

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**SIMULÁCIA A VERIFIKÁCIA OBRÁBANIA V CAM A RS
CNC STROJA**

Diplomová práca

Študijný program:	Kvalita produkcie
Študijný odbor:	238 6800 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Ing. Róbert Drlička, IWE

Nitra 2011

Bc. Simona Orlíková

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

**Technická fakulta
Katedra kvality a strojárskych technológií**

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁVACÍ PROTOKOL DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Simona Orliková**

Študijný odbor: Kvalita produkcie
Študijný program: Kvalita produkcie

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2008 Vám zadávam tému diplomovej práce:

Simulácia a verifikácia obrábania v CAM a RS CNC stroja

Cieľ práce:

Popísať a zhodnotiť spôsoby simulácie a verifikácie obrábania v systéme počítačovej podpory výroby a v riadiacom systéme číslicovo riadeného obrábacieho stroja.

Rámcová metodika práce:

1. Definícia aplikácie simulácie a verifikácie.
2. Voľba systémov, popis simulácie a verifikácie vo vybraných systémoch.
3. Návrh hodnotiacich kritérií pre porovnanie systémov.
4. Aplikácia simulácie a verifikácie v CAM systéme a v riadiacom systéme CNC stroja.
5. Rozbor a zhodnotenie na základe vybraných kritérií.

Čestné vyhlásenie

Podpísaná Simona Orliková vyhlasujem, že som diplomovú prácu na tému „Simulácia a verifikácia obrábania v CAM a RS CNC stroja“ vypracovala samostatne, s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 18. marca 2011

Simona Orliková

Pod'akovanie

Touto cestou chcem vysloviť úprimné poďakovanie pánovi Ing. Róbertovi Drličkovi, IWE, za odborné vedenie pri riešení a vypracovaní mojej diplomovej práce, za cenné pripomienky a odborné informácie, ktoré mi poskytol. Moje poďakovanie patrí tiež firme HTP Slovakia Vráble s.r.o. v zastúpení Ing. Igora Mlynarčíka spolu s programátorom Petrom Hlavačkom, za názorné ukážky simulácie a verifikácie obrábania. V neposlednom rade patrí poďakovanie mojej rodine a najbližším za morálnu podporu.

Abstrakt

Diplomová práca prináša porovnanie dvoch spôsobov simulácie a verifikácie obrábania. Prvým spôsobom je simulácia a verifikácia obrábania v systéme počítačovej podpory výroby, čiže v CAM systéme. Druhým spôsobom je simulácia a verifikácia v riadiacom systéme číslicovo riadeného obrábacieho stroja. Práca pritom poukazuje na výhody a nevýhody popísaných spôsobov a trendy vo vývoji simulácií. Taktiež popisuje potenciál vybraných spôsobov obrábania, vízie do budúcnosti a akým smerom by sa mali organizácie uberať v oblasti simulácie a verifikácie obrábania, keď chcú zvýšiť kvalitu a znížiť náklady. Porovnanie sa uskutočnilo na základe hodnotiacich kritérií vo firme HTP Slovakia Vráble s.r.o. podľa bodov metodiky práce. Porovnaný bol CAM systém Unigraphics NX5 s riadiacim systémom Heidenhain iTNC 530, pričom bola potrebná konkrétna súčiastka spolu s jej technickou dokumentáciou. Na vybranú súčiastku bol vytvorený riadiaci program obrábania v oboch porovnávaných systémoch a následne bola predmetom simulácie a verifikácie. Na základe porovnaní simulácií výsledky jasne poukázali na výhody simulácie a verifikácie v CAM systéme a objasnili nedostatky v simulácii v riadiacom systéme CNC stroja.

Kľúčové slová: simulácia, verifikácia, obrábanie, CAM, riadiaci systém.

Abstract

Diploma work is focused to comparison of two machining simulation and verification types. First type of machining simulation and verification is computer aided manufacturing - CAM system. Second type is simulation and verification in computer numerically controlled machine's control system. Work points at advantages and disadvantages of both described types of simulations and verifications, as well as future trends in development. It also describes potential of choosen machining types, visions for the future and company proposals for choosing proper type of simulation and verification, saving costs and increasing quality. This comparison has been done based on performace criterion at company HTP Slovakia Vráble s.r.o. according to methodology of this work. Unigraphics NX5 CAM system has been compaired with Haidenhain iTNC 530 CNC control system. Specific manufacturing part was necessary, together with complete manufacturing technical documentation of processed part. Machining control program has been created in both compaired systems, where simulation and verification was made. Based on simulations comparison, it can be clearly achieved to many advantages of CAM system, and clarified disadvantages of simulation in CNC machine control system.

Key words: simulation, verification, machining, CAM, control system.

Obsah

Obsah.....	7
Zoznam ilustrácií.....	9
Zoznam tabuliek.....	10
Zoznam skratiek a značiek.....	11
Úvod.....	12
1 Prehľad o súčasnom stave	13
1.1 CA systémy	13
1.2 Počítačom podporovaný systém CAM.....	15
1.2.1 Rozdelenie CAM systémov.....	17
1.2.2 Postprocesory	18
1.3 NC a CNC stroje	18
1.4 Programovanie CNC strojov	19
1.4.1 Ručné programovanie v ISO kóde	20
1.4.2 Dielenské programovanie.....	24
1.4.3 Programovanie pomocou CAM systémov	26
1.5 Simulácia obrábania	27
1.6 Verifikácia obrábania	28
1.7 Simulácia a verifikácia v CAM systéme	29
1.8 Simulácia a verifikácia v riadiacom systéme stroja	30
1.9 Porovnanie simulácie a verifikácie v CAM systéme a v RS CNC stroja.....	33
2 Cieľ práce.....	35
3 Metodika práce.....	36
4 Výsledky práce	38
4.1 Definícia aplikácie simulácie a verifikácie	38
4.2 Výber systémov pre porovnanie.....	38
4.2.1 Unigraphics NX5	39
4.2.2 Heidenhain iTNC 530	40
4.3 Popis simulácie a verifikácie vo vybraných systémoch.....	41
4.3.1 Popis simulácie a verifikácie v Unigraphics NX5	42
4.3.2 Popis simulácie a verifikácie v Heidenhain iTNC 530	43
4.4 Výber hodnotiacich kritérií	44
4.5 Výber súčiastky	45

4.6	Tvorba riadiaceho programu obrábania súčiastky	47
4.6.1	Tvorba riadiaceho programu v Unigraphics NX5.....	47
4.6.2	Tvorba riadiaceho programu v Heidenhain iTNC 530	48
4.7	Ilustrácia na príklade vo vybraných systémoch	49
4.7.1	Ilustrácia v Unigraphics NX5.....	49
4.7.2	Ilustrácia v Heidenhain iTNC 530	53
4.8	Zhodnotenie na základe vybraných kritérií.....	57
5	Diskusia	59
	Návrh na využitie výsledkov	60
	Záver.....	61
	Zoznam použitej literatúry.....	63

