



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ CAX SYSTÉMŮ V PRŮMYSLOVÉ  
PRAXI**

POSSIBILITIES OF CAX SYSTEMS IN INDUSTRIAL PRACTICE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

David Novák

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Dominik Hermanský

**BRNO 2016**

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: David Novák  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: Ing. Dominik Hermanský  
Akademický rok: 2015/16

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

### Možnosti využití CAx systémů v průmyslové praxi

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti jednotlivých typů CAx systémů. Následně bude řešena úloha, která bude demonstrovat propojení CAD a CAM systému. Bude využité softwarové vybavení od společnosti Autodesk. Práce bude realizována v spolupráci s výzkumným centrem Intemac Solutions, s.r.o.

#### Cíle bakalářské práce:

1. Seznámení se s řešenou problematikou.
2. Rešerše v oblasti CAx systémů
3. Zhodnocení a porovnání, přínos pro průmysl
4. Seznámení s prostředím Autodesk Inventor HSM
5. Řešení zadané případové studie

#### Seznam literatury:

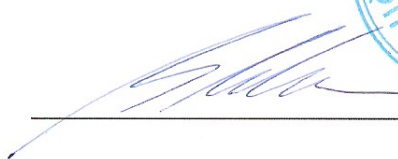
MM Průmyslové spektrum, <http://www.mmspektrum.com/>, přístup 4. prosince 2015

Autodesk, <http://www.autodesk.com/>, přístup 4. prosince 2015

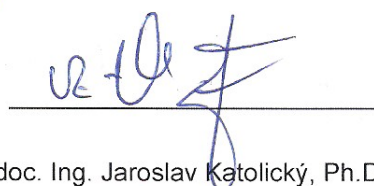
UČEŇ, Oldřich. (2010): Modelování v Autodesk Inventoru: Autodesk Inventor. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



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



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

## **ABSTRAKT**

Využití počítačové podpory se stává nedílnou součástí každého strojírenského podniku. První část práce obsahuje popis CAx systémů, jejich historický vývoj a využití. Dále je v práci řešena problematika 3osého obrábění v CAD/CAM systému Inventor HSM od společnosti Autodesk, Inc. Cílem této části bylo vytvořit vhodné obráběcí strategie, vybrat ideální nástroje, určit řezné podmínky a následně celý proces ověřit pomocí simulace.

## **ABSTRACT**

Usage of computer aid becomes an integral part of every engineering company. The first part of this thesis contains a description of CAx systems, their historical development and use. Second part deals with problematics of 3axis machining in CAD/CAM system Inventor HSM from company Autodesk, Inc. The target of this part was to select optimal machining strategies, choose ideal tools, determine the cutting conditions and verify the whole process by simulation help.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

CAx systémy, CAD/CAM, Autodesk Inventor HSM, obrábění

## **KEYWORDS**

CAx systems, CAD/CAM, Autodesk Inventor HSM, machining

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NOVÁK, D. *Možnosti využití CAx systémů v průmyslové praxi*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 61 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Dominik Hermanský.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Dominiku Hermanskému za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při tvorbě této práce.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

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

V Brně dne 23. 5. 2016

.....

Novák David

# OBSAH

|          |                                                                             |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>                                                           | <b>15</b> |
| <b>2</b> | <b>AUTOMATIZACE VÝROBY VE STROJÍRENSTVÍ .....</b>                           | <b>17</b> |
| <b>3</b> | <b>POČÍTAČEM PODPOROVANÉ SYSTÉMY – CAX SYSTÉMY .....</b>                    | <b>19</b> |
| 3.1      | Deskripce CAX systémů .....                                                 | 19        |
| 3.2      | Příčiny zavádění CAX systémů .....                                          | 20        |
| 3.3      | Historický přehled .....                                                    | 20        |
| 3.4      | Rozdělení CAX systémů .....                                                 | 23        |
| <b>4</b> | <b>PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH CAX SYSTÉMŮ .....</b>                               | <b>24</b> |
| 4.1      | Počítačem podporovaný návrh výrobku - CAD .....                             | 24        |
| 4.1.1    | Použití CAD systémů .....                                                   | 25        |
| 4.1.2    | Základní přednosti používání CAD systémů .....                              | 25        |
| 4.1.3    | Typy 3D modelů .....                                                        | 25        |
| 4.1.4    | Rozdělení CAD softwarů .....                                                | 26        |
| 4.2      | Počítačová podpora návrhu technologické dokumentace - CAPP .....            | 29        |
| 4.2.1    | Rozdělení CAPP podle přístupu .....                                         | 30        |
| 4.3      | Počítačem podporovaná výroba - CAM .....                                    | 31        |
| 4.4      | Počítačová podpora integrovaného návrhu a výroby - CAD/CAM .....            | 32        |
| 4.5      | Počítačová podpora výrobního inženýrství - CAPE .....                       | 34        |
| 4.6      | Počítačem podporované řízení kvality - CAQ .....                            | 34        |
| 4.7      | Počítačová podpora řízení a plánování výroby - CAPPs .....                  | 36        |
| 4.8      | Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů - CARC ..... | 36        |
| 4.9      | Počítačová podpora řízení mezioperační dopravy a skladování - CATS .....    | 36        |
| 4.10     | Počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky - CAT .....               | 36        |
| 4.11     | Počítačová podpora montáže výrobku - CAA .....                              | 36        |
| 4.12     | Řízení výrobních dat - PDM .....                                            | 36        |
| 4.13     | Řízení životního cyklu výrobku - PLM .....                                  | 37        |
| 4.14     | Počítačem integrovaná výroba - CIM .....                                    | 38        |
| <b>5</b> | <b>ZHODNOCENÍ, PŘÍNOS PRO PRŮMYSL .....</b>                                 | <b>40</b> |
| <b>6</b> | <b>APLIKACE CAD/CAM SYSTÉMU AUTODESK INVENTOR HSM .....</b>                 | <b>41</b> |
| 6.1      | Model .....                                                                 | 41        |
| 6.2      | Základní nastavení a definice polotovaru .....                              | 42        |
| 6.3      | Hrubování vnějších ploch a zarovnání čela .....                             | 43        |
| 6.4      | Hrubování kapsy .....                                                       | 45        |
| 6.5      | Vrtání děr s válcovým zahloubením .....                                     | 45        |
| 6.5.1    | Díry pro šrouby M8 s vnitřním šestihranem .....                             | 45        |
| 6.5.2    | Válcové zahloubení .....                                                    | 46        |
| 6.6      | Vrtání děr o průměru 8,5 mm pro závit M10x1,5 .....                         | 46        |
| 6.7      | Sražení hran .....                                                          | 46        |
| 6.8      | Kuželové zahloubení .....                                                   | 47        |
| 6.9      | Řezání závitů M10x1,5 .....                                                 | 47        |
| 6.10     | Dokončení kapsy a vnějších stěn .....                                       | 48        |
| 6.10.1   | Dokončení dna kapsy .....                                                   | 48        |
| 6.10.2   | Dokončení vnitřní stěny .....                                               | 49        |
| 6.10.3   | Dokončení vnější stěny .....                                                | 50        |
| 6.10.4   | Dokončení kulových vrchlíků .....                                           | 50        |

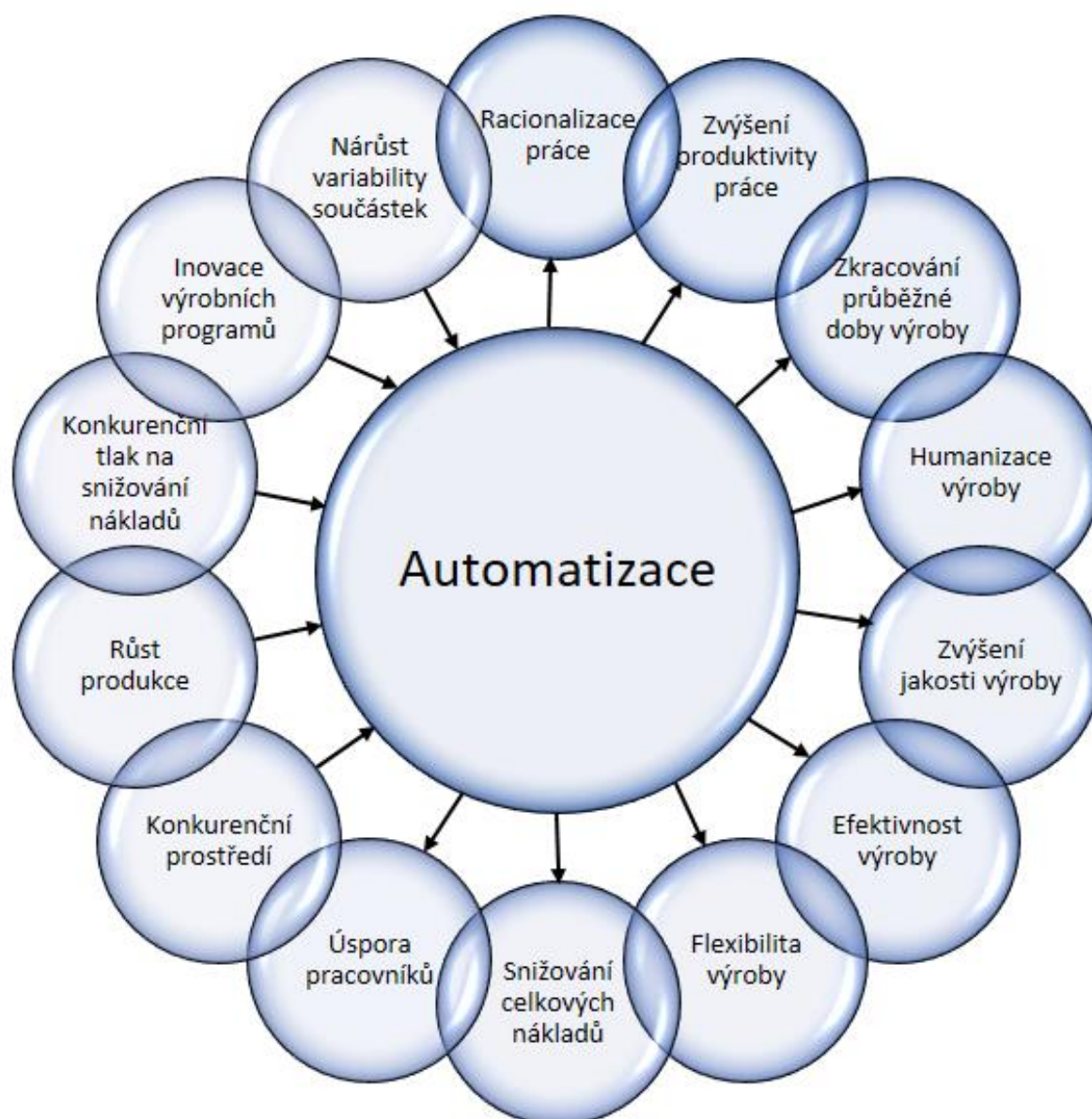
|           |                                      |           |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| 6.11      | Simulace drah obrábění.....          | 52        |
| 6.12      | Vygenerování NC kódu.....            | 53        |
| <b>7</b>  | <b>ZÁVĚR.....</b>                    | <b>55</b> |
| <b>8</b>  | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b> | <b>56</b> |
| <b>9</b>  | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b> | <b>58</b> |
| <b>10</b> | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>           | <b>59</b> |
| <b>11</b> | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>           | <b>61</b> |

# 1 ÚVOD

V současné době je strojírenská výroba charakterizována stále rostoucími požadavky. To je způsobeno především charakterem trhu a požadavky zákazníka. Aby byl podnik schopný konkurence, je potřebné, aby vyráběl kvalitní výrobek s nízkými celkovými náklady, při krátkých dodacích časech, a zároveň s vysokou produktivitou. Tyto požadavky jsou často v protikladu a proto je potřeba využívat progresivní postupy navrhování technologie výroby, výkonné strojní zařízení, moderní technologie a aplikování automatizace. To se neobejde bez využití výpočtové techniky a specializovaných aplikací. V poslední době výrazně roste snaha využívat tyto progresivní metody a hledají se rezervy ve všech složkách podniku, které by umožnily dosáhnout těchto požadavků.

Jedním z efektivních nástrojů pro zvyšování konkurenceschopnosti jsou počítačem podporované systémy (CAx). Vzhledem k nesporným ekonomickým přínosům těchto počítačových a informačních technologií se považuje jejich implementace do firmy za nezbytnou. Tato cesta je vysoce finančně náročná a především není automatickým předpokladem úspěchu. Skutečnost je taková, že podnik bez aplikace těchto technologií často není schopen konkurovat ostatním výrobcům na trhu. Tento moderní trend ve strojírenství nelze obejít a vyžaduje mnoho úsilí a důkladných analýz. [1,2]

Tato bakalářská práce se skládá z dvou hlavních částí. V první teoretické části je zpracována rešerše v oblasti CAx systémů. Tato část obsahuje komplexní popsání řešené problematiky, historický vývoj v této oblasti, přehled jednotlivých CAx systémů a zhodnocení, zda má význam využívat tyto systémy v průmyslové praxi. V druhé praktické části je řešena úloha, která demonstruje využití CAD/CAM systému Autodesk Inventor HSM. V této části jsou reprezentovány základní funkce programu při 3osém obrábění na předem vymodelované součásti.



Obr. 01) Příčiny a důsledky automatizace [1]

## 2 AUTOMATIZACE VÝROBY VE STROJÍRENSTVÍ

Zvyšování produktivity, spolehlivosti a kvality součástek je cíl každého strojírenského podniku. Toho lze dosáhnout cestou mechanizace, automatizace a počítačové podpory výroby. Automatizaci můžeme chápat jako vyšší prvek racionalizace práce. Jde o využití různých technických prostředků za účelem samočinného uskutečnění dílčích nebo celých pracovních procesů podle zadaného programu. [4]

Mluvíme-li o automatizaci, je potřeba zdůraznit, že se nejedná pouze o automatizaci výrobního procesu. Významné místo má automatizace také v předvýrobních etapách a proto je třeba chápat ji komplexně. Realizace probíhá za pomoci výpočetní techniky a jde především o počítačovou podporu inženýrských prací. Největší pozornost je věnována automatizaci výrobních etap. I přesto, že mohou být počáteční náklady na realizaci automatizovaných procesů mnohonásobně vyšší, její ekonomický přínos je neoddiskutovatelný. Je třeba podotknout, že automatizace nemá za úkol odstranit lidi z výroby a zvýšit tak nezaměstnanost. Jejím hlavním cílem je odstranit stereotypní a rutinní práce lidí a tím vytvořit více času pro kreativní činnosti. [1]

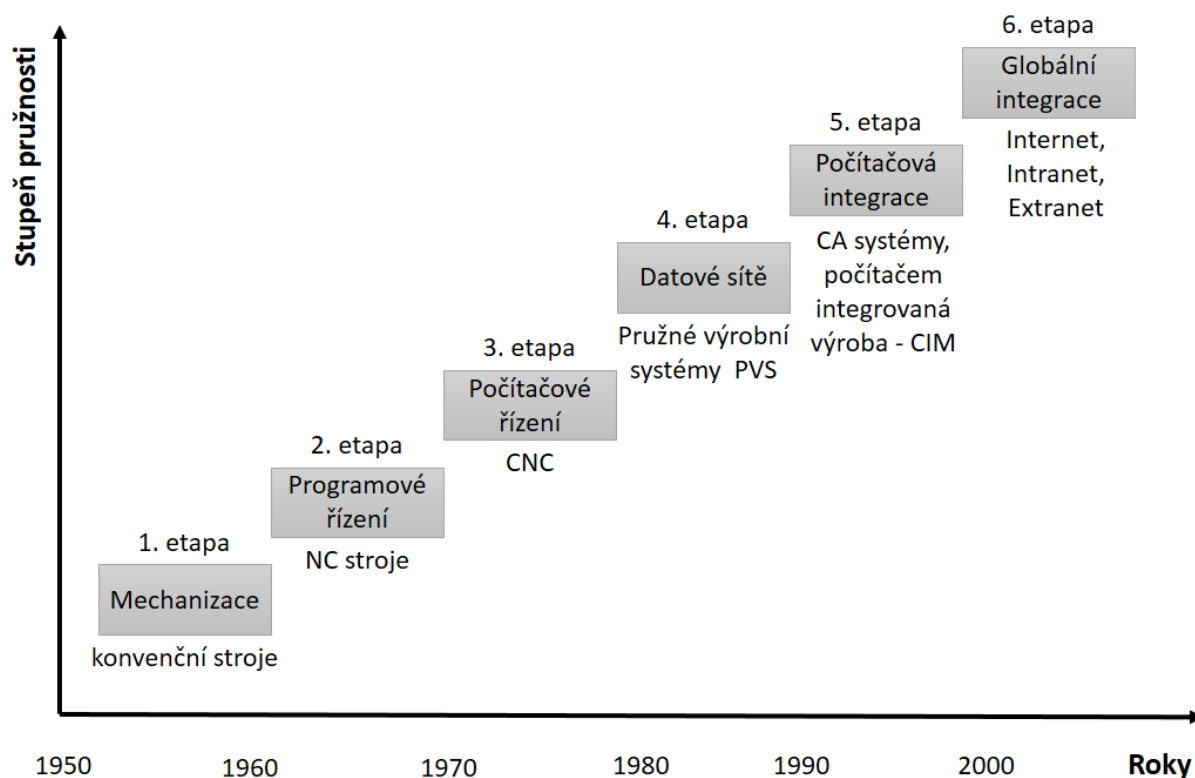


Obr. 02) Závod ŠKODA: Plně automatická doprava materiálu [15]

První automatizované procesy vznikají v manufakturách v 18. století. Mají za úkol pomoci z organizací výrobních systémů. V této době byl tok energie a tok materiálu hlavním ukazatelem prosperity továrny. [4]

Jedním z prvních inovátorů v této oblasti byla firma Ford, která v roce 1912 automatizovala organizaci práce na výrobní lince pro automobil značky Ford T. Všeobecně to byl právě automobilový průmysl, který určoval vývoj ve strojírenské výrobě. Automobil jakožto komplexní součástka vyžadoval zvládnutí širokého rozsahu zpracovatelských technologií, včetně plánování a organizace výroby. Právě zde se položily základy tvrdé automatizace. Postupem času s rozvojem nových potřeb zákazníka, bylo zapotřebí využít automatizaci a její prostředky k mnohem častějšímu reagování na požadavky. Hovoříme o pružných výrobních systémech (PVS). PVS systém je takový systém, který propojuje CNC (Computerised Numerical Control) stroje, dopravní jednotky nástrojů, dopravní jednotky obrobků a kontrolní jednotky pomocí počítače a programů. Je tvořen z jednoho anebo z více technologických zařízení se systémem zabezpečení jeho funkce v automatickém režimu. Nová součástka musí zapadat do skupiny součástek se stejnou typovou technologií. To znamená, že obrobky mají podobné nároky na geometrii obrábění, přibližně stejnou velikost rozměrů, podobnou skladbu a náročnost operací obrábění. Tento systém dokáže flexibilně reagovat na změnu sortimentu v krátkém čase s minimálními náklady. [4]

Postupný vývoj automatizace strojírenské výroby vedl od konvenčních strojů k NC (Numerical Control) strojům, CNC a DNC (Direct Numerical Control) řízení, až k pružným výrobním systémům (PVS). V současnosti moderní podnik usiluje o počítačem integrovanou výrobu (CIM). CIM můžeme chápat jako nejvyšší stupeň automatizace výrobního a nevýrobního procesu. Jednotlivé automatizované úseky jsou navzájem integrovány a tvoří tak vyšší celky. [1]

