže rotovat v obou směrech. V závěru jsem přiřadil postprocesor s kinematickým modelem a definoval umístění polotovaru. U simulace lze dále pozorovat aktivní osu C a úchop polotovaru čelistmi. Výsledek simulace ukazuje Obr. 23. Pro tuto úlohu je definované odsazení v ose Z, které se definuje v okně pro výběr stroje, -220 mm.



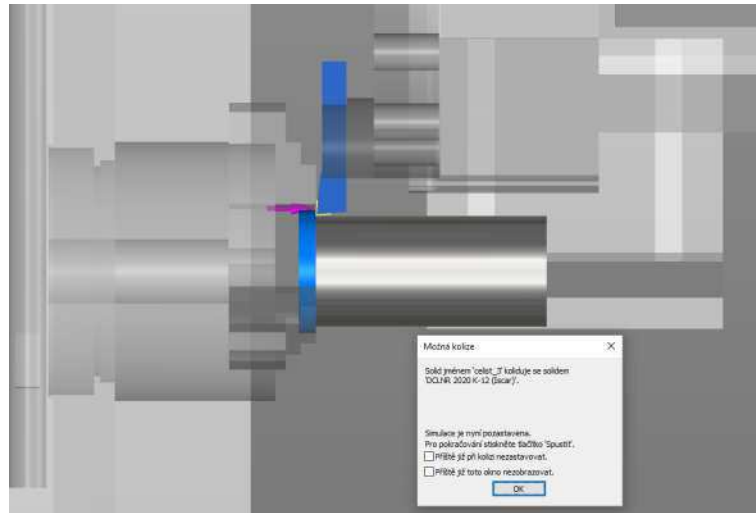
Obr. 23 Testovací úloha

5.2 Realistická simulace chybové testovací úlohy

Chybová úloha vychází z požadavků na daný kinematický model. Má tedy odhalit kolizi mezi nástrojem a obrobkem, čelistmi, sklíčidlem, nebo pláštěm stroje za sklíčidlem.

Vytvořil jsem dvě základní operace, konkrétně vrtání a vnější soustružení. V případě vrtání jsem záměrně začal vrtat pod povrchem čela a v případě soustružení jsem nasměroval nůž až do oblasti rotujících čelistí. V obou případech dojde k zastavení simulace a zobrazí se chybová hláška, ve které jsou uvedeny oba prvky, které vzájemně kolidují. Dále se kinematický model zprůhlední a barevně se vyznačí místo kontaktu. Toto se odehraje při jakékoliv kolizi jakýchkoliv prvků. Kolizi soustružnického nože a čelistí ukazuje Obr. 24.

Pro tuto úlohu je definované odsazení v ose Z, které se definuje v okně pro výběr stroje, opět -220 mm.