Zoznam ilustrácií

Obr. 1 Zápis riadiaceho programu v ISO kóde	23
Obr. 2 Príprava programu formou dielenského programovania	25
Obr. 3 Simulácia v riadiacom systéme a hotové obrobené súčiastky (Ižol, 2008)	26
Obr. 4 Simulácia obrábania (Kontrola obrábění, 2009)	27
Obr. 5 Verifikácia dráhy nástroja (Kontrola obrábění, 2009)	28
Obr. 6 Simulácia v prostredí Vericut	29
Obr. 7 Obrazovka Manual Guide <i>i</i>	31
Obr. 8 Simulácia v riadiacom systéme na ovládacom paneli CNC stroja	32
Obr. 9 Úvodná obrazovka Unigraphics NX5	39
Obr. 10 Ovládací panel RS Heidenhain	40
Obr. 11 Obrazovka RS Heidenhain s OS Windows	41
Obr. 12 Zložitejší model v Unigraphics	42
Obr. 13 Zložitejší model v iTNC 530	44
Obr. 14 Obrábacie centrum Deckel Maho DMC 64 V linear	45
Obr. 15 Obrábaná elektróda	46
Obr. 16 Polotovár súčiastky z medi	46
Obr. 17 Technická dokumentácia s náčrtom použitia	47
Obr. 18 Riadiaci program vybranej súčiastky	48
Obr. 19 Model súčiastky v Unigraphics NX5	49
Obr. 20 Simulácia obrábania v Unigraphics NX5	50
Obr. 21 Pohľady na súčiastku v Unigraphics NX5	52
Obr. 22 Kolízia nástroja so súčiastkou v Unigraphics NX5	52
Obr. 23 Test programu	53
Obr. 24 Možnosti zobrazenia obrobku	54
Obr. 25 Simulácia v pôdoryse	55
Obr. 26 Simulácia v 3D	55

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Niektoré základné funkcie ISO kódu	21
Tab. 2 Strojné funkcie ISO kódu	21
Tab. 3 Vybrané funkcie G-kódu	22

Zoznam skratiek a značiek

CA	Computer Aided
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CLDATA	Cutter Location Data
CNC	Computer Numerical Control
DNC	Distributed Numerical Control
EIA	Electronic Industries Association
ISO	International Organization for Standardization
NC	Numerical Control
RS	Riadiaci systém

Úvod

Technický pokrok kladie na organizácie pôsobiace v oblasti strojárstva zvyšujúce sa nároky hlavne na kvalitu, konkurencieschopnosť a hospodárnosť svojich výrobkov. Organizácie pri tom berú ohľad na výrobné náklady a hlavne na znižovanie neproduktívnych výrobných časov. Čoraz viac sa v súvislosti s týmto javom spomínajú počítačom podporované systémy vo všetkých odvetviach strojárstva. Tieto progresívne metódy umožňujú efektívnejšie využívať materiál a obrábať s menšími nákladmi. Popularita venovaná CA systémom je spôsobená hlavne ich ekonomickým prínosom po zavedení do praxe. Môžeme sa stretnúť s rôznymi systémami, od rôznych výrobcov, s rozdielnym stupňom integrácie a v rôznych cenových reláciách. Organizácie však musia prejsť celým radom analýz a zhodnotiť, ktorý systém bude pre ich podmienky vhodný. Zatiaľ čo sa v minulosti technická dokumentácia a riadiaci program vytvárali ručne, dnes sú to počítačové systémy, ktoré v rámci jedného systému umožnia vytvoriť model súčiastky, riadiaci program obrábania pre akýkoľvek typ stroja a tak riadiť obrábanie. Jednoduché a intuitívne prostredie týchto systémov pomáha obsluhu rýchlo a spoľahlivo naprogramovať aj zložité súčiastky a ich riadiace programy, ktoré sú obrábané vo viacerých osiach. V minulosti vykonávala obsluha stroja skúšky riadiacich programov formou pokus - omyl. Chyby sa tak prejavili priamo na stroji, kedy mohlo prísť k porušeniu materiálu, kolízii nástrojov s obrábanou súčiastkou, alebo upínačom. Pre väčšiu efektívnosť systémov k nim bola zavedená aj simulácia a verifikácia obrábania. Táto časť systémov umožňuje obsluhu CNC obrábacieho centra vytvoriť model súčiastky a vidieť priebeh obrábania ešte pred jeho reálnym spustením. Simulácia ponúka možnosti 3D zobrazenia súčiastky spolu s dráhami nástrojov jej obrábania. Úlohou verifikácie je kontrolovať dráhy nástrojov a predchádzať prípadným kolíziám, na ktoré systémy upozorňujú. Pomocou simulácie a verifikácie obrábania môže obsluha CNC stroja ľahko zistiť aj predbežnú dĺžku obrábania. Tento údaj môžu organizácie využívať pri krátkodobom plánovaní výroby, kedy sú tieto informácie žiadané. Simulácia a verifikácia sa v praxi vykonáva dvomi spôsobmi. Prvým je simulácia v CAM systémoch a druhým spôsobom je simulácia v riadiacich systémoch CNC strojov. Porovnanie týchto dvoch spôsobov simulácie a verifikácie ďalej popisujú výsledky tejto práce.

1 Prehľad o súčasnom stave

Výrobné organizácie sú v súčasnosti nútené uvádzať na trh svoje výrobky čo najrýchlejšie, za čo najnižšiu cenu a v čo najvyššej kvalite. Je to predovšetkým dané charakterom trhu a stále vyššími požiadavkami zákazníkov, ktoré by sa organizácia vo vlastnom záujme mala snažiť plniť. V dôsledku konkurencieschopnosti je preto potrebné, aby organizácia vyrábala kvalitne, s nízkymi celkovými nákladmi, s krátkymi dodacími časmi a s vysokou produktivitou. V tejto súvislosti sa veľmi často hovorí o informačných a počítačových technológiách vo všetkých odvetviach nášho hospodárstva. Zavádzanie informačných technológií do strojárskych oblastí má veľké výhody a ekonomické prínosy. Informačné technológie sú jedným z významných nástrojov na zvýšenie flexibility procesov, zníženie výrobných nákladov, skracovanie výrobného času a v konečnom dôsledku znižovanie cien výrobkov. Tieto moderné technológie pomáhajú spĺňať čoraz prísnejšie požiadavky na kvalitu a produktivitu vo výrobe. Samotnú oblasť zavádzania informačných technológií v strojárskom odvetví predstavujú počítačom podporované systémy, teda CA systémy, ktoré majú veľký význam. Takmer všetky činnosti súvisiace s realizáciou súčiastky sú podporované CA systémami.

1.1 CA systémy

CIM je skratka Computer Integrated Manufacturing, čo znamená počítačom integrovaná výroba, ktorá spája výrobnú a inžiniersku technológiu s počítačovou technológiou. Počítačová technológia umožňuje automatizáciu činností vo všetkých etapách výroby, od začiatku, teda samotný návrh výrobku, jeho konštruovanie a zostavenie technologického postupu, naplánovanie výroby, následne výrobu výrobku, jeho kontrolu, montáž až po jeho balenie a expedíciu. Systémy počítačom integrovanej výroby sú vo väčšine prípadov zostavené spojením čiastkových automatizovaných systémov, tzv. CA systémov počítačovej podpory, pričom CA vždy značí Computer Aided. CIM v sebe spája množstvo CA systémov a tieto systémy sú integrované do ucelených celkov, ktoré spolu pôsobia v určitej oblasti realizácie výrobku komplexným spôsobom. Používajú sa na rôznych stupňoch riadenia v rôznych odvetviach priemyslu. Prihliadajúc na zložité a časovo náročné inžinierske výpočty, by nebolo možné bez počítačovej podpory vypracovať zložitejšie úlohy, ako napríklad kinematické, dynamické alebo teplotné analýzy.

Celý rad systémov predstavuje dôležitý nástroj pre zvyšovanie efektivity a produktivity práce, zvyšovanie presnosti obrábaných súčiastok a hlavne znižovanie nákladov výroby v podniku. Navyše, ak sú počítačové systémy vzájomne dátovo prepojené prostredníctvom zdieľania dát, vytvárajú vyššie celky, čím stúpa význam CA systémov v podniku. Podnik dosiahne vysokú flexibilitu vzájomným prepojením automatizovaných výrobných systémov, ako napríklad skladovanie, meranie, kontrola, transport a diagnostika, s CA systémami. Môžeme sa stretnúť s rôznymi CA systémami, s rôznymi stupňami komplexnosti a s rôznymi cenami od zahraničných, ale takisto aj tuzemských vývojových organizácií.