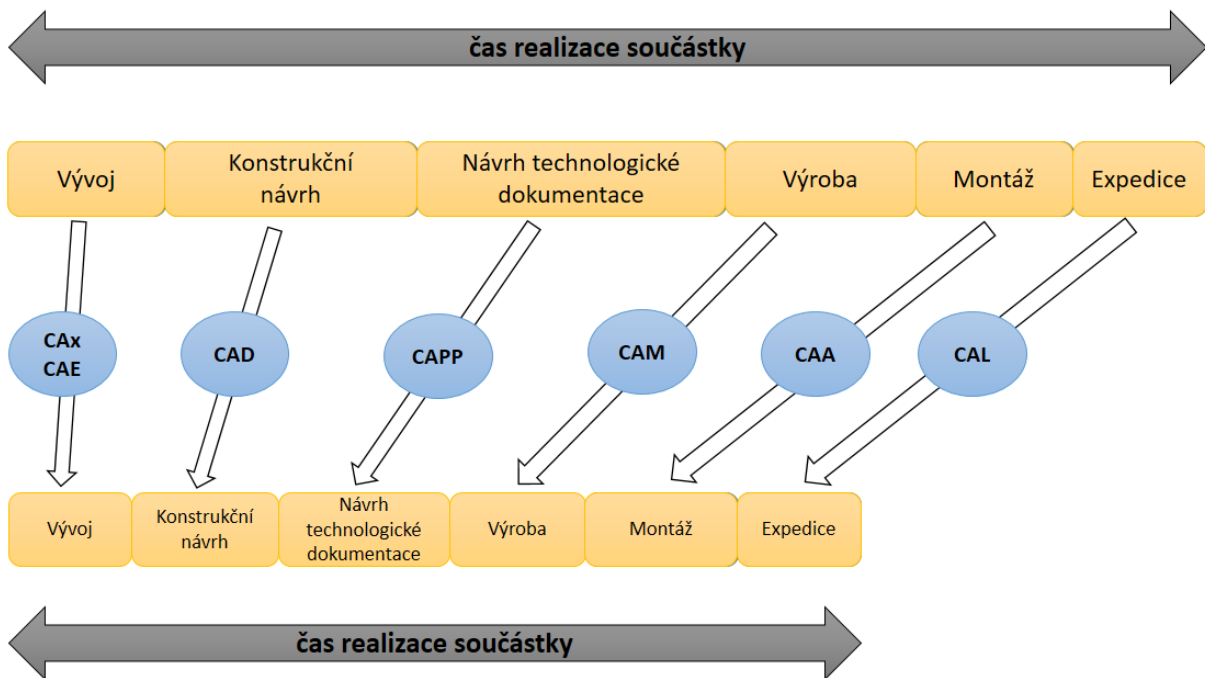


Obr. 03) Vývoj automatizace a počítačové výroby ve strojírenském podniku [1]



### 3.2 Příčiny zavádění CAx systémů

- snížení výrobních nákladů
- zvýšení flexibility výroby
- zkrácení doby vývoje a realizace
- zvýšení produktivity
- zlepšení přehledu o stavu výroby
- zvýšení časového využití výrobních zařízení
- zvýšení výkonového využití výrobních zařízení
- snížení zásob ve skladech
- zvýšení jakosti
- odstranění příčin chyb



Obr. 05) Vliv CAx systémů na čas realizace součástky [1]

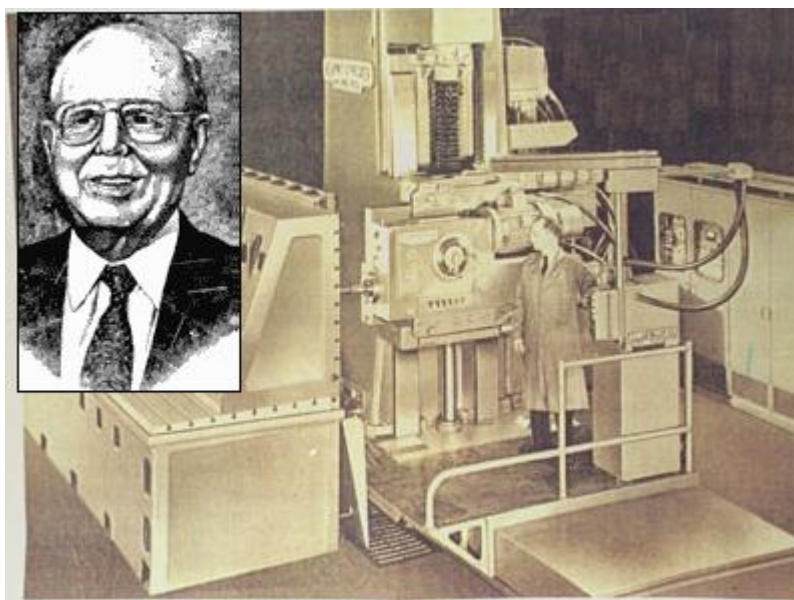
### 3.3 Historický přehled

Historie počítačem podporovaných systémů se začíná datovat v 50. letech 20. století, kdy byl navrhnutý koncept číslicově řízených strojů. Byl to jeden z prvních signálů pro využití výpočetní techniky pro podporu výroby. [1]

**50. léta:** Poprvé navrhnout koncept číslicově řízených (NC) strojů. To se stalo signálem pro nástup elektroniky a později výpočtové techniky na podporu výroby. První vývojové práce v oblasti číslicově řízených strojů provedl v roce 1948 John T. Parsons, strojník v obráběcí společnosti Parsons Corp. [1]

**60. léta:** Vznik prvních minipočítačů, které se staly komerčně úspěšnými, díky svojí cenové dostupnosti. Začátkem 60. let byly vyrobeny první počítače s možností interaktivního ovládání grafiky na obrazovce, o což se zasloužily nejvíce firmy General Motors, Lockheed, NASA a Bell Labs. NC technika postupně pronikala mezi další technologie a koncem 60. let se objevují první systémy počítačové podpory kreslení (CAD), jako důsledek potřeby racionalizovat činnosti při tvorbě konstrukční dokumentace. V roce 1957 je v Bostonu použita první NC frézka k průmyslovým účelům. O dva roky později se objevuje první NC stroj také v Československu. Podnik Škoda Plzeň uvádí do provozu frézku FV 1000. [1], [4]

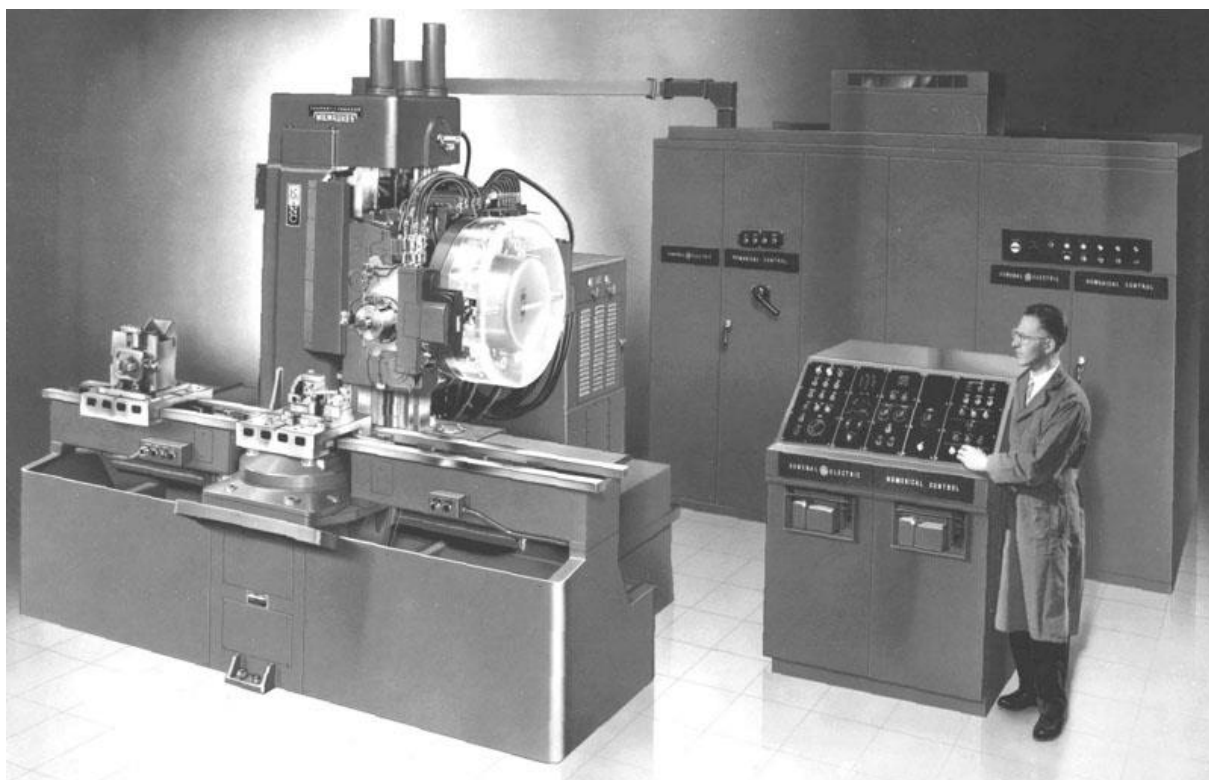
**70. léta:** Koncem 60. a začátkem 70. let se na trhu postupně objevují první počítačové systémy na podporu tvorby technologické dokumentace (CAPP). Z počátku tyto systémy nahrazovaly činnosti spíše administrativního charakteru. Vývoj byl výrazně urychlen rozšířením mikropočítačů a vývojem operačního systému DOS (Disk Operation System). K rozsáhlejšímu rozvoji v oblasti CAX systémů dochází s příchodem koncepce počítačem řízených výrobních strojů (CNC - Computer Numerical Control), která se datuje do roku 1970. V tomto roce koncipuje firma AEG první CNC. O čtyři roky později publikuje Dr. Joseph Harrington knihu s názvem „Computer Integrated Manufacturing“, kde jako první představuje koncept počítačem integrované výroby - CIM. Bohužel v této době nebyly dostupné výkonné prostředky k realizaci této myšlenky. [1], [5]



Obr. 06) John T. Parsons pracující na vývoji prvního NC stroje [14]

**80. léta:** Začátek těchto let se nesl ve znamení nástupu Unixu na úkor starších systémů a na trhu začínají dominovat velké firmy, kterým se včas podařilo zachytit tento trend. Objevuje se několik komerčně úspěšných expertních systémů. Tyto systémy se začínají uplatňovat především v plánování výroby, v řízení, v diagnostice a mají za úkol obřemnit člověka od monotónních, rutinních a rozhodovacích činností. Zároveň dochází ke standardizaci v oblasti grafických systémů a výměny údajů mezi CAD systémy. [1], [5]

**90. léta:** V polovině 90. let dochází k prudkému nárůstu v oblasti vývoje počítačových komponentů. Na trh nastupují počítače s procesory Pentium, které se svým výkonem přibližují výkonným pracovním stanicím, ovšem jejich pořizovací cena je mnohonásobně menší. Díky tomu bylo vývojovým pracovníkům CAM systémů umožněné orientovat se také na oblast osobních počítačů. Dále vzniká koncepce CAD/CAM systémů, které umožňují v rámci jednoho systému výrobek namodelovat, navrhnout technologii pro konkrétní typ stroje a řídit výrobní strojní zařízení. Tímto tvoří integrovaný CA systém, který je v současnosti nejpropracovanější z hlediska podporovaných činností. Tuto dekádu lze charakterizovat jako snahu a systémovou integraci. [1], [5]



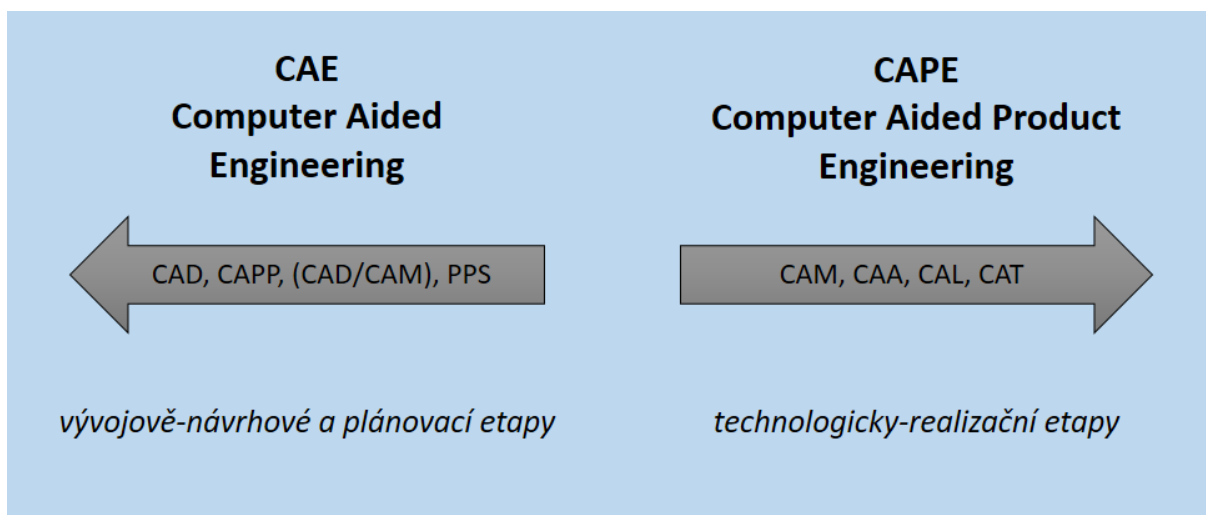
Obr. 07) První CNC stroj s automatickou výměnou řezného nástroje [13]

### 3.4 Rozdělení CAx systémů

Realizace součástky, která se chápe jako souhrn všech přípravných a realizačních prací, je možné rozdělit do dvou etap:

- etapa vývojově-návrhová a plánovací,
- etapa technologicky-realizační. [1]

V návrhové a plánovací etapě se po modelovacích, simulačních a analyzačních činnostech vyhotovuje kompletní konstrukční a technologická dokumentace, respektive jsou generována CAD a CAPP data. Tato etapa realizace součástky se všeobecně nazývá jako **počítačová podpora inženýrských prací - CAE**. Druhá etapa je charakterizována různými automatizovanými systémy (výroba, montáž, doprava, skladování) s počítačovou podporou. Nazýváme ji **počítačová podpora výrobního inženýrství - CAPE**. [1]

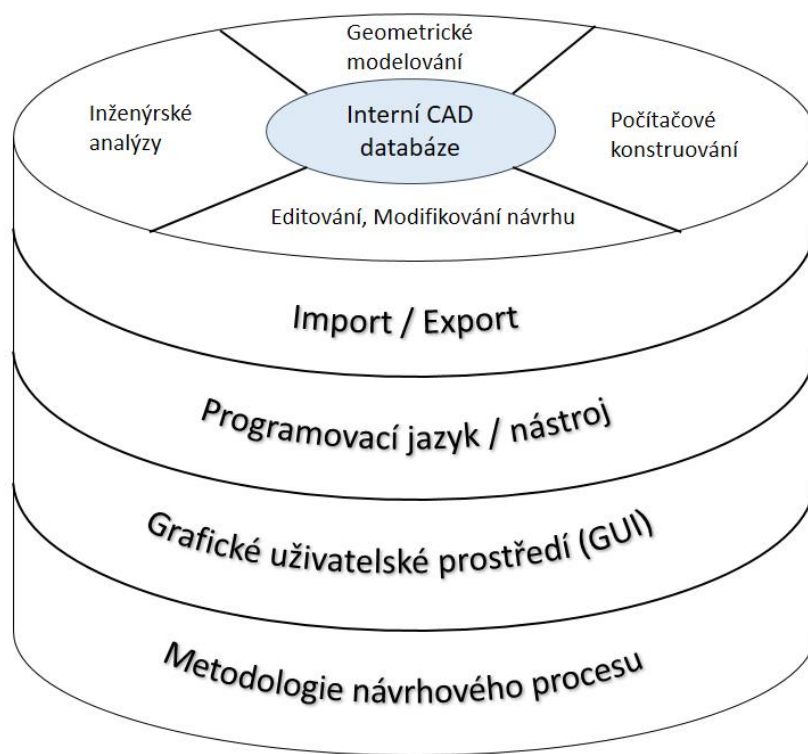


Obr. 08) CAE a CAPE oblast [1]

## 4 PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH CAX SYSTÉMŮ

### 4.1 Počítačem podporovaný návrh výrobku - CAD

**CAD** (Computer Aided Design) systémy představují počítačem podporovaný návrh součástky anebo počítačovou podporu tvorby konstrukční dokumentace. Zasahují do širokého spektra inženýrských činností, hlavně elektrotechniky, stavebnictví, architektury a strojírenství. Poprvé začaly být nasazovány v 80. letech za účelem racionalizace práce při kreslení. Ze začátku byly využívány pouze jako náhrada za rýsovací desky a podpora kreslení 2D entit. Později nastává přechod od dvourozměrného (2D) modelování na objemové (3D) a parametrické modelování. V současnosti je jejich využití mnohem širší. Tyto systémy dokáží komplexně řešit vývojově-návrhovou etapu. Jedná se o programové vybavení, které umožňuje geometricky a matematicky modelovat součástky, včetně jejich fyzikálních vlastností. Dnešní systémy představují nástroj pro interaktivní modelování a konstrukci, vytváření geometrických modelů a objektů, manipulaci s modely a transformaci těchto modelů do digitální formy. Kromě grafických činností umožňují tyto systémy realizovat různé konstrukční a pevnostní výpočty, analýzy. Mezi nejznámější patří metoda konečných prvků (MKP). [1], [2]



Obr. 09) Základní Schéma CAD systému [1]

Grafická informace je nejjednodušší a nejnázornější způsob, jak popsat konkrétní geometrické vlastnosti součástky. Tvoří deskripci tvaru, rozměru i topologii prvků součástky. Představuje základní a prvotní informaci o součástce. K jednotlivým prvkům součásti lze také přiřadit jiné informace než grafické a to např. hodnoty drsnosti povrchu, tolerancí apod. V průběhu vytváření modelu jsou všechny informace ukládány do interní CAD databáze,

kteřá obsahuje kompletní historii modelování součástky. Příkazem *zpět* je možné vrátit se k předchozímu kroku modifikace modelu. Při modelování součástky lze také využívat externí databáze. Ty jsou tvořeny informacemi o normalizovaných součástkách (šrouby, podložky, matice, ložiska, těsnění apod.). V některých externích databázích lze najít také informace o součástkách od konkrétních výrobců. [1], [2]

#### 4.1.1 Použití CAD systémů

Samotná konstrukce může začínat různými způsoby. Jeden ze způsobů je vytváření nového modelu od samého počátku, tzv. „od nuly“. Efektivnější způsob je využití databáze existujících modelů a následná modifikace. Problém nastává u podniků, které nově implementovaly CAD systémy. V těchto podnicích je často bohatá výkresová dokumentace, která však není v digitalizované podobě. Ve většině případů nezbývá nic jiného, než pracně tyto výkresy „překreslit“ do příslušného CAD systému. Nabízí se využít 2D skenování a tím exportovat existující výkresovou dokumentaci do počítačového modelu. Tento způsob má ovšem velkou řadu nevýhod. Proces vektorizace není 100% spolehlivý a některé naskenované geometrické prvky (jako jsou čáry, kružnice, drážky, zaoblení, apod.) není možné přesně definovat díky nepřesnosti vlastního výkresu. Jako reálnější možnost se jeví metoda nazývaná *reverse engineering*. Jde o 3D technologické skenování, kde není potřebný výkres, ale reálná součástka. Pomocí 3D skenu se změří rozměry součástky a poté se vytvoří virtuální objemový model, který lze následně modifikovat pomocí CAD softwaru. [6]

#### 4.1.2 Základní přednosti používání CAD systémů

- Zvýšení produktivity práce konstruktéra - konstrukční dokumentace je zpracována v daleko kratším čase, což má vliv na snížení nákladů.
- Tvorba virtuálních prototypů - využívá se simulací v průběhu konstrukčního návrhu, které pomáhají otestovat, zda jsou součástky vyrobitelné a následně smontovatelné do větších celků.
- Zvýšení kvality, srozumitelnosti a jednoznačnosti - výkresová dokumentace vytvořená pomocí CAD softwaru je přesnější, čitelnější a přehlednější.
- Menší počet chyb - díky zabudovaným kontrolním modulům dochází k eliminaci konstrukčních chyb.
- Využití CAD dat v dalších etapách životního cyklu - digitalizovaná CAD dokumentace je dále využívána v následujících etapách jako například technologická příprava výroby (CAPP), řízení kvality (CAQ), plánování a řízení výroby (PPS) a také vlastní proces výroby (CAM).
- Archivace výkresové dokumentace - díky moderním softwarům je možné výkresovou dokumentaci archivovat s menšími náklady a následně ji spravovat s použitím speciálních aplikací. [1],[7]