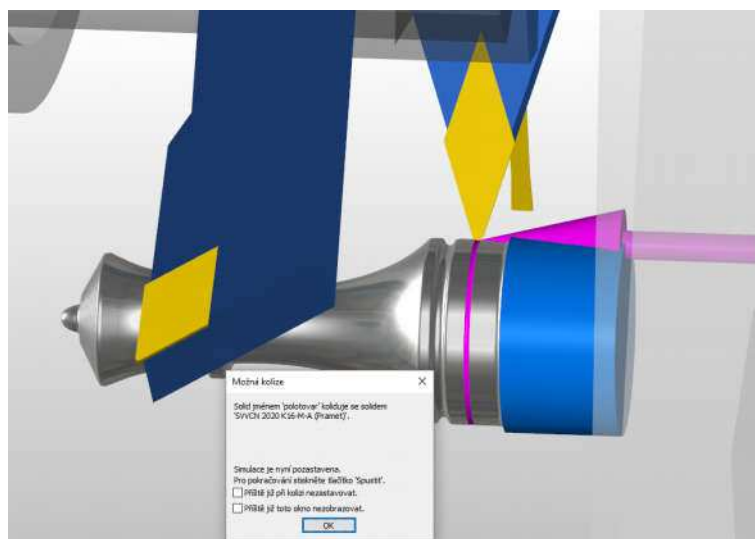


Obr. 24 Simulace kolize soustružnického nože a čelistí

5.3 Realistická simulace již obrobené úlohy

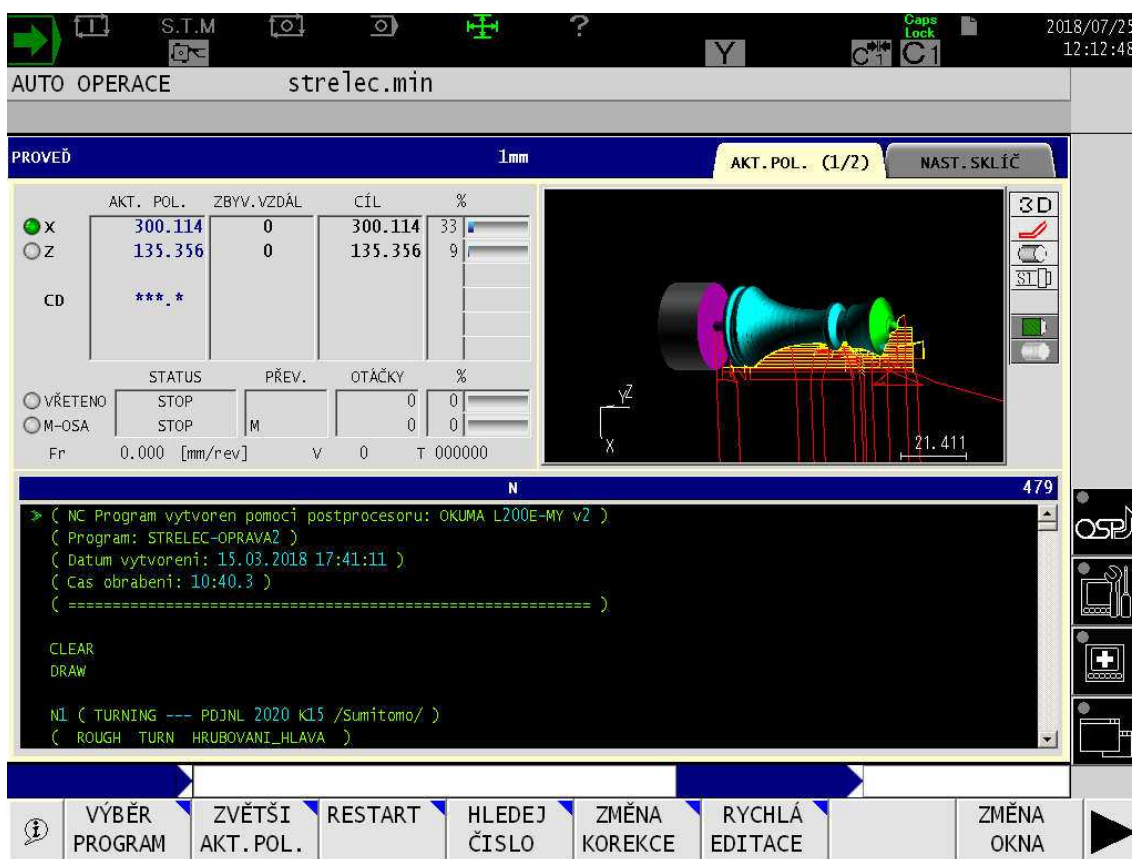
Pro kompletnost zbývalo simulovat již obrobenou úlohu. Po dohodě s vedoucím práce Ing. Janem Tomíčkem, Ph.D. a Ing. Pavlem Novákem, Ph.D. jsem provedl simulaci již vyrobené šachové figurky střelce z bakalářské práce studenta Bc. Vladislava Martince, která se vypracovávala ve stejném čase pod vedením Ing. Pavla Nováka, Ph.D. Obrábění jsem s asistencí Ing. Pavla Nováka, Ph.D. znovu provedl na stroji, každopádně bez přítomnosti polotovaru. Poté jsem danou úlohu simuloval s použitím kinematického modelu a v ten moment nejaktuálnějšího **souboru .fm** střelce ke dni 25. 7. 2018 poskytnutého Ing. Pavlem Novákem, Ph.D.

V případě simulace s kinematickým modelem byla detekována kolize viz Obr. 25, ale po bližším prozkoumání jsem došel k závěru, že kolize není způsobena chybnou funkcí kinematického modelu, jelikož ke stejné kolizi docházelo i při pouhé 3D simulaci, která je také založena na stejných CL datech. Navíc docházelo ke kolizi mezi vyměnitelnou břitovou destičkou a povrchem obráběné součásti. Poté se simulaci podařilo dokončit.



Obr. 25 Kolize při realistické simulaci

Dále uvádím snímek obrazovky řídicího panelu stroje Obr. 26, na kterém je zachycena simulace při obrábění figurky střelce na stroji.



Obr. 26 Snímek obrazovky řídicího panelu stroje

V okně pro výběr kinematického modelu jsem definoval odsazení -75 mm, které jsem si na stroji naměřil. Polotovar v .fm souboru není shodný s reálným polotovarem, proto jsou také čelisti maximálně sevřené.