Počítačom podporovaný systém je nástroj, ktorý výrazne môže zvýšiť konkurencieschopnosť podniku na trhu, ale pred jeho zavedením je potrebné uskutočniť celý rad analýz a rozhodnúť sa pre taký systém, ktorý je určený na konkrétne podmienky v podniku. Zakúpený CA systém musí zohľadňovať existujúce systémy v podniku. Neexistuje jednoznačná a rýchla odpoveď, aký typ CA systému je vhodný pre konkrétne podmienky. (Kuric a i., 2002).

V súčasnosti existuje množstvo CA systémov podporujúcich jednotlivé operácie v organizácii, a to napríklad:

- CAD (Computer Aided Design) - počítačová podpora navrhovania výrobkov a tvorby konštrukčnej dokumentácie,
- ICAD (Intelligent Computer Aided Design) - inteligentný počítačom podporovaný návrh,
- CAPP (Computer Aided Process Planning) - počítačová podpora pri spracovaní technologickej dokumentácie,
- CAPPS (Computer Aided of Production Planning System) - počítačová podpora systémov plánovania a riadenia výroby,
- CAQ (Computer Aided Quality) - počítačová podpora riadenia kvality produkcie,
- CAMA (Computer Aided Maintenance) - počítačová podpora údržby technických zariadení,
- CAPE (Computer Aided Production Engineering) - počítačová podpora výrobného inžinierstva,
- CAM (Computer Aided Manufacturing) - počítačová podpora výroby na NC a CNC riadených strojoch,

- ArtCAM (Art Computer Aided Manufacturing) - počítačom podporovaný návrh, design a výroba produktov z oblasti umeleckej tvorby,
- CARC (Computer Aided Robot Control) - počítačová podpora riadenia a programovania robotov,
- CAT (Computer Aided Testing) - počítačová podpora skúšania, merania a diagnostiky,
- CATS (Computer Aided Transport and Store) - počítačová podpora riadenia medzioperačnej dopravy a skladovania,
- CAA (Computer Aided Assembly) - počítačová podpora montáže výrobkov.
- a iné.

1.2 Počítačom podporovaný systém CAM

Základným znakom CAM systémov je minimalizácia zásahov človeka do priebehu výrobného procesu prostredníctvom počítačového spracovania informácií vo výrobnom procese a výrobnom systéme (Kuric a i., 2002). Pojem počítačom podporované systémy v ľuďoch vyvoláva predstavy o počítačovom systéme, ktorý slúži na kreslenie návrhu a konštrukcie súčiastky. Teda tie systémy, ktoré označujeme ako CAD systémy. Ostatné CA systémy väčšinou potrebujú údaje spracované CAD systémom, ale majú veľký význam. CAM systémy chápeme, ako počítačovú podporu technologického procesu, alebo ako komplexnú počítačovú podporu výroby.

CAM ako počítačová podpora predstavuje softvér na tvorbu riadiacich programov pre číslicovo riadenú, teda NC (Numerical Control) výrobnú techniku. Tieto programy slúžia na automatickú výrobu súčiastok alebo celých zostáv a využívajú pritom geometrické a matematické dáta spolu s konštrukčnou dokumentáciou získané zo systému CAD. NC výrobná technika využíva programy pre riadenie vyššie spomínaných výrobných strojov, konvenčných a nekonvenčných strojov, tvárniacich a lisovacích strojov, cez ich riadiace systémy.

Súčasťou CAM systémov sú vo väčšine prípadov aj postprocesory, t. j. programy, ktoré zabezpečujú preklad geometrických dát definujúcich dráhy nástrojov do formy akceptovateľnej riadiacim systémom príslušného výrobného stroja. Súčasťou knižníc sú aj hotové postprocesory pre najpoužívanejšie riadiace systémy a taktiež moduly pre simuláciu,

umožňujúce animované zobrazenie technologického procesu. Užívateľ môže kontrolovať chronologický priebeh jednotlivých operácií, ktoré sú vykonávané na výrobku a zabrániť prípadným kolíziám nástroja s obrobkom alebo upínacími časťami výrobného stroja (Kuric a i., 2002).

CAM ako komplexná počítačová podpora výroby predstavuje automatizované operatívne riadenie výroby na dielenskej úrovni, numericky riadené výrobné systémy, automatické dopravníky a automatizované sklady.

CAM ako koncept automatizácie a počítačovej podpory výrobného procesu je dosť široký. Zahŕňa všetky činnosti spojené bezprostredne s výrobným procesom, pričom k najdôležitejším činnostiam patrí:

- riadenie vstupov do výroby,
- rozvrhovanie výroby,
- zber výrobných údajov,
- monitorovanie priebehu výroby,
- DNC, CNC a NC riadenie,
- roboty a manipulátory,
- pružné dopravné systémy,
- výrobné bunky a pružné výrobné systémy,
- nástrojové hospodárstvo a pod. (Peterka, 2002).

Na samotný výrobný proces je potrebné počítačom spracovať veľké množstvo údajov, ako údaje o procese, o zariadeniach a o výrobkoch. V súčasnosti je veľkou výhodou týchto systémov, že väčšina z nich už pracuje aj pod operačným systémom Windows, čo umožňuje širšiemu okruhu užívateľov používať CAM systémy.

CAM je finálna časť z postupu CAD - CAPP - CAM, čiže konštrukcia - technologická dokumentácia - výroba, teda ide o pretvorenie CAD dát na dáta, ktoré slúžia na výrobu súčiastky.

1.2.1 Rozdelenie CAM systémov

Súčasný systém pre počítačovú podporu výroby je možné rozdeliť podľa rozsahu a účelu do nasledovných skupín:

- Malé CAM softvéry predstavujú jednoduché aplikácie pre tvorbu NC programov obyčajne pre jeden spôsob obrábania (sústruženie, frézovanie a pod.) v malom rozsahu technologických možností a nižšej úrovni programátorskej prepracovanosti. Sú schopné efektívne riešiť simuláciu 2,5D obrábania s výstupom vo forme NC programu. Model súčiastky je prevzatý z niektorej CAD aplikácie. Cenovo sú najlacnejšie a nároky na hardvér sú minimálne.
- Stredné CAM softvéry sú cenovo náročnejšie, vyžadujú výkonnejší hardvér najmä pre oblasť geometrického modelovania a simulácie. Dokážu na profesionálnej úrovni riešiť niektoré náročné výpočty a simuláciu.
- Veľké CAM softvéry dokážu veľmi efektívne a ľahko riešiť 3D-5D obrábanie komplexných plôch s množstvom technologických variácií a širokou expertnou technologickou podporou či už pri výbere nástrojov, rezných parametrov, stratégií pohybov, ak je nástroj v zábere, alebo ak nie je v zábere tzv. podmienky nábehové a prebehové a pod. Opäť je potrebné prevziať model súčiastky vytvorený v CAD systéme (Peterka, 2002).

CAM systémy umožňujú prípravu programov pre frézovanie, ktoré je najprepracovanejšou oblasťou. Je možné využiť aj sústruženie, vŕtanie, drôtové rezanie, elektroerozívne hĺbenie a progresívne výrobné technológie, ako obrábanie plazmou, laserom a vodným lúčom. CAM systém môže podporovať len jednu zo spomínaných metód obrábania, niektoré, alebo všetky metódy obrábania.

Ďalšia vlastnosť, podľa ktorej možno CAM systémy rozdeliť, je ich komplexnosť a prepojenie na iné CA systémy, najmä CAD systémy. Podľa tejto vlastnosti rozdelíme CAM systémy na:

- CAM systémy integrované v rámci komplexných CAD/CAM/CAE systémov, pri ktorých nie sú žiadne problémy s prenosmi geometrických dát medzi časťami systémov,
- samostatné CAM systémy, ktoré možno rozdeliť do podskupín, a to komplexné CAM systémy slúžiace pre podporu viacerých technológií, špecializované CAM systémy určené pre podporu určitej technológie a CAM nadstavby

špecializovaných CAD systémov slúžiace na podporu výroby zastúpenú možnosťou generovania NC kódov pre obrábacie stroje.

