

ČESKÉ VYSOKÉ ÚČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

## **Využití přípravků v CAM software**

**Bakalářská práce**

Autor práce: Adam Škrobánek

Studijní obor: Teoretické základy strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škrobánek** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **484124**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Využití přípravků v CAM software**

Název bakalářské práce anglicky:

**Fixtures utilization in CAM software**

Pokyny pro vypracování:

Práce se zabývá využitím modelů přípravků a upínacích prostředků v CAM software. Práci provede řešerši na téma využití modelů neobráběných částí v CAM s ohledem na možnosti simulace, lepší verifikace či větší názornosti obrábění. V průmyslovém prostředí partnera práce pak dojde k realizaci virtuálního pracoviště využívajícího modelů přípravků ve vybraném CAM SW. Body práce:

- 1) Rešerše na téma přípravky a upínání v CAMu.
- 2) Rozbor výrobních procesů ve firmě s ohledem na upínání
- 3) Doporučení dílu nebo pracoviště, pro které má nasazení modelu upínacích prostředků největší význam
- 4) Příprava modelů upínačů či přípravků v CAD, import
- 5) EdgeCAM – definice přípravků, využití, testování a ověřování funkčnosti
- 6) Závěry a doporučení pro reálnou aplikaci

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: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.07.2021**

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.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá využitím přípravků v prostředí CAM softwarů. Jejím cílem je ukázat, že užití přípravků v CAM softwarech je praktické a přináší mnoho výhod. Na začátku budou popsány přípravky a jejich vlastnosti, dále CAM software a jeho možnosti právě v kombinaci s přípravky. Praktická část práce se zabývá importem prvků a následnou prací s nimi. V práci budou použity softwary EdgeCAM, PowerMILL a FeatureCAM.

**Klíčová slova:** Přípravek, CAM software, import, simulace

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with use of fixtures in the environment of CAM software. Its aim is to show that using of fixtures in CAM software is practical and bring us many benefits. At the beginning the fixtures and their features will be introduced as well as CAM software and its possibilities in combination with fixtures. The practical part of these thesis deals with the import of fixtures and subsequent work with them. EdgeCAM, PowerMILL and FeatureCAM software will be used in the work.

**Key words:** Fixture, CAM software, import, simulation

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Hrubovací strategie v CAM softwarech vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jana Tomíčka Ph.D. s využitím použité literatury uvedené ve zdrojích.

V Praze dne:

Podpis:

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D za odborný dohled, cenné připomínky a čas, který mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

Také bych rád poděkoval firmě SSI Schaefer za poskytnutí licencí a možnosti pracovat na mé bakalářské práci v jejich prostředí. Speciálně bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavovi Hapalovi, panu Romanu Vozákovi a panu Petrovi Kříži za pomoc a cené rady nejen při tvorbě práce.



## Obsah

1. Úvod.....	3
2. Přípravky.....	4
2.1. Definice a rozdělení přípravků .....	5
2.2. Materiály přípravků .....	7
2.3. Přípravky z ekonomického hlediska.....	9
2.4. Konstrukce přípravků .....	9
2.5. Přípravky a jejich vliv na přesnost/nepřesnost .....	10
2.5.1. Přesnost přípravků.....	10
2.5.2. Nepřesnost ustavení pomocí přípravku.....	11
3. Přípravky a CAM.....	11
3.1. CAM obecně.....	11
3.2. Význam a použití přípravků v CAM .....	13
3.2.1. Hlavní požadavky na přípravky v CAM.....	14
3.2.2. Vložení přípravku do CAMu .....	15
3.2.3. Více setupů během obrábění – přesun upínek .....	16
3.2.4. Simulace, verifikace a kontrola kolizí.....	16
3.2.5. Stroje v CAM systémech .....	17
3.2.6. Další funkce CAM softwaru .....	17
3.3. EdgeCAM.....	18
3.3.1. Tvorba obráběcího postupu v systému EdgeCAM .....	19
3.4. PowerMILL .....	20
3.5. FeatureCAM .....	20
4. Rozdělení přípravků ve firmě .....	21
5. Představení přípravku, dílu a pracoviště.....	22
5.1. Díl určený k obrábění .....	22



5.2.	Pracoviště.....	23
5.2.1.	Parametry stroje: .....	24
5.3.	Přípravek.....	25
6.	Import a definice sestavy .....	26
7.	Obrobení, Simulace, Verifikace.....	30
8.	Porovnání s jinými CAM softwary .....	35
8.1.	FeatureCAM .....	35
8.2.	PowerMILL .....	39
8.3.	Výhody a nevýhody využití přípravků v CAM softwaru .....	42
8.3.1.	Ekonomické přínosy práce s přípravky .....	42
8.4.	Vyhodnocení CAM softwarů.....	43
9.	Závěry .....	45
10.	Zdroje .....	46
11.	Seznam použitých symbolů a zkratk .....	48



# 1. Úvod

Strojírenská výroba se neustále posouvá a modernizuje. Jedním z hlavních důvodů jsou stále složitější a propracovanější výrobky, které jsou požadovány klientelou. Jejich obrobění je často složité až téměř nereálné. Z tohoto důvodu vznikají takzvané přípravky, které danou výrobu, respektive možnost výroby, mají urychlit nebo zjednodušit, případně zajistit vůbec její proveditelnost na daném stroji – zejména při sériové výrobě.

Dále vzhledem ke složitosti dílů je opravdu náročné programovat stroje ručně, a proto se dnes ve větších, více automatizovaných firmách, používají softwary typu CAM – Computer aided manufacturing, tedy počítačem řízená výroba. Díky těmto softwarům jsme schopni jak zefektivnit výrobu, tak ji zjednodušit, zkrátit.

Bakalářská práce se bude zabývat zejména přípravky a jejich užití v softwaru CAM.



## 2. Přípravky

Přípravek je speciální nástroj používaný k umístění a pevnému držení obrobku ve správné poloze během výrobního provozu. Obecně je to zařízení pro podepření a upnutí obrobku. Jedná se o doplňky strojů při výrobě.

Hlavním účelem přípravku je rychle a přesně lokalizovat díl, řádně jej podepřít a bezpečně držet po celou dobu operace, čímž zajistí, že všechny součásti vyrobené se stejným přípravkem budou shodné v rámci určených mezí. Tímto způsobem je zajišťována přesnost a zaměnitelnost dílů. Rovněž zkracuje pracovní dobu v různých fázích operace, při nastavování a upínání obrobku, při nastavování rezného nástroje na požadované rozměry a během samotné operace tím, že umožňuje těžší posuvy díky efektivní pracovní podpoře. Slouží také ke zjednodušení komplikovaných operací, aby bylo možné použít levnější, relativně méně kvalifikovanou pracovní sílu k přípravě operací dříve vyhrazených kvalifikovaným mechanikům. [2]



(1) Příklad složitějšího přípravku [6]

Přípravky a upínací prvky rozšiřují kapacitu standardních strojů. Jinými slovy mění obyčejné a jednoduché obráběcí stroje na ekvivalent specializovaného zařízení. Díky udržení nebo dokonce zlepšení zaměnitelnosti dílů, přispívá k podstatnému snížení nákladů na montáž, údržbu a následnou dodávku náhradních dílů. Přípravky a upínací prvky v zásadě snižují náklady a zvyšují potenciál standardních strojů a kvalitu vyráběných dílů. [2]

Je třeba také zmínit, že se často můžeme setkat s tím, že se říká práce s, nebo bez přípravku. Přípravek je v technologické soustavě vždy přítomen, jen zřídka se jedná o přípravek univerzální, tudíž se to bere jako bez použití specialních přípravků navíc.

## 2.1. Definice a rozdělení přípravků

Přípravky lze definovat jako pomocná zařízení určená:

- a) k ustavení a pevnému uchycení součásti v průběhu obrábění,
- b) k vzájemnému přidržení více součástí při skládání v celek,
- c) ke správnému vedení nástroje,
- d) ke kontrole finálních rozměrů obrobku.

Přípravky dělíme podle tří základních ukazatelů:

- 1) **Podle použitelnosti ve výrobě**
  - a) *Přípravky univerzální*, používané při upínání několika obrobku podobného typu jiných rozměrů a tvarů. Některé vyžadují pro každý druh obrobku speciální upínací prvky (např. svěrák s čelistmi a jiné).



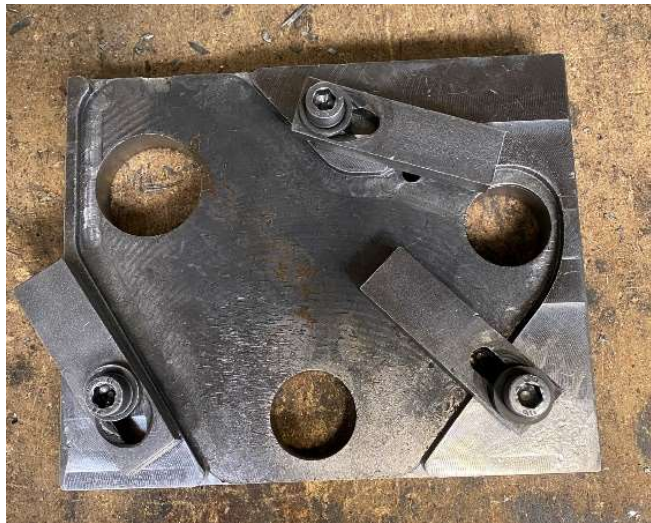
(2) Příklad univerzálního přípravku [17]



(3) Příklad univerzálního přípravku [17]

- b) *Přípravky skupinové*, u kterých je větší část přípravku stejná pro danou skupinu součástí, skládají se ze stálých nebo vyměnitelných, případně seřiditelných součástí. Stále součásti jsou zejména hlavní těleso přípravku, jeho silová jednotka a upínací mechanismus. Mezi vyměnitelné nebo seřiditelné součásti bychom mohli zařadit vodící a ustavovací prvky přípravku, někdy i upínací elementy. Vyměnitelné součásti jsou řešeny v závislosti na jejich složitosti (zvláštnosti tvaru) součástí, skupiny se vyměňují při změně obrábění dávky jednoho druhu na druh jiný.
- c) *Přípravky stavebnicové* jsou vytvořeny z typizovaných dílů v požadovaný celek, díky čemuž můžeme sestavit rozmanité množství různých přípravků dle nároků.

- d) *Přípravky speciální* slouží k upínání určitého obrobku, pro který byly vyrobeny. Jedná se často o speciální obrobky, které jsou za užití univerzálních přípravků těžko obrobitelné. Příkladem by mohlo být třeba těleso ventilu, jehož polotovarem je výkovek. [1]



(4) Příklad speciálního přípravku pro frézování [17]

## 2) *Podle prováděné operace*

- a) *Přípravky obráběcí* slouží k upnutí obrobku v určité poloze vzhledem k nástroji. Zajišťují také vedení nástroje, je-li to nutné v daném případě.
- b) *Přípravky montážní* určené především k přidržení součástí při jejich rozebíratelném a nerozebíratelném spojení. Patří zde i svařovací přípravky.
- c) *Přípravky kontrolní* slouží ke kontrole požadovaných rozměrů či daných geometrických tvarů.
- d) *Přípravky rýsovací* jsou určeny rýsování tvarů před obráběním, něco na způsob šablony.
- e) *Ostatní zařízení pomáhající při výrobě* jsou pomůcky, které zvyšují efektivitu a pracovní využití jednotlivých strojů. Radíme zde hlavně pomůcky k obrábění speciálních ploch, jako je soustružení eliptických ploch, řezání závitů s proměnným stoupáním a jiné. Dále také nakládací zařízení pro těžké součásti, které slouží zejména pro snadnější manipulaci. [1]

### 3) *Podle typu upínání*

- a) *Přípravky s ručním upínáním* fungují tak, aby fyzická námaha dělníka byla co nejmenší a zároveň, aby čas při uvolnění, tedy výměně obrobku, byl co nejkratší.
- b) *Přípravky s mechanickým upínáním* – u těchto přípravků je upínací síla vyvinuta pomocí:
  - *stlačeným vzduchem (pneumatické upnutí),*
  - *tlakovou kapalinou (hydraulické upnutí),*
  - *elektromotoricky (síla vyvolaná cívkou a jádrem),*
  - *působením magnetického pole (elektromagnety),* obrobek je nutno následně odmagnetovat,
  - *podtlakem (přísátím základny),* je požadováno dokonalé těsnění základny,
  - *hmotou s pamětí,* použití určitých látek, které při stlačení získávají svůj tvar zpátky,
  - *kombinace předcházejících.* [1]

Obráběcí přípravky bychom ještě dále mohli rozdělit podle typu stroje, respektive typu operace na přípravky frézovací, protahovací, vrtací či brusné, přípravky pro soustružení, avšak vzhledem k obsáhlosti se dále v praktické části budeme věnovat pouze přípravkům frézovacím.

## 2.2. Materiály přípravků

Různé přípravky jsou vytvořeny z různých materiálů podle nároků a požadavků. Některé jsou tvrzené, aby odolaly opotřebení. Někdy je nutno použít neželezné materiály jako například fosforový bronz kvůli redukci opotřebení protilehlých dílů nebo vlákno či nylon pro zabránění poškození obrobku.