#### 4.1.3 Typy 3D modelů

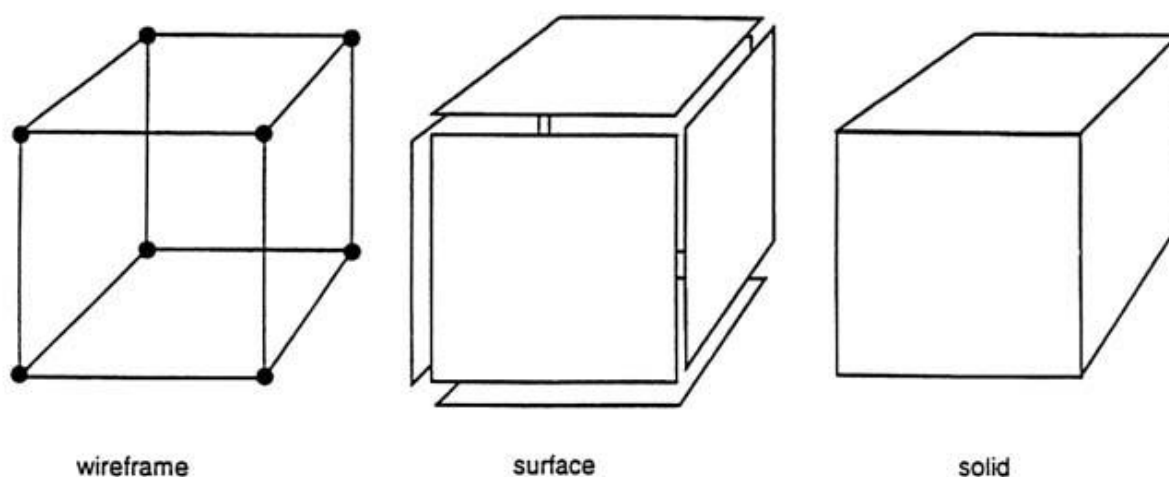
Z hlediska trojrozměrného zobrazení reálné součástky můžeme rozdělit typy modelů do tří následujících skupin:

- drátěný (wireframe)
- plošný (surface)
- objemový (solid)

Zpočátku vývoje CAD systémů byli konstruktéři omezeni pouze na 2D kreslení, které vyhovovalo potřebám 2D a 2,5D obrábění. Následně byl vyvinut 3D drátěný model, který byl koncipován pro potřeby 3D obrábění. Ten je reprezentován množinou úseček, oblouků, a křivek. Tyto množiny jsou spojeny, tak aby představovaly hranice modelu a tudíž model neobsahuje žádné informace o tvarových plochách. Díky malému množství informací je patrné, že tento způsob reprezentace součástky má spoustu omezení a nevýhod. [1], [2]

Ukázalo se, že drátěný model je pro mnohé aplikace nevhodný, proto byl vyvinut dokonalejší způsob modelování 3D objektů - plošný model. Ten obsahuje informace o hraničních plochách, kterými je těleso tvořeno. Tento vývoj reagoval na potřeby leteckého, lodního a automobilového průmyslu, kde jsou kladeny velké nároky na zpracování tvarových ploch.[1]

Jako poslední vznikl koncept 3D objemového modelování, které se považuje za nejpřesnější a nejpoužívanější způsob opisu součástky. Model je postupně vytvářen logickými operacemi ze základních těles, jako je hranol, jehlan, koule, kužel, válec apod. Tímto je součástka jednoznačně geometricky definována. To dovoluje následně aplikovat některé inženýrské analýzy jako je např. metoda konečných prvků. Obecně má tento druh modelu nejvíce výhod a tvoří standart v dnešních CAD systémech.[1], [7]



Obr. 10) Jednotlivé typy modelů - drátěný, plošný, objemový [16]

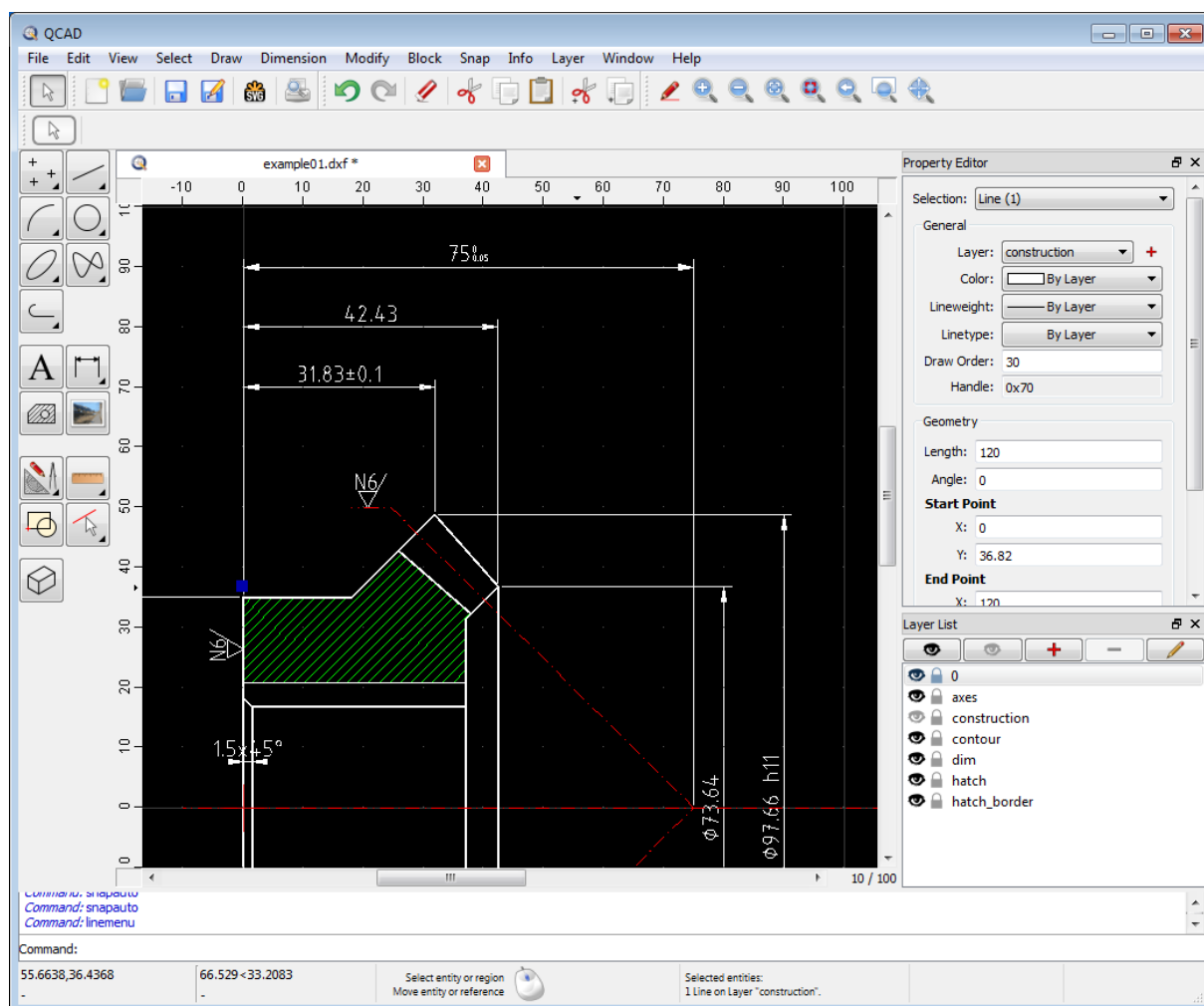
#### 4.1.4 Rozdělení CAD softwarů

Na současném trhu se vyskytuje široká nabídka CAD softwarů. Od jednoduchých 2D až k rozsáhlým a komplexním 3D CAD systémům. Podnik musí před jejich zakoupením provést důkladnou analýzu a zvážit několik faktorů. Jedním z faktorů může být například případná integrace mezi již existujícími CAx systémy v podniku. Ve strojírenství je možné rozdělit CAD systémy do následujících skupin: [1]

- 1) malé CAD systémy
- 2) střední CAD systémy
- 3) velké CAD systémy

Malé CAD systémy řeší skicování a kreslení. Jsou charakterizovány relativně nízkou pořizovací cenou a zpravidla nezachází za hranici 2D modelování. Obsahují veškeré potřebné

funkce pro editaci konstrukční výkresové 2D dokumentace. Díky své ceně a možnostem jsou vhodné pro menší konstrukční kanceláře. Ke známým CAD systémům v této patří např. *JPCAD*, *OtherCAD*, *QCAD*. [1]



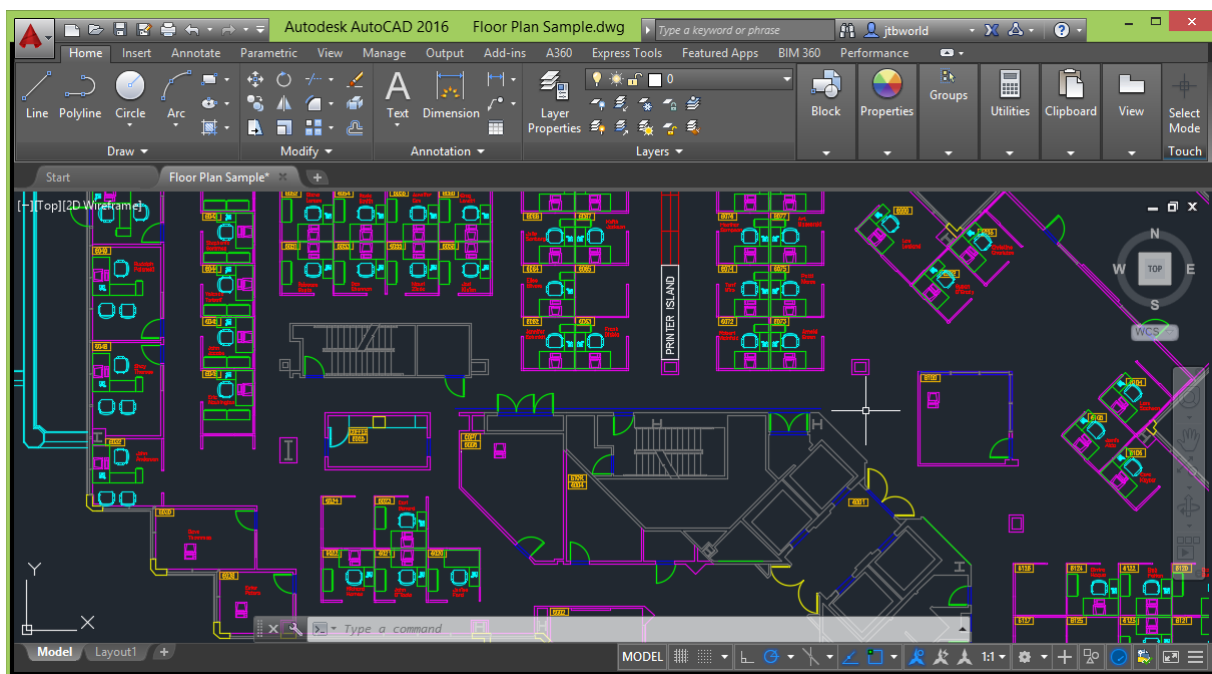
Obr. 11) Uživatelské prostředí 2D CAD systému QCAD verze 3.14 [16]

Do skupiny středních CAD systémů patří systémy, které podporují úplný 2D a částečný 3D design. Kreslicí nástroje pro 2D jsou na vysoké úrovni. Lze využívat uchopovací režimy, práci ve hladinách, nejrůznější modifikace. Software je doplněn od 3D nástroje jako například vytvoření 3D modelu pomocí rotace nebo posunutí, modelování spirálové plochy, promítnutí geometrie, apod. Díky větší propracovanosti a možnostem roste také jejich pořizovací cena. Mezi známé CAD systémy v této třídě patří např. *AutoCAD* nebo *Microstation*. [1], [7]

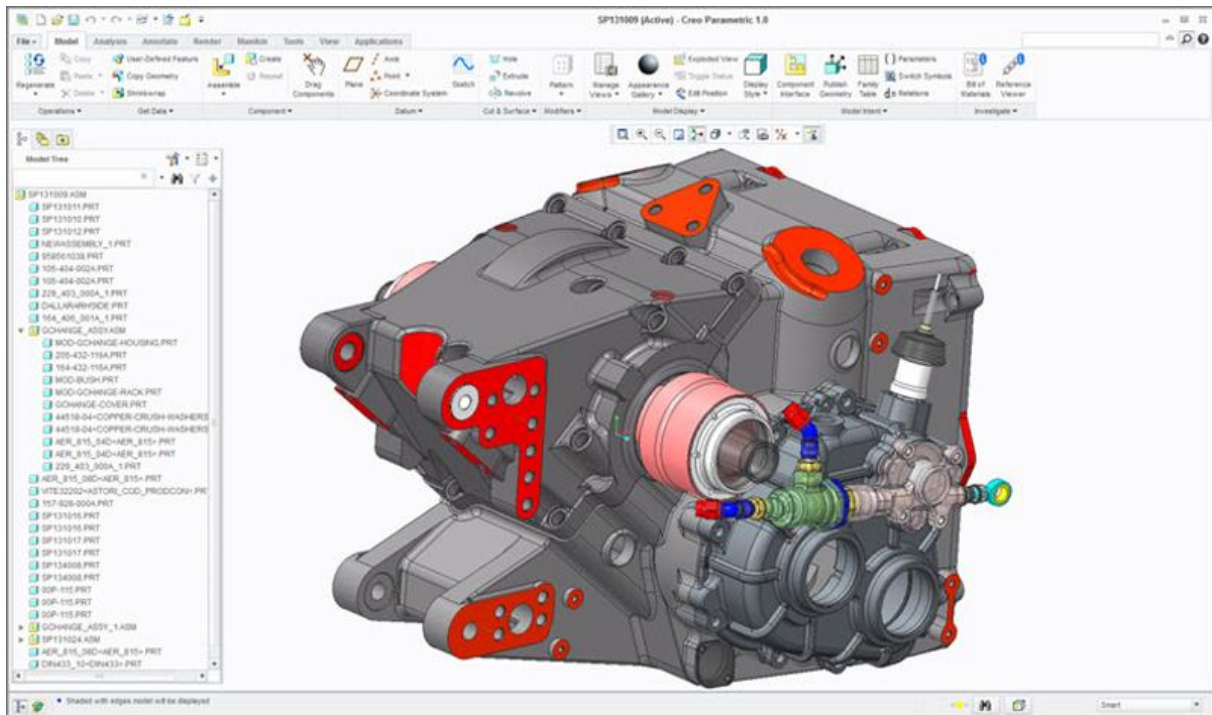
Velké CAD systémy mají analogické modelovací, kreslicí, uchopovací nástroje a editovací režimy jako předešle CAD systémy. Liší v tom, že umožňují modelovat v 3D. Práce se tedy uskutečňuje v 3D prostoru. Tyto softwary disponují vysokou propracovaností a výkonnými modelovacími technikami. Příkladem známých systémů může být software *Solidworks*, *Solidedge*, *PTC Creo (Pro/Engineer)*, *Catia*, *Inventor*. Ve většině případů jsou tyto systémy propojeny pomocí celé řady modulů a tím zabezpečují nejen návrhovou, ale i realizačně-výrobní etapu. Hovoříme tak o integrovaných CAD/CAM systémech. [1], [6]

Jejich charakteristické rysy jsou:

- modulární řešení,
- 3D parametrizace,
- asociativita. [1]



Obr. 12) AutoCAD 2016 [17]



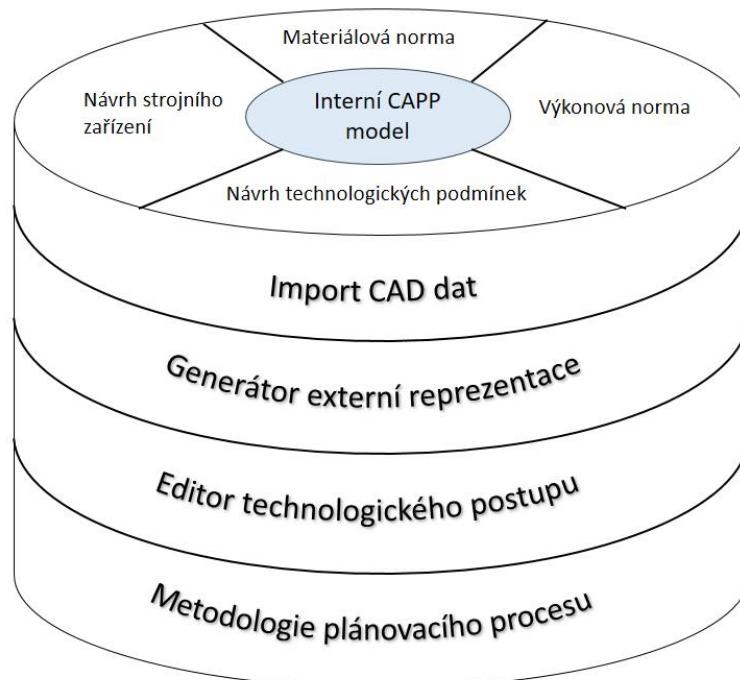
Obr. 13) CAD software PTC Creo Parametric 1.0 (Pro/Engineer) [18]

## 4.2 Počítačová podpora návrhu technologické dokumentace - CAPP

**CAPP** (Computer Aided Process Planning) reprezentuje počítačovou podporu při návrhu a tvorbě technologické dokumentace. CAPP tvoří spojovací článek mezi CAD a CAM systémy, tj. mezi konstrukčním návrhem a samotnou výrobou. Tento systém plánuje jednotlivé procesy, které budou použity při výrobě navrhované součástky. Proces plánování je zaměřen na určení pořadí jednotlivých výrobních operací, potřebných k výrobě daného dílu nebo produktu. Tento proces překládá konstrukční informace do procesních kroků a pokynů, aby byly výrobky vyráběny efektivně a účinně. To znamená, že technologická dokumentace je navrhována na základě konstrukční dokumentace, resp. CAD dat. Z technologické dokumentace lze vyčíst, co se bude vyrábět, jakými metodami, kde (na jakém strojním zařízení), čím (jakými nástroji, při jakém upnutí apod.) a za jakých podmínek. Výstup CAPP systémů slouží kromě potřeb samotné výroby také k operativnímu plánování a řízení výroby. [1], [2]

Počítačová podpora technologického návrhu pokrývá hlavně tyto činnosti:

- vykonání konstrukčně-technologických rozborů,
- určení vhodných polotovarů,
- sestavení plánu výroby, montáže a kontrol,
- volba strojů, nástrojů a přípravků,
- určení rezných podmínek a výpočet spotřeby času,
- podpora návrhu NC programů,
- ekonomický výpočet,
- zpracování a archivace výrobní dokumentace. [1], [8]



Obr. 14) Základní schéma CAPP systému [1]

Výhody počítačové podpory technologického návrhu procesu jsou nesporné. Mezi hlavní patří:

- vyšší produktivita technologů,
- racionalizace návrhu technologické dokumentace,
- větší srozumitelnost technologické dokumentace,
- standardizace technologické dokumentace,
- objektivizace technologického postupu,
- možnost optimalizace,
- zkrácení průběžných časů potřebných na vytvoření návrhu technologické dokumentace,
- možnost integrace s jinými aplikačními programy a systémy,
- větší flexibilita na změnu vyráběného produktu,
- větší flexibilitu na změnu požadavku zákazníka. [2]

#### 4.2.1 Rozdělení CAPP podle přístupu

Počítačová podpora návrhu technologické dokumentace využívá následující přístupy:

- variantní,
- generativní. [2]