1.2.2 Postprocessors

Vzhľadom na to, že existuje mnoho obrábacích strojov s rôznymi riadiacimi systémami, je potrebné preložiť vygenerované CLDATA do jazyka konkrétneho riadiaceho systému. CLDATA sú dáta, ktoré udávajú pohyby nástrojov. Na tento účel prekladanie dát slúžia tzv. postprocessors. Sú to programy, ktoré môžu pracovať:

- mimo prostredia CAM a v takom prípade vstupom do postprocessora sú práve CLDATA, výstupom je NC program pre konkrétny riadiaci systém obrábacieho stroja, alebo
- sú priamo integrované v prostredí CAD/CAM, kde je vytvorený CAD model súčiastky. Užívateľ ani nemusí postrehnúť vytvorenie súboru CLDATA, keďže je priamo generovaný súbor s NC dátami (Kuric a i., 2002).

Zložitosť postprocessorov určuje riadiaci systém, pre ktorý sú určené. Postprocessors sa rozdeľujú podľa nasledovných hľadísk:

- podľa počtu osí, pre ktoré sa generuje súčasný pohyb nástroja alebo súčiastky na jednoosový, dvojosový, trojosový, štvorosový a päťosový postprocessor,
- podľa počtu riadiacích systémov, pre ktoré sa generuje NC program napr. pre jeden, dva a viac riadiacích systémov,
- podľa typu generovaných NC dát na diskkrétne postprocessorsy a splinové postprocessorsy (Kuric a i., 2002).

1.3 NC a CNC stroje

Číslicové riadenie je momentálne najvyšší stupeň programového riadenia výrobných strojov a zariadení. Číslicový riadiaci systém je technický systém riadenia pohybov výrobného stroja, sledujúci podmienky výrobného procesu a vykonávajúci pohyby nástroja k obrobku. NC výrobné stroje sa najčastejšie používajú v oblasti obrábania tvarovo zložitých súčiastok s krivkovými plochami na obrábacích centrách. Druhou oblasťou použitia je bežná malosériová výroba jednoduchých súčiastok. Výrobné postupy sú riadené podľa určeného programu prostredníctvom príslušných zariadení. Pri vývoji týchto strojov

sa používa pojem generácia. Generácia rozlišuje jednotlivé obdobia vývoja NC strojov charakterizované novými konštrukčnými princípmi. Číslicové riadenie vychádza z modernizácie a postupne nahrádza činnosti človeka vo výrobnom procese.

Podľa nadväznosti na zariadenia výpočtovej techniky NC riadenie rozdeľujeme na:

- NC, je také číslicové riadenie, kde klasickému číslicovému riadiacemu systému je program zapísaný v strojovom kóde riadiaceho systému odovzdaný offline. Je historicky prvotným a stále najrozšírenejším spôsobom.
- CNC, je počítačové číslicové riadenie, kde číslicový riadiaci systém a samočinný počítač tvorí vďaka trvalej vzájomnej väzbe typu online, vlastne jeden organický celok.
- DNC, alebo priame číslicové riadenie, kde sa číslicový riadiaci systém stáva prvkom výpočtového systému pracujúceho v režime zdieľania času (Havrila, 2005).

NC obrábacie stroje sú univerzálne a sú schopné pružne reagovať na zmeny vo výrobe. Konštrukcia týchto strojov a ich riadiace systémy umožňujú súčasný pohyb medzi nástrojom a obrobkom v troch alebo viacerých osiach. Na riadenie obrábacích strojov slúžia riadiace programy, ktoré potrebujú informácie o geometrii obrábania (rozmery obrobku, smer dráhy), o technológii obrábania (rýchlosť posuvu, otáčky vretena) a informácie potrebné k organizácii programu (štart, stop programu). Tieto informácie sa automaticky spracujú a slúžia ako podklad k riadeniu. Ručne sa vkladajú informácie do riadiaceho systému napríklad pomocou klávesníc. Z dôvodu jednodoty používania boli vytvorené na programovanie štandardné kódy EIA a ISO kód, ktorý postupne nahrádza kód EIA.

1.4 Programovanie CNC strojov

Pod programovaním CNC strojov rozumieme tvorbu riadiacich programov pre obrábanie obrobku na číslicovo riadenom obrábacom stroji. Súčasťou obrábacích strojov je ich CNC riadiaci systém. V strojárskych oblasti sa používa niekoľko CNC programovacích riadiacich systémov, ktoré sú súčasťou CNC stroja a najpoužívanejšie z nich sú napríklad Siemens, Fanuc, Heidenhain a iné. CNC riadiace systémy pozostávajú z vlastných programovacích jazykov a obsahujú svoje NC kódy. Tieto kódy tvoria výsledný riadiaci program, na základe ktorého vzniká výsledná súčiastka. Štruktúra, význam a syntax NC

kódov sú rôzne pre spomínané typy CNC riadiacich systémov. Môžu byť však podobné, preto pri tvorbe riadiaceho programu je potrebné rešpektovať pravidlá špecifické pre každý CNC riadiaci systém. Riadiaci program obsahuje informácie o súčiastke, o technologických podmienkach výroby a identifikačné údaje o stroji a o súčiastke.

Riadiace programy sa môžu teda zadávať ručne pomocou NC kódov alebo modernejším spôsobom pomocou už spomínaných CAD/CAM systémov. Ku CAD/CAM systémom sú potrebné špeciálne programovacie nástroje, ktoré zadávaním údajov umožňujú graficky zobrazit' riadiaci program. Pomocou grafickej simulácie je možné skontrolovať riadiaci program na monitore pred jeho spustením. Preto s prihliadnutím na tieto vlastnosti je programovanie CNC strojov prostredníctvom CAM systémov výhodnejšie. Prináša množstvo výhod z hľadiska komfortu práce užívateľa, z ekonomického hľadiska a z hľadiska využitia možností CNC stroja.

Na prípravu CNC riadiacich programov obrábania sa využívajú tieto spôsoby programovania:

- ručné programovanie v ISO kóde,
- dielenské programovanie,
- programovanie pomocou CAM systémov.

1.4.1 Ručné programovanie v ISO kóde

Ručné programovanie s ručným vstupom údajov je klasický spôsob technologickej prípravy výroby. Pracovník sám pripravuje technologický postup obrábania. Riadiaci program je potrebné vyjadriť reťazcom príkazov a uložiť ich pomocou ovládacieho panelu do pamäti riadiaceho systému CNC stroja. Programovanie týmto spôsobom sa používa na obrábanie jednoduchých súčiastok, pretože zadávanie riadiaceho programu je zdĺhavé. U starších strojov sa vyskytuje problém nevyužitia stroja počas prípravy riadiaceho programu. Ak má program viac ako 30 príkazov, čas na jeho zadávanie je dlhý a tak dochádza k časovým stratám. Súčasné riadiace systémy už umožňujú počas zadávania riadiaceho programu do pamäte aj súbežne s tým vykonávať obrábanie súčiastky. Tento spôsob programovania však vyžaduje poznať význam príkazov a funkcií, formát zápisu riadiaceho programu, štruktúru a stavbu riadkov pre konkrétny riadiaci systém. Hlavne je veľmi pracné počítať súradnice každého dôležitého bodu pohybu obrábacieho nástroja.

Riadiaci program je tvorený reťazcom príkazov, znakov, ktoré sa zadávajú pomocou ISO kódu do pamäti riadiaceho systému. ISO kód je programovací jazyk, ktorý riadi CNC obrábacie stroje. Obvykle sa kód začína písmenami G alebo M, ktoré predstavujú základ riadiaceho programu. Za písmenom nasleduje číselná hodnota bližšie popisujúca konkrétnu akciu. Z tohto je odvodený aj často používaný názov G-kód a M-kód. K týmto kódom sa dopĺňajú ďalšie, ktoré na ne priamo nadväzujú. V tabuľke (Tab. 1) sú popísané príklady niektorých funkcií, s ktorými sa pracuje.