Hlavní zásady volby materiálu pro přípravky:

- a) požadovaná přesnost
- b) hmotnost pro manipulaci
- c) prostředí, ve kterém se bude přípravek používat
- d) splnění požadavků jako je tvrdost, tepelná odolnost a jiné
- e) cena, dostupnost materiálu – může být vytvořen z odpadu
- f) nejmenší stupeň obrobení jednotlivých součástí přípravku [1]

Nejčastěji používané materiály:

- 1) *Rychlořezná ocel (HSS)* – obsahuje 18 % wolframu pro zvýšení pevnosti a řezné síly, 4,3 % chromu pro lepší kalitelnost a odolnost proti opotřebení a navíc 1 % vanadu pro zachování tvrdosti při vyšších teplotách a odolnosti proti nárazům. *HSS* může být tvrzena vzduchem nebo olejem na RC 64-65.
- 2) *Uhlíkovo-chromové oceli (HCHC)* – „studené“ - obsah uhlíku je mezi 1,5-2,3 % a chromu okolo 12 %. Využívají se zejména u lisů a při tváření závitů. „Teplé“ – obsahují jen 0,35 % uhlíku a 5 % chromu, ale jsou navíc legované molybdenem a vanadem. Používají se hlavně při vyšších teplotách tváření.
- 3) *Uhlíková ocel* – podíl uhlíku je mezi 0,85-1,18 % a může být kalena pomocí oleje na RC62-63. Používá se například pro výrobu pouzder a lokátorů.
- 4) *Pružinová ocel* – množství uhlíku je asi 1 % a navíc obsahuje 0,5 % hořčíku. Temperuje se běžně na tvrdost RC 47.
- 5) *Kalená nástrojová ocel* – kromě uhlíku obsahuje navíc 0,5 až 2 % wolframu a je většinou používaná pro lepší nástroje. Tvrdost po kalení – RC 62.
- 6) *Ocel s vysokou pevností v tahu* – patří zde středně uhlíkové oceli (0,45-0,65 %) a legované oceli jako 40 Ni2CR1M028. Pevnost v tahu může být navýšena až na 125 kg/mm<sup>2</sup> (RC 40) díky temperování.
- 7) *Měkká ocel* – jedná se o nejlevnější a nejvíce používaný materiál pro výrobu přípravků a upínacích prvků. Obsahuje méně než 0,3 % uhlíku.
- 8) *Litina* – obsah uhlíku je 2-2,5 %, díky své odolnosti vůči vibracím se používá především pro přípravky k frézování. Díky důmyslnému tvarování a vzoru můžeme razantně snížit strojní čas. I přes to, že její pevnost je asi poloviční oproti měkké oceli, byly vytvořeny například tvárné litiny, které mají pevnost téměř shodnou a mnoho kladných vlastností navíc, jako je například korozivzdornost, odolnost proti opotřebení a tepelná odolnost.
- 9) *Nylon a vlákno* – využití je především jako měkká podestýlka pro svěráky, aby se předešlo poškození obrobku.
- 10) *Fosfátový bronz* – vysoce využíván pro vyměnitelné matice ve svěracích a jiných upínacích zařízeních. [3]

### 2.3. Přípravky z ekonomického hlediska

Hlavním pravidlem při konstrukci jakéhokoliv přípravku či obráběcí pomůcky je hospodárnost – tedy aby se výroba vůbec vyplatila. Volba vhodného přípravku se stanoví na základě *rentability*. Přípravek je rentabilní v tu dobu, když jeho náklady na výrobu a údržbu jsou nižší než peníze ušetřené pomocí jeho použití. V nákladech jsou zahrnuty odpisy, náklady na skladování, údržbu a podobně. Tyto podmínky můžeme vyjádřit pomocí vztahu:

$$U(1 + R) \geq \frac{C \frac{1}{K} + B}{n} \quad (1)$$

Přičemž:

U...úspora v přímých mzdách [Kč/ks]

R...koeficient režie vlastní výroby [%]

C...veškeré náklady na výrobu přípravku [Kč]

K...životnost [rok]

B...rozdíl nákladů na seřízení stroje díky přípravku [Kč/rok]

n...počet výrobků [ks/rok] [1]

### 2.4. Konstrukce přípravků

Při konstrukci přípravků je třeba se řídit určitými zásadami jako jsou:

1. Je nutno zvážit, zda je možné přípravek využít i k jiným operacím, tedy aby bylo výhodnější ho používat na více frontách s menšími úpravami.
2. Při první operaci je potřeba obrobít plochu pro upnutí k další operaci.
3. Brát v potaz pracovní a technologický postup dané součásti.
4. Stabilita přípravku – obráběná plocha musí být co nejbližší k upínací.
5. Přípravek musí být z vhodného materiálu a musí být dostatečně tuhý, aby se zabránilo nepřesnostem.
6. Obrobek musí být zajištěn pevnými dorazy.
7. Zajištění jednoduché obsluhy, tj. rychlá a snadná za použití co nejmenší síly.
8. Žádná část přípravku nesmí nijak zabraňovat obráběcímu nástroji či odvodu třísek.

9. Přípravek by neměl přesáhnout kvůli manipulaci 15 kg. Pokud ano, musí být vybaven závěsnými oky či jiným doplňkem pro snazší manipulaci pomocí strojů.
10. Je třeba brát zřetel na odvod třísky, chladící kapaliny a následné čištění.
11. Pokud jsou přípravky upnuty přímo na vřeteno, neměly by být příliš těžké a měly by být vyvážené kvůli momentu setrvačnosti.
12. Přípravky by měly mít zkosené, zabroušené hrany kvůli možnosti poranění a celkově by měly odpovídat bezpečnostním normám.
13. Je nutno použít co nejvíce již normalizovaných, či dřívě použitých součástí z hlediska snížení nákladů.
14. Pokud je to možné, je lepší vždy řešit přípravek stavebnicově.
15. Pokud možno, je výhodnější použití univerzálního přípravku s menšími úpravami oproti konstruování kompletně nového. [1,2]

## 2.5. Přípravky a jejich vliv na přesnost/nepřesnost

Jedním z nejdůležitějších kritérií strojních součástí je jejich přesnost a drsnost obrobeného povrchu, přičemž je pořád třeba brát v potaz i ekonomickou stránku výroby, která je těmito kritérii hodně ovlivňována. [1]

Největší vliv má na tyto kritéria samozřejmě nástroj a přípravek, ale také stroj na kterém obrábíme. Přípravek ovlivňuje především o tvarovou, rozměrovou a geometrickou přesnost. I přes to, že drsnost je hodnocena nezávisle od ostatních, vše je následně posuzováno jako celek, jelikož určitému stupni přesnosti odpovídá určitá drsnost a naopak. [1]

Největší vliv na přesnost obrobku má soustava stroj – přípravek – nástroj – obrobek. Je ovlivňována především kvalitou použitého zařízení a schopnostmi obsluhy stroje. Druhým faktorem je vlastní přesnost stroje – tedy vlastnosti nástroje, obrobku, řezné podmínky a podobně. Součtem těchto dvou faktorů získáme *Přehled zdrojů dílčích nepřesností*. [1,3]

### 2.5.1. Přesnost přípravků

Jelikož přípravky jednoznačně určují vzájemnou polohu řezného nástroje a obrobku jak před, tak i v průběhu celého obráběcího procesu. Vlastnosti a konstrukce přípravků značně ovlivňuje rozměrovou a tvarovou přesnost obrobku. Proto je třeba hodnotit vliv přípravku na přesnosti nezávisle od přesnosti stroje. Vliv tuhosti a ostatních vlastností přípravku mohou mít na svědomí nepříznivé deformace vzniklé působením řezných odporů. [2,3]

## 2.5.2. Nepřesnost ustavení pomocí přípravku

Abychom správně určili chyby při upnutí v přípravku, je třeba brát v potaz způsob seřízení nástroje vůči obrobku, tedy rozdělit si seřízení na dva základní druhy:

1. Jednorázový – nástroj se seřizuje vůči obrobku jednou na daný rozměr a následné kusy se vkládají stejně už do předem připraveného místa díky přípravku a předchozího seřízení. Jedná se tedy především o sériovou výrobu a používání specifických přípravků.
2. Individuální – vždy seřizujeme nástroj vůči obrobku znova za použití univerzálního přípravku, jedná se tedy o kusovou výrobu, pro které není nutno vymýšlet důmyslný přípravek pro zefektivnění výroby.

Jak již bylo výše zmíněno, od každého přípravku se očekává jednoznačné ustanovení obrobku a upnutí tak, aby po celou dobu operace jeho poloha byla neměnná. Avšak z důvodu jako je opotřebením opěrných ploch, nepřesnost daných ploch, nestabilní síly upnutí a podobných vlivů, se poloha obrobku v přípravku mění a vznikají nepřesnosti. Tyto nepřesnosti nazýváme nepřesnosti ustavení  $\Delta s$ .

$$\Delta s = \sqrt{\Delta u^2 + \Delta u_p^2 + \Delta o} \quad (2)$$

$\Delta u$ ...nepřesnost ustavení

$\Delta u_p$ ...nepřesnost upnutí obrobku

$\Delta o$ ...nepřesnot opěrek obrobku [1]

## 3. Přípravky a CAM

### 3.1. CAM obecně

Úspěchu v strojní výrobě lze dosáhnout za předpokladu, že stroje a lidé budou maximálně neboli nejefektivněji využíváni. V tomto případě je nutné, aby softwary CAD a CAM byly propojeny z hlavních dvou důvodů:

- a) K dosáhnutí technologického vylepšení výroby,
- b) k získání postupného zlepšení produktivity a kvality. [4]



CAM software se používá k prezentaci přípravy programu CNC z databáze CAD, jedná se o nejlepší nástroj pro generování programu. Software generuje dráhu pro výrobu přímo z geometrie dílů, čímž značně ulehčuje práci. Nástroj je vybrán podle parametrů obrábění. CAM také současně generuje a zobrazuje dráhu, kterou nástroj bude následovat. [4]

Software CAM má také velice obsáhlou databázi, můžeme v ní najít materiály, možnosti stroje, nástroje a jejich geometrii. Navíc také můžeme získat čas obrábění.

CAM (Computer Aided Manufacturing) může být definován jako použití počítačových systémů k plánování, řízení a kontrole operací výroby prostřednictvím přímého či nepřímého rozhraní s výrobními prostředky závodu. Jinými slovy, použití počítačových systému pro jiné než projekční činnosti, ale ve výrobním procesu se nazývá CAM.

Následující obrázek popisuje základní kroky tvorby pracovního systému v CAD/CAM.



(5) Obecný postup při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému [7]

Je však potřeba doplnit, že v rámci jednotlivých kroků obrábění se využívá simulace a verifikace pro zjištění a ověření požadovaného úběru materiálu. Díky systémům softwaru máme možnost provést simulaci úběru během kterékoliv části ubírání materiálu. [7]

### **Základní úkony při tvorbě pracovního postupu v geometrické části části:**

- úprava/kontrola dat, které mohly být poškozeny přenosem,
- úprava nepřesností, které vznikly při zadání tvaru,

- definování líce a rubu obrobku,
- vhodná návaznost geometrických prvků – abychom předešli zbytečnému přejíždění nástroje,
- úprava modelu z technologického hlediska – přídavky, dělicí rovina apod.,
- orientace modelu v souřadném systému,
- určení polotovaru,
- definice upínacích elementů,
- „napasování“ modelu obrobku do polotovaru – určení přídavků na obrábění,
- zavazbení souřadného systému stroje a obrobku,
- vhodné využití stroje s ohledem na použité přípravky,
- odměření geometrie modulu kvůli definování technologie obrábění,

**Základní úkony při tvorbě pracovního postupu z technologického hlediska:**

- zvolení a nastavení vhodného stroje,
- zvolení materiálu na polotovar,
- definice nulového bodu,
- volba nejvýhodnějšího upnutí,
- definice jednotlivých cyklů obrábění s volbou rezných nástrojů,
- simulace a verifikace obrábění,
- generace NC programu,
- vytvoření dokumentace pro snazší orientaci při obrábění – návodky, list nástrojů apod.,
- celkové odladění programu v simulaci případně přímo na výrobním stroji. [7]

### 3.2. Význam a použití přípravků v CAM

Význam použití přípravků v CAM je skoro stejně důležitý jako samotná podstata programování v CAM softwaru. Jedná se o jednu ze základních funkcí každého systému, která v dnešní době nesmí chybět, jelikož simulace následného programu spočívá v celkové spojitosti všech aspektů výroby, tudíž bychom bez užití přípravků nedokázali vytvořit plnohodnotnou bezpečnou simulaci. Simulace s přípravky nám pomůže si lépe představit proces obrábění a hlavně najít chyby, které bychom za normálních okolností dokázali poznat často až při samotné výrobě, kdy už je na nápravu celkem pozdě. [13,17]

### Hlavní důvody použití přípravků v CAM:

1. *představa o upnutí (zda není možné to vylepšit)* – Ne vždy se nám povede vymyslet dokonalý přípravek pro obrobek. Díky simulaci však můžeme zjistit skoro všechny nedostatky a přípravek upravit ještě před spuštěním výroby, nebo upravit dráhy nástroje tak, aby s nedostatky počítal či alespoň na jeho nedostatky upozornit obsluhu stroje.
2. *kontrola kolizí s nástrojem* – Přípravek může vyčnívat, případně zavázet v dráze nástroje, někdy se jedná o takové místa, kde bychom si to těžko dokázali uvědomit. Předcházíme tímto tedy škodě, která by mohla být způsobena právě touto kolizí.
3. *kontrola kolizí se strojem* – Kolize nemusí být způsobena pouze v rámci nástroje, ale u větších obrobků a přípravků také se samotným strojem – máme-li tedy k dispozici plnou simulaci přípravku, obrobku a stroje, zamezíme dalším nešťastným událostem, které by mohly nastat v opačném případě.
4. *určení optimální dráhy s přípravkem* – Dráha nástroje při obrábění se může změnit v důsledku použití přípravku, zejména při najíždění, vyjíždění nástroje a podobných cyklech.
5. *efektivnost celého procesu* – Díky téhle simulaci nastane na určité úrovni vyšší propojenost mezi programátorem a obsluhou, čímž dosáhneme lepších časů a jednoduchosti celé výroby. [4,17]

#### 3.2.1. Hlavní požadavky na přípravky v CAM

Konstrukční požadavky jsou velice důležité, avšak v CAM softwaru se zaměřujeme na některé více než na jiné. Jde nám především o tvar a umístění přípravku, respektive o to, jak je situován vůči nástroji a obrobku. [4,17]

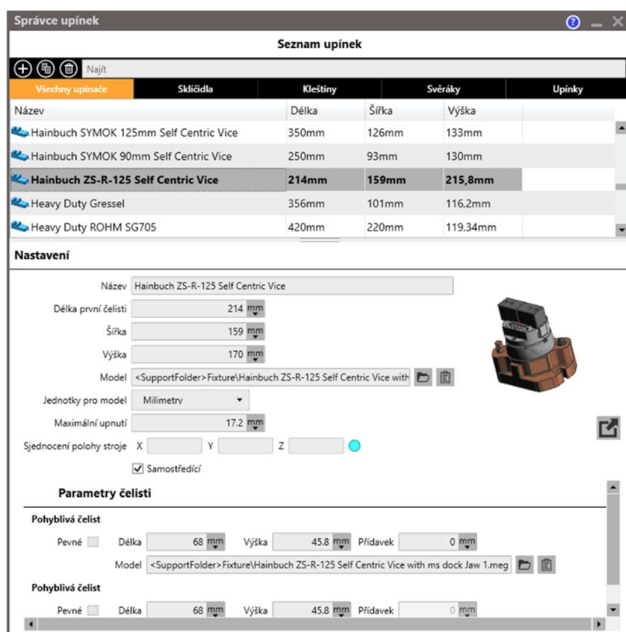
##### *Zajímá nás především:*

- přístup nástroje k obrobku – musí být zajištěn bezkolizní přístup, aby nedošlo k poškození nástroje či obrobku,
- velikost přípravku – pokud v simulaci vyobrazujeme i stroj, nesmí mu přípravek překážet nebo ho omezovat svými rozměry,
- umístění přípravku – umístění by mělo odpovídat kotam na výkresu dílu,

### 3.2.2. Vložení přípravku do CAMu

Vložení přípravku do CAM softwaru bychom mohli rozdělit na dva způsoby:

1. Vytvoření databáze – tedy zavedení přípravku do databáze CAM softwaru, kde definujeme jeho parametry, roviny a ostatní vlastnosti. Přípravek pak můžeme používat daleko komplexněji, jelikož se bude automaticky nabízet k upnutí na základě námi zadaných parametrů a parametrů dílu, je samozřejmě potřeba to zkontrolovat a né vždy se nám nabízený přípravek opravdu hodí. Tenhle způsob využijeme především pro přípravky univerzálního typu jako jsou svěráky, upínky, magnetické přípravky a podobně. Vytvoření databáze se liší pro každý software, ale základní prvky jsou téměř stejné. Firmy si tedy definují své používané přípravky a upínky, čímž vznikne dokonalá souhra mezi simulací a reálnou výrobou. [13,17]



(6) Databáze upínek v EdgeCAM [18]

2. Import přípravku zároveň/(zvlášť) s dílem – přípravek importujeme nejčastěji jako sestavu s dílem, přičemž pak „ručně“ určíme přípravek a díl. Nevýhoda tohoto způsobu je především v následném určování rovin, spojováním přípravku se strojem pro simulaci a podobně. Je tedy jasné, že tento způsob se zejména používá u přípravku speciálních – pro jedno použití.