Často se uvádí také hybridní způsob, který je kombinací předešlých metod. Tyto CAPP systémy jsou označovány jako V-CAPP (variantní přístup), G-CAPP (generativní přístup) a H-CAPP (hybridní přístup). [2]

Variantní přístup je založený na myšlence podobnosti technologických postupů pro podobné součástky. Počítač identifikuje podobnou součástku (z hlediska geometrie, technologie, materiálu, tepelného zpracování apod.) a následně edituje existující technologickou dokumentaci. Efektivita těchto systémů spočívá v zařazení součástek s podobnými vlastnostmi do skupin, v rámci kterých mají součástky podobné charakteristiky. Každou skupinu reprezentuje jedna součástka tak, aby co nejlépe popisovala danou skupinu. Tato součástka může být jak reálná, tak fiktivní. Pro tohoto reprezentanta je vypracován odpovídající technologický postup. Míra efektivy je dána precizností a dobou přípravy, která může trvat několik měsíců. [1]

Generativní přístup je další přístup v počítačem podporované technické přípravě výroby. Automaticky se generuje technologický postup na základě informací uložených ve výrobních znalostních databázích, vhodně zapsaného modelu součástky a aplikované logiky návrhu technologického postupu. Systém generuje požadované technologické operace a jejich pořadí. Vytváření postupů je založené na analýze CAD dat a následně probíhá transformace modelu součástky na model technologického postupu. Generativní CAPP systémy jsou velmi složité a bývají řazeny k expertním systémům. [1]

Budoucí vývoj CAPP systémů směřuje cestou generativního přístupu. Schopnost automaticky generovat výrobní plány pro nové produkty je pro podnik nejvíce atraktivní. [2]

Nejrozšířenější specializovaný software pro technickou přípravu výroby v České republice a na Slovensku je software *SYSKLASS*. *SYSKLASS* je komplexní systém pro automatizaci předvýrobních etap (TPV) ve strojařské a nábytkářské výrobě. Obsahuje také nástroje pro řízení workflow (pracovní postup), PLM (Product Lifecycle Management), PDM (Product Data Management). [1]

### 4.3 Počítačem podporovaná výroba - CAM

**CAM** (Computer Aided Manufacturing) je označení pro oblast výroby podporovanou počítačem. CAM lze chápat ve dvou úrovních. První popisuje CAM jako konkrétní počítačový systém na podporu některé činnosti ve výrobě, nejčastěji podporu tvorby řídicích programů pro číslicově řízený (NC – Numerical Control) stroj. Druhá část autorů definuje CAM mnohem komplexněji. Pod CAM je proto možné představit si také široký komplex strojního, manipulačního, transportního, měřicího, kontrolního a pomocného zařízení, které je řízeno počítačem v průběhu realizace součástky. Některé rozsáhlejší CAM systémy tvoří integrovaný celek společně s CAD a CAE (Počítačem podporované inženýrské práce) systémy. Výhodou této provázanosti je bezproblémový přenos údajů a geometrických dat mezi jednotlivými částmi a moduly. V dnešní době jsou CAM systémy neoddelitelnou součástí výrobních procesů ve strojírenství. Zajišťují efektivní chod výroby i technologické přípravy výroby (TPV). [9]

Mezi činnosti CAM systému patří:

- řízení vstupů do výroby,
- rozvržení výroby,
- sběr výrobních údajů,
- monitorování průběhu výroby,
- DNC, CNC a NC řízení,
- roboty a manipulátory,
- pružné dopravní systémy,
- výrobní buňky a pružné výrobní systémy,
- nástrojové hospodářství apod. [1], [9]

Nejpropracovanější oblast CAM systémů je oblast číslicově řízené výroby. Jedná se o techniku, kde se využívá programy pro řízení výrobních strojů, např. obráběcích strojů, ohýbaček, brusek, řezacích strojů, lisů apod. Při obrábění s využitím CAM softwaru je snaha, aby byla výroba co nejefektivnější, tedy měla co nejmenší energetický a materiálový vstup při co nejvyšší produkci. [9]

Podle způsobu uložení programu rozdělujeme dva typy číslicového řízení. V případě CNC (Computer Numerical Control) je řídicí systém výrobního zařízení napojen na lokální řídicí počítač, v kterém je uložen vlastní program. Druhý způsob je více moderní a pružný. Jedná se o DNC (Distributed Numerical Control), kdy je několik výrobních strojů řízeno z jednoho centra. [9]

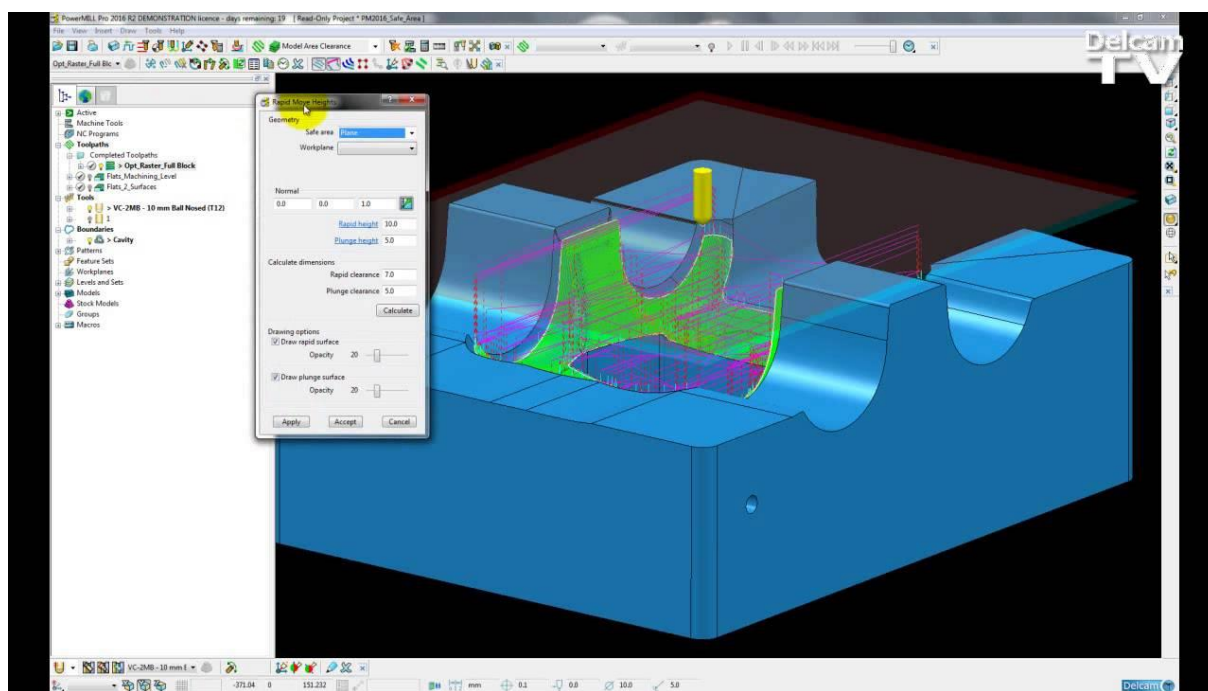
Vytvoření NC programu probíhá v následujících krocích:

- import CAD modelu součástky,
- orientace modelu součástky vzhledem k souřadnicovému systému stroje,
- zadání údajů o nástrojích,
- zadání rezných podmínek,
- volba strategií obrábění, generování drah nástroje,
- generování NC programu s využitím vhodného postprocesoru (překlad vygenerovaných dat do jazyku konkrétního řídicího systému) [1]

Předpokládaný vývoj v oblasti CAM úzce souvisí s požadavky na udržení a zvýšení úrovně konkurenceschopnosti firmy. To nutí výrobce využívat technologie CAD/CAM/CAE

v co možná nejvyšší míře. Pokud by podnik vynechal jednu součást toho řetězce, mohl by výrazně snížit efektivitu využití těchto moderních nástrojů. Z toho vyplývá, že pro současné a budoucí CAM technologie je nezbytná schopnost zařadit se do integrovaného řetězce technologií počítačové podpory od návrhu modelu, až po realizaci a následnou expedici. Špičkové CAM systémy budou proto součástí silných CAD/CAM/CAE systémů. Případně mohou být rozvíjeny samostatně, ale s maximálními možnostmi na propojení s dalšími systémy. [9]

Na trhu je dostupná celá řada CAM softwarů. Mezi špičku v této kategorii patří softwaru *PowerMILL*, *WorkNC*, *Tebis*. Jako další lze uvést např. *FeatureCAM*, *Surfcam*, *HSMWorks*, *Edgecam*, *AlphaCAM*. [9]



Obr. 15) Prostředí softwaru *PowerMILL Pro 2016* [19]

#### 4.4 Počítačová podpora integrovaného návrhu a výroby - CAD/CAM

**CAD/CAM** (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) je počítačem podporovaný systém s integrovanou podporou návrhu a zároveň výroby součástky. Jeden počítačový systém tedy obsahuje nástroje pro modelování součástky, konstrukční návrh, návrh technologické dokumentace ve formě NC programu a operativní řízení výroby. První CAD/CAM systémy vznikaly pro oblast obrábění a v dnešní době mají v této oblasti dominantní postavení. V současnosti jsou tyto systémy velmi oblíbené a to především díky schopnosti řešit komplexní a složité úlohy. [6]

Pojem CAD/CAM lze chápat ve třech následujících rovinách:

- CAD/CAM systém jako útvar v rámci podnikového CIM (Computer Integrated Manufacturing – Počítačem integrovaná výroba),
- CAD/CAM jako technologie,
- CAD/CAM jako software. [1]

CAD/CAM systém jako počítačem podporovaný útvar v rámci CIM zabezpečuje všechny činnosti a funkce spadající pod oba CA systémy, s propojeností a přímými vazbami na ostatní CA systémy. Technologie CAD/CAM tvoří základ k budování tzv. „Factory of the Future“ (podnik budoucnosti). Klíčovou úlohu v tomto procesu představuje vybudování společné databáze inženýrských informací, které mohou být propojené s výrobními (řídícími) informacemi. Následně tyto informace tvoří základ pro úplné počítačové řízení podniku. [1]

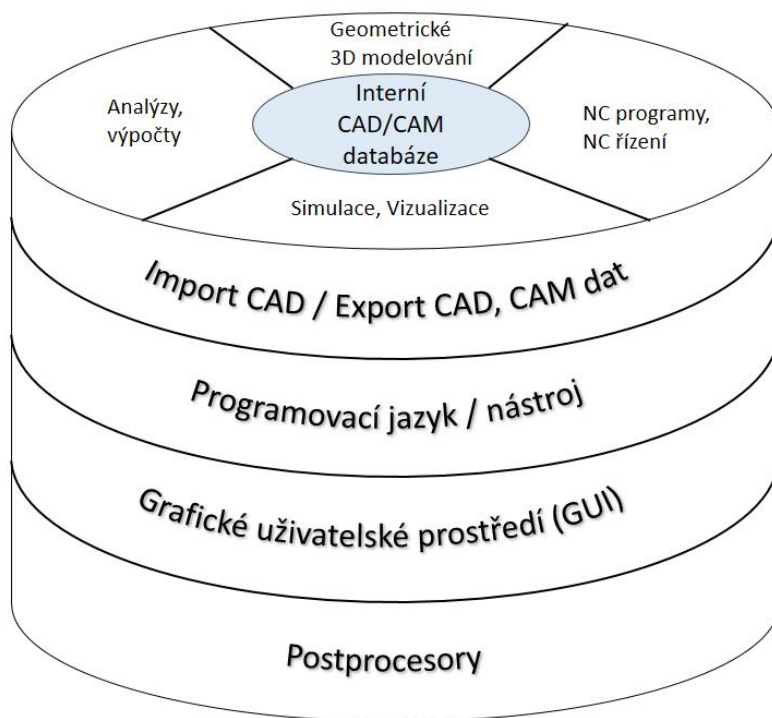
CAD/CAM lze také definovat jako technologii, která se zabývá využitím číslicových počítačů pro vykonání určitých funkcí v předvýrobních etapách a v samotné výrobě. [1]

Nejpopulárnější je chápání pojmu CAD/CAM jako software. Takto chápaný software zajišťuje podstatně méně funkcí a činností v porovnání s integrovaným CAD/CAM systémem do vyšších celků. [1]

Hlavní výhody integrovaných CAD/CAM systémů jsou:

- úspory v nákladech při nákupu systémů a licencí - jeden výrobce, jeden dodavatel,
- úspory při školení pracovníků,
- lepší provázanost dat,
- možnost použití CAD nástrojů při práci v CAM oblasti a obráceně,
- minimalizace chyb při přenosu dat mezi CAD - CAM,
- snadnější modifikace.

Mezi známé CAD/CAM systémy patří např. *PTC Creo Parametric, Inventor HSM, SolidCAM, TurboCAD/CAM*. [6], [9]



Obr. 16) Základní schéma CAD/CAM systému [1]

#### 4.5 Počítačová podpora výrobního inženýrství - CAPE

**CAPE** (Computer Aided Production Engineering) je uceleným subsystémem počítačem integrované výroby (CIM) a zahrnuje počítačovou podporu všech činností spojených s výrobou součástky. Mezi systémy CAPE patří veškeré CAx systémy podporující technologicky-realizační etapu. [6]

Mezi základní funkce patří:

- programování a řízení NC výrobní techniky,
- programování a řízení průmyslových robotů a manipulátorů,
- programování obslužných, dopravních a skladovacích zařízení,
- měření, zkoušení a diagnostika součástek a zhotoveného výrobku. [6]

Hlavní subsystémy počítačové podpory výrobního inženýrství jsou:

- Počítačová podpora výroby (CAM)
- Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů (CARC - Computer Aided Robot Control)
- Počítačová podpora řízení mezioperační dopravy a skladování (CATS - Computer Aided Transport and Store)
- Počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky (CAT - Computer Aided Testing)
- Počítačová podpora montáže výrobků (CAA - Computer Aided Assembly) [1]

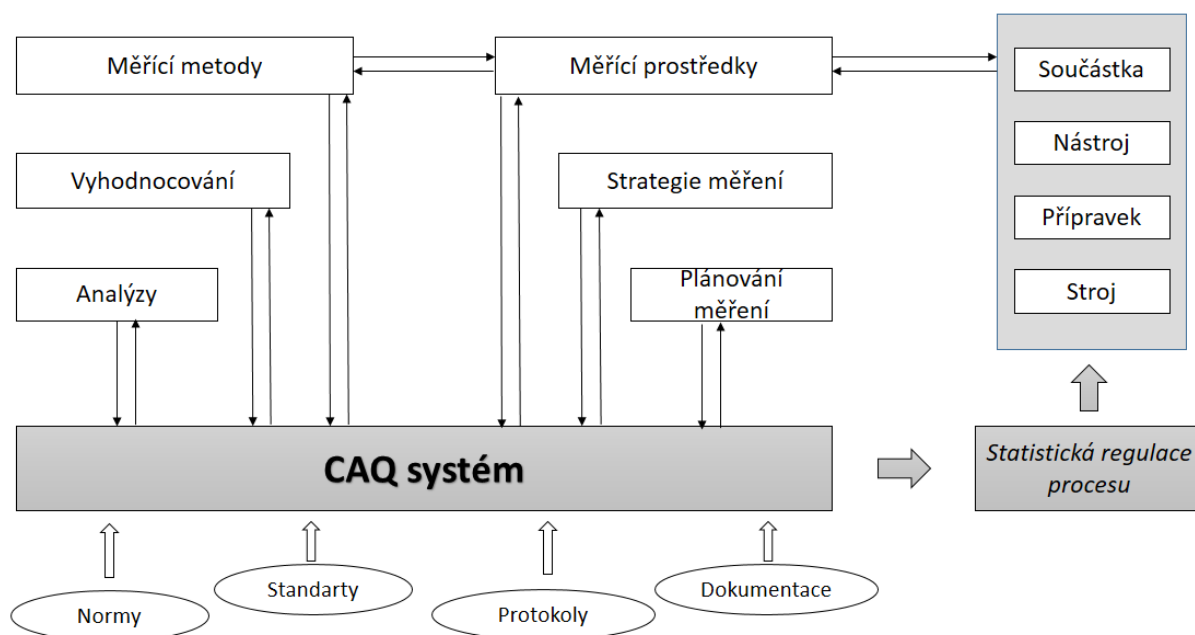
#### 4.6 Počítačem podporované řízení kvality - CAQ

**CAQ** (Computer Aided Quality) je pojem pro počítačem řízenou kvalitu. Počítačové řízení kvality se nechápe pouze jako „výstupní kontrola“. Úkolem CAQ systému je neustále zlepšovat kvalitu ve všech stupních realizace součástky. [2]

Řízení kvality ve významné míře rozhoduje o konkurenční výhodě podniku. Kvalita produktu často rozhoduje o jeho úspěšnosti na trhu. Řízení kvality se stává pro podnik nezbytnou součástí a záleží jen od velikosti a charakteru podniku, do jaké míry a s jakou pracovitostí je systém řízení kvality v podniku implementovaný. [2]

CAQ systém je složen z technických a programových prostředků, které integrují a podporují činnosti v systému starostlivosti o kvalitu. K základním vlastnostem těchto systémů patří:

- propojení s ostatními CAx systémy v podniku,
- propojení na celopodnikový informační systém,
- aplikace zkoušek a kontrola kvality,
- analýza zkoušek a zpracování dokumentace,
- zpracovávání informací z trhu (požadavky zákazníka, vlastnosti výrobků konkurence, apod.),
- zpracovávání informací z vlastních výrobků (spokojenost zákazníka, reklamace, apod.) [1], [2]



Obr. 17) Koncept CAQ [1]

S rostoucími požadavky zákazníka a přesností výrobních strojů je potřebné zabezpečovat také měření s odpovídající přesností. Pro kontrolu rozměrů součástek se v současnosti ve velké míře využívají souřadnicové měřicí stroje. Konstrukčním provedením jsou tyto stroje podobné číslíkově řízeným výrobním strojům a lze je také podobně programovat. [2]

Mezi známé CAQ systémy patří CAQ-QMDS, ISO ASSESOR, SQCpack. [1]



Obr. 18) Měření dotykovou sondou na 5osém stroji [20]

#### **4.7 Počítačová podpora řízení a plánování výroby - CAPPS**

**CAPPS** (Computer Aided Production Planning System) je systém, který plánuje a řídí výrobu tak, aby byla optimální z kapacitního, ekonomického a časového hlediska. Provádí ekonomické kalkulace, vytváří optimální roční (měsíční, denní) výrobní plány s ohledem na výrobní kapacity výrobních zařízení, apod. [1]

#### **4.8 Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů - CARC**

**CARC** (Computer Aided Robot Control) je součástí offline způsobu programování robotů a manipulátorů. Systém vytváří program pro činnost robota mimo pracoviště pomocí počítače. Po simulaci a optimalizaci systém vytvoří řídicí program, který je po úpravě postprocesorem možné používat pro konkrétní řídicí systém robota. [1]

#### **4.9 Počítačová podpora řízení meziperační dopravy a skladování - CATS**

**CATS** (Computer Aided Transport and Store) je systém umožňující pomocí počítače programovat činnosti automatizované meziperační dopravy a skladování (závěsné dopravníkové tratě, regálové zakladače, apod.). [1]

#### **4.10 Počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky - CAT**

**CAT** (Computer Aided Testing) realizuje ovládání a řízení 3osých měřících strojů pomocí počítače, programování automatizovaných měřících stanic, počítačové zpracování údajů apod. [1]

#### **4.11 Počítačová podpora montáže výrobku - CAA**

**CAA** (Computer Aided Assembly) představuje poslední fázi v procesu komplexní automatizované realizace výrobku z více součástí. Zahrnuje např. programování automatizovaných montážních strojů, pružných montážních zařízení, využití speciálních systémů pro plánování technologie montáže (např. analýza zda bude mít ruka montážníka dostatek místa při montáži) apod. [1]