Tab. 1 Niektoré základné funkcie ISO kódu

X	absolútna pozícia na osi X
Y	absolútna pozícia na osi Y
Z	absolútna pozícia na osi Z
M	strojné funkcie
F	posuv
S	otáčky vretena
L	cykly obrábania
N	číslo riadku
T	výber nástroja
R	polomer oblúka
D	priemer nástroja
H	rozmer nástroja

Strojné funkcie M obsahujú funkcie, ktoré ovládajú CNC stroj napríklad z hľadiska spustenia a ukončenia priebehu riadiaceho programu. Niektoré funkcie sú pre príklad uvedené v tabuľke (Tab. 2).

Tab. 2 Strojné funkcie ISO kódu

M0	naprogramované zastavenie
M1	zastavenie programu obsluhou
M2	koniec programu
M3	otáčanie vretena v smere hod. ručičiek
M4	otáčanie vretena proti smeru hod. ručičiek
M5	zastavenie vretena
M6	výmena nástroja
M7	prívod chladiacej/mazacej zmesi
M9	zastavenie prívodu chladiacej/mazacej zmesi
M30	koniec a reset programu

Písmeno G, teda G-kód predstavuje hlavnú funkciu, ktorá hovorí CNC stroju, akú akciu má vykonať. Tieto funkcie ovládajú stroj z hľadiska pozície nástroja. Niektoré funkcie G-kódu sú vybrané a popísané v tabuľke (Tab. 3).

Tab. 3 Vybrané funkcie G-kódu

G00	rýchloposuv z bodu do bodu
G01	posuv s lineárnou interpoláciou
G02	kruhov interpolácia v smere hod. ručičiek
G03	kruhov interpolácia proti smeru hod. ručičiek
G04	výdrž
G26	skok do podprogramu
G33	rezanie zvtu
G40	zrušenie korekcie nástroja
G41	korekcia drahy nástroja vľavo
G42	korekcia drahy nástroja vpravo
G43	korekcia drahy nástroja kladna
G44	korekcia drahy nástroja zporna
G74	cyklus frezovania drážky
G75	cyklus pre kruhov vybranie
G76	cyklus pre obrábanie na kružnici
G81	vtac cyklus
G83	vtac cyklus s výplachom
G85	vystruovc cyklus
G90	absolútna súradnica
G91	relatívna súradnica
G92	nastavenie pamäti
G94	rýchlosť posuvu v mm/min.
G95	posuv na jednu otáčku v mm
G96	zadanie konštantnej reznej rýchlosti
G97	zrušenie G96, zadanie otáčok v min ⁻¹

Riadiaci program sa pomocou zabudovanej klávesnice stroja zadava ručne do riadiaceho systému. V inom prípade stai akykolvek textov editor v počítači, v ktorom je mone riadiaci program zhotoviť, a z ktorého je mone data preniesť do CNC riadiaceho systému.

Pri tejto možnosti nie je potrebne stáť pri stroji a zadava príkazy ISO kódu priamo do neho. Informácie vo forme ISO kódu sa prensaj napríklad pomocou sériového portu, alebo pomocou USB. V súčasnosti je mone CNC stroje prepojiť počítačovou sieou a tak informácie zdieľať v ramci internej počítačovej siete v organizácii.

Pre zhotovenie riadiaceho programu je potrebné poznať informácie:

- o type CNC stroja a jeho riadiaceho systému,
- aké má vybavenie nástrojov a technologické podmienky obrábania, ako napríklad rezná rýchlosť a posuv,
- o súčiastke resp. o polovýrobku, jeho technologické výkresy, druh, tvar a rozmery, ako aj požadovaný tvar a rozmery po obrábání.

Pri zápise riadiaceho programu je potrebné poznať postupnosť jednotlivých krokov obrábania. Základným krokom je stanovenie nulového bodu. Nulový bod obrobku je začiatok, od ktorého vychádzajú všetky súradnice riadiaceho programu. Nulový bod sa nastavuje ručne pomocou kalibračných meradiel alebo sond alebo automaticky pomocou sond a nájazdového NC programu. Druhým základným krokom je nastavenie dĺžok a priemerov nástrojov do tabuľky nástrojov. Správne nastavenie priemeru nástrojov je predpokladom pre správnu funkciu nástroja.

Každý riadiaci program má hlavičku, teda príkazové riadky, ktoré jasne popisujú typ CNC riadiaceho systému a spôsob, akým je program vykonávaný. Riadky zápisu sú označované písmenom N s poradovým číslom riadku, za ktorým nasleduje funkcia, ktorá ďalej popisuje výmenu nástroja, zmenu otáčok alebo posuv nástroja na zadaný bod určený osami X, Y a Z. Kód M30 predstavuje koniec programu a zastaví vykonávanie príkazov. Ďalšie riadky pod ním sú ignorované. Na Obr. 1 je možné vidieť zápis jednoduchého riadiaceho programu v ISO kóde a postupnosť krokov zápisu.

```
*****
N 10  M6                                T10
N 15  M3                                S1000
N 30  G0      X14      Y11
N 40  G1                                Z-12      F100
N 50  G0                                Z5
N 60  G0      X39      Y24
N 70  G1                                Z-20
N 80  G0                                Z5
N 90  G0      X68      Y15
N 100 G1                                Z-12
N 110 G0                                Z5
N 120 G0      X-20     Y-10
N 130 M6
N 131 M3                                T5
N 140 G0      X0       Y0                                S500
N 150 G1                                F100
N 160 G1                                Z-1
N 170 G1      X82      Y35
N 180 G1      X0       Y0
N 190 G1      X0
N 200 G0                                Z100
N 210 G0      X0       Y0
N 220 M30
```

Obr. 1 Zápis riadiaceho programu v ISO kóde

Sú ustanovené všeobecne platné pravidlá pre používanie G-kódu a M-kódu, ktoré vniesli poriadok do používania základných príkazov tak, aby vyššie uvedené funkcie platili pre CNC stroje riadené štandardnými riadiacimi systémami. Základné pravidlo je, že riadiace systémy CNC strojov nerozoznávajú diakritiku, čo býva častou príčinou nefunkčnosti programu. Napriek týmto pravidlám výrobcovia CNC riadiacich systémov majú vlastné doplnkové kódy a funkcie. Informácie o nich sa dajú nájsť v návode na obsluhu daného CNC obrábacieho stroja.

1.4.2 Dielenské programovanie

Dielenský spôsob programovania bol vyvinutý preto, aby nahradil neefektívne používanie ručného programovania pomocou ISO kódu. Cieľom bolo využiť čas, kedy obsluha dohliada na pracujúci CNC stroj. Za tento čas môže pripraviť riadiaci program pre iné obrábanie súčiastky. Dá sa povedať, že je to nastavba súčasných riadiacich systémov a má nahradiť programovanie ISO kódom, ktoré bolo dostupné v starších verziách riadiacich systémov strojov. Dielenské programovanie umožňuje priamo v dielni pri CNC stroji vytvoriť riadiaci program veľmi jednoducho a intuitívne. Tiež ide o ručné zostavenie riadiaceho programu za pomoci ISO kódu, ale výhodou tohto spôsobu je grafické rozhranie a preddefinované kroky. Obsluha stroja tak nepotrebuje poznať význam funkcií riadiaceho programu, pretože táto grafická nastavba riadiaceho systému ponúka možnosti ovládania dráhy nástroja. Obsluha ľahšie porozumie textu spolu s grafickou ikonou, ako len textu, preto môže intuitívne a rýchlo navrhnuť riadiaci program.