6 Závěr

Na základě testování konstatuji, že jsem vytvořil kinematický model stroje Okuma Genos L200E-MY, kterému jsem přizpůsobil drobným zásahem postprocesor a který je schopný pracovat s příslušnou knihovnou nástrojů a dále je schopný detekovat možné kolize při tvorbě CL dat. Kontrola však nemusí být vždy stoprocentní, jelikož tento způsob simulace nezohledňuje zásah postprocesoru. Kinematický model je možné používat při praktických úlohách jako kontrolní prvek správnosti CL dat.

Tato bakalářská práce zároveň může sloužit jako podklad pro tvorbu jiného komplikovanějšího kinematického modelu stroje, jelikož je postup tvorby popsán značně detailně a doposud byly v softwaru Autodesk FeatureCAM zpracovány pouze jednodušší modely především z hlediska revolverového zásobníku.

7 Zdroje

- [1] Autodesk HSM (Inventor HSM): Integrovaný CAM - efektivní obrábění pro digitální prototypy. *CAD studio* [online]. b.r. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: https://www.cadstudio.cz/inventorhsm?gclid=CjwKCAjw-dXaBRAEEiwAbwCi5j65trpkzFZuKXq-JMwrrTffkJismfjbI5479gubq7I7Iuc81cCpRRoCbEcQAvD_BwE
- [2] Autodesk FeatureCAM. *CAD CAM SYSTEMS* [online]. Brno: CAD CAM SYSTEMS, b.r. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <https://www.cadcam-systems.cz/cad-cam-software/featurecam/>
- [3] Porovnání edicí Autodesk FeatureCAM. *FEATURECAM* [online]. Brno: CAD CAM SYSTEMS, b.r. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <https://www.featurecam.cz/porovnani-edici/>
- [4] REDAKCE, . NCSIMUL - software nejen pro simulaci. *Časopis CAD* [online]. Brno: CCB, spol. s r. o., b.r. [cit. 2018-07-23]. ISSN 1802-6168. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/6775-ncsimul-software-nejen-pro-simulaci.html>
- [5] Collision Avoidance System: Your safeguard against costly human errors. *Okuma America: Tchnology* [online]. b.r. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <https://www.okuma.com/collision-avoidance-system-1>
- [6] NX CAM. *AXIOM TECH* [online]. Zlín: AXIOM TECH, b.r. [cit. 2018-07-29]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24816-nx-cam>
- [7] NX CAM. *TPV group s.r.o.: Software a služby nejen pro strojírenské firmy* [online]. Třemošnice, b.r. [cit. 2018-07-29]. Dostupné z: <http://www.tpvgroup.cz/nx-cam/>
- [8] MICHAL, Janda. Simulace reálného NC kódu pro obrábění: Simulace řízená řídicím systémem stroje. *MM Průmyslové spektrum: Odborně-vzdělávací a zpravodajský portál z oblasti strojírenství a navazujících oborů* [online]. Praha: MM publishing, s. r. o., b.r. [cit. 2018-07-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-realneho-nc-kodu-pro-obrabeni.html>
- [9] Digitally transform part production using NX for Manufacturing: NX for Manufacturing. *Siemens: Digitalization feeds the world* [online]. USA, b.r. [cit. 2018-07-29]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/nx-for-manufacturing.html>
- [10] LOUCKÝ, Milan. Pokročilé simulace obrábění v prostředí NX CAM: Případová studie řešení simulátoru. *Konstruktor* [online]. Brno: Nová média, s. r. o., b.r. [cit. 2018-07-29]. Dostupné z: <https://www.konstruktor.cz/pokrocile-simulace-obrabeni-v-prostredi-nx-cam/>

- [11] *GENOS L200-MY/L200E-MY: TECHNICAL SHEET (1st Edition)*. 1st. 2013. TLE13-050-R1.
- [12] Parent/Child Relationships dialog. *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-60A0C841-271E-44F9-8152-5F7183C0AAE6>
- [13] Top-most Table dialog. *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-16]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-FB2FBBD4-0A44-4267-BF80-5F76F916C8D9>
- [14] Specify Movement dialog. *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-18]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-0A506E6F-2A8A-4DCF-A471-787DB4FF1338>
- [15] Part Handling Movement dialog. *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-18]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-46EB0ADF-B098-4EC8-8166-2916F7627CE9>
- [16] Add tool locations dialog (Turning). *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-16]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-78D648F5-3A02-4614-AB25-780B6CDB1344>
- [17] *Simulace 3D frézování ve FeatureCAM: definování nejvrchnějšího stolu a umístění nástroje*. Praha, 2012. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní. Vedoucí práce Jan Tomíček.
- [18] KŘIVSKÝ, Jakub. *Simulace soustružení ve FeatureCAM*. Praha, 2012. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie. Vedoucí práce Ing. Jan Tomíček.
- [19] Tool Block dialog. *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-16]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-A9D6CA75-9976-40F2-AD86-552F2CE70B6A>
- [20] Options > Display > Default Colors. *AUTODESK FEATURECAM 2018: FeatureCAM Help* [online]. 2017 [cit. 2018-07-18]. Dostupné z:
<http://help.autodesk.com/view/FCAM/2018/ENU/?guid=GUID-0069FDB2-6A13-489A-B3D1-727ACA0E50EE>