#### **4.12 Řízení výrobních dat - PDM**

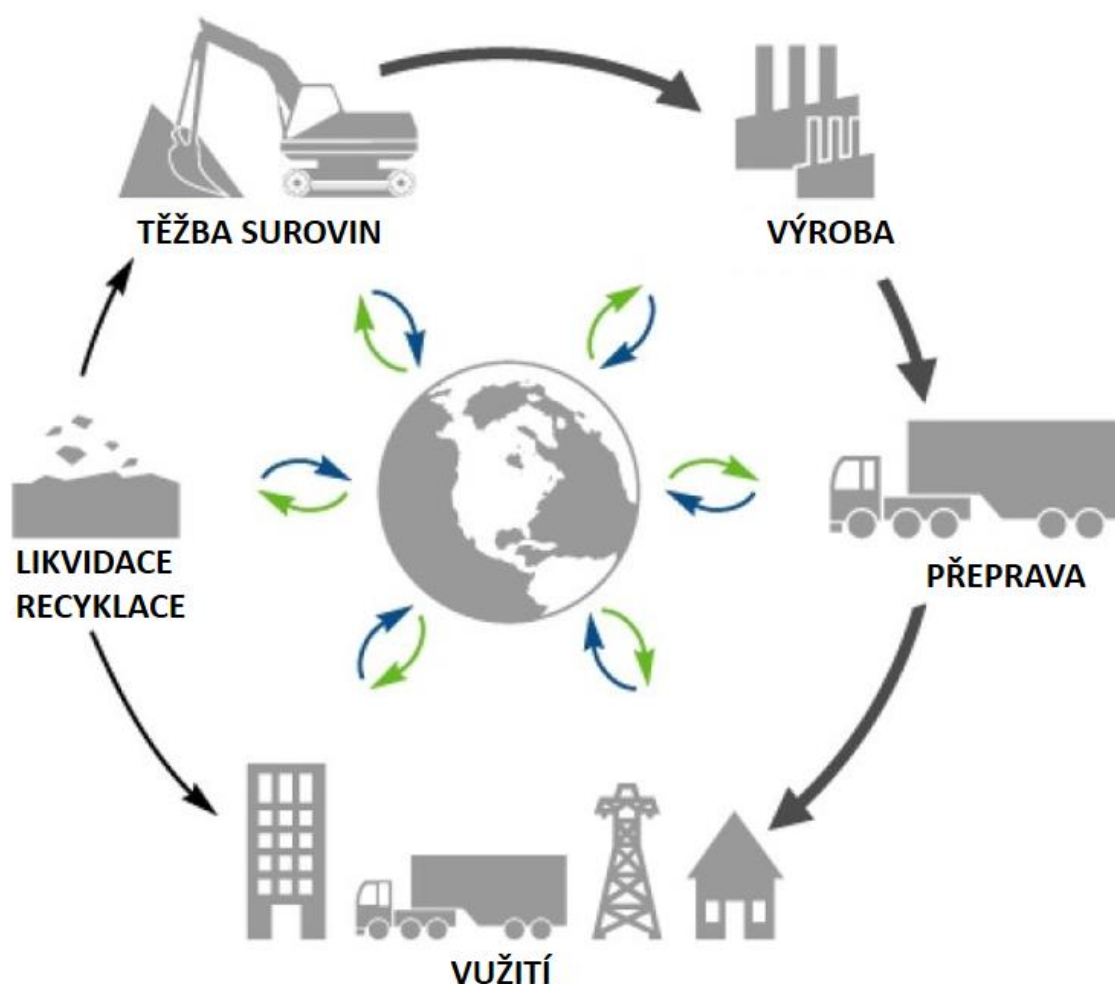
**PDM** (Product Data Management) je systém určený ke správě a řízení všech dat vytvořených v průběhu návrhového procesu. PDM software archivuje, spravuje a třídí CAD modely, výkresy, kusovníky, údaje o dílech, výsledky inženýrských analýz, produktové specifikace, NC data a všechny ostatní data, které jsou nějakým způsobem spojeny se součástíkou. PDM systém tvoří nástroj pro komunikaci mezi všemi účastníky vývoje výrobku a zároveň poskytuje informace ostatním složkám podniku (management, marketing, montáž, sklady, expedice, apod.) PDM slouží jako pomocný a podpůrný prostředek k integraci inženýrských aktivit v podniku a je proto významným prvkem integrace počítačových systémů. [11]

Výhody lze očekávat jen tehdy, pokud je systém PDM správně implementován do výrobního procesu. Mezi základní přínosy lze zařadit umožnění snadného přístupu k důležitým datům pracovníkům, vývojovým týmům nebo zákazníkovi. Uživatel může očekávat rychlejší průběh procesu výroby a uvedení výrobku na trh, vyšší kvalitu výrobku

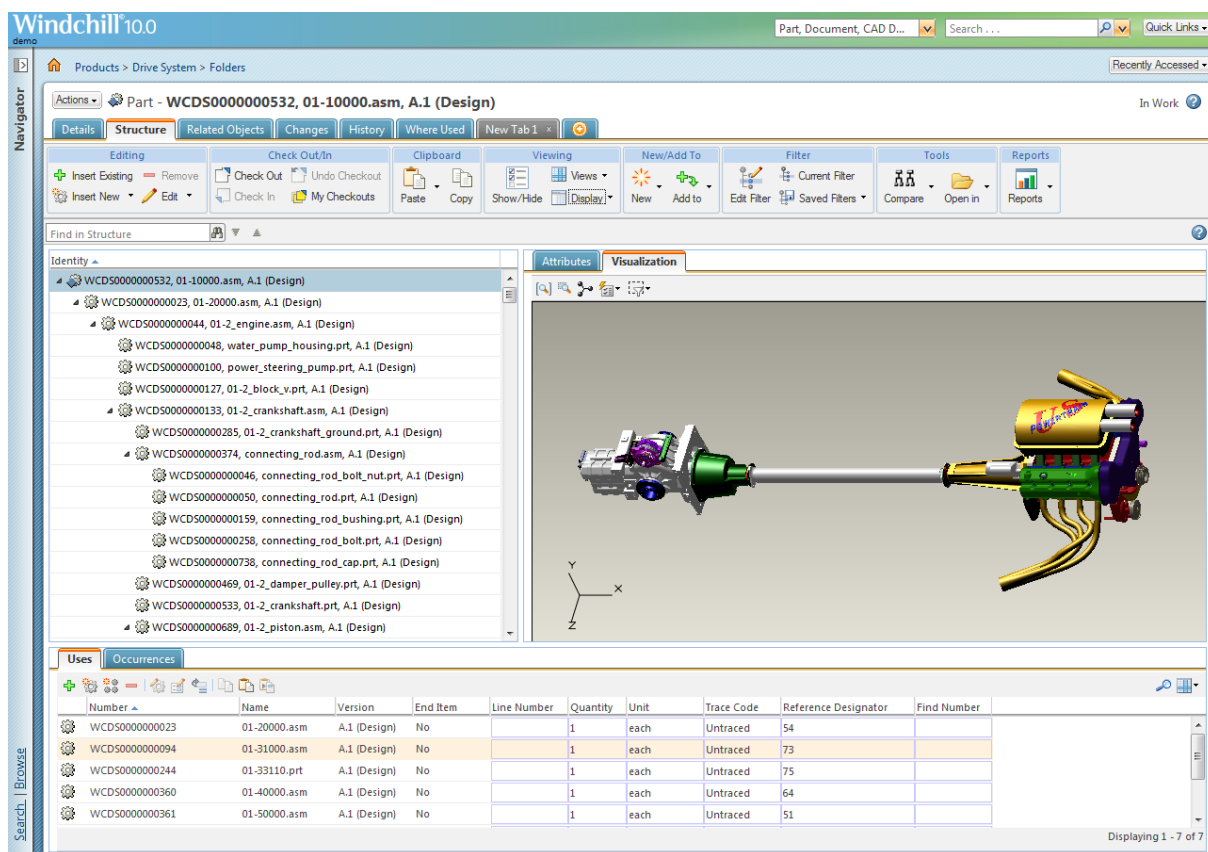
a flexibilitu při změnovém řízení, nižší materiálové náklady, snížení chybovosti a rychlou návratnost kapitálu investovaného do systému. [11]

#### 4.13 Řízení životního cyklu výrobku - PLM

**PLM (Product Lifecycle Management)** tvoří vyšší celek pro PDM. Tento systém spravuje informace o produktu v rámci jeho celého životního cyklu, tzn. od návrhu, přes konstrukci a výrobu až po servis a likvidaci výrobku. PLM software umožňuje nejen uchovávat, konfigurovat a spravovat informace o výrobku v každém stádiu životního cyklu, ale také optimalizovat klíčové firemní procesy. Dodává podnikům schopnost shromáždit rozptýlené informace o výrobcích a zavést pořádek do vývojových procesů. Implementace toho komplexního informačního systému vyžaduje mnoho úsilí a není automatickým předpokladem úspěchu. [11]



Obr. 19) Životní cyklus výrobku [21]



Obr. 20) PLM software PTC Windchill [23]

#### 4.14 Počítačem integrovaná výroba - CIM

**CIM** (Computer Integrated Manufacturing) nepředstavuje jeden systém, ale integraci jednotlivých systémů, které se přímo či nepřímo podílí na realizace součástky. Je to komplex navzájem integrovaných CAX systémů. Tato integrace umožňuje výměnu informací mezi jednotlivými procesy, případně zahájení konkrétního procesu. Hlavním principem je nezávislost organizačních a technických funkcí každého procesu. Díky tomu může být výroba daleko efektivnější a méně chybová. Jako základ pro širší integraci CAX systémů v podniku se uvažují především následující systémy: CAD, CAD/CAM, CAM, CAPP, CAQ a PPS. [1]

Z počátku byl koncept CIM pouze futuristická vize. V současné době se s nárůstem výkonné a cenově dostupné výpočetní techniky stává tato idea více populární. S mírou integrace stoupá míra flexibility podniku, schopnost přizpůsobit se požadavkům trhu a produkovat kvalitní výrobek v krátkém čase za přijatelných nákladů. Prozatím je však integrace v rozsahu CIM nahrazována částečným propojováním jednotlivých dílčích částí systému, pro něž jsou nezávisle na sobě rozvíjeny softwarové nástroje. Avšak některé moderní podniky se výrazně přiblížily k naplnění myšlenky CIM a dá se předpokládat, že se v budoucnosti dočkáme i úplného řešení. [10]



Obr. 21) Počítačem integrovaná výroba - CIM [22]

## 5 ZHODNOCENÍ, PŘÍNOS PRO PRŮMYSL

Oblast počítačem podporovaných systémů je dynamicky se rozvíjející oblast, která podléhá neustálým změnám. S vývojem informačních technologií roste počet nových počítačových systémů, které jsou neustále upravovány a zdokonalovány. Mění se podmínky trhu a to hlavně vlivem globalizace ekonomiky, což vytváří nové možnosti v oblasti počítačových systémů. Neustálý vývoj těchto systémů neméně souvisí s vývojem výkonnějších hardwarových komponentů, které se stávají cenově dostupnými. Inovační čas se v této oblasti neustále zkracuje. [5]

Počítačové podpora spolu s automatizací strojírenské výroby je nedílnou součástí moderní firmy. Společně vytváří důležité nástroje, které umožňují dosahovat příznivých ekonomických výsledků. Trendy ve strojírenské výrobě můžeme rozdělit do třech oblastí:

- integrace,
- flexibilita,
- inteligence. [1]

Integrace je velmi významným trendem strojírenské výroby. Bez dokonalé integrace všech počítačem podporovaných systémů, aplikací a výrobních prostředků klesá efektivita celé výroby. I zde platí, že nejslabší článek určuje výkonnost celého podniku. Je proto důležité, aby podnik usiloval o vysokou úroveň počítačové podpory a automatizace všech procesů, nikoliv však pouze některých. Například pokud podnik disponuje moderním a profesionálním CAD pracovištěm, ale NC programy jsou vyhotovovány ručně, výrazně klesá efektivita celého návrhovo-technologického procesu. Integrace přináší do podniku celou řadu výhod, ale také problémů. Je zapotřebí vyřešit sdílení dat mezi jednotlivými CAX systémy v průběhu celého realizačního procesu. Současným trendem je sdílení dat v rámci všech pracovišť nezávisle na jejich vzájemné poloze. To je umožněno moderními internetovými technologiemi. [1]

Inteligence se podobně jako integrace významně projevuje ve vývoji inteligentních CAX systémů. Na trhu stále roste počet systémů s tímto označením. Pojem inteligence je často chápán v rovině ovládání programového produktu a ne v rovině implementování moderních technologií z oblasti umělé inteligence. Je snaha dát inteligenční charakter aj výrobním systémům. Tyto systémy můžeme považovat za vyšší vývojový stupeň pružných výrobních systémů. [1]

Význam zavedení těchto systémů do podniku má smysl při jejich správném využití. Počítačem podporovaný systém je nástroj, který výrazně může zvýšit konkurenceschopnost podniku. Před jeho zavedením je však zapotřebí provést celou řadu analýz. Je třeba zvážit, který systém by mohl být vhodným řešením pro konkrétní podnik. Neexistuje jednoznačná a rychlá odpověď, jaký typ CAX systému je vhodný pro daný podnik. [5]

## 6 APLIKACE CAD/CAM SYSTÉMU AUTODESK INVENTOR HSM

Tato případová studie demonstruje využití CAD/CAM systému. Je použito softwarového vybavení od společnosti Autodesk, Inc. Pomocí programu Inventor HSM byla vymodelována součást, následně navrhnutá technologie obrábění, provedena simulace obráběcích drah a na závěr vytvořen NC kód pomocí postprocesoru.

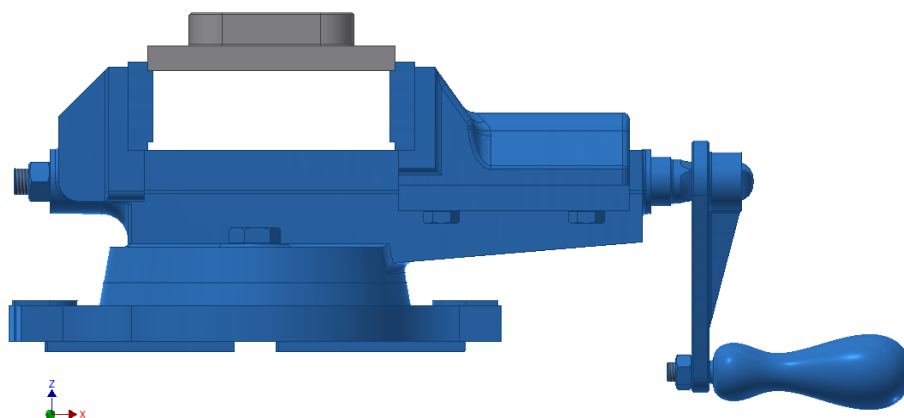
Inventor HSM je plně integrovaný CAD/CAM systém od společnosti Autodesk, Inc., který je navržen primárně pro uživatele Inventoru a Inventoru LT. Systém nabízí rozšíření parametrického prostředí Inventoru do CAM řešení a je určen pro 2 až 5osé obrábění, včetně soustružení. Po instalaci systému se automaticky přidá do prostředí Inventoru nová záložka - CAM (viz. Obr. 22). Zkratka **HSM** (**H**igh **S**peed **M**achining) naznačuje, že se jedná o vysokorychlostní obrábění. [12]

Systém nabízí mimo celé řady hrubovacích a dokončovacích operací také simulaci drah obrábění. To dává uživateli možnost vizuálně si ověřit, zda průběh samotného obrábění odpovídá záměru. Díky nástrojům verifikace lze také předejít kolizím nástroje vůči dílu, držákům, stolu atd. Výstup je zajištěn pomocí sady standartních postprocesorů - Heidenhain, Hass, Siemens, Hurco, Fanuc, Fagor, Fadal, Acramatic, Mazac, Okuma a další. Součástí programu je také NC editor, kde je možné výsledný program upravit, zkontrolovat a přenést do CNC stroje. [12]

Díky propracované integraci programu Inventor HSM do Inventoru může uživatel snadno přepínat mezi jednotlivými režimy (skica, model, technologie, atd.). Díky tomu lze v průběhu efektivně modifikovat parametry součásti a tím automaticky měnit dráhy obrábění. Při správném nastavení lze také výhodně generovat obrábění nejen pro díl, ale také celou sestavu. [12]

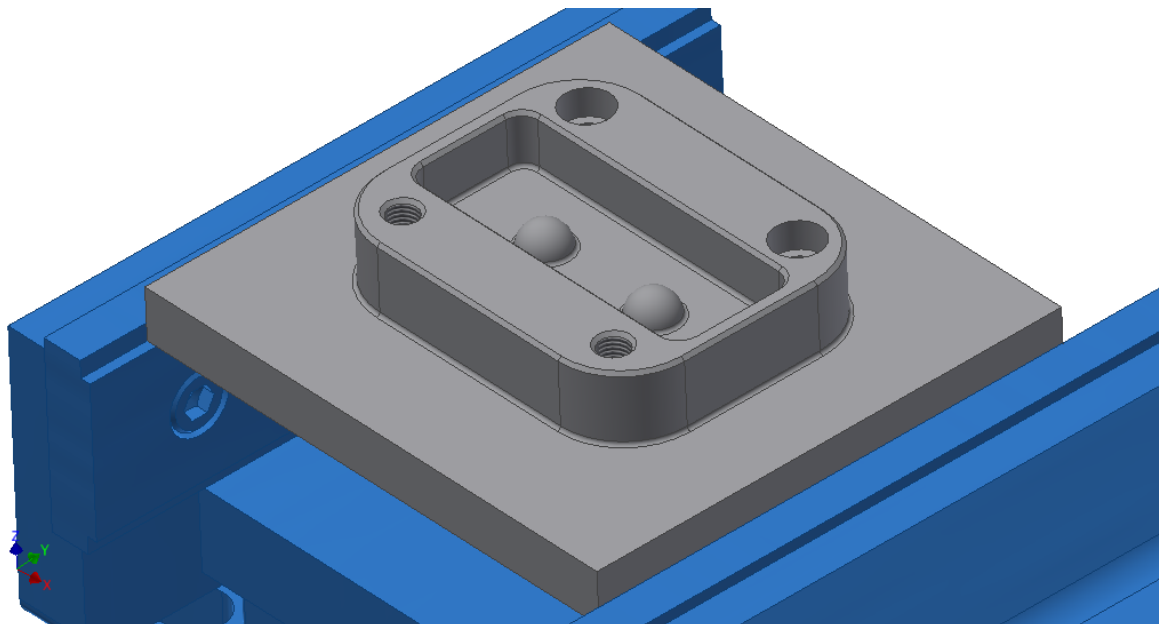
### 6.1 Model

Pomocí modeláře programu Inventor byl vymodelován samostatně svěrák a následně součást pro budoucí obrábění. Pro oba díly bylo zapotřebí vytvořit vazby, aby byla jednoznačná jejich vzájemná poloha. Tím byla vytvořena sestava (viz obr. 22).



Obr. 22) Upnutí součásti mezi čelisti svěráku

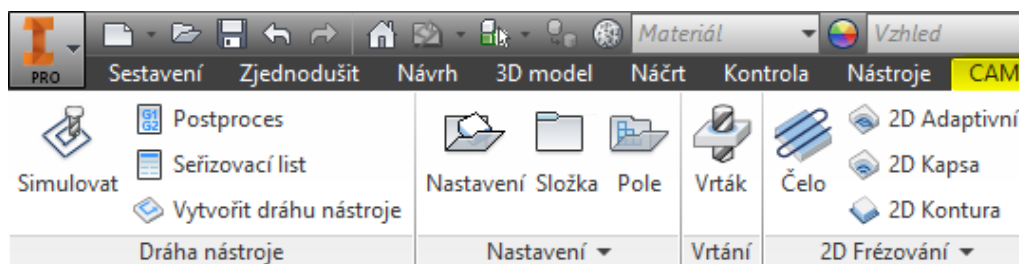
Součást byla navržena takovým způsobem, aby na ni bylo možné demonstrovat základní funkce programu při 3osém obrábění (viz obr. 23). Materiál polotovaru je ČSN 11523.