Každý výrobca už spomínaných riadiacich systémov má vlastnú grafickú nastavbu riadiaceho systému, ktorá umožňuje intuitívne programovanie. Japonský výrobca Fanuc má grafickú podporu Manual Guide *i*, nemecká firma Heidenhain má moderný systém dielenského programovania iTNC-530, JobShop je nástroj nemeckej firmy Siemens. Tieto systémy sú vyvinuté na takej úrovni, aby užívateľovi umožnili vykonávať často krát nevyhnutnú simuláciu a verifikáciu obrábania.

Podstata každej grafickej podpory je rovnaká. Obsluha má k dispozícii technologické postupy operácií, ktorými vyplňa tabuľky. Na obrazovke v dialógovom okne sa zadávajú parametre, pri ktorých je ikona so znázorneným významom týchto parametrov (Obr. 2). Preto zadávanie programu v niektorých prípadoch pripomína skôr návrh technologického

postupu, ako tvorbu riadiaceho programu. Zadávanie riadiaceho programu je priamo kontrolované riadiacim systémom, ktorý vyhlási upozornenie, keď zistí nevhodné zadanie parametrov. Taktiež kontroluje dráhu nástroja, aby nedošlo ku kolízii s obrobkom alebo upínačom. Konečná grafická simulácia dáva obsluhu obraz o priebehu obrábania. Súčasne s ňou je zobrazovaný aj čas obrábania.

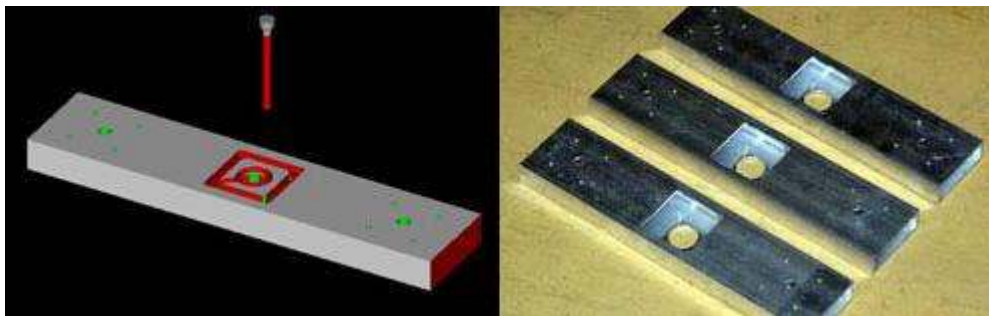


Obr. 2 Príprava programu formou dielenského programovania

Pre vytvorenie riadiaceho programu dielenským spôsobom je potrebné mať základnú informáciu, ktorou je technologický postup obrábania súčiastky. Výkres uvádza základné informácie o rozmere, udáva materiál a druh polotovaru, ktoré sú rozhodujúce pri voľbe rezných parametrov. Prvý krok pred vytvorením riadiaceho programu je vytvorenie poradia nástrojov v tabuľke riadiaceho systému. Poradie určuje, na ktorom mieste v zásobníku nástrojov sa konkrétny nástroj nachádza. V tejto tabuľke sa tiež zadávajú rozmery nástroja, rezné podmienky a pod. Druhým dôležitým krokom je určenie rozmerov polotovaru a definovanie jeho polohy v upínačom zariadení.

Pre bežné tvarové úpravy, ako obrábanie po čiare, po oblúku, po kružnici a pod. sú v ponuke príkazy. Pre zložitejšie tvarové úpravy, ako drážky, otvory, čapy a podobne sú k dispozícii preddefinované cykly. Ďalšie dôležité údaje o procese, ako hĺbka rezu alebo

bezpečná vzdialenosť sú charakterizované ďalšími príkazmi. V riadiacich systémoch sú často k dispozícii aj cykly, ktoré pomocou sond umožňujú určiť polohu obrobku ešte pred spustením programu, čím sa predíde prípadnej kolízii a taktiež je možné kontrolovať rozmery obrábaných plôch súčiastky. Je možné využiť grafickú simuláciu obrábania aj počas tvorby riadiaceho programu, aj po jeho ukončení. Príklad simulácie je znázornený na obrázku (Obr. 3), kde je vľavo červenou farbou vyznačená dráha nástroja a vpravo hotové súčiastky.



Obr. 3 Simulácia v riadiacom systéme a hotové obrobky (Ižol, 2008)

Organizácia sa musí sama rozhodnúť, či tento spôsob programovania uprednostní. Je potrebné zvážiť klady a zápory jednotlivých možností, ako je jazyková vybavenosť, náklady na prevádzku, dostupnosť školení a úroveň servisu. Avšak tento spôsob programovania je vhodnejší pre organizácie, ktoré vyrábajú v kusovej a malosériovej výrobe so širokým a často sa meniacim sortimentom súčiastok. Dielenské programovanie je možné využiť aj na výcvik CNC operátorov, ktorí tak môžu lepšie pochopiť CNC programovanie operácií. Tento spôsob programovania sa javí ako veľmi prospešný, preto je možné predpokladať, že ho bude stále viac organizácií aplikovať v praxi v strojárskych organizáciách.

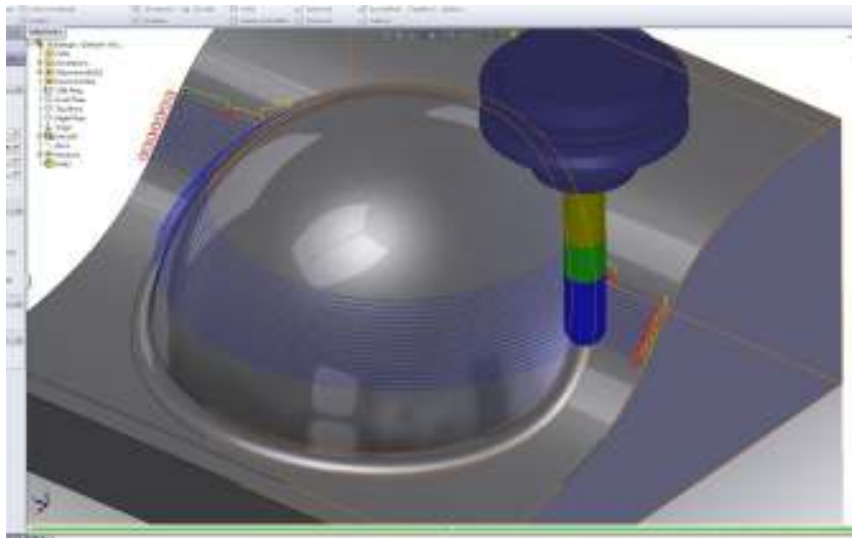
1.4.3 Programovanie pomocou CAM systémov

Programovanie pomocou CAM systému je najmodernejší spôsob programovania. Vykonáva sa na počítači, kde je nainštalovaný CAM softvér. Programátor teda nie je fyzicky priamo pri CNC stroji. V tomto prípade programovania sa tvar súčiastky modeluje v CAD systéme a následne sa údaje pošlú do CAM systému, kde sa k nemu zadávajú údaje potrebné pre obrábanie, ako údaje o stroji, o nástrojoch a technológii obrábania. Počítač po zadaní potrebných parametrov automaticky vytvorí riadiaci program. Dáta riadiaceho

programu sa pomocou postprocesorov pošlú CNC stroju, ktorý je schopný spustiť obrábanie. CAM softvér vygeneruje tieto dáta buď vo všeobecnom tvare CLDATA, ktoré sa prekladajú pomocou postprocesorov do jazyka konkrétneho CNC stroja, alebo ich vygeneruje priamo v ISO kóde CNC stroja. CAM systémy môžu pracovať v 2D aj v 3D rozhraní a sú kompatibilné s operačnými systémami Windows.

1.5 Simulácia obrábania

Simulácia je spoľahlivá kontrola 3D zobrazenia (trojrozmerné zobrazenie) obrábania obrobku. Slúži na zobrazenie obrábania presne tak, ako bude prebiehať v reálnom čase (Obr. 4), čo pomáha optimalizovať priebeh výroby a predchádzať prípadným poruchám CNC stroja.