### 3.2.3. Více setupů během obrábění – přesun upínek

Pro obrobení různých dílů je potřeba vytvořit často mnoho operací v jiných rovinách. Jednak ne vždy je k dispozici dokonalé pracoviště pro daný díl, jednak ani s dokonalým pracovištěm nemůžeme obrobít díl na jedno upnutí. Proto vytváříme v programu více setupů, kdy definujeme rovinu podle upnutí, čímž nahrazujeme otočení/přemístění výrobku ve výrobě. Setupy jsou následně odděleny v NC kódu. [8]

Většina CAM softwaru nám při každém dalším setupu nabídne plno možných parametrů po změnu jako jsou různé offsety, bezpečné vzdálenosti posuvu a podobně. Můžeme změnit i polotovar, přičmež při použití obronku po prvním setupu jako polotovaru se nám může naskynout jiná možnost upnutí – je třeba obrobít něco, co při prvním obrobení nebylo možné z hlediska upnutí. V nejlepších případech se samozřejmě jedná o přetočení dílů ve svěráku, avšak můžeme se setkat i s přesunem upínek o nějaký úhel či krátký posun, který není nijak složitý. V případě většího posunu upínek a obrobku je nutno si nastavit nějaký „řídící prvek“, což může být nějaký přípravek, další upínka a podobně, abychom nemuseli znovu hledat nulový bod, čímž by se nám vytratil celý smysl seriovosti. [8,10]

Je nutné, aby programátor při tvorbě složitějších programů a setupů bral v potaz možnosti obsluhy stroje.

### 3.2.4. Simulace, verifikace a kontrola kolizí

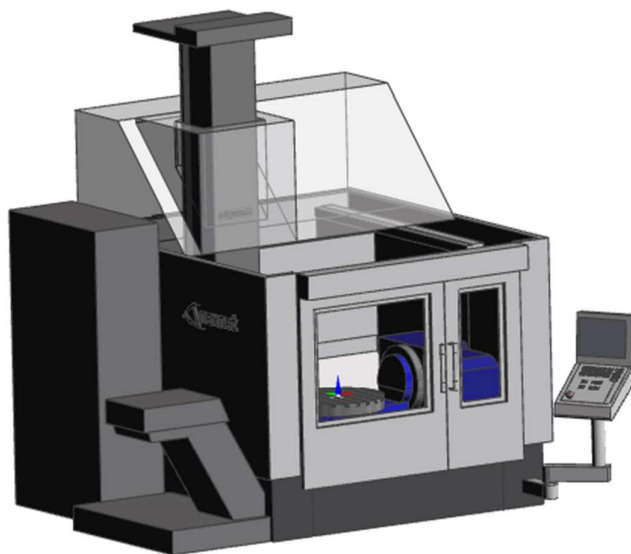
Verifikaci chápeme jako proces ověřování vygenerovaných dat postprocesorem, abychom se vyhnuli nechtěným kolizím. Dnes již většina softwarů používá poměrně kvalitní možnosti verifikace i simulace jako podprogramy, je však možno si přímo pořídit specialní SW samostatně na verifikaci a následnou optimalizaci procesu (VERICUT, NCSIMUL...). Verifikace je samozřejmě daleko méně spolehlivá než simulace, jelikož uvažuje pouze nástroj, nikoliv ostatní prvky jako jsou upínky či stroj.

Simulace se bere jako vizuální vykreslení vypočítaných dráh nástroje, cílem je odhalení chyb, tedy nechtěných kolizí nástroje a obrobku. U sofistikovanějších softwarů se používá simulace obrábění s přípravky i přesnými modely stroje, čímž se předchází výskytu

problému při výrobě. Při simulaci tedy nevidíme pouze obrobek a nástroj, ale také pohyb modelu stroje v jednotlivých osách, reálné odebrání materiálu a dosažené rozměry. [11,17]

### 3.2.5. Stroje v CAM systémech

Většina firem dnes již při simulaci používá i 3D modely strojů, díky čemuž zjistíme, zda je vůbec možné obrábět daný díl na stroji, či zda-li není přípravek příliš velký nebo někde neomezuje stroj v pohybu. V opačném případě by došlo k poškození nástroje, stroje, či by dokonce mohlo dojít k nějakému úrazu. Modely strojů většinou poskytuje jejich výrobce.



*(7) Model stroje v softwaru EdgeCAM [18]*

Simulace se strojem je poměrně jednoduchá, stroj má již definované pracovní roviny, tudíž je naším jediným úkolem správně umístit obrobek. Pro samotnou práci si samozřejmě viditelnost stroje můžeme vypnout a zobrazit jej pouze v simulaci.

Hlavní výhoda simulace strojů spočívá především v kontrole kolize. Tudíž čím více komplikovaný stroj používáme, tím více bychom měli zvážit simulaci se strojem, jelikož hodně pohybů v hodně osách vytváří mnoho šancí pro neuvážené kolize. Díky simulaci si také lépe vytvoříme představu celého procesu. [17]

### 3.2.6. Další funkce CAM softwaru

Na trhu je obrovské množství CAD/CAM systému a mnoho z nich má plno dalších speciálních funkcí, aby se od ostatních lišila. Každopádně další funkce, které by nás mohly

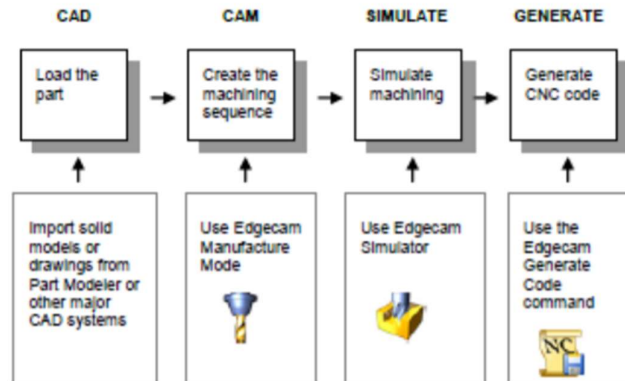
zajímat s ohledem na přípravky a upínky jsou tuhost či pevnost upnutí, s čímž by souvisela samořejmě také plocha upnutí či otláčení, narušení povrchu obrobku daným upnutím.

Některé systémy tohle opravdu nabízí, nebo alespoň nějakou obdobnou verzi, a to především v důsledku spolupráce CAD/CAM. Většina softwarů nám dokáže spočítat plochy a průniky ploch jednotlivých částí obrobku a upínek, přípravků. Také se můžeme dozvědět velikosti reakcí a momentů při upnutí, pokud zvolíme správně a komplexně definované přípravky z databáze – jedná se o poměrně složité výpočty, které vyžadují větší množství parametrů.

Co se týče kontroly otláčení, museli bychom výše uvedené hodnoty spojit s parametry materiálu a vyvodit z toho následný závěr ohledně porušení – spočítat. Je možné, že některý z CAM softwaru tohle také nabízí, ale v praxi se většinou vychází s větší rezervou při upnutí, aby nedocházelo k daným poruchám povrchu, pokud by vadily funkčnosti a jsou uvažovány spíše z hlediska konstruktéra, který tyhle věci uvede často v dokumentaci. [17]

### 3.3. EdgeCAM

Edgecam je (CAM) systém, který umožňuje generování strategií obrábění a CNC kódů z CAD modelů. EdgeCam je jedním z nejvíce univerzálních CAM systémů, který se vyvinul v posledních několika letech. Mezi nejvýznamnější vylepšení patří větší podpora formátů CAD souborů, postprocesory pro širokou škálu strojů a systémů (Fanuc, Heidenhein atd.) a v možnosti výroby složitých 3D povrchů. Novější verze zvládly vícesou výrobu a simulační režim s přesným odhadem produkce na čas. EdgeCam se stále více využívá pro svou cenovou dostupnost, hardwarové požadavky a možnosti mnoha jiných způsobů přístupu k výrobě podle skutečné potřeby výrobního inženýra. Tento CAM systém je poměrně velmi vhodný pro vzdělávací účely díky své obtížnosti a celkové filozofii používání softwaru. Systém se skládá ze čtyř fází CAD, CAM, SIMULATE a GENERATE, které jsou zobrazeny na následující obrázku. [5]



(8) Hlavní fáze systému EdgeCAM [5]

### 3.3.1. Tvorba obráběcího postupu v systému EdgeCAM

#### *V režimu design*

- Určení soustružení/frézování,
- režim průměrový/poloprůměrový,
- konfigurační profil,
- model (2D, solid model),
- polohování modelu,
- načtení nebo vytvoření opínacích elementů a obrobku,
- zvolení druhu materiálu.

#### *V režimu obrábění*

- určení obráběcího postupu – jméno postupu, postprocesor, zakázka, programátor, tolerance apod., dále volíme buď vhodný cyklus nebo operaci,
- přidání činností: pohyb rychloposuvem, pohyb nástroje do výměny, pohyb do reference,
- simulace useků a celku obrábění – kontrola,
- vygenerování NC kodu pro potřebný postprocesor,
- vytvoření plánu pro výrobu,

V systému EdgeCAM jsou definovány rozdílně nabídky cyklů na *Operace* a *Cykly*, a to z důvodu jednodušší rozdělení práce. Operace jsou v EdgeCAMu definovány jako spojení jednotlivých obráběcích cyklů s instrukcemi – první vybereme geometrii a pozici pomocných



bodů a v návaznosti na to se objeví okno operačního cyklu, do kterého se zadají potřebné hodnoty a volby. U cyklů je postup zcela opačný – nejprve se zadávají parametry obráběcího cyklu a až poté se vybere geometrie obrobení. [7]

### 3.4. PowerMILL

PowerMILL je 3D CAM, který dokáže rychle vytvořit bezkolizní dráhy nástroje na importovaných datech součástky. Jedná se o CAM software specializovaný přímo na frézování od 2 do 5 os. [16]

#### *Základní postup:*

- Import modelu
- Definování bloku materiálu polotovaru
- Definice použitých obráběcích nástrojů
- Definice výchozího nastavení
- Vytvoření hrubovací strategie
- Vytvoření dokončovací strategie
- Animace a simulace dráhy nástroje
- Vytvoření NC programu

### 3.5. FeatureCAM

FeatureCAM je vytvořený tak, aby maximálně automatizoval dílenské frézování a dokázal efektivně a bezpečně programovat soustružnicko-frézovací a multifunkční CNC stroje. Součástí je i programování EDM drátových řezaček. [15]

Základní postup pro FeatureCAM je totožný tomu v PowerMILLu, není tedy potřeba jej vypisovat. Při porovnání s EdgeCAM vidíme, že se ani tak jednotlivé kroky příliš neliší.

## 4. Rozdělení přípravků ve firmě

Vhledem k velikosti firmy a rozmanitosti její výroby se využívá velké množství přípravků jak univerzálních, tak stavebnicových i speciálních. Jednotlivé přípravky jsou samozřejmě náležitě uloženy poblíž pracovišť, ve kterých se využívají, a rozděleny pro snadnější manipulaci.

První rozdělení je samozřejmě podle strojů. Firma disponuje jak 3-osou frézku, tak také 5-osou, horizontální i velice rozměrnou portálovou. Samozřejmě zde můžeme najít mnoho soustruhů, svařovacích automatů či lakovnu, avšak z důvodu rozsáhlosti, jak již bylo zmíněno výše, se budeme věnovat pouze frézovacím přípravkům a strojům nebo spíše kombinací toho všeho v CAM softwaru. \*upravit znění

Dále určitě rozdělujeme přípravky dle velikosti, jednak protože ne na každý stroj by se daný přípravek vlezl, ale hlavně z důvodu manipulace, tedy aby se na těžší přípravky dalo dostat jeřábem, případně aby se daly dovézt k dosahu jeřábu vysokozdvížným vozíkem.

Často využívané a malé přípravky jsou většinou uloženy v policích či skříňkách poblíž strojů tak, aby mohly být co nejrychleji využity a nedocházelo by ke zbytečné ztrátě času. Jedná se tedy především o univerzální přípravky, které jsme si již vysvětlili výše. Méně používané přípravky či středně velké jsou umístěny na paletách v „regálu“ uvnitř haly, ve které se stroje nacházejí. Jako poslední zde máme vyřazené a velice objemné přípravky, které jsou uloženy na skladě v přilehlé hale.

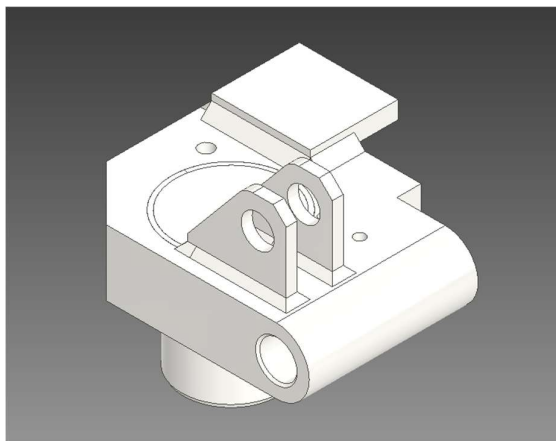
## 5. Představení přípravku, dílu a pracoviště

Pro praktické ukázení efektivity použití CAM softwaru s přípravky jsme vytvořili následnou simulaci pro výrobu požadovaného dílu.

### 5.1. Díl určený k obrábění

Tento díl byl zvolen hlavně z důvodu, že zde využíváme jak univerzální přípravek, tak speciální. Jedná se tedy o dobrou ukázkou využití právě složitějšího upnutí v CAM.

Problematika našeho dílu spočívá v nepravidelném tvaru způsobeném hlavně kruhovitým „výtustkem“ na jedné straně a celkovou nepravidelností. Polotovar našeho obrobku je už obrobený díl, na kterém je nutno doobrobit díry a sražení, jelikož 3 cykly se nachází v jiné rovině, není možné použít klasické upínací prvky – tedy respektive, pokud by se jednalo o jeden díl, nebyl by takový problém s upnutím, jelikož však chceme dosáhnout nějaké sériovosti dílu, je potřeba zavést právě speciální přípravek pro daný díl.

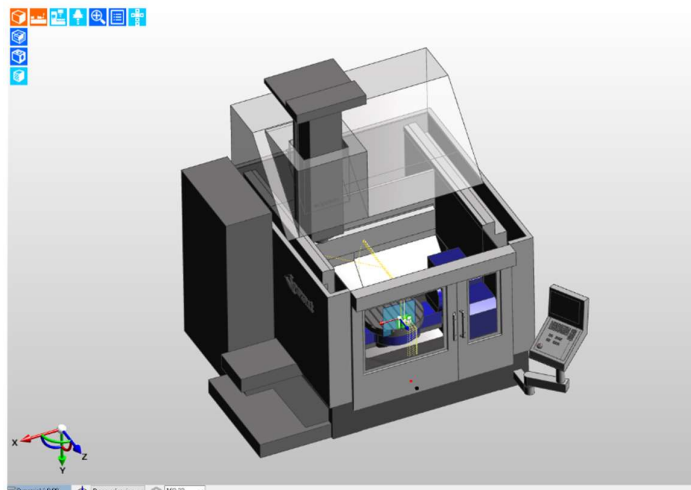


(9) model dílu v prostředí Autodesk Inventor [18]

Díl chceme obrobit na jedno upnutí, musíme tedy zvolit správně stroj a přípravek tak, abychom docílili co nejlepších výsledků. Přípravek musí zajistit také dostatečně pevné upnutí a neměl by způsobovat žádné nežádoucí poruchy povrchu jako je otláčení a podobně.