8 Přílohy

8.1 Elektronické přílohy

- [1] Příloha 1: CAD model - čelist (celist)
- [2] Příloha 2: CAD model – držák axiál. p. nástrojů (drzak_f_axialni)
- [3] Příloha 3: CAD model – držák radiál. p. nástrojů (drzak_f_radialni)
- [4] Příloha 4: CAD model – držák soustruh. nůž vnější (drzak_s_vnejsi)
- [5] Příloha 5: CAD model – držák soustruh. nůž vnitřní (drzak_s_vnitri)
- [6] Příloha 6: CAD model – dveře (dvere)
- [7] Příloha 7: CAD model – nástrojová hlava (nastrojova_hlava)
- [8] Příloha 8: CAD model – plášť stroje (plast_stroje)
- [9] Příloha 9: CAD model – podstava (podstava)
- [10] Příloha 10: CAD model – sklíčidlo (sklicidlo)
- [11] Příloha 11: CAD model – zásobník (zasobnik)
- [12] Příloha 12: CAD sestava – sestava stroje (sestava.SLDASM)
- [13] Příloha 13: CAD sestava – sestava stroje (sestava.STEP)
- [14] Příloha 14: upravený postprocesor (OKUMA L200E-MY_v2)
- [15] Příloha 15: knihovna nástrojů (nastroje)
- [16] Příloha 16: kinematický model stroje (kinematicky-model.md)
- [17] Příloha 17: testovací úloha (testovaci_uloha.fm)
- [18] Příloha 18: chybová testovací úloha (chybova_testovaci_uloha.fm)

8.2 Textové přílohy

- [1] Příloha 19: tabulka nástrojů a příslušných nástrojových bloků

Typ nástroje	Nástroj	Nástrojový blok
vnější soustružnické nože	DCLNR 2020 K-12 (Iscar)	drzak_s_vnejsi_1
	MWLNR 2020 K-06W (Iscar)	
	PWLNR 2020 K06 (Sumitomo)	
	SVVCN 2020 K16-M-A (Pramet)	
vnější soustružnický nůž (závitový)	SER2020 K16 (Pramet)	
vnější soustružnické nože	MWLNL 2020 K08 (Sumitomo)	drzak_s_vnejsi_2
	PDJNL 2020 K15 (Sumitomo)	
	SCLCL 2020 K12-M-A (Pramet)	
	SVJBL 2020 K16 (Sumitomo)	
vnější soustružnický nůž (zápichový)	TGSU 35-3-IQ-4Z (Iscar)	
vnější soustružnické nože	SDJCL 2020 K11-M-A (Pramet)	drzak_s_vnejsi_3
	SVJNR 2020 K-12F (Iscar)	
vnitřní soustružnický nože	A20Q SVUNR 12 (Iscar)	drzak_s_vnitri
	A20Q SWLCR 06 (Pramet)	
	A20Q SVJBR 11 (Pramet)	
	A25Q MWLNR 06W (Iscar)	
	JBTR 04190010-D028 (Tungaloy)	
	JBTR 04190010-D040 (Tungaloy)	
	S12K-STFCR 11 (Pramet)	
	S16Q SDUCR 07 (Iscar)	
	S16R SCLCR 09 (Sumitomo)	
	S16R SDUCR 07S (Sumitomo)	
	S16R STFCR 11 (Sumitomo)	
	S20Q SDZCR 11 (Pramet)	
stopkové frézy	Multifunkční 12	drzak_f_axialni drzak_f_radialni
	Válcová 12	
	Válcová 3	
navrtávky a vystředovávky	Multifunkční 3 – 90°	
	Navrtávák 3 – 90°	
šroubovitý vrták	305DA–12.0-56-A12 (Pramet)	

Tab. 1 Tabulka nástrojů a příslušných nástrojových bloků