Obr. 4 Simulácia obrábania (Kontrola obrábění, 2009)

Pri simulácii je možné vidieť obrábané plochy súčiastky, nežiaduce možné kolízie nástrojov so súčiastkami a iné, pretože pomocou simulácie je možné sledovanie všetkých súčastí CNC stroja, ako sú nástroje, ich výmenníky, držiaky, otočné stoly, hlavy a ďalšie určené objekty. Simulácia výrazne pomáha znížiť pravdepodobnosť vzniku chýb a tým sa zníži plytvanie výrobným časom pri zavádzaní nových riadiacich programov do stroja. Novšie verzie systémov umožňujú simuláciu nahráť vo forme videa.

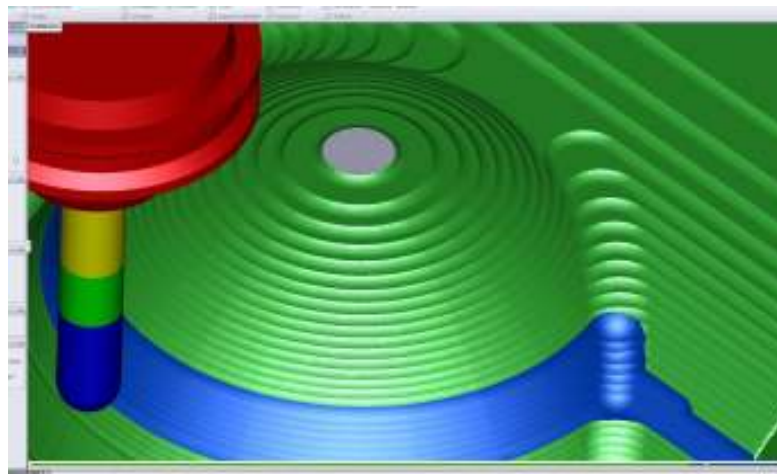
1.6 Verifikácia obrábania

Verifikácia je overenie dráhy nástroja (Obr. 5). Umožňuje obsluhu sledovať priebeh obrábania a odoberania materiálu z obrábanej súčiastky za pomoci automatickej kontroly kolízie držiaka nástrojov a upínača.

Verifikácia odhaľuje napríklad nasledovné chyby:

- nesprávne dráhy nástrojov,
- kolízie držiaka nástrojov s obrobkom,
- chyby vzniknuté v CAD/CAM systéme,
- kolízie s upínačmi,
- dotyk nástroja pri posuve,
- alebo nepochopenie programu.

Obrobená súčiastka sa porovná s vytvoreným 3D modelom, kde sa prípadné rozdiely farebne odlišia, alebo sa obrobená súčiastka porovná s 3D modelom v reze.



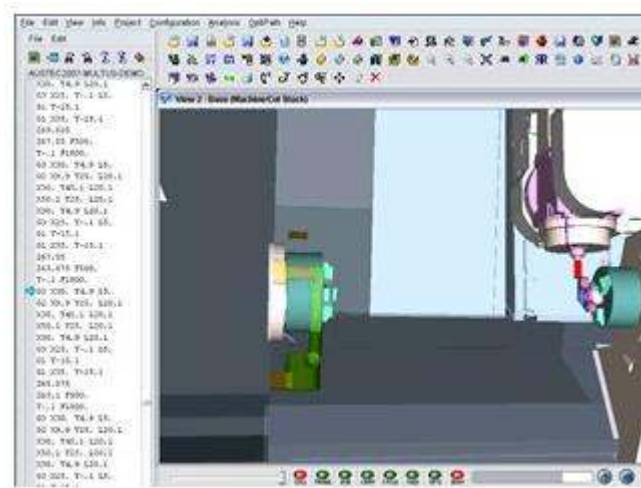
Obr. 5 Verifikácia dráhy nástroja (Kontrola obrábění, 2009)

Ďalším nástrojom kontroly dráhy nástroja je kontrola podrezania. Pomocou tejto kontroly systém chráni určitý počet obrábaných plôch, čo umožňuje lepšiu kontrolu nad dráhou nástroja, vďaka vzájomnej väzbe medzi nástrojom a chránenými plochami. Možnosť odrezat' materiál v cieľovej hĺbke odstraňuje nepotrebnú dráhu nástroja, čím minimalizuje obrábací čas a čas nutný pre výpočty obrábacích cyklov.

1.7 Simulácia a verifikácia v CAM systéme

Simulácia a verifikácia sú už súčasťou CAM systémov a ich výsledky je možné sledovať pohodlne priamo na monitore počítača. Obsluha teda nemusí fyzicky stáť pri stroji, ale môže spoza stola zadávať príkazy. Značne populárne v simulácii a verifikácii obrábania sú aj samostatné simulačné softvéry, akým je napríklad aj NCSIMUL, Predator Virtual CNC, CNC Simulator, Eureka, IMSverify, alebo Vericut (Obr. 6).

Tieto softvéry sú pomocou svojich knižníc kompatibilné so všetkými používanými CAM systémami. Je možné si ich samostatne zakúpiť a vykonávať na nich potrebné simulácie a verifikácie. Finančne sú tieto softvéry náročnejšie, preto sa do simulačných softvérov oplatí investovať pri veľkých objemoch produkcie kusových výrobkov. Presne simulujú obrábacie prostredie vrátane viacosého obrábania, komplexných funkcií riadiacich systémov, rýchloposuvov, kolízií s držiakom, s upínačom a iné. Umožňuje použiť rovnaký systém pre kontrolu riadiaceho programu z ľubovoľného CAM systému, ale aj ručne vytvoreného riadiaceho programu. Výhodou je vyššia forma optimalizácie dráh rezných podmienok.



Obr. 6 Simulácia v prostredí Vericut

S presne zadanými údajmi o obrábacom CNC stroji, spolu s presným zobrazením hláv nástrojov, vretien a ostatných pohyblivých častí CNC stroja je dnes možné sledovať simuláciu obrábania na veľmi vysokej úrovni. V CAM systéme sa vymodeluje virtuálna realita, ktorá simuluje skutočnosť, tak namiesto sledovania priebehu reálneho procesu obrábania sa sleduje ako sa správa model v simulácii. Je ale potrebné poznamenať, že

simulácii predchádza podrobná analýza, ktorej výsledky môžu poukázať na nežiaduce nedostatky, ktoré je následne možné odstrániť a predísť tak problémom. Simulácia v CAM systéme umožňuje zväčšovať, zmenšovať model, vytvoriť model v reze a zobraziť oblasti, ktoré nie sú viditeľné, keď je model plne zobrazený.

Simulácia pri aktívnom využívaní šetrí neproduktívny čas, ktorý je spájaný napríklad so zadávaním vhodnej dráhy nástroja, alebo hľadaním správneho upnutia obrobku do stroja. Existujú CAM softvéry, ktoré podporujú špeciálny spôsob zobrazenia obrábaného povrchu vo vysokých detailoch, kedy sa dá napríklad posúdiť, či sa správne napojili jednotlivé dráhy nástrojov už počas simulácie na počítači. Dokonca je možné na nich nastaviť okruh prílišného priblíženia sa jednotlivých častí CNC stroja a odhaliť tak chyby v riadiacom programe.

Simulácia v CAM systémoch má veľmi presnú detekciu chýb, ktoré sú zvyčajne farebne odlišené, aby bolo možné zistiť, ktorá dráha nástroja zodpovedá vyznačenej chybe. Obsluhu na kolíziu, alebo inú chybu upozorní výstražné okno s upozornením. Všetky chyby sa zaznamenávajú do vyčlenených súborov. Verifikácia dráhy nástroja zobrazuje úber materiálu a obsluha stroja vidí reálny pohľad na obrobok, vrátane detailu na povrch obrobku. Pri zistení chyby v dráhe nástroja sa simulácia automaticky zastaví a pre ďalšie jej pokračovanie je nutné povoliť spustenie.