## 5.2. Pracoviště

Co se týče pracoviště, tak jsme pro náš díl vybrali pětiosou frézku MCV 1210. Důvodem je zjeměna otočný stůl, který daná frézka nabízí – neboť víme, že díl je třeba obrobit ve více rovinách a my jsme si na začátku dali jako požadavek pouze jedno upnutí. Navíc se jedná o poměrně malý obrobek, tudíž se nemusíme bát nějaké kolize se strojem či jiných problémů.



(10) Model pracoviště v EdgeCAM [18]

Stroj je také vhodný v kombinaci se softwarem EdgeCAM, jelikož software podporuje pětiosé frézování, a tak jeho postprocesor dokáže vytvořit téměř dokonalý program pro daný stroj, který je v něm nahraný – počítá s otočným stolem a podobně. Získáme tedy plnou simulaci výroby za předpokládaných podmínek.

### Výhody 5osého frézování:

- a) komplexní obrobení,
- b) daleko menší čas výroby,
- c) efektivnost – nemusíme přepínat obrobek, méně prostoru na chyby,
- d) možnost vyšších posuvných a řezných rychlostí,
- e) obecně zlepšení kvality obrobku – parametry drsnosti, mikrotvrlosti atd.,
- f) efektivnější využití nástrojů,
- g) lepší tvorba třísky.

**Nevýhody 5osého frézování:**

- vysoká cena stroje, programu, postprocesoru a podobně,
- složitější obsluha stroje,
- těžší tvorba programu – více možností, více problémů,
- větší možnost kolizí,
- drahá údržba.

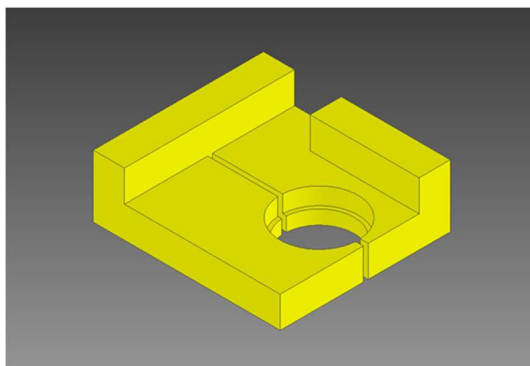
**5.2.1. Parametry stroje:**

Pro samotnou simulaci pro nás parametry stroje nebudou až tak důležité, jelikož se nejedná o nějak náročné obrobení, avšak základní parametry je potřeba znát při tvorbě programu, abychom věděli, zda náš stroj dokáže vytvořit dostatečné otáčky atd.. U složitějších procesů by nás pak například zajímalo, kolik se nám vleze nástrojů do zásobníku a jakou nám dokáže stroj zajistit přesnost. Jelikož však využíváme plnou simulaci (i s pracovištěm), nemusíme tyhle věci řešit, jelikož dané parametry jsou již v uvedeny v databázi CAM softwaru pracoviště.

<b>Pracovní jezd</b>		<b>Hmotnosti</b>	
Osa X – křížový suport	1 000 mm	Stroj (včetně zásobníku nástrojů)	11 500 kg
Osa Y – příčník	800 mm	<b>Rídicí systém</b>	HEIDENHAIN, SIEMENS*, FANUC*
Osa Z – smykadlo	600 mm		
<b>Pracovní stůl</b>		<b>DVOUOSÁ CNC HLAVA – Vřetenová*</b>	
Pracovní plocha	1 200 × 1 000 mm	Maximální výkon	23 kW
Počet T-drážek	11	Maximální krouticí moment	72 Nm
Rozměr drážek – druhá drážka zprava	18H7 mm	Maximální otáčky	18 000 min <sup>-1</sup>
– ostatní drážky	18H8 mm	Upínací kužel	HSK-A63
Rozteč drážek	100 mm	<b>Osa A</b>	
Maximální zatížení	3 000 kg	Rozsah osy A	±115 °
<b>Vzdálenosti</b>		Rychlost otáčení osy A	max. 60 min <sup>-1</sup>
Celo vřetenová od stolu	elektrovřetenová dvouosá CNC hlava	Maximální moment	538 Nm
	150 – 750 mm	Brzdový moment	1 500 Nm
<b>Posuvy v osách X, Y, Z</b>		<b>Osa C</b>	
Max. pracovní posuv	40 m/min	Rozsah osy C	±200 °
Rychloposuv	40 m/min	Rychlost otáčení osy C	max. 60 min <sup>-1</sup>
Maximální zrychlení os	5 m/s <sup>2</sup>	Maximální moment	356 Nm
<b>Přesnost</b>		Brzdový moment	2 000 Nm
Odměňovací systém v ose X, Y, Z	přímý	<b>Přesnost (VDI/DGQ 3441)</b>	
Přesnost polohování – VDI/DGQ 3441 v ose X, Y, Z	0,008 mm	Přesnost polohování (P) – osa A (bez elektronické kompenzace)	±20 arc. sec
Opakovaná přesnost – VDI/DGQ 3441 v ose X, Y, Z	0,005 mm	Přesnost polohování (P) – osa C (bez elektronické kompenzace)	±10 arc. sec
<b>Vřetenová jednotka</b>		<b>DVOUOSÝ OTOČNÝ STŮL*</b>	
Typ	elektrovřetenová	<b>Osa A (naklápací osa)</b>	
Max. otáčky vřetená	15 000 min <sup>-1</sup> 18 000 min <sup>-1*</sup> 12 000 min <sup>-1*</sup> 14 000 min <sup>-1*</sup>	Rozsah osy A	±95 °
Max. výkon vřetená	31 kW 31 kW 30 kW 37 kW	Rychlost otáčení osy A	max. 25 min <sup>-1</sup>
Max. krouticí moment vřetená	197 Nm 197 Nm 143 Nm 236 Nm	Maximální krouticí moment (M <sub>kmax</sub> )	960 Nm
Upínací kužel	ISO 40 HSK-A63 HSK-T100 HSK-A100	Maximální hmotnost dílce pro souvislou interpolaci	560 kg
<b>Automatický zásobník nástrojů</b>		<b>Osa C (rotační osa)</b>	<b>soustružení** frézování</b>
Počet nástrojů v zásobníku	30	Upínací plocha stolu	Ø 600 mm Ø 600* / Ø 800 mm
Čas výměny nástroje (nástroj – nástroj)	3,5 s	Rozsah osy C	360 ° 360 °
Maximální průměr nástroje		Rychlost otáčení	max. 400 min <sup>-1</sup> max. 100 min <sup>-1</sup>
– při obsazených sousedních místech v zásobníku	80 mm	Maximální krouticí moment (M <sub>kmax</sub> )	1 000 Nm 1 000 Nm
– při neobsazených sousedních místech v zásobníku	115 mm	Brzdový moment	3 000 Nm 3 000 Nm
Maximální délka nástroje	250 mm	<b>Přesnost (VDI/DGQ 3441)</b>	
Maximální hmotnost nástroje včetně držáku	6,5 kg	Přesnost polohování (P) – osa A	12 arc. sec
<b>Pneumatický agregát</b>		Přesnost polohování (P) – osa C	6 arc. sec
Tlak vzduchu na vstupu	0,6 – 0,8 MPa		
Provozní tlak	0,55 MPa		
<b>Požadavky na elektrickou energii</b>			
Připojovací napětí	3 × 400 V/50 Hz		
Příkon provozní	45 kVA		
Proud při plném zatížení stroje	125 A		
		** v kombinaci s elektrovřetenem s upínáním HSK-T100 dle požadavku zákazníka	
		Popis vybavení a detailné údaje nemusí vždy souhlasit s posledním provedením stroje.	
Výrobce <b>TAJMAC-ZPS, a. s.</b> třída 3. května 1180 763 02 Zlín, Maletovice ČESKÁ REPUBLIKA Tel: +420 577 532 072 Fax: +420 577 533 626 www.tajmac-zps.cz e-mail: info@tajmac-zps.cz		Holding <b>TAJMAC-MTM, s. p. a.</b> Via Gran Sasso 15 20092 Cinisello Balsamo (MI) ITALY Tel: + 39 02 66017878 Fax: + 39 02 66011457 www.tajmac-mtm.it e-mail: tajmac@tajmac-mtm.it	

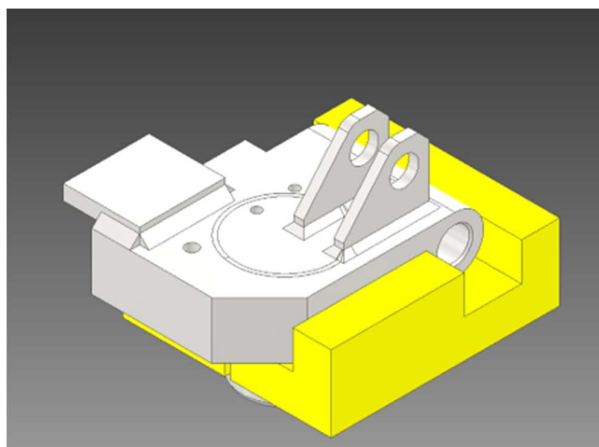
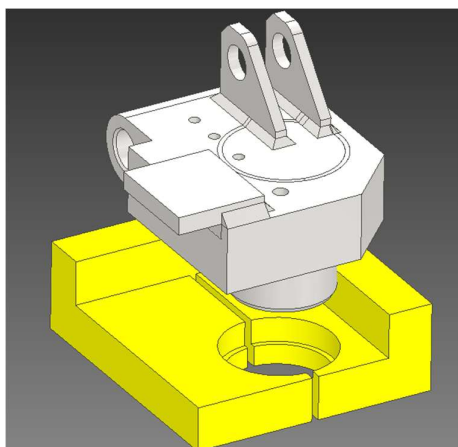
### 5.3. Přípravek

Při vývoji tohoto přípravku byl kladen důraz hlavně na proveditelnost obrobení, na jedno upnutí a také na přesnost. Jak bylo již zmíněno výše, jde nám hlavně o co největší seriovost při větší objemové výrobě, musíme tedy myslet na co nejkratší – nejjednodušší výměnu kusů.



(11) model přípravku v prostředí Autodesk Inventor [18]

Přípravek nepůsobí nijak složitě a jeho funkce je jednoduchá, avšak samotný návrh si často žádá praxi a představivost. Obrobek vložíme do přípravku kulatinou a pevně sevřeme pomocí upínek. První upínka zamezuje pohyb přípravku, je tedy stále přitažena, druhá upínka slouží k upevnění obrobku v přípravku – tedy vytváří požadované sevření. Obrobek se opírá o dvě vyvýšené části přípravku, které slouží jako opěra a zároveň vymezení ustavení. Přípravek dále zajistíme také ze strany, abychom se vyvarovali jakýmkoliv nežádoucím posunutím – mohlo by dojít ke vzniku zmetků, či i k horším pohromám jako je zničení nástroje a podobně.



(12, 13) spojení přípravku a dílu v prostředí Autodesk Inventor [18]

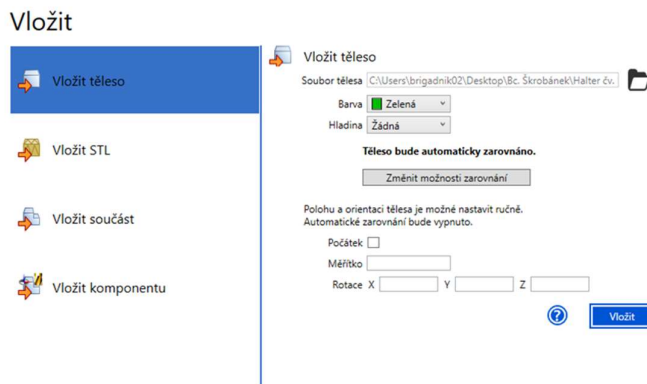
Co se týče vymezení přípravku na stroji, můžeme použít například upínku, není tedy třeba přemýšlet o ničem složitějším. Pro lepší představivost je přiložen obrázek z výroby:



(14) Fotka z realné výroby dílu za použití daného přípravku [17]

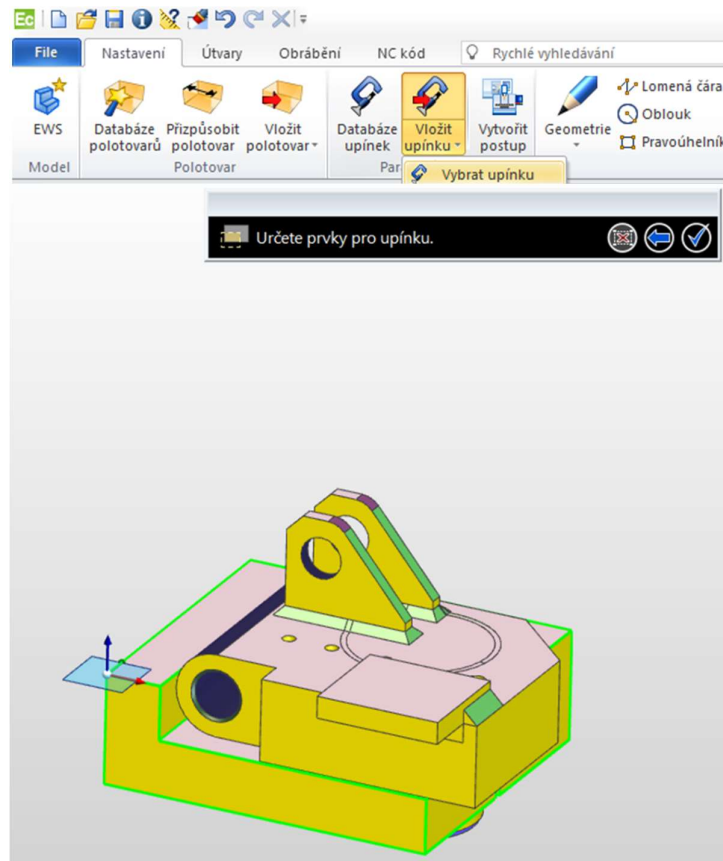
## 6. Import a definice sestavy

Po otevření aplikace EdgeCAM si zvolíme „nová součást pro frézování“, čímž si vytvoříme nový projekt pro naši sestavu. Dále postupujeme tak, že v projektu najedeme na ikonu s názvem „vložit“ a vložíme zde celou sestavu. EdgeCAM přijímá téměř všechny typy souborů od dílů a sestav v Inventoru přes SolidWorks, Creo a podobně, až samozřejmě po soubory s koncovkou stp.



(15) Ovládací panel pro import sestavy [18]

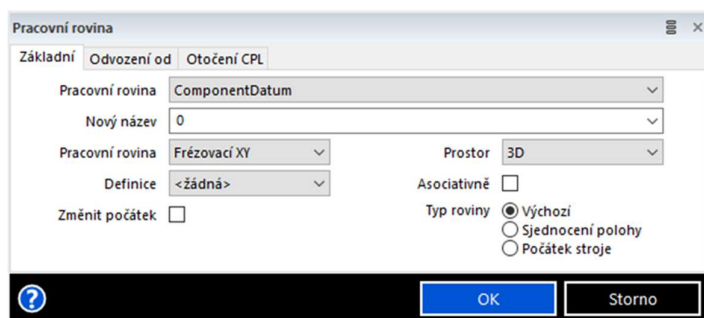
Hned při vkládání tělesa se nám nabídne zvolení počátku a měřítka, avšak oba tyto údaje můžeme změnit i po vložení. Vložíme těleso tedy bez určení počátku. Jakmile máme vložené těleso, je nutno definovat tři, respektive čtyři základní prvky. Jako první si tedy můžeme oddělit díl od přípravku. V hlavním panelu si rozklikneme „vybrat upínku“ a poté jen jednoduše označíme těleso přípravku. Po potvrzení se nám těleso zobrazí v hladinách jako upínka.