Obr. 23) Solid model součásti

## 6.2 Základní nastavení a definice polotovaru

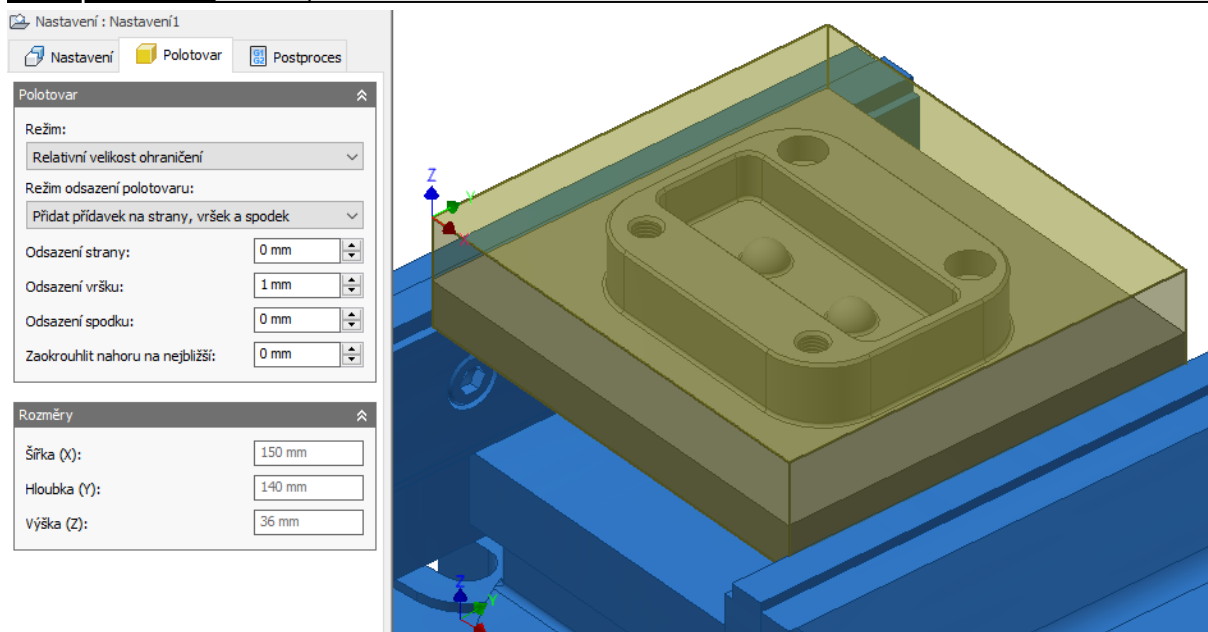
Jako první je zapotřebí přejít z modelovacího prostředí do CAM prostředí a to kliknutím na kartu „CAM“ (viz obr. 24).



Obr. 24) Záložka CAM

V dalším kroku v kartě „Nastavení“ je definován polotovaz a to kliknutím na tlačítko „Model“ a vybráním součásti. Tím byl vytvořen ohraničující kvádr polotovaru. Dále je potřeba definovat vhodný pracovní souřadnicový systém (WCS). Ten je zvolen do horního rohu polotovaru (viz obr. 25). Následně byly v sekci „Upínka“ vybrány plochy svěráku a tím je kontrolována kolize nástroje se svěrákem. V záložce „Polotovaz“ zbývá nastavit odsazení vršku o hodnotu 1 mm kvůli frézování čelní plochy. Tímto je definován polotovaz a nastaven pracovní souřadnicový systém (viz obr. 25). Rozměry polotovaru jsou tedy 150x140x36 mm.

Všechny použité nástroje při procesu obrábění jsou vybrány z katalogu firmy FRAISA.



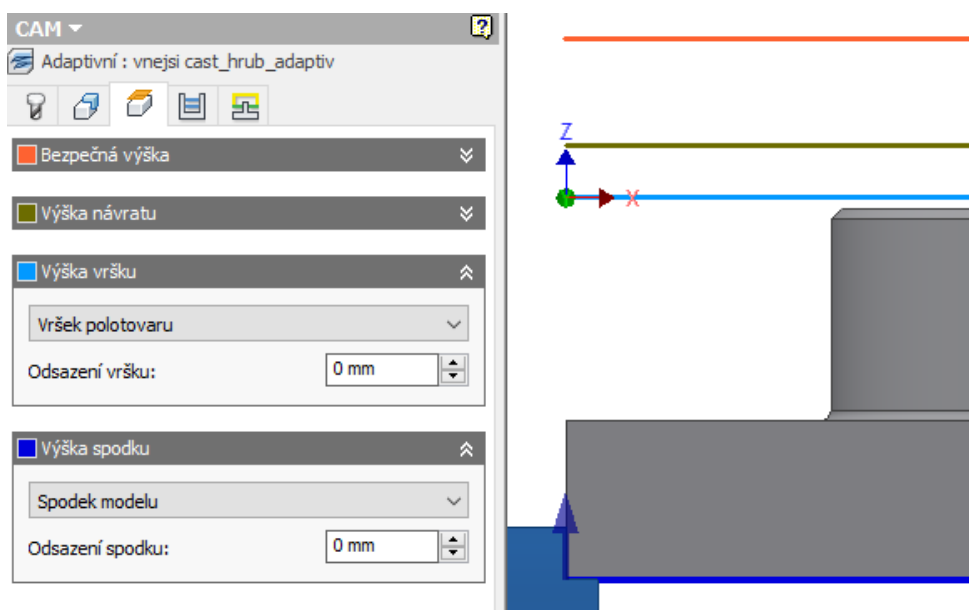
Obr. 25) Definice polotovaru a pracovního souřadnicového systému (WCS)

### 6.3 Hrubování vnějších ploch a zarovnání čela

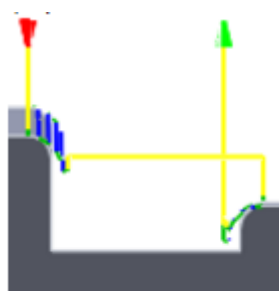
První frézovací operací bude hrubování vnějších ploch a zarovnání čela polotovaru. Strategie je vybrána z panelu 3D frézování a to „Adaptivní“ . Tato frézovací strategie se vyhýbá řezům celou šířkou nástroje postupným ubíráním materiálu ze zbývajících polotovaru. Vytvořená trajektorie pomocí stabilního zatížení nástroje zajistí, že podmínky řezání zůstanou konstantní. Ve výsledku lze výrazně zvýšit rychlost posuvu, životnost nástroje a zkrátit čas obrábění.

Dále je kliknutím na tlačítko „Nástroj“ definována čelní fréza o průměru 25 mm. Tato fréza má po svém obvodu 4 vyměnitelné břitové destičky s rohovým radiusem 1 mm. Řezná rychlost pro tuto operaci je  $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a hodnota posuvu na zub 0,2 mm. V kartě „Geometrie“  není potřeba nic nastavovat, strategie automaticky detekuje plochy k obrábění. Je však nutné v kartě „Výšky“  nastavit výškové hranice obrábění (viz obr. 26). Pro tuto operaci je chlazení nastaveno jako chladit „Skrz nástroj“.

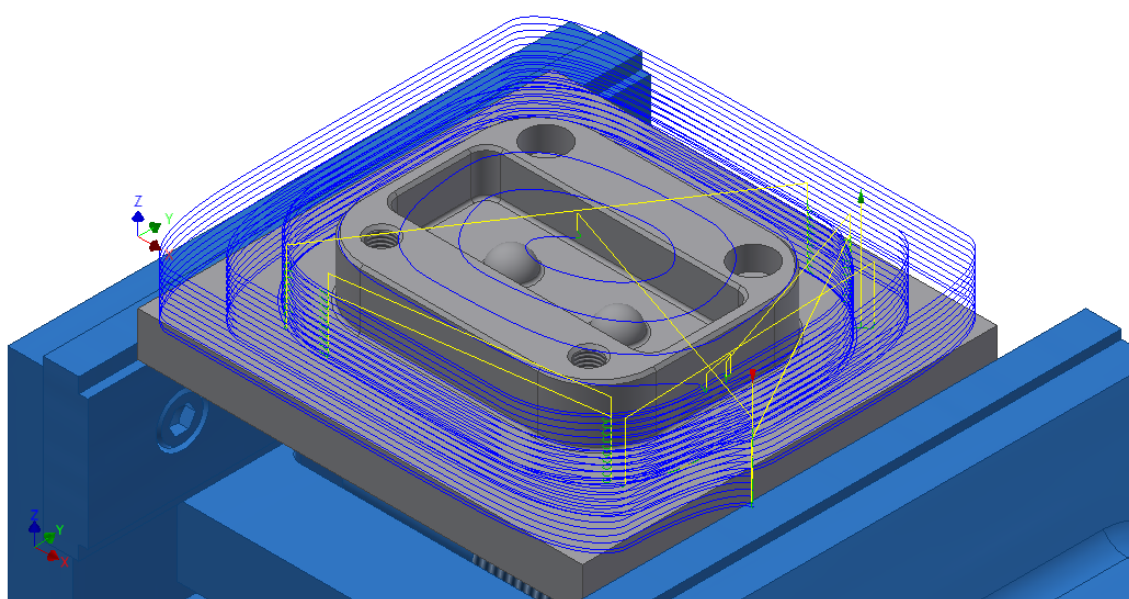
Zbývá nastavit kartu „Průchody“  a „Napojování“ . Maximální hrubovací krok dolů je definován na 2 mm a poslední dokončovací krok 0,5 mm. Aby fréza obráběla pouze vně součásti je potřeba vypnout funkci „Obrobit dutiny“. Radiální přírůstek bude 0,3 mm a způsob návratu nástroje „Minimální“ (viz obr. 27). Ostatní parametry jsou nastaveny automaticky programem. Kliknutím na tlačítko „Ok“ jsou vypočítány a graficky zobrazeny dráhy obrábění (viz obr. 28).



Obr. 26) Nastavení karty „Výšky“ pro adaptivní hrubování vnějších ploch



Obr. 27) Minimální návrat nástroje

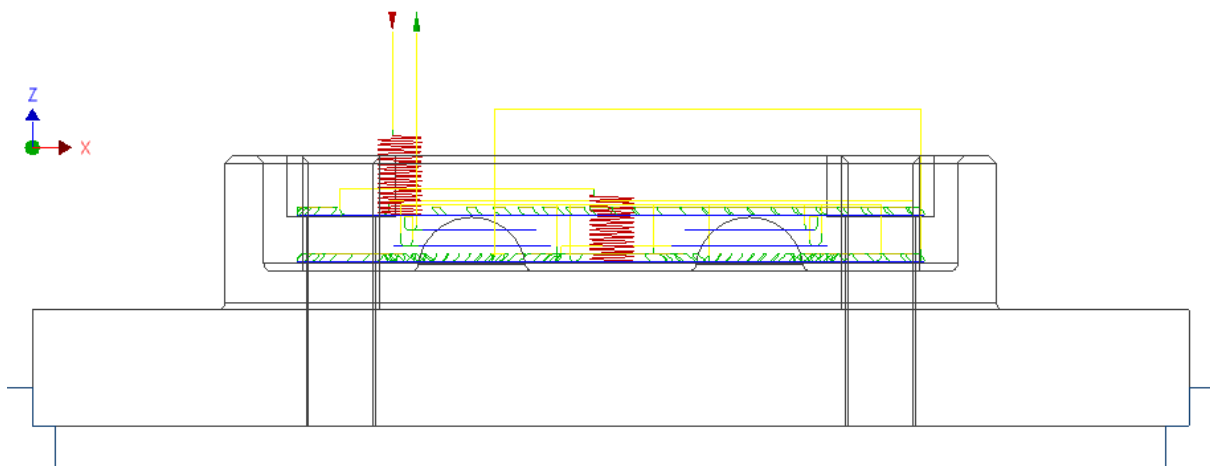


Obr. 28) Adaptivní hrubování vnějších ploch – dráhy nástroje

## 6.4 Hrubování kapsy

V této fázi bude provedeno hrubování kapsy opět pomocí strategie „Adaptivní“ . Nástrojem bude toroidní monolitní fréza o průměru 8 mm s rohovým radiusem 1 mm a se 4 břity. Typ chlazení „Vzduch“. U této operace není vhodné požívat chlazení kapalinou. Kapsa by se postupně plnila kapalinou obsahující třísky, což by mohlo vést k pozdějšímu poškození rezného nástroje a špatné kvalitě obrobeného povrchu. Řezná rychlost bude  $150 \text{ m.min}^{-1}$  a posuv na zub  $0,025 \text{ mm}$ .

V kartě „Geometrie“  je důležité nastavit hranici obrábění, kterou bude nejvyšší hrana kapsy. Nastavení karty „Výšky“  bude stejné jako u předchozí hrubovací strategie. V kartě „Průchody“  je následně definován maximální hrubovací krok dolů na 8 mm. Radiální a axiální přídavek bude 0,3 mm a nastavení karty „Napojování“  je ponecháno identické. V tomto případě je potřeba, aby byla funkce „Obrobit dutiny“ aktivní. Klinutím na tlačítko „Ok“ program vygeneruje dráhy obrábění (viz obr. 29).



Obr. 29) Hrubování kapsy - dráhy nástroje v drátovém modelu součásti

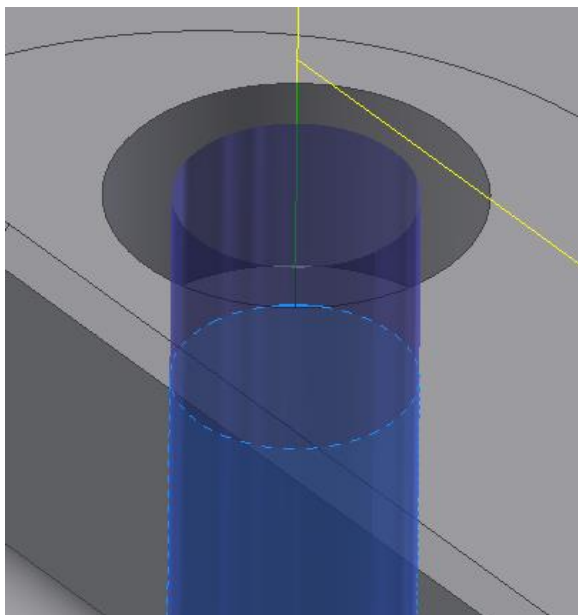
## 6.5 Vrtání děr s válcovým zahloubením

V této části je zapotřebí vyvrtat díry s válcovým zahloubením. První budou vyvrtány průchozí díry o průměru 9 mm a následně provedeno válcové zahloubení děr hluboké 8 mm a průměru 14 mm.

### 6.5.1 Díry pro šrouby M8 s vnitřním šestihranem

V kartě „Vrtání“ je vybrán cyklus „Vrták“ . Nástrojem bude monolitní SK (slnutý karbid) vrták o průměru 9 mm s vnitřním chlazením. Dále je třeba definovat rezné parametry. Řezná rychlost je nastavena na  $110 \text{ m.min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $0,03 \text{ mm}$ . Typ chlazení bude „Skrz nástroj“. Následně jsou v záložce „Geometrie“  vybrány plochy obou děr (viz obr. 30). Jelikož je díra tvořena z více segmentů, je nezbytné vybrat možnost „Automatické sloučení segmentů“. Jedná se o díru s válcovým zahloubením, válec vrtané díry tedy začíná trochu níže a proto je v kartě „Výšky“  nastavena výška vršku na „Vršek modelu“. Pro zajištění

provrtání skrz je zaškrtnuto políčko „Vrat špičkou skrze dno“ a hloubka průniku nastavena na 1 mm. Na závěr je potřeba v kartě „Cyklus“  vybrat typ cyklu vrtání. Ideální volbou bude „Vrtání – rychloposuv ven“.



Obr. 30) Výběr plochy díry a sloučení segmentů

### 6.5.2 Válcové zahloubení

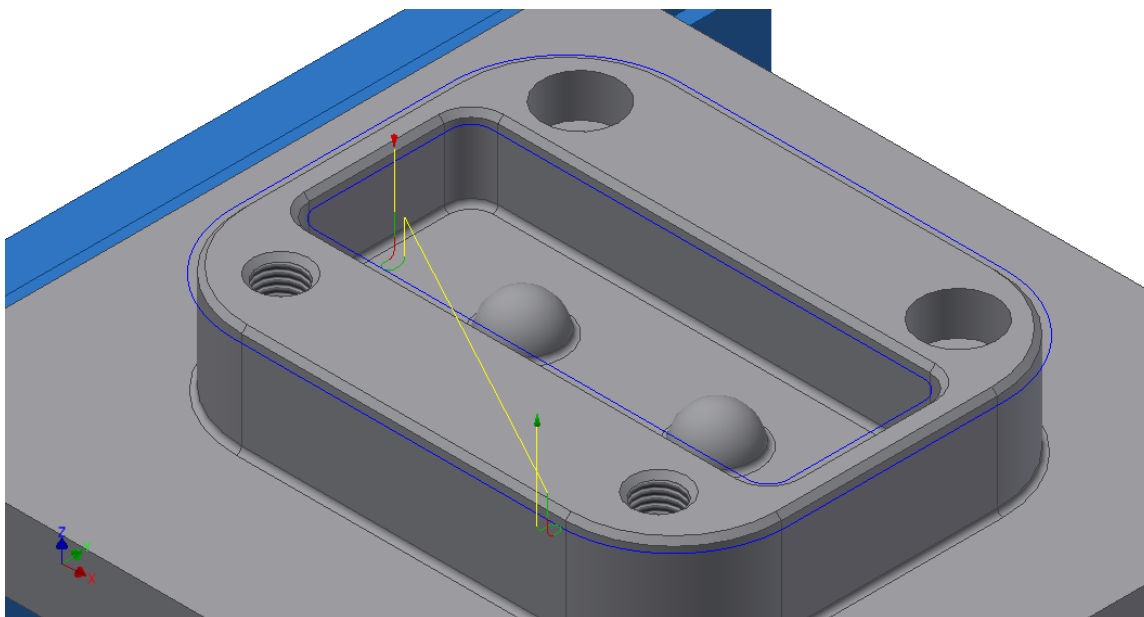
Cyklus pro válcové zahloubení bude „Vyvrtávání“  z panelu 2D strategií. Nástrojem bude monolitní válcová fréza o průměru 8 mm. Geometrie je definována vybráním ploch válcového zahloubení. Řezná rychlost bude  $110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv na zub 0,03 mm. Zbývající parametry jsou automaticky nastaveny programem. Kliknutím na „Ok“ začne výpočet dráhy nástroje.

### 6.6 Vrtání děr o průměru 8,5 mm pro závit M10x1,5

Tato operace se liší od předchozího vrtání skrz pouze průměrem nástroje. Lze tedy využít funkce „Duplikovat“. Tím se vytvoří nový cyklus s totožným nastavením. Je zapotřebí pouze přejmenovat název cyklu a v kartě „Geometrie“  označit plochy děr, které budou vrtány. Nástrojem pro tuto operaci bude SK vrták o průměru 8,5 mm s vnitřním chlazením. Ostatní parametry zůstávají stejné.

### 6.7 Sražení hran

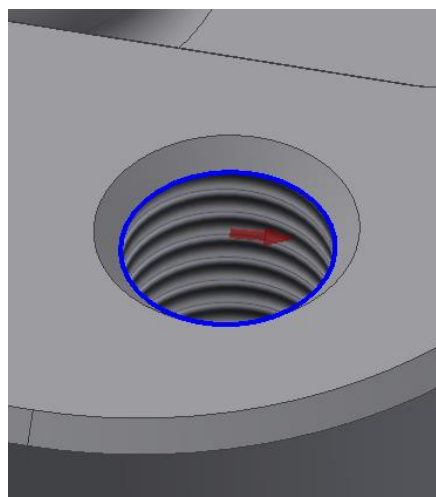
V této frézovací operaci je sražena vnější a vnitřní hrana součásti pomocí strategie „2D kontura“ . Jako nástroj je zvolena úkosová fréza o průměru 10 mm s úhlem ostří  $45^\circ$ . Řezná rychlost je  $160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv na zub 0,05 mm. Chlazení pro tuto operaci je nastaveno jako „Vzduch“. Dále je v kartě „Geometrie“  vybrána spodní hrana zkosení. Tím je definována trajektorie pohybu. Zbývá nastavit kartu „Záběry“ . Aby bylo zajištěno, že špička nástroje nebude shodná s dolní hranou zkosení, je nutné zadat „Odsazení špičky zkosení“ 0,25 mm. Po kliknutí na tlačítko „Ok“ se opět vygeneruje dráha nástroje (viz obr. 31).