1.8 Simulácia a verifikácia v riadiacom systéme stroja

Simulácia a verifikácia obrábania je v riadiacich systémoch samostatným funkčným modulom, v mnohých prípadoch tzv. nadstavbou k riadiacemu systému. Modul simulácie môže byť súčasťou riadiacich systémov, alebo môže byť voliteľný. To znamená, že zákazník sa môže pri kúpe rozhodnúť, či bude pre neho simulácia potrebná, alebo nie. Simulátor Manual Guide *i* od spoločnosti Fanuc (Obr. 7) modeluje na obrazovke počítača celé prostredie riadiaceho systému. Táto grafická nadstavba k riadiacemu systému si nevyžaduje žiadny prídavný hardvér. Riadiaci program sa tak dá vyskúšať na počítači pred inštaláciou do riadiaceho systému. V súčasnosti sú na trhu aj externé systémy, ktoré simulujú prostredie CNC strojov. Takýto spôsob simulácie je výhodný aj v oblasti výučby a praktických cvičení.



Obr. 7 *Obrazovka Manual Guide i*

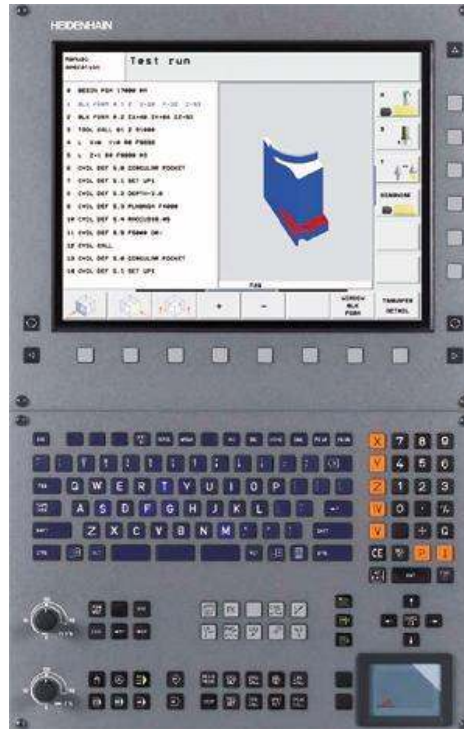
Pomocou grafickej simulácie v riadiacom systéme sa dá jednoducho overiť riadiaci program obrábania. Realisticky zobrazuje akým určeným typom nástroja je povrch obrábaný. Vďaka 3D modelu obrobku v simulácii je možné sledovať všetky operácie ako v skutočnosti. Hlavnou výhodou je možnosť spustiť grafickú simuláciu obrábania bez spustenia skutočného obrábania na CNC stroji.

Medzi základné funkcie simulácie v riadiacom systéme CNC stroja patrí:

- spustenie simulácie pre aktuálny program,
- návrat na začiatok simulácie programu,
- prerušenie simulácie,
- zastavenie simulácie,
- koniec simulácie,
- voľba rýchlosti pohybu simulácie,
- výpočet času obrábania.

Spustenie grafickej simulácie obrábania si vyžaduje, aby bol zadaný tvar obrobku a tvar použitého nástroja, ak ich je viac, tak všetky musia byť definované. Simuláciu je možné spustiť aj počas tvorby programu, alebo po ukončení jeho vytvárania. Počas tvorby je ale nutné rozpracovaný program uložiť a až potom je možné spustiť simuláciu. Táto funkcia patrí k základným možnostiam súčasných riadiacich systémov. Operácie ako pohyb, alebo zmena mierky musia byť vykonané pred spustením simulácie. Prípadné

zmeny v priebehu simulácie sa aktuálne neprejavajú. Simulácia tiež umožňuje kontrolu porušenia obrysu v priebehu grafickej simulácie. Ak je táto kontrola zapnutá a dôjde ku kolízii nástroja s obrobkom, zobrazí sa upozornenie a kolidujúce časti sa farebne odlišia.



Obr. 8 Simulácia v riadiacom systéme na ovládacom paneli CNC stroja

Príkaz Štart spustí simuláciu obrábania, pred ktorou prebehne automatická kontrola riadiaceho programu. Tá však kontroluje iba väzby a postupnosť medzi jednotlivými blokmi programu. Nie je možné odhaliť chyby nesprávneho nástroja alebo obrobku.

Simuláciu je možné sledovať aj po jednotlivých krokoch spôsobom Blok po bloku a obrobok si prehliadnuť v priestore. Týmto spôsobom sa vždy vykoná len jeden blok programu a riadiaci systém bude čakať na ďalší príkaz od obsluhy. Program je možné kedykoľvek prerušiť a to zvyčajne tlačidlom ESC. Spôsob Blok po bloku sa využíva hlavne pri hľadaní chýb, ale je potrebné vedieť, že zmeny sa nedajú zapísať do riadiaceho programu, pokiaľ nie je jeho priebeh ukončený.

Pri simulácii spôsobom Štart od kurzoru sa priebeh programu spustí od miesta, kde je aktuálne umiestnený kurzor. To umožňuje rýchlejšiu kontrolu skúmaného úseku. Samozrejme je tiež kedykoľvek možné prerušiť program. Štart od kurzoru musí spĺňať

podmienky k správnej funkcii. Jedna z podmienok je napríklad výber správneho nástroja, ak sa simulácia spúšťa po výbere nástroja. Ak nie sú splnené niektoré podmienky, riadiaci systém na to upozorní dialógovým oknom na obrazovke. Tento spôsob simulácie je možné vykonať aj naopak, teda spustiť simuláciu a pri kurzore sa program zastaví.

Ďalšie funkcie ako napr. Aktuálny blok umožňuje spustiť len simuláciu bloku, na ktorom je kurzor. Funkcia Stop ukončí priebeh programu a funkcia Prerušenie ponúka možnosť pokračovať v programe, alebo jeho ukončenie. Prerušenie po bloku preruší priebeh po dokončení bloku a ďalej je možné sa rozhodnúť, ako sa bude pokračovať.

V simulácii je možné si nastaviť aj spôsob zobrazenia. Ponúkané možnosti sú napr. simulácia v reze, pohľad na súčiastku, alebo polovica súčiastky je v reze a druhá polovica je priamy pohľad. Taktiež je možné si nastaviť viditeľnosť nástroja, dráhy nástroja a viditeľnosť obrobenej plochy. Farebne je možné odlíšiť nástroj, reznú časť nástroja, obrobok a jeho hrany a iné. Nastaviť sa dá aj priebeh simulácie a to o koľko mm sa bude posúvať nástroj, čím vyššie číslo, tým bude simulácia rýchlejšia. Simulácia v riadiacom systéme je schopná graficky zobrazit' aj externe generované programy z CAM systémov.

1.9 Porovnanie simulácie a verifikácie v CAM systéme a v RS CNC stroja

V posledných rokoch je simulácia a verifikácia veľmi populárna, pretože so sebou prináša množstvo výhod, ktoré šetria čas, peniaze a v konečnom dôsledku zefektívňujú výrobu. Užívatelia CNC strojov si teda kladú otázku, čo je pre ich výrobu efektívnejšie, či si zaobstaráť CAM systém, alebo vybaviť CNC stroj simuláciou, ak ju ešte neobsahuje. Pritom berú do úvahy niekoľko hodnotiacich kritérií, napr. náročnosť obsluhy, skúsenosti s využívaním simulácie, cenovú dostupnosť, jazykovú lokalizáciu, alebo univerzálnosť použitia simulácie. Výrobca riadiacich systémov Siemens, ako jediná spoločnosť, ponúka CAM systém a riadiaci systém pre obrábanie. Spojenie tohto CAM systému a riadiaceho systému je prepojené