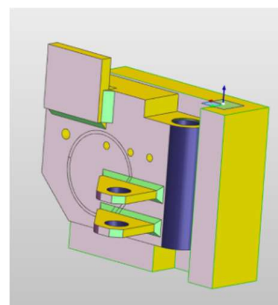
(16) Určení upínky v prostředí EdgeCAM [18]

Nyní je nutno si definovat nulový bod, který známe z výkresu. Opět se nejedná o nijak složitý proces. V hlavním panelu si rozklikneme ikonu pracovních rovin a zvolíme vytvoření nové pracovní roviny. Vyskočí na nás okno, ve kterém můžeme najít spoustu možností, díky kterým se nám definice nulového bodu usnadní. Můžeme ho odvodit od jiné roviny, rotovat rovinu podél os či si ho definovat pomocí geometrie sestavy. V našem případě bylo nejjednodušší si ho určit pomocí geometrie a dále jen pootočit osy.



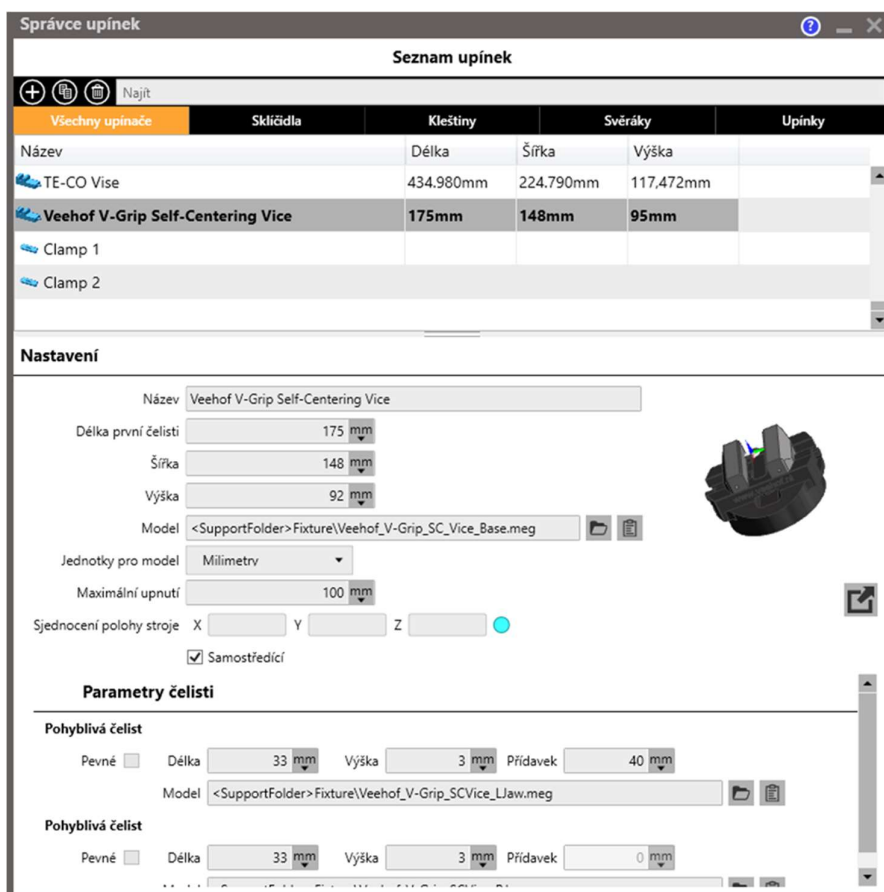


(17) Vytvoření nulového bodu [18]



(18) Sestava s nulovým bodem [18]

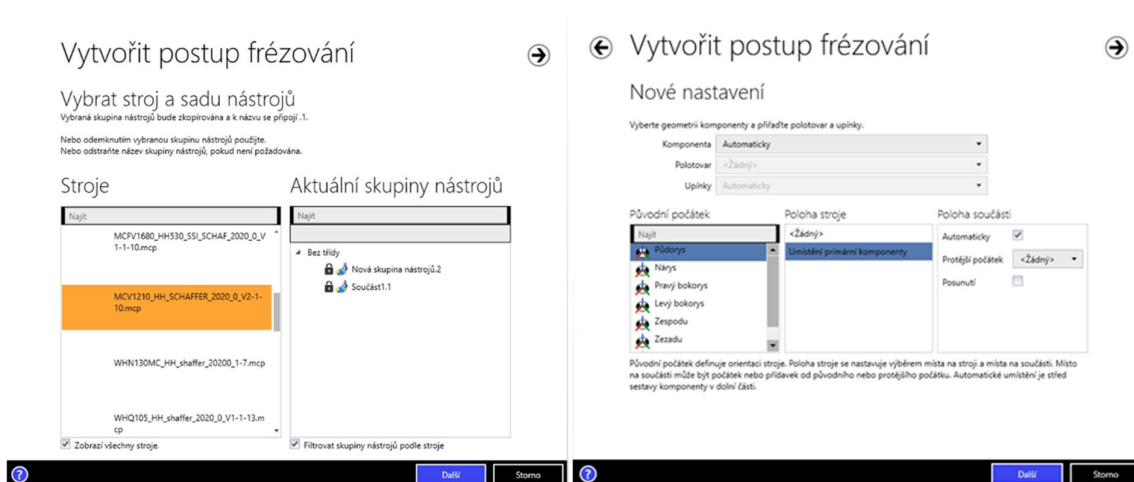
Jako třetí důležitý bod bychom volili polotovár. Zde jsou dvě možnosti, buďto polotovár importovat v sestavě stejně jako přípravek, jedná-li se o doobrobení nějakého speciálního dílu, nebo ho definovat pomocí softwaru, ve kterém pracujeme. Software nám navrhne automaticky nejpodobnější tvar, ze kterého by obrobek mohl vycházet, avšak samozřejmě zde můžeme ručně upravovat rozměry i tvar. Jelikož v našem případě budeme obrábět pouze díry, není nutno polotovár zavádět.



(19) Správce upínek [18]

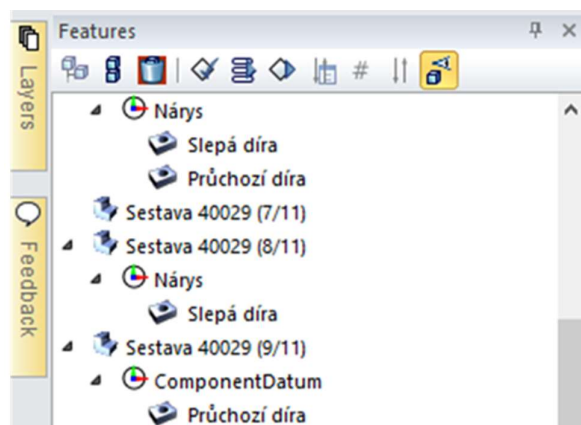
Nyní, jelikož už se pohybujeme ve správném směru obrábění, přidáme dvě upínky, které slouží k upevnění přípravku. Upínky vkládáme z databáze, kde jsou předem definované. Jedná se o databázi univerzálních přípravků, které se pravidelně ve firmě využívají. Pokud bychom použili nějaké speciální upínky, bylo by nutné je vložit stejným způsobem jako přípravek. Software nám nabídne vhodné upínky z databáze z hlediska rozměrů obrobku. Upínky vložíme pomocí ukotvení ke geometrii sestavy, tedy naklikneme si místo, kde chceme upínku připevnit a případně ho ručně doopravíme pomocí posunů v souřadnicovém systému.

Jako předposlední bod, než přejdeme do režimu obrábění, je “vytvoření postupu” – určíme nulový bod z hlediska stroje, určíme také stroj, na kterém budeme obrábět a dále sadu používaných nástrojů. Software nabízí sadu základních obráběcích center a strojů a také nástrojů, tuto sadu můžeme samozřejmě rozšířit o námi importované pracoviště či definované nástroje.



(20) Ovládací panel pro tvorbu postupu [18]

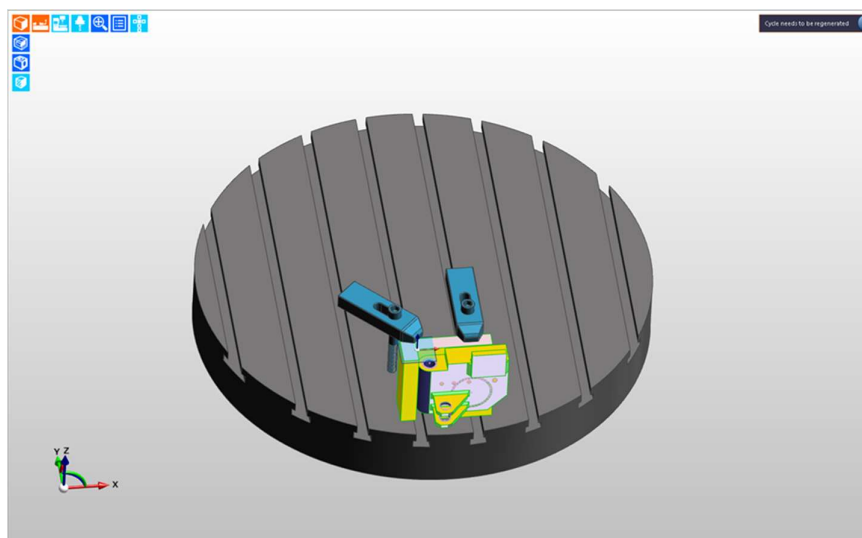
Nakonec je potřeba ještě definovat jednotlivé útvary k obrobení. Některé útvary se nám vytvoří automaticky, jiné občas musíme doladit. Přejdeme tedy na liště do útvarů a navolíme si jednotlivé prvky, v našem případě se jedná pouze o díry, v jiných případech bychom mohli definovat plochy, objemy, případně vytvořit drátovou geometrii pro nástroj.



(22) Panel útvarů [18]

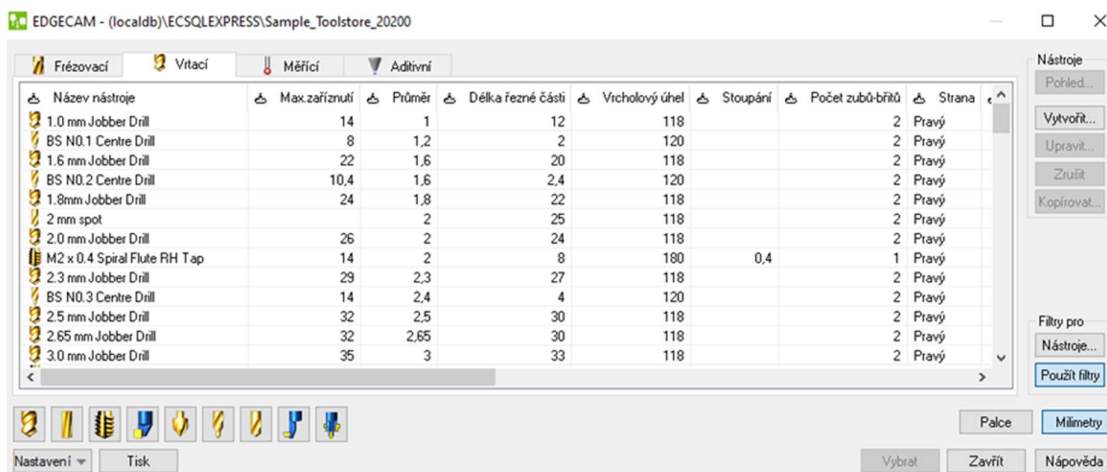
## 7. Obrobení, Simulace, Verifikace

Jelikož již máme definované veškeré potřebné věci, můžeme přejít do režimu obrábění. Pro usnadnění práce si vypneme viditelnost stroje, abychom měli lepší přehled.



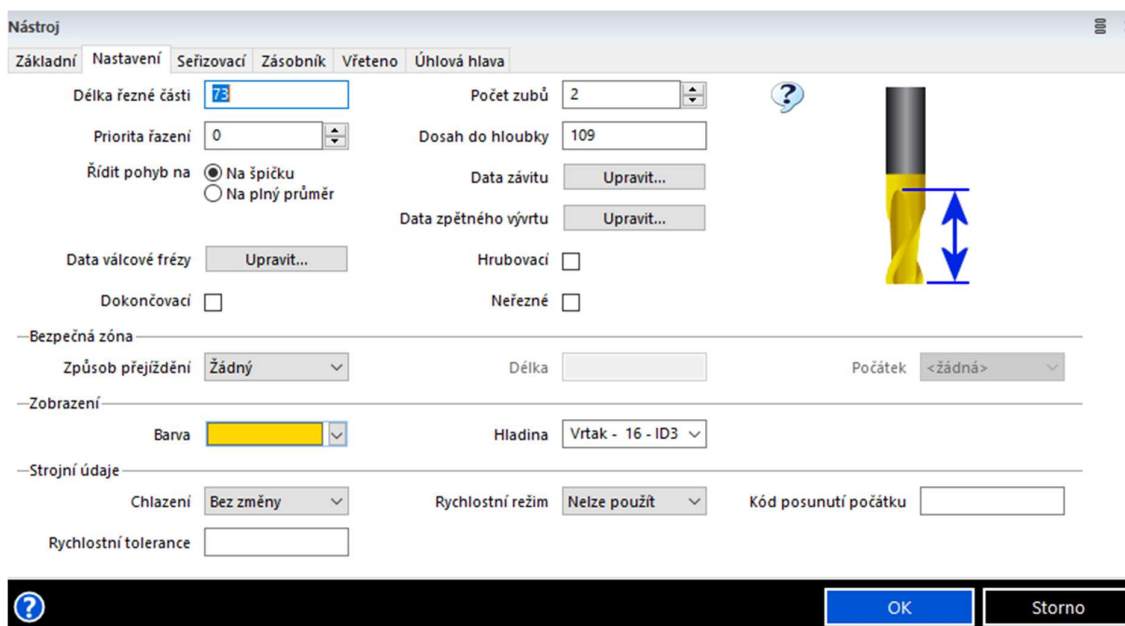
(23) Finální podoba sestavy s upínkami [18]

Jako první věc je vhodné si definovat nástroje, pokud je tedy nemáme už v databázi. Zpravidla každá firma má svou databázi nástrojů samozřejmě, aby simulace a celé programování v CAMu mělo vlastně smysl.



(24) Databáze nástrojů [18]

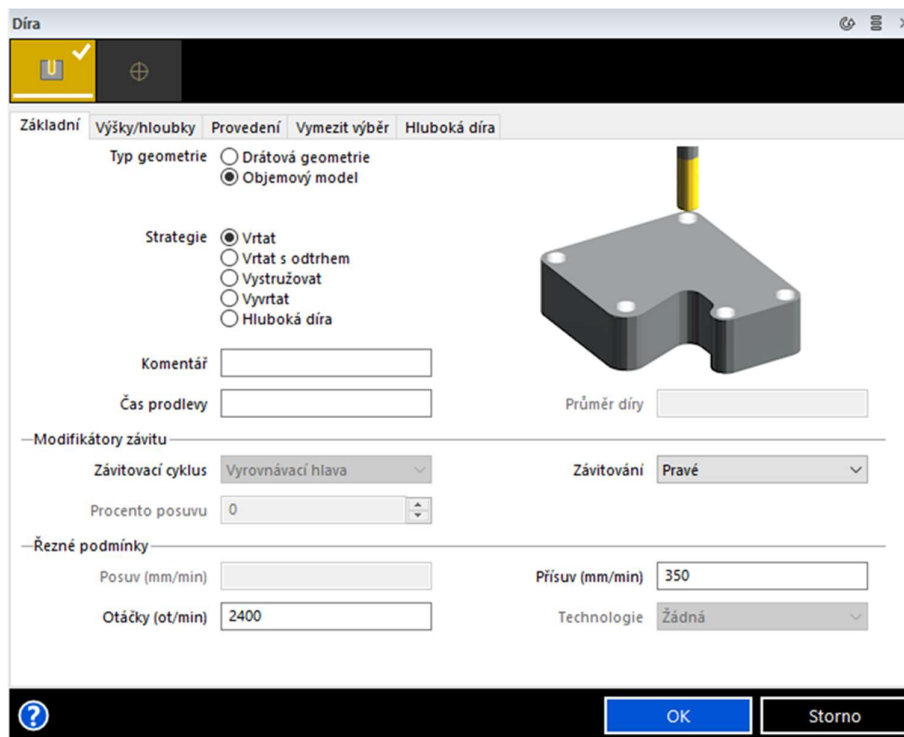
Pokud bychom však chtěli pracovat třeba se speciálním dílem, který vyžaduje jiné nástroje než jsou v databázi, není samozřejmě problém je vytvořit a do databáze přidat či použít samostatně. Případně také můžeme přenastavit nástroj podobný pomocí parametrů na požadovaný.



(25) Panel pro zadávání parametrů nástroje [18]

Vzhledem k tomu, že máme všechno nachystané, můžeme začít programovat jednotlivé operace a dráhy nástrojů. Osobně při programování v EdgeCAMu volím nejčastěji při frézování takzvanou drátovou geometrii, zejména u menších kusů, kde se nejedná o nějaké drastické hrubování. Co se týče děr, tak jako většina CAM softwarů, umí EdgeCAM díry se stejným průměrem dát do jednoho cyklu automaticky a vytvořit nejvýhodnější postup, který samozřejmě zase podle potřeb upravit.

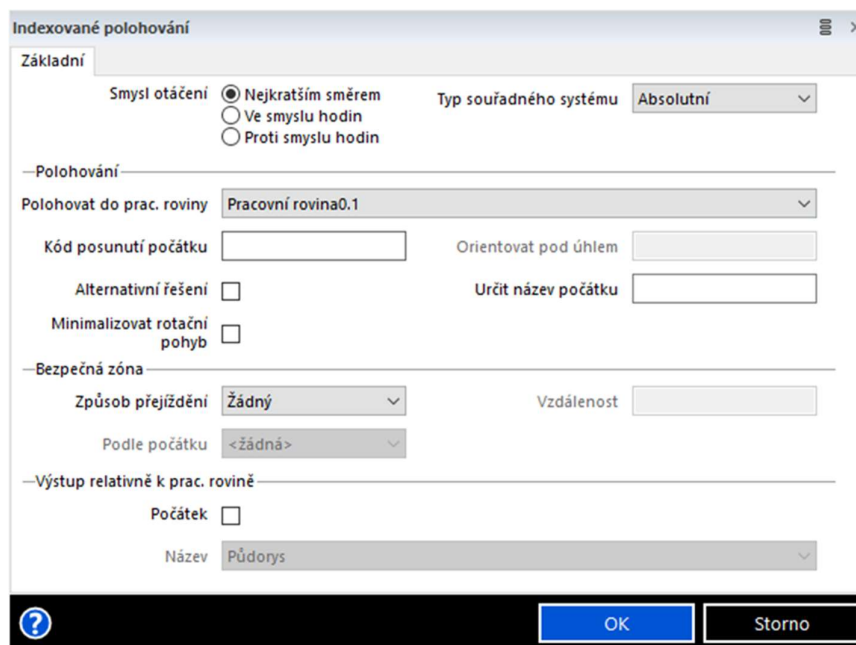
Při každém cyklu vždy začínáme volbou nástroje. Jelikož budeme předvrtávat, volíme vrták o menším průměru než je díra. Samotný cyklus volíme jako „díra“. Objeví se nám kolonka pro vyplnění parametrů pro cyklus a definici geometrie. Protože máme předem definované útvary, můžeme si vybrat mezi drátovou geometrií, nebo objemovým útvarem. Dále nastavíme otáčky, přísvu a další parametry. Po vytvoření cyklu si zaklikneme „nástroj do výměny a můžeme pokračovat dále. Při dalších cyklech postupujeme stejně. Budeme z první strany obrobení používat však různé cykly kromě vrtání, a to vyhrubování a vystružování, abychom dosáhli požadované tolerance.



(26) Panel pro tvorbu cyklu [18]

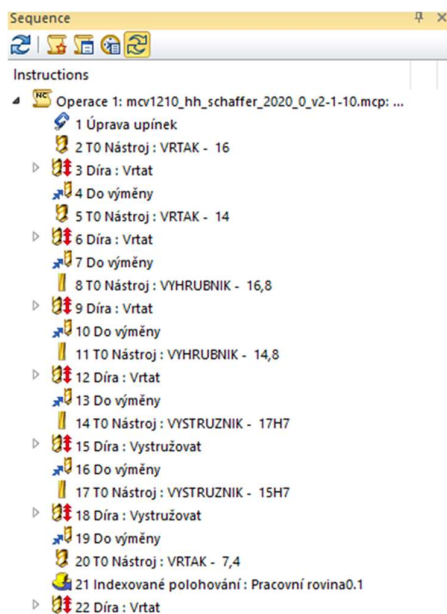
Nyní, protože chceme obrábět z jiné strany, je nutno vytvořit si pracovní rovinu. Pracovní rovina nám bude sloužit jako nulový bod pro obrobení v jiné ose. Rovinu vytvoříme stejně jako nulový bod. Najedeme si tedy na ikonu „pracovní rovina“ a zvolíme si, že chceme

rovinu odvodit od naší počáteční, kterou dále otočíme podle osy X o 90 stupňů. Poté se vrátíme zpátky do režimu obrábění a po zvolení nástroje dáme indexované polohování. Zde si zvolíme naši vytvořenou pracovní rovinu a budeme pokračovat dále obdobně jako v předchozích krocích, tedy zvolením cyklu a parametrů.



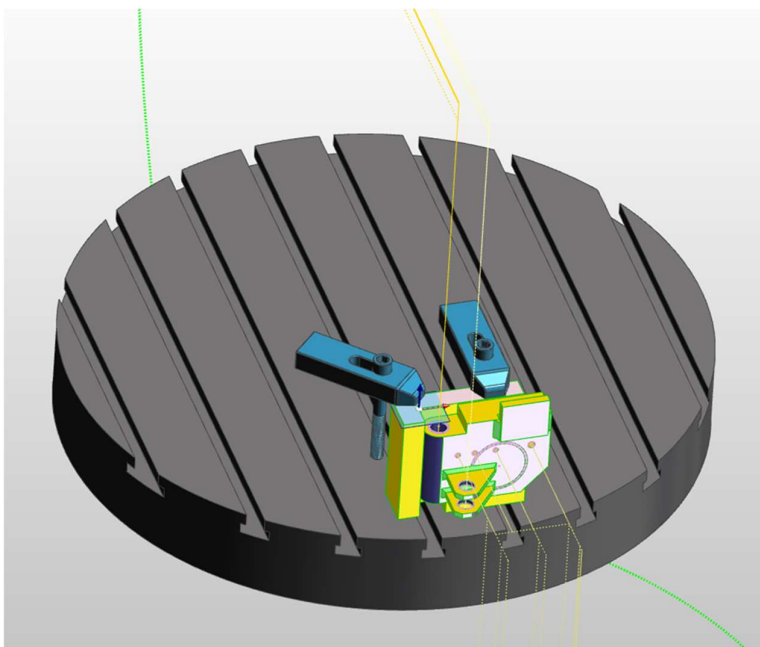
(27) Přetočení obrobku pomocí Indexovaného polohování [18]

Po vytvoření všech cyklů bude náš panel sekvencí vypadat nějak takhle:



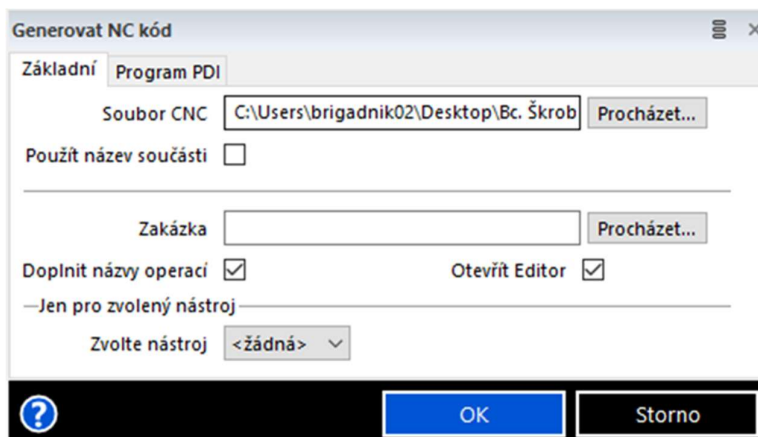
(28) Seznam pracovních cyklů [18]

Pro kontrolu celého procesu teď přejdeme do simulace, která nám ukáže detailní průběh obrobění. Simulaci si můžeme nastavovat podle potřeb, můžeme měnit rychlost, viditelnost jednotlivých prvků a podobně. Hlavní výhodou simulace je případná detekce kolizí nástroje s obrobkem, přípravkem, nebo třeba přípravku se strojem. Předjdeme tedy zbytečnému vzniku škod.



(29) Sestava s vygenerovanými dráhami nástrojů [18]

Po kontrole simulace už nám zbývá jen vytvořit NC kod pro stroj. Tvorba kodu spočívá pouze ve zvolení místa pro uložení součásti a popřípadě přidání do nějaké zakázky. Můžeme si ještě softwarem nechat překontrolovat nástroje či optimalizovat celý program. Poté již jen zvolíme „Generovat NC kod“ a uložíme si ho do příslušného místa.



(30) Generování NC kodu [18]

## 8. Porovnání s jinými CAM softwary

Jak jsme již zmínili výše, existuje mnoho CAM softwarů s mnoha rozdílnými funkcemi. Některé jsou komplexnější a tedy často i dražší, jiné jsou zase jednodušší a levnější, sloužící převážně pro jednoduchou výrobu. Jako první pro porovnání si vyzkoušíme vytvořit totožný díl a program v softwaru FeatureCAM. Dále vyzkoušíme ještě možnosti PowerMILLu a nakonec se podíváme na celý program v Heidenheinu, tedy základním programem pro stroje.

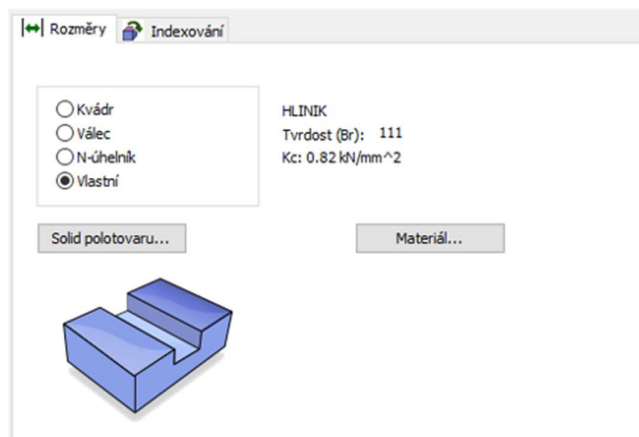
Je nutno podotknout, že při programování v ostatních softwarech nebyla možnost důkladné simulace stroje, jelikož se jedná o licence školní, nikoliv firemní. Také nebudeme podrobně procházet všechny kroky jako u EdgeCAMu, pouze ty hlavní, které nám ukážou nějaké rozdíly.

### 8.1. FeatureCAM

FeatureCAM je součástí Autodesku, jedná se však o samostatný program, který podporuje pětiosé frézování, stejně jako EdgeCAM a PowerMILL. Vybral jsem je hlavně z důvodu dostupné licence a právě vhodného porovnání z hlediska funkcí.



V pracovním prostředí softwaru začneme tím, že si definujeme postupně polotovary, přípravek a nulový bod, tedy postupujeme podobně jako při programování v EdgeCAMU. Výber polotovaru je zase různý, buďto můžeme vytvořit polotovary pomocí jednotlivých geometrických tvarů jako je válec, kvádr nebo n-úhelník, nebo si můžeme zvolit vlastní, což je právě náš případ. Dáme si tedy zvolit vlastní a označíme si jako solid náš importovaný polotovary ze sestavy, tedy defakto náš díl.



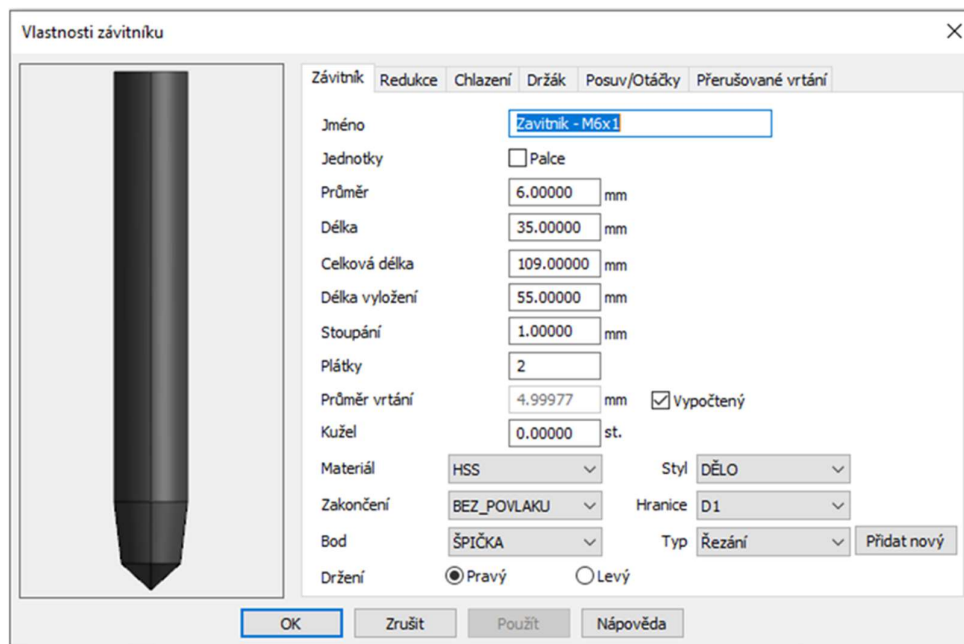
(31) Výběr polotovaru ve FeatureCAM [18]

Zde jsme se potýkali s problémem, že díl nebyl při importu rozpoznán jako jeden solid, tudíž jsme museli jednotlivé solidy sloučit.

Dále si určíme přípravek tak, že si v ovládacím panelu rozklikneme solid tělesa a zaškrtneme „použít solidy jako upínku“. Samotné upínky zde umisťovat nebudeme, jelikož zde databázi upínek nemáme a museli bychom je importovat tak, že bychom je přidali v CADu a importovali zároveň se soustavou. Avšak tohle mi přišlo při programování jako malý nedostatek.

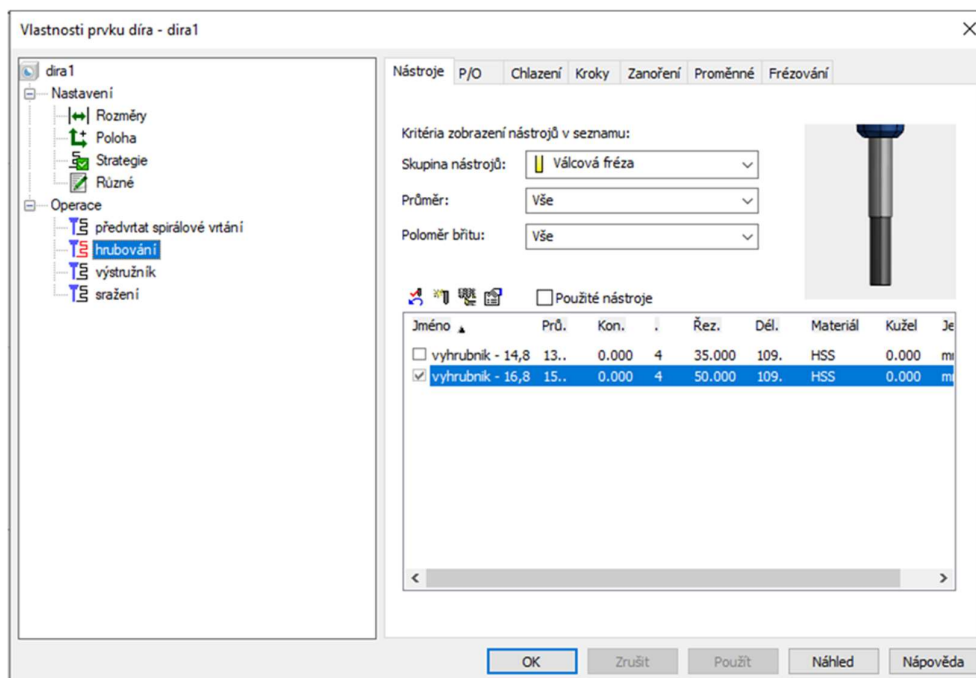
Nyní si určíme nulový bod. Bod zvolíme přímo tlačítkem myši pomocí geometrie dílu a dále jen pootočíme podle os dle potřeb. Jedná se tedy zase o velice podobný postup jako u předchozího softwaru.

Dalším krokem bude vytvoření jednotlivých prvků pro obrábění. Velice nápomocné je zde rozpoznání prvků, které nám automaticky vybere prvky pro obrábění a vytvoří samotné cykly, které dále jen lehce přetvoříme podle potřeb. Můžeme zde však samozřejmě vytvářet prvky ručně pomocí náčrtů, geometrií a drah. Na základě vytvořených prvků a cyklů nyní můžeme pokračovat v úpravách jednotlivých cyklů. První si však musíme vytvořit databázi nástrojů. Tu vytvoříme pomocí správce nástrojů, ve kterém si založíme novou databázi a buďto zde umístíme jednotlivé nástroje z jiných databází, nebo vytváříme nové. V našem případě půjde o tvorbu nových. Při tvorbě nástrojů si vždy zvolíme prve skupinu nástrojů, pod kterou bude zařazený např.: *čelní fréza*, *stopková fréza*, *zavítování*.... Poté vypíšeme potřebné parametry a vytvoříme nástroj.



(32) Tvorba nástroje [18]

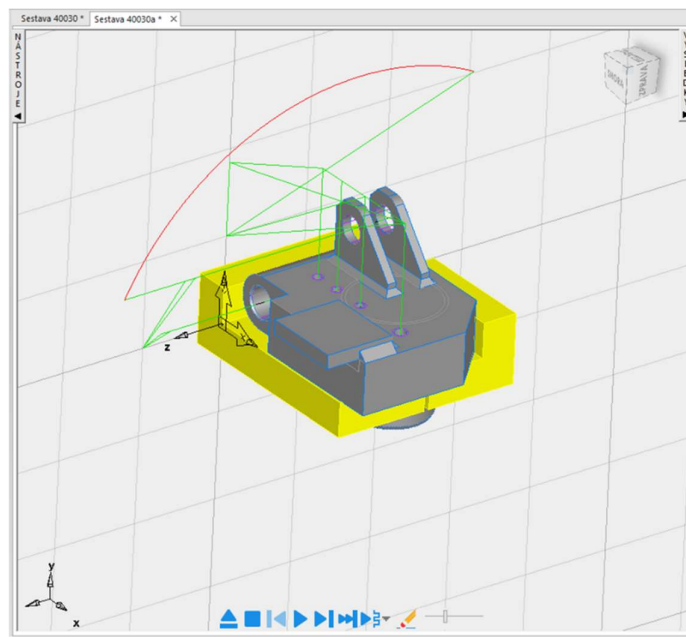
Nyní se vrátíme k cyklům a dodáme do nich potřebné údaje jako jsou posuvy, otáčky a právě nástroje. Jednotlivé prvky můžeme rozkliknout a nastavit u nich různé cykly pro obrobení a to, jestli například chceme předvrtávat, hrubovat, nebo jen vrtat či závitovat.



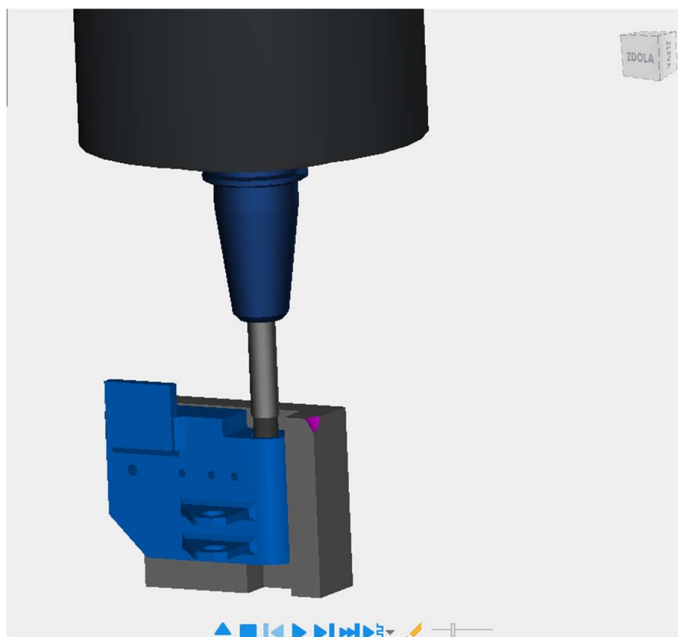
(33) Možnosti úpravy cyklů [18]

Je potřeba si ještě definovat druhý nulový bod pro obrobení z jiné strany. Postup je stejný jako při tvorbě nulového bodu, ze kterého zde budeme vycházet a pouze ho otočíme podle osy X o 90 stupňů a vytvoříme si tak pracovní rovinu. V dané pracovní rovině si stejně jako předtím automaticky vygenerujeme prvky a pokračujeme obdobně.

Po zadání veškerých parametrů se nám vygenerují dráhy nástroje a můžeme také zkontrolovat celý proces v simulaci. Simulaci máme pouze s nástrojem a vřetenem, jelikož celý stroj se nám nepovedlo pro simulaci najít, avšak víme, že v případě použití ve firmě by to nebyl problém. Pro vytvoření základního obrázku nám tato simulace postačí. Simulaci můžeme spustit hned v několika podobách. Můžeme si nechat zobrazit pouze geometrii nástroje při obrábění, dále 2D simulaci, která však dle mě není moc využitelná. Poté zde máme 3D simulaci a nakonec simulaci se strojem. Pro volbu stroje přejdeme v ovládacím panelu do postprocesoru a zde si zvolíme požadovaný stroj v případě, že bychom měli jeho model.



(34) Vykreslení dráh nástroje [18]



(35) Simulace obrábění s kolizí přípravku [18]

Po kontrole simulace si zkopírujeme NC kód, který se nám generuje průběžně při tvorbě programu.

## 8.2. PowerMILL

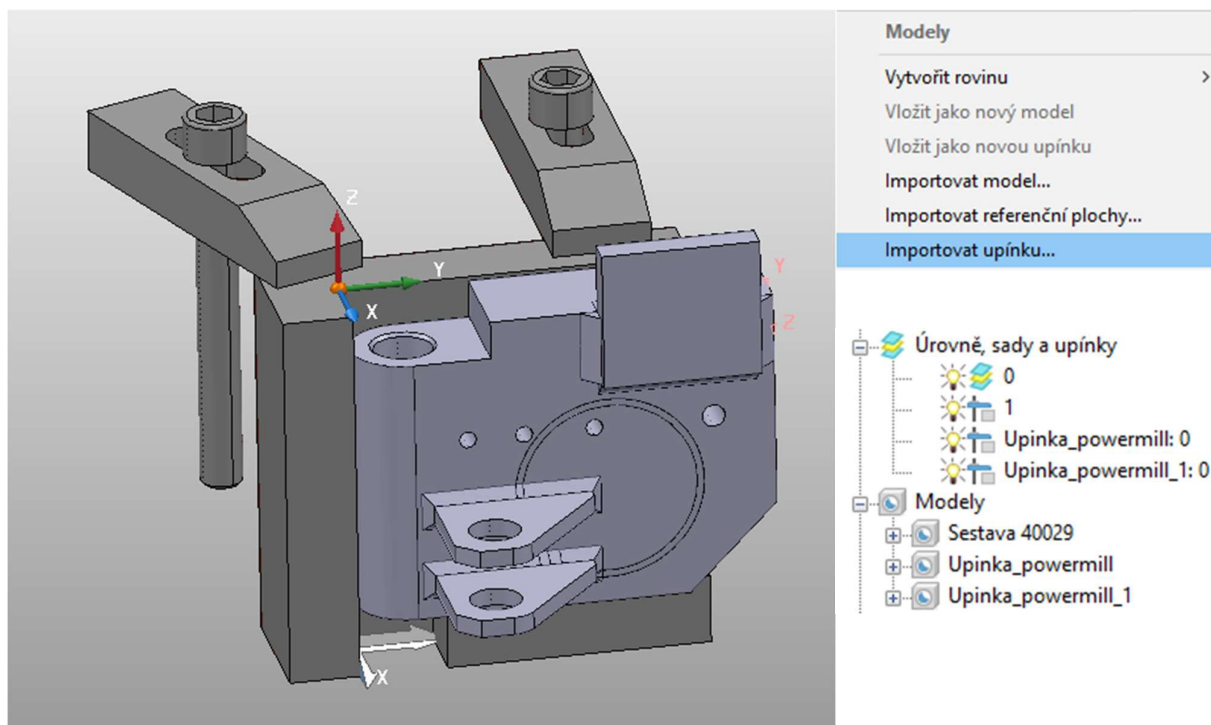
Zde opět začneme tím, že si importujeme model jako sestavu. Dále postupujeme obdobně, definujeme si polotovar, nulový bod a jednotlivé upínací elementy. Polotovar si importujeme z naší složky a pouze si ho umístíme do správné roviny tak, aby odpovídal našemu dílu.

Nulový bod si můžeme vytvořit přes pracovní rovinu, nebo můžeme díl umístit bodem do počátku základního souřadnicového systému po zapnutí programu. Dle mého názoru je zde příjemnější pracovat přes roviny.

Definice přípravku zde bude zase nejjednodušší přes vybrání geometrie ze sestavy, mohli bychom však importovat zvlášť díl a zvlášť přípravek a následně do něj díl umístit. Tato možnost je ale časově i pracně nevýhodná. Po definici přípravku importujeme přes hlavní ovládací panel postupně dvě upínky a umístíme je pomocí pracovní roviny na požadované místo. Není na škodu zde také pracovat s posunem v souřadnicovém systému, jelikož známe

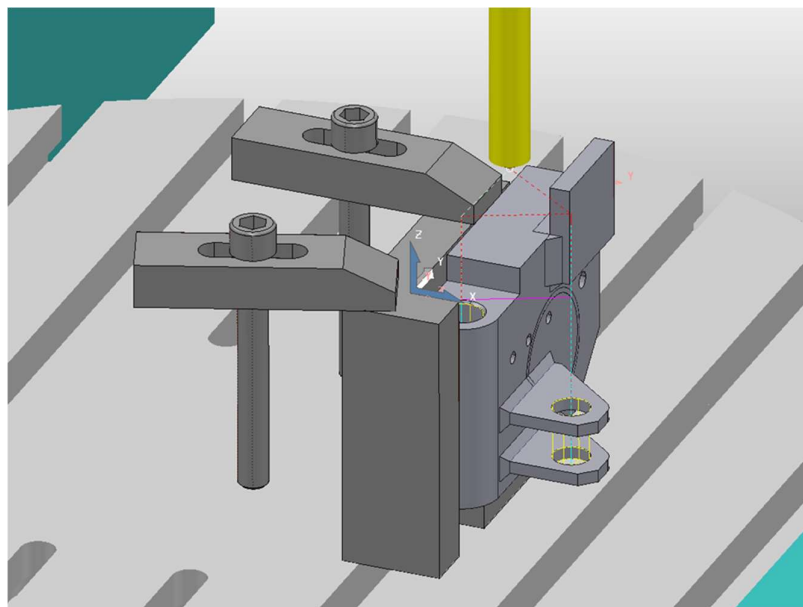
podrobně rozměry přípravku i dílu. Upínky je potřeba importovat ze složky stejně jako sestavu, PowerMILL, stejně jako FeatureCAM nedisponuje databází upínek. Je tedy nutno je mít někde uschované ve složce a importovat je vždy.

Nakonec si ještě importujeme pracoviště, ve kterém budeme obrábět. Po importu pracoviště je ještě potřeba doladit umístění obrobku na stole, aby šel rozumně umístit a nedocházelo ke kolizím, které jsou viditelné i bez simulace.



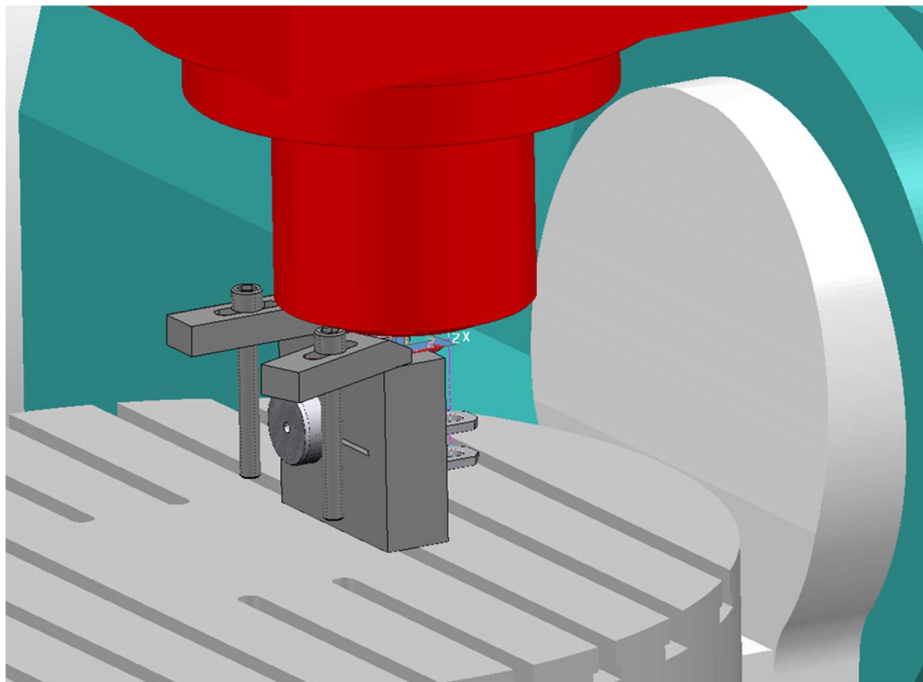
(36) Finální ustavení obrobku pomocí upínek v PowerMILL [18]

Po ustavení dílu a definování všech potřebných elementů se můžeme posunout dále. Další krok je opět vytvoření prvků. Označíme si tedy jednotlivé díry a vytvoříme tím geometrii pro obrábění. Následně si vytvoříme jednotlivé nástroje, které budeme potřebovat k obrábění. Zvolíme si obráběcí cykly a nastavíme si jejich parametry, jako je přířuv, řezná rychlost či otáčky. Nutno říct, že před samotným generováním cyklů v jiné rovině si zase vytvoříme rovinu pracovní, pomocí které definujeme otočení stolu. Verifikace nám proběhne již při tvorbě cyklů, jelikož si je software propočítává.



(36) Vykreslení drah nástroje v prostředí PowerMILL [18]

Po úspěšném vygenerování cyklů se přesuneme ke kontrole pomocí simulace. Simulace nám ukáže veškeré kolize a také si při ní můžeme uvědomit lepší obráběcí postup z hlediska dráhy nástroje. Simulace v PowerMillu je podobně propracovaná jako ta v EdgeCAMu.



(37) Simulace s kolizí upínky a stroje [18]

### 8.3. Výhody a nevýhody využití přípravků v CAM softwaru

Na základě mých zkušeností práce v CAM softwarech jsem přišel na výhody, případně nevýhody užívání přípravků v CAMu. Výhody zde značně převažují nevýhody, avšak můžeme najít i situace, kdy by tomu tak nebylo.

Jako první výhodu bych volil samotnou představivost – tedy vizualizaci ustavení obrobku. Díky zavedení přípravku si lépe dokážeme představit, co a jak nejlépe obrábět v daném směru a také v jakém pořadí. Dále při práci s přípravkem nemusíme myslet na bezpečné nájezdy a výjezdy, nebo dráhy nástroje, jelikož by nám jakoukoliv kolizi software ukázal. Většina výhod přípravku se točí kolem lepší vizualizace, simulace a verifikace při výpočtů drah nástroje, a ustavení na stroji samotném. Vytváření složitějšího programu bez užití přípravků by bylo velice nebezpečné, jelikož bychom neustále museli přípravek uvažovat, ale neviděli bychom ho, tudíž bychom ho snadno mohli v nějakém procesu zapomenout a tím by vznikl nemalý problém.

Použití přípravků samo o sobě nevýhody příliš nepřináší, avšak pár jsem jich přeci jen vyzorova. Hlavní nevýhoda dle mého názoru je, že při zavádění přípravku pro velice jednoduchý obrobek, u kterého je kolize nástroje s přípravkem téměř vyloučena, ztratíme zbytečně čas. Příkladem může být třeba obyčejné vrtání několika děr do obrobku, který upevníme do svěráku. Potom mi ještě jako komplikace přišlo občas samotné určování přípravku při špatném importu, hladiny bylo těžké identifikovat – zase nastává časová prodleva. Jako poslední by mohla být náročnost softwaru pro počítač, jelikož čím více prvků v programu budeme mít, tím náročnější bude výpočet drah a samotná simulace.

#### 8.3.1. Ekonomické přínosy práce s přípravky

Přípravky mají také podstatné ekonomické přínosy. Jak už bylo zmíněno výše, díky použití přípravku se nám naskytne daleko lepší vizualizace, ta se dá poté použít pro tvorbu návodků při výrobě, zejména u složitějších kusů, ale také pro marketingové účely, jako představení procesu obrábění zákazníkovi či tvorba reklamy.

Použitím přípravku v CAM prostředí můžeme také nahradit zkušební běh na stroji, jelikož při zavedení veškerých prvků nám simulace poskytne dostatečnou kontrolu a ušetříme

zde mnoho času, který bychom na zkušební běh vynaložili. Správným použitím přípravků usnadníme také zaměření nuly na stroji, čímž opět výrazně ušetříme čas.

## 8.4. Vyhodnocení CAM softwarů

Pro srovnání jednotlivých softwarů jsem se rozhodoval dle třech základních parametrů. Jako první mě zajímala jednoduchost samotného programování, dále samotná propracovanost a možnosti simulace a jako poslední, ale neméně důležitá, samotná cena produktu. Je třeba zmínit, že v prostředí EdgeCAM mám více zkušeností než v ostatních, může být tedy hodnocení lehce zkreslené.

Co se týče jednoduchosti, nejvíce přátelské prostředí poskytoval EdgeCAM. Byla zde podstatně jednodušší definice polotovaru, upínek a pracovních rovin. Tvorba databáze nástrojů a definice upínek je u všech softwarů obdobně jednoduchá. Jako hlavní výhodu k tématu bych pak u EdgeCAMu určitě zvolil možnost tvorby databáze upínek přímo v softwaru, která mi u ostatních CAM softwarů chyběla. Definice již importovaných upínek byla obecně podobná, všude se vyplatilo rozdělit si sestavu a díl pomocí hladin a označit si přípravek jako upínku. Jediný problém se mi jevil v tom, že přestože PowerMILL i FeatureCAM patří pod střechu Autodesku, měli občas problém rozpoznat sestavy vytvořené v CAD prostředí Autodesk Inventoru, bylo tedy lepší pracovat se soubory typu stp. Následně po importu vznikal také problém, že se jednotlivé tělesa rozpadla dle hladin na několik komponent, kdežto u EdgeCAMu zůstala sestava jako dvě komponenty, bylo tedy jednodušší oddělit přípravek a díl. Umístění upínek po importu nebylo nijak zvlášť rozdílné. Všechny tři softwary disponují možností tvorby vlastní geometrie, můžeme si zde tedy vytvářet vlastní konstrukce pro lepší práci

Tvorba NC programu byla různorodá a řekl bych, že byla oproti ostatním věcem nejvíce rozdílná. U všech softwarů se tvořili nejdříve jednotlivé prvky a následně obráběcí cykly. Automatické rozpoznání či určení geometrií prvků se mi zdálo nejlepší u FeatureCAMu a EdgeCAMu. V PowerMILLu to bylo poměrně zmatené zpočátku, ale po kratší době už se v tom dalo také docela solidně orientovat. Zásadní rozdíl pro mě byl v možnostech úprav již vygenerovaného cyklu, zatímco u PowerMILLu bylo horší již vytvořený cyklus jakkoliv upravit, u EdgeCAMu jsme mohli „vrtat“ téměř do všeho, avšak zase zde nastává větší prostor pro vznik chyb. FeatureCAM měl dle mého názoru nejlepší automatické rozpoznání prvků,



akorát mi zde vadila malá možnost úpravy cyklů podle potřeby – tedy když jsme chtěli pro jednu díru vytvořit několik cyklů, jako třeba: *předvrtání, hrubování, vystružení, sražení,...*

Co se týče simulace, tak zde dominoval PowerMILL a EdgeCAM jak z hlediska možností simulace, tak z hlediska vizuální stránky. Je to možná jen můj osobní pohled, avšak simulace u FeatureCAMu mi přišla nejméně vzhledná a přehledná, ovšem nemohu říct, že by neposloužila svému účelu. Možnosti simulací byly podobné, u všech softwarů jsme mohli simulovat veškeré prvky od nástrojů přes držáky a vřetena až po celý stroj.

Všechny tři použité CAM softwary určitě patří mezi velice kvalitní a propracované programy. Pokud bych si měl pro práci vybrat pouze jeden z nich, nebylo by to jednoznačné. Svou jednoduchostí si mě získal FeatureCAM a svou komplexností EdgeCAM. PowerMILL má bezpochyby také nespočet výhod, avšak osobně mi tohle prostředí příliš nevyhovovalo, vadila mi hlavně absence tlačítka zpět.

Co se týče ceny jednotlivých softwaru, tak to není v dnešní době příliš podstatné, je logické, že čím propracovanější CAM, tím vyšší pravděpodobně cena bude, avšak pro vzhledem k přípravkům bychom mohli využít téměř jakýkoliv software, neboť práci s přípravky nabízí všechny softwary už v základní verzi.

Tabulka č. 1 – vyhodnocení CAM softwarů

CAM software	Jednoduchost	Tvorba programu	Možnosti simulace
EdgeCAM	Obecně lehčí základ, jako je ustavení obrobku, určení upínacích prvků a nulového bodu.	Složitější tvorba geometrie a prvků, příjemná úprava parametrů a větší „volnost“.	Realná, dobře ovladatelná, mnoho různých možností, velice vzhledná.
FeatureCAM	Lehce složitější určení upínacích prvků a jejich import, menší problém s importem.	Automatická tvorba prvků pro obrábění, horší úprava parametrů.	Realná, poměrně dobře ovladatelná, avšak ne tolik vzhledná, nicméně dostačující.
PowerMILL	Složitější ustavení obrobku a definice upínačů. Import prvků bez problému	Tvorba prvků ne příliš složitá avšak ani ne příliš přátelská, úprava parametrů poměrně obtížná.	Realná simulace, hodně možností a přátelské ovládání, také velice vzhledná.

## 9. Závěry

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na využití upínacích prvků v prostředí CAM. Pracovali jsme s dílem, který požadoval upnutí jak pomocí speciálního přípravku, tak pomocí univerzálních. Postupně jsme si naimportovali jednotlivé prvky a vytvořili program. Pro lepší představu jsme vytvořili stejný program ve třech různých softwarech.

Při práci v CAM softwarech s přípravky jsme došli k závěru, že nejjednodušší definici přípravku vytvoříme tak, že importujeme sestavu dílce a přípravku společně. Vyvarujeme se tím složitěho umístění dílu do přípravku, neboť rozlišení přípravku a dílu od sebe navzájem bylo podstatně jednodušší. Výhoda je také mít zavedenou databázi univerzálních přípravků, které používáme, ačkoli ne všechny CAM softwary disponují touthle možností, vždy si můžeme vytvořit databázi aspoň jako složku CAD souborů pro snadnější import.

Přípravek se nám ověřil jako dostatečně funkční pro obráběný díl, zajistil nám požadované upevnění dílce a ochranu proti otlačení krajů, dále nám zajistil stabilní umístění obrobku na stroji, což byl z hlediska seriovosti důležitý požadavek. Díky simulace jsme si pak díl umístili tak, aby práce byla co nejrychlejší a nejplynulejší. Samotná výroba se tak potom díky poctivé práci v CAM softwaru obešla bez kolizí a problémů.

Při tvorbě v CAM softwaru bych doporučil poctivou tvorbu základních bodů:

- přesná definice polotovaru,
- správné určení nulového bodu,
- vytvoření upínacích elementů shodné s reálnou výrobou,
- posprocesor stroje,

Obecně jsme zjistili, že použití přípravků v CAM softwarech se nám jednoznačně vyplatí, ať už z hlediska praktického, či z hlediska ekonomického. Ne vždy je nutno použít všechny, avšak měli bychom použít apoň ty, které by mohly vytvořit kolizi s nástrojem či strojem. Díky vizualizace modelu s přípravky jsme byli schopni proces zjednodušit a vytvořit efektivní postup obrábění.

## 10. Zdroje

- [1] ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2336-6.
- [2] HENRIKSEN, Eric. Jig & Fixture Design Manual. 2. New York: Industrial Press, 2010. ISBN 9780831102111 083110211X.
- [3] JOSHI, P. H. Jigs and Fixtures. New York: Tata McGraw-Hill Education, 1998. ISBN 0070680736, 9780070680739.
- [4] Computer Aided Manufacturing. USA: Firewall Media, 2005. ISBN 8170087856, 9788170087854.
- [5] Using Edgecam for creating CNC programs in education process. SAMI 2015 • IEEE 13th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics. 2015, 2015(1), 5.
- [6] Mechanické upínání. Www.flowtech.cz [online]. Zlín: Nástrojárna Zlín [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: [http://www.flowtech.cz/wp-content/uploads/2014/06/MUP\\_HORIZONT%C3%81LN%C3%8D-STROJ\\_OP-10\\_1.jpg](http://www.flowtech.cz/wp-content/uploads/2014/06/MUP_HORIZONT%C3%81LN%C3%8D-STROJ_OP-10_1.jpg)
- [7] SADÍLEK, Marek a Zuzana SADÍLKOVÁ. Počítačová podpora procesu obrábění: učební text [CD-ROM]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2770-4.
- [8] Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013. CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013 [online]. 2013, **2013**(46), 6 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: doi:Fixture and Setup Planning and Fixture Configuration System
- [9] AN EXPERT SYSTEM FOR FIXTURE DESIGN. CONCURENT ENGINEERING [online]. 1995(-), 8 [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/>
- [10] Barry Flachsbar, David Shuey, and George Peters. 2003. Computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM). <i>Encyclopedia of Computer Science</i>. John Wiley and Sons Ltd., GBR, 268–274.



[11] Research on the Key Technologies of CAD / CAM Integrated System. Tianjin, China, 2010. Výzkum. Tianjin University of Technology.

[12] Reticulated structures manufacturing industry and CAD/CAM System Integration. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. 2012, 5(-), 4.

[13] *JIG AND FIXTURE CAD/CAM SYSTEM*. Budapest, 1989. Article. Technical University H-1521 Budapest.

[14] Research and Development of the Software on Computer-Aided Fixtures Designing. China, 2009. Research. Anhui Agricultural University.

[15] FeatureCAM [online]. Česká Republika: ARKANCE SYSTEMS CZ S.R.O, - [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <https://www.featurecam.cz/>

[16] PowerMILL [online]. Česká Republika: CAD STUDIO, - [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <https://www.powermill.cz/>

[17] Tyto informace pochází z firmy SSI Schaefer s.r.o, případně se jedná o vědomosti a zkušenosti z praxe zaměstnanců firmy.

[18] Tyto obrázky jsou vlastní tvorba – snímky obrazovky v průběhu práce v softwaru

## 11. Seznam použitých symbolů a zkratek

3D	[-]	trojtozměrný
CAD	[-]	počítačem podporované konstruování
CAM	[-]	počítačem podporovaná výroba
CNC	[-]	číslicové řízení počítačem
$\Delta u$	[-]	nepřesnost ustavení
$\Delta u_p$	[-]	nepřesnost upnutí obrobku
$\Delta o$	[-]	nepřesnost opěrek obrobku
$\Delta s$	[-]	nepřesnost ustavení a upnutí obrobku v přípravku
U	[Kč/ks]	úspora v přímých mzdách
R	[%]	koeficient režie vlastní výroby
C	[Kč]	veškeré náklady na výrobu přípravku
K	[rok]	životnost
B	[Kč/rok]	rozdíl nákladů na seřízení stroje díky přípravku
N	[ks/rok]	počet výrobků