Obr. 31) Zkosení hran – dráhy obrábění

## 6.8 Kuželové zahloubení

Další operací bude kuželové zahloubení děr. Lze využít funkce „Duplikovat“ a vytvořit tak kopii cyklu „Sražení hran“. Veškeré parametry zůstanou nastaveny identicky. Pouze je potřeba v kartě „Geometrie“  vybrat spodní hranu kuželového zahloubení děr (viz obr. 32).



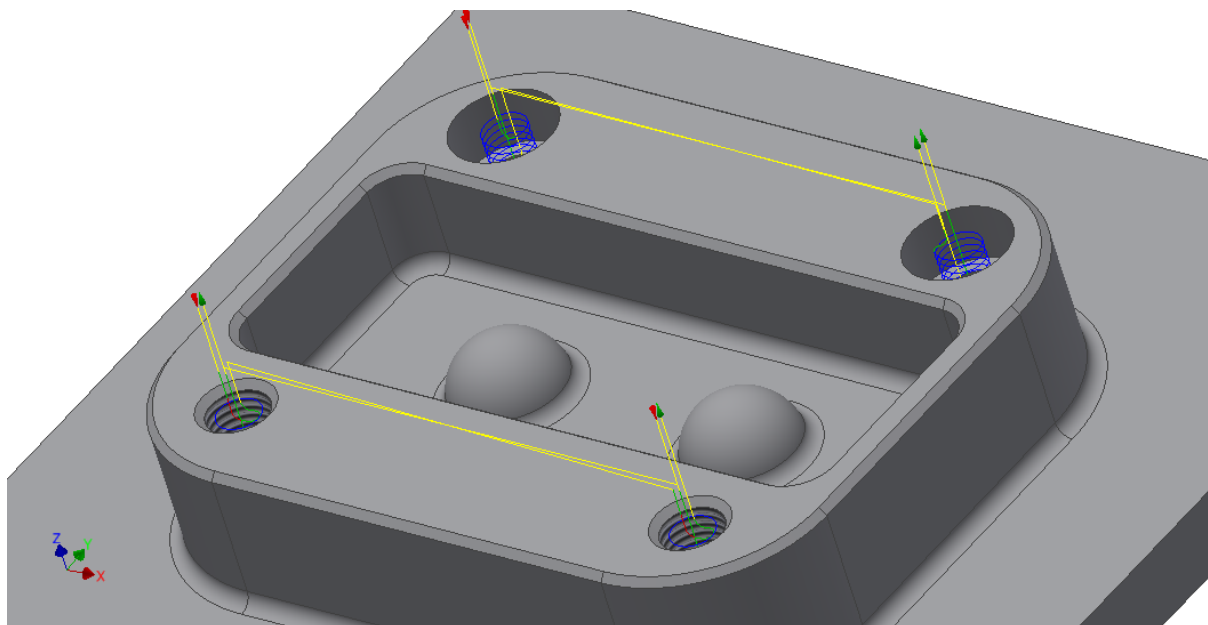
Obr. 32) Definování geometrie pro kuželové zahloubení děr

## 6.9 Řezání závitů M10x1,5

Opět lze využít funkce „Duplikovat“ a vytvořit tak kopii předchozího vrtacího cyklu. Tím se výrazně urychlí proces nastavování potřebných parametrů. Nástrojem bude v tomto případě

pravý závitník o průměru 10 mm a stoupání 1,5 mm se šroubovitými drážkami pro odvod třísky. Řezná rychlost je nastavena na  $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv na otáčku bude 1,5 mm. Na závěr zbývá nastavit typ vrtacího cyklu, kterým bude „Pravé závitování“ a typ chlazení „Zaplavit“. Kliknutí na tlačítko „Ok“ je strategie potvrzena.

Pomocí levého tlačítka myši a klávesy „Ctrl“ lze označit více operací na jednou a tím si například zobrazit dráhy všech operací spojených s výrobou děr (viz obr. 33).



Obr. 33) Dráhy vrtacích operací

## 6.10 Dokončení kapsy a vnějších stěn

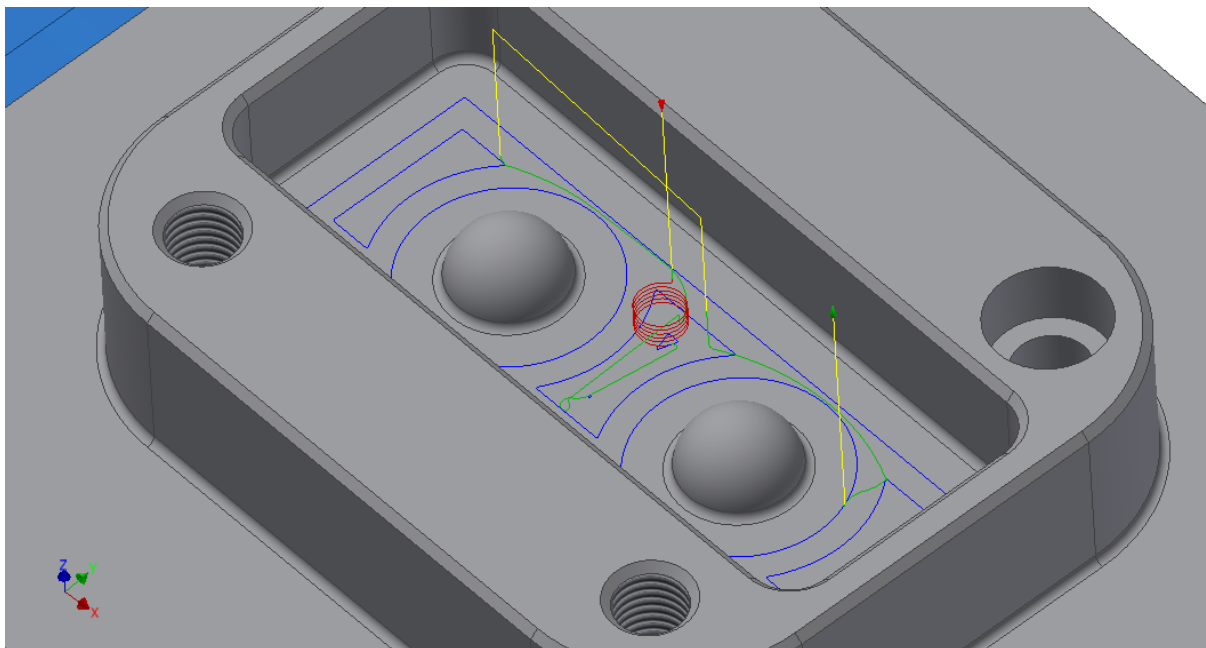
Po hrubovacích strategiích je nezbytné vytvořit strategie pro dokončovací operace. Nástrojem pro všechny dokončovací operace bude toroidní monolitní fréza o průměru 8 mm, s radiusem 1 mm a se 4 břity. Ve všech případech bude obrobek chlazen vzduchem. Řezná rychlost bude  $150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv na zub 0,025 mm.

### 6.10.1 Dokončení dna kapsy

Jako první bude dokončeno dno kapsy. Pro tuto operaci bude ideální použít strategii „2D Kapsa“  z panelu 2D strategií. V kartě „Geometrie“  je třeba vybrat dno kapsy. Tím je kapsa pevně definována.

Za další je důležité správně nastavit výškové hranici obrábění v kartě „Výšky“ . Spodní hranice je automaticky nastavena programem. Jako horní hranici je třeba vybrat dno kapsy a nastavit hodnotu odsazení na 1 mm.

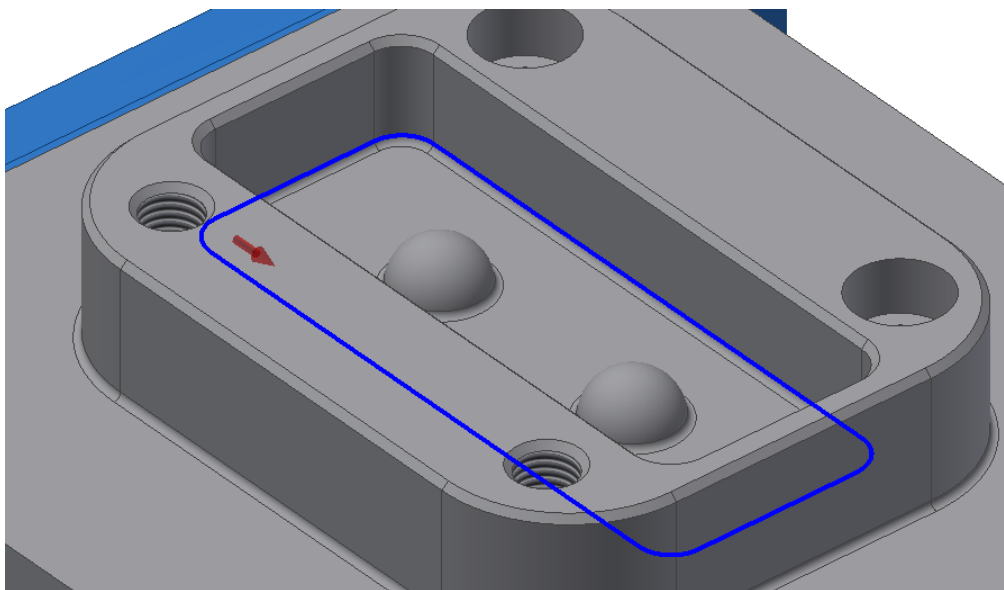
V kartě „Průchody“  je nastaven maximální stranový krok na 3,2 mm a radiální přídavek 0,35 mm. To zajistí, že fréza nebude v kontaktu se stěnami kapsy. Stisknutím tlačítka „Ok“ jsou graficky zobrazeny dráhy obrábění (viz obr. 34).



Obr. 34) Dokončení dna – dráhy nástroje

### 6.10.2 Dokončení vnitřní stěny

Pro dokončení šikmé vnitřní stěny bude použita strategie „2D kontura“ . V kartě „Geometrie“  je jako kontura zvolena spodní hrana kapsy (viz obr. 35).



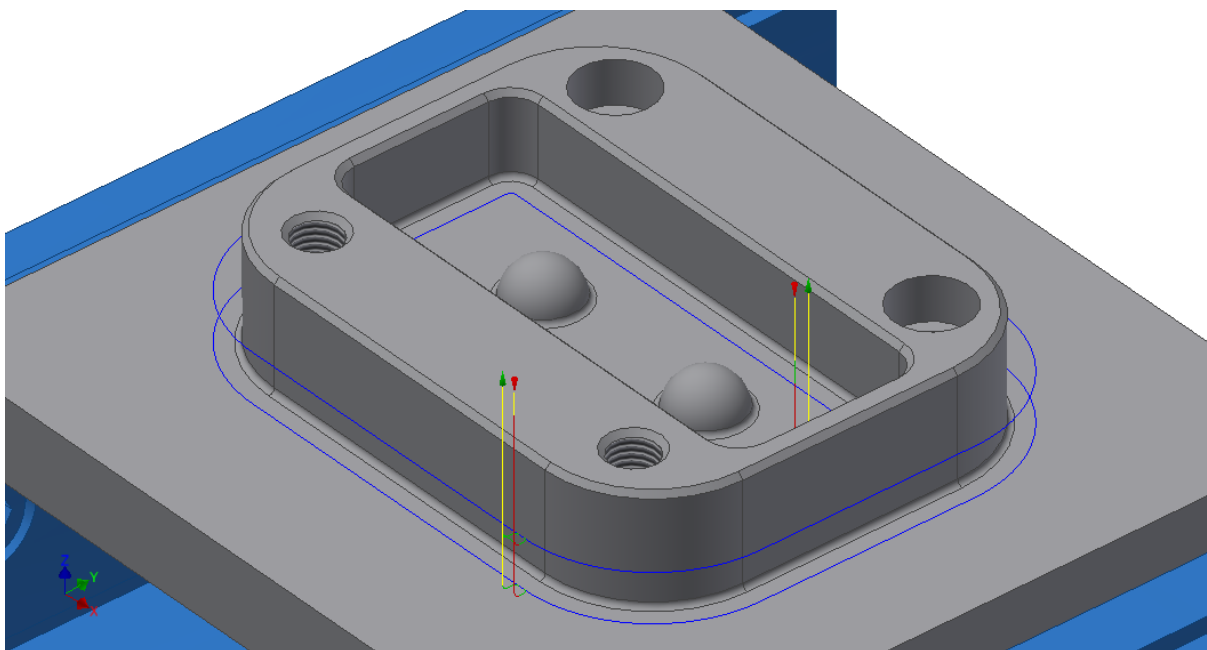
Obr. 35) Dokončení vnitřní šikmé stěny – definice kontury

Zbývá nastavit kartu „Výšky“ . Horní hranicí bude vršek modelu. Spodní hranicí bude dno kapsy s odsazením 0,01 mm. Tím je zajištěno, že fréza nebude v kontaktu se dnem kapsy. Ostatní parametry jsou automaticky nastaveny programem a není třeba je měnit. Po výpočtu je dráha nástroje graficky zobrazena (viz obr. 36).

### 6.10.3 Dokončení vnější stěny

Nejrychlejší možnost pro nastavení této dokončovací operace je vytvoření duplikátu předchozí strategie. Geometrie kontury a výškové hranice obrábění jsou nastaveny obdobným způsobem.

Výška stěny je větší než délka ostří nástroje a proto je nezbytné vybrat v kartě „Průchody“  možnost „Více hloubek“. Maximální krok dolů pro tuto operaci bude 11 mm. Po kliknutí na tlačítko „Ok“ program vygeneruje dráhu obrábění (viz obr. 36).



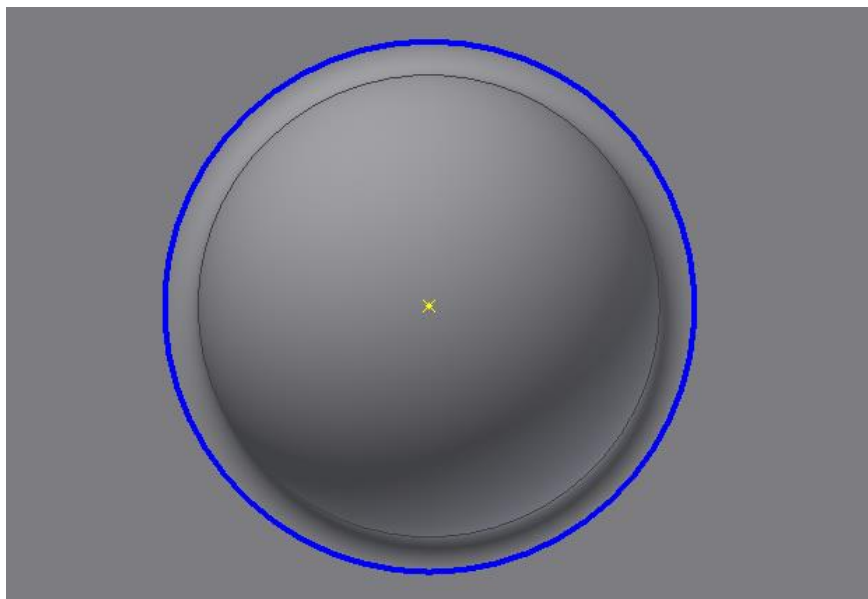
Obr. 36) Dokončení šikmých stěn

### 6.10.4 Dokončení kulových vrchlíků

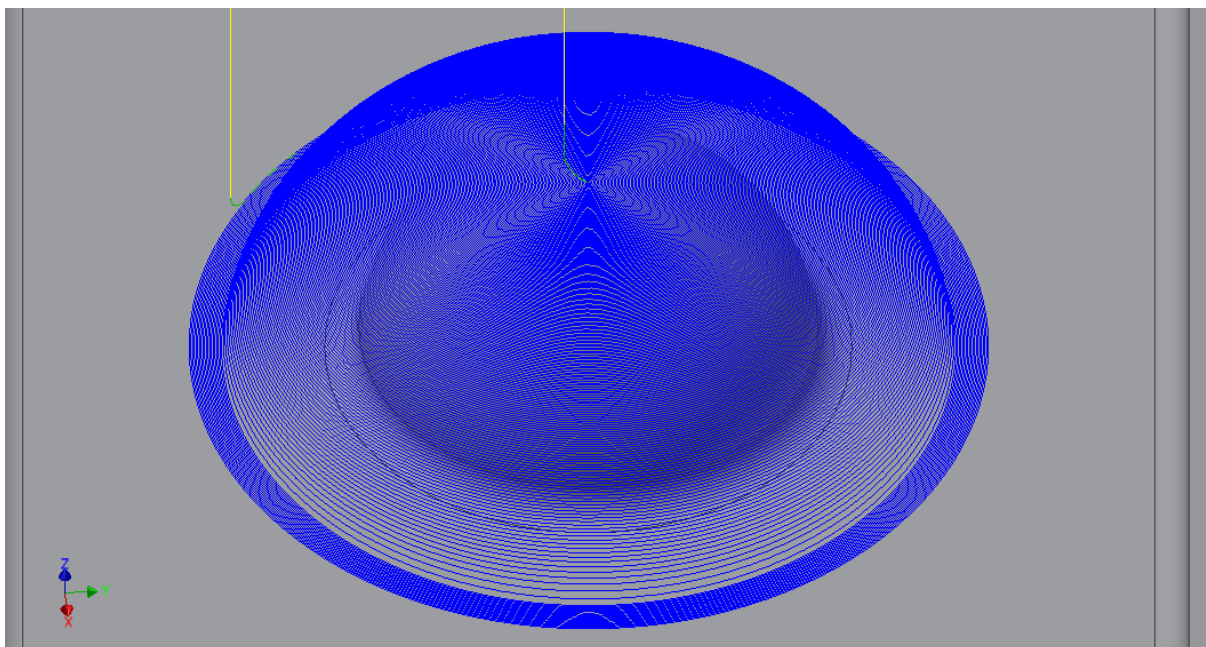
Pro tvarové plochy tohoto typu je nezbytné volit jednu ze 3D strategií. V tomto případě je zvolena dokončovací strategie „Spirála“ . Nástroj, řezné parametry a typ chlazení zůstávají identické jako u předchozích dokončovacích operací.

Je důležité správně definovat geometrii pro obrábění. V kartě „Geometrie“  je tedy zvolen středový bod spirály a hranice obrábění (viz obr. 37). Výškové hranice není v tomto případě nutné nastavovat, program sám detekuje plochy k obrábění. Pro dobrou kvalitu obrobeneho povrchu je důležité správně zvolit hodnotu stranového kroku. Ten je definován na 0,05 mm.

Opět lze využít funkce „Duplikovat“ a vytvořit tak identickou strategii pro druhý kulový vrchlík. Geometrie je nastavena obdobným způsobem. Dráhy jsou vygenerovány po kliknutí na tlačítko „Ok“ (viz obr. 38).

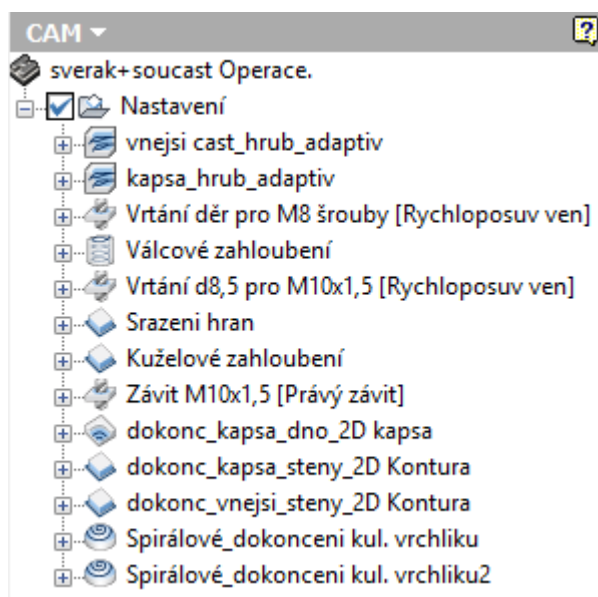


Obr. 37) Definice středového bodu spirály a hranice obrábění



Obr. 38) Kulový vrchlík – dráhy dokončovací strategie

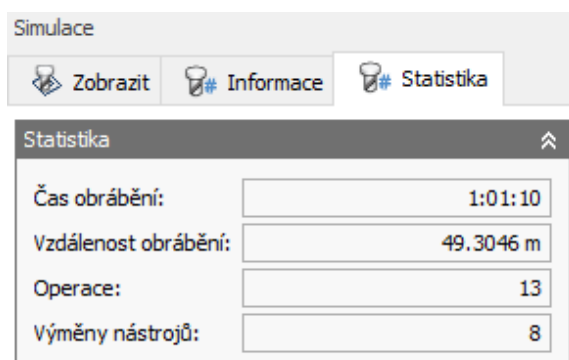
Tímto jsou vygenerovány všechny potřebné dráhy k obrobení součástky. Kompletní seznam těchto operací lze nalézt v dialogovém okně „CAM“ v levé části pracovní plochy (viz obr. 39). Zde je možné dráhy editovat a měnit jejich pořadí.



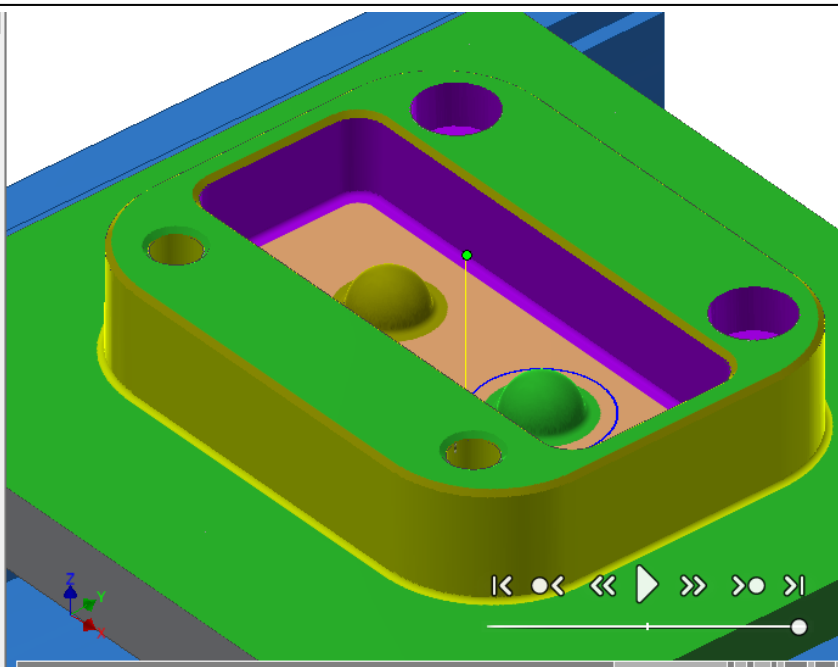
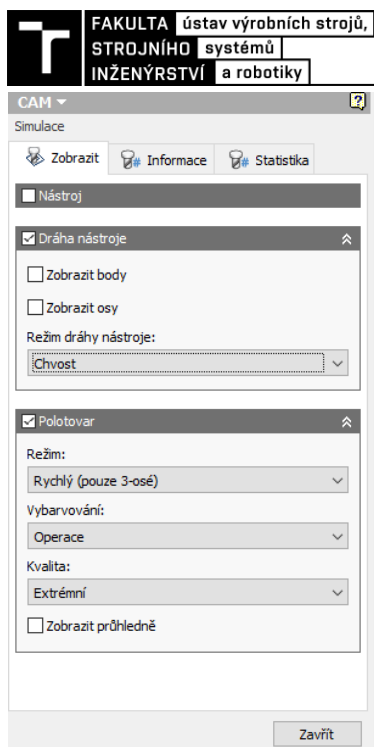
Obr. 39) Kompletní seznam obráběcích operací

## 6.11 Simulace drah obrábění

Po vygenerování všech drah nástroje lze využít integrované funkce „Simulovat“ . Simulace je ideálním nástrojem pro kontrolu obráběcích drah. Lze tak odhalit chybně nastavené dráhy a zkontrolovat, zda nedojde ke kolizi nástroje se svěrákem. Klinutím na tlačítko „Spustit“ lze sledovat pohyby nástroje pro jednotlivé operace. Rychlost simulace lze měnit podle potřeby. Tato funkce dále umožňuje nastavit viditelnost polotovaru, nástroje, dráhy nástroje, apod. (viz obr. 41). Každá operace je graficky zobrazena jinou barvu. Nedílnou součástí je záložka „Statistika“, kde je zobrazen odhadovaný čas obrábění (viz obr. 40). V případě této řešené součásti nebyly detekovány žádné kolize a po dokončení simulace byla součást obrobena bez chyb.



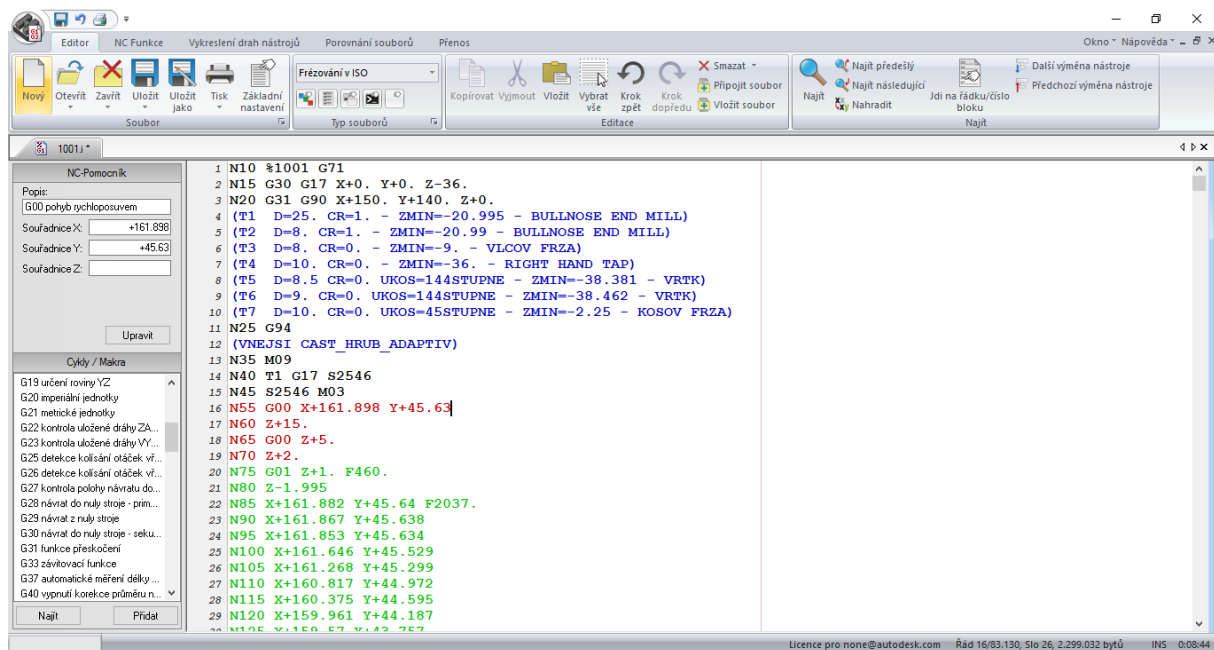
Obr. 40) Simulace - statistika



Obr. 41) Simulace vygenerovaných drah

## 6.12 Vygenerování NC kódu

Po proběhlé simulaci a ověření správnosti vygenerovaných dat program umožňuje uložit tyto data ve formě NC kódu pomocí vhodného postprocesoru. To lze provést kliknutím na funkci „Postproces“ , která se nachází v panelu „Dráha nástroje“. Tím se zobrazí dialogové okno, kde lze konfigurovat postprocesor. V tomto případě je zvolen „Generic Heidenhain ISO“. Potvrzením program uloží NC kód a otevře NC editor, kde je možné výsledný program upravit, zkontrolovat a přenést do CNC stroje (viz obr. 42).



Obr. 42) Ukázka NC editoru

## 7 ZÁVĚR

V první části této práce bylo pojednáno o využití počítačové podpory v průmyslu, což se stává fenoménem dnešní doby. S rostoucím výkonem hardwarových komponentů přímo úměrně roste propracovanost těchto systémů a ty pak zvládají rychle a efektivně řešit nejrůznější úlohy. Správně implementované systémy řídí mnoho lidských činností a díky tomu se může člověk věnovat daleko kreativnějším činnostem. Myslím si, že maximální využití těchto systémů je cíl, ke kterému by měl směřovat každý moderní podnik současné doby. Je však důležité připomenout, že zavedení těchto systémů má význam pouze při jejich správném používání.

V druhé části této práce bylo demonstrováno využití CAD/CAM systému Autodesk Inventor HSM při 3osém obrábění. Pomocí toho softwaru byly vytvořeny kompletní obráběcí strategie, následně zkontrolována jejich správnost a na závěr vytvořen NC kód pomocí postprocesoru. Celý proces byl úspěšně optimalizován a odhadovaný čas obrábění byl spočítán na 1 hodinu, 1 minutu a 10 sekund.

Cíle, kterých bylo v této práci dosaženo:

- seznámení se s řešenou problematikou,
- rešerše v oblasti CAx systémů,
- zhodnocení přínosu těchto systémů v průmyslové praxi,
- seznámení s prostředím a stručná charakteristika programu Autodesk Inventor HSM,
- vytvoření 3D modelu součásti a následně její upnutí mezi čelisti svěráku,
- volba vhodných obráběcích nástrojů a řezných podmínek,
- vytvoření potřebných obráběcích strategií,
- simulace obráběcích drah,
- vytvoření NC kódu pomocí vhodného postprocesoru.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KURIC, Ivan. *Počítačom podporované systémy v strojárstve*. 1. vyd. Žilina: EDIS, 2002. ISBN 80-710-0948-2.
- [2] KRÁL, Ján. *Príprava výroby s využitím CAX technológií*. Vyd. 1. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2010. ISBN 978-80-553-0707-7.
- [3] CHVÁLA, Břetislav, Gejza DUNAY a Josef NEDBAL. *Automatizace*. 2. nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [4] CHVÁLA, Břetislav, Josef NEDBAL a Gejza DUNAY. *Automatizace: vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [5] JELÍNEK, Ivan. *Systémy pro automatizaci inženýrských prací*. Dot. Praha: České vysoké učení technické, 1992.
- [6] IŽOL, Peter a Michal FABIAN. *CAD/CAM systémy v technologickom procese obrábania*. Vyd. 1. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2006. ISBN 80-807-3489-5.
- [7] BEČKA, Jan. *CAD*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 8001017222.
- [8] KURIC, I. – MATUSZEK, J. – DEBNÁR, R.: *Computer Aided Process Planning in Machinery Industry*. Politechnika Lodzka, Bielsko Biala, 1999, 139 s.
- [9] SADÍLEK, Marek. *CAM systémy v obrábění I*. 2., dopl. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 9788024822785.
- [10] MOLNÁR, Zdeněk. *Počítačem integrovaná výroba - CIM*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 8001012816.
- [11] MAZLOVÁ, Tamara. *Studie k implementaci PDM systémů pro průmyslový podnik*. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování, c2003. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. PhD Thesis. ISBN 8021425024.
- [12] Autodesk: *Inventor HSM* [online]. 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://cam.autodesk.com/try-inventor-hsm/>
- [13] CNC Machine: *CNC Cookbook* [online]. 2010 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.cnccookbook.com/img/OthersProjects/Machines/Milwaukee-Matic-II-FirstToolChanger.jpg>
- [14] CNC151: *Studyblue* [online]. 2015 [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: <https://www.studyblue.com/notes/note/n/cnc151/deck/6825244>
- [15] Nové logistické centrum Škoda zásobuje výrobu v Mladé Boleslavi. *Průmysl* [online]. 2013 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/nove-logisticke-centrum-skoda-zasobuje-vyrobu-v-mlade-boleslavi/>
- [16] *Mathematical realitons: National Academies Press*: [online]. 1995 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.nap.edu/read/4829/chapter/11#5>
- [17] Autocad 2016: *JTB World* [online]. 2016 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://jtbworld.com/autocad-2016>
- [18] PTC Creo: *SolidSmack* [online]. 2011 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.solidsmack.com/cad/ptc-creo-apps-price-mac/>

- [19] *Powermill 2016: Delcam* [online]. 2016 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.delcam.cz/video-co-je-noveho-v-delcam-powermill-2016/>
- [20] *PowerINSPECT: Delcam* [online]. 2014 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://www.delcam.cz/produkty/powerinspect/>
- [21] *A generic lifecycle of products: Wikipedia* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Product\\_lifecycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle)
- [22] *Computer-Integrated Manufacturing (CIM): Entuherrclas* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: [http://www.intelitek.com/wp-content/uploads/A\\_CIM\\_P\\_CIM\\_644x350.jpg](http://www.intelitek.com/wp-content/uploads/A_CIM_P_CIM_644x350.jpg)
- [23] *AutomotiveIT: Windchill 10.0* [online]. 2011 [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.automotiveit.com/ptc-releases-windchill-10-0-adds-more-analytics/news/id-002324>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

|            |                                                                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAA        | Computer Aided Assembly (Počítačem podporovaná montáž)                                                 |
| CAD        | Computer Aided Design (Počítačem podporovaný návrh výrobku)                                            |
| CAD/CAM    | Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing (Počítačová podpora integrovaného návrhu a výroby) |
| CAE        | Computer Aided Engineering (Počítačová podpora inženýrských prací)                                     |
| CAL        | Computer Aided Logistics (Počítačová podpora logistiky)                                                |
| CAM        | Computer Aided Manufacturing (Počítačová podpora výroby)                                               |
| CAMA       | Computer Aided Maintenance (Počítačová podpora údržby zařízení)                                        |
| CAPE       | Computer Aided Product Engineering (Počítačová podpora výrobního inženýrství)                          |
| CAPP       | Computer Aided Proces planning (Počítačová podpora tvorby technolog. postupů)                          |
| CAPPS      | Computer Aided of Production Planning Systém (Počítačová podpora systému plánování a řízení výroby)    |
| CAQ        | Computer Aided Quality (Počítačová podpora řízení kvality)                                             |
| CARC       | Computer Aided Robot Control (Počítačová podpora řízení a programování robotů a manipulátorů)          |
| CAT        | Computer Aided Testing (Počítačová podpora zkoušení, měření a diagnostiky)                             |
| CATS       | Computer Aided Transport and Store (Počítačová podpora řízení meziperační dopravy a skladování)        |
| CAX/CAi/CA | Computer Aided ... (Počítačem podporovaný ...)                                                         |
| CIM        | Computer Integrated Manufacturing (Počítačem integrovaná výroba)                                       |
| CNC        | Computerised Numerical Control (Číslicové řízení pomocí počítače)                                      |
| DNC        | Direct Numerical Control (Přímé číslicové řízení pomocí počítače)                                      |
| DOS        | Disk Operation System (Diskový operační systém)                                                        |
| GUI        | Graphical User Interface (Grafické uživatelské prostředí)                                              |
| HSM        | High Speed Machining (Vysokorychlostní obrábění)                                                       |
| MKP        | Metoda konečných prvků                                                                                 |
| NC         | Numerical Control (Číslicové řízení)                                                                   |
| PDM        | Product Data Management (Řízení výrobních dat)                                                         |
| PIS        | Personální informační systém                                                                           |
| PLM        | Product Lifecycle Management (Řízení životního cyklu výrobku)                                          |
| PVS        | Pružný výrobní systém                                                                                  |
| SK         | Slinutý karbid                                                                                         |
| TPV        | Technologická příprava výroby                                                                          |
| WCS        | The Work Coordinate System (Pracovní souřadnicový systém)                                              |

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 01) Příčiny a důsledky automatizace [1].....                                 | 16 |
| Obr. 02) Závod ŠKODA: Plně automatická doprava materiálu [15].....                | 17 |
| Obr. 03) Vývoj automatizace a počítačové výroby ve strojírenském podniku [1]..... | 18 |
| Obr. 04) Schéma výroby za podpory CAX systémů [5].....                            | 19 |
| Obr. 05) Vliv CAX systémů na čas realizace součástky [1] .....                    | 20 |
| Obr. 06) John T. Parsons pracující na vývoji prvního NC stroje [14] .....         | 21 |
| Obr. 07) První CNC stroj s automatickou výměnou řezného nástroje [13].....        | 22 |
| Obr. 08) CAE a CAPE oblast [1] .....                                              | 23 |
| Obr. 09) Základní Schéma CAD systému [1] .....                                    | 24 |
| Obr. 10) Jednotlivé typy modelů - drátěný, plošný, objemový [16] .....            | 26 |
| Obr. 11) Uživatelské prostředí 2D CAD systému QCAD verze 3.14 [16] .....          | 27 |
| Obr. 12) AutoCAD 2016 [17] .....                                                  | 28 |
| Obr. 13) CAD software PTC Creo Parametric 1.0 (Pro/Engineer) [18] .....           | 28 |
| Obr. 14) Základní schéma CAPP systému [1] .....                                   | 29 |
| Obr. 15) Prostředí softwaru PowerMILL Pro 2016 [19] .....                         | 32 |
| Obr. 16) Základní schéma CAD/CAM systému [1] .....                                | 33 |
| Obr. 17) Koncept CAQ [1] .....                                                    | 35 |
| Obr. 18) Měření dotykovou sondou na 5 osém stroji [20] .....                      | 35 |
| Obr. 19) Životní cyklus výrobku [21] .....                                        | 37 |
| Obr. 20) PLM software PTC Windchill [23] .....                                    | 38 |
| Obr. 21) Počítačem integrovaná výroba - CIM [22] .....                            | 39 |
| Obr. 22) Upnutí součásti mezi čelisti svěráku .....                               | 44 |
| Obr. 23) Solid model součásti .....                                               | 42 |
| Obr. 24) Záložka CAM .....                                                        | 42 |
| Obr. 25) Definice polotovaru a pracovního souřadnicového systému (WCS) .....      | 43 |
| Obr. 26) Nastavení karty „Výšky“ pro adaptivní hrubování vnějších ploch .....     | 44 |
| Obr. 27) Minimální návrat nástroje .....                                          | 44 |
| Obr. 28) Adaptivní hrubování vnějších ploch – dráhy nástroje .....                | 44 |
| Obr. 29) Hrubování kapsy - dráhy nástroje v drátovém modelu součásti .....        | 45 |
| Obr. 30) Výběr plochy díry a sloučení segmentů .....                              | 46 |
| Obr. 31) Zkosení hran – dráhy obrábění .....                                      | 47 |
| Obr. 32) Definování geometrie pro kuželové zahloubení děr.....                    | 47 |
| Obr. 33) Dráhy vrtacích operací.....                                              | 48 |
| Obr. 34) Dokončení dna – dráhy nástroje .....                                     | 49 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 35) Dokončení vnitřní šikmé stěny – definice kontury .....   | 49 |
| Obr. 36) Dokončení šikmých stěn .....                             | 50 |
| Obr. 37) Definice středového bodu spirály a hranice obrábění..... | 51 |
| Obr. 38) Kulový vrchlík – dráhy dokončovací strategie .....       | 51 |
| Obr. 39) Kompletní seznam obráběcích operací.....                 | 52 |
| Obr. 40) Simulace – statistika .....                              | 52 |
| Obr. 41) Simulace vygenerovaných drah .....                       | 53 |
| Obr. 42) Ukázka NC editoru .....                                  | 54 |

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

|           |                                            |
|-----------|--------------------------------------------|
| Příloha 1 | 3D model součásti ve formátu .stp (CD-ROM) |
| Příloha 2 | 3D model sestavy ve formátu .stp (CD-ROM)  |
| Příloha 3 | NC kód ve formátu .txt (CD-ROM)            |
| Příloha 4 | Bakalářská práce ve formátu .pdf (CD-ROM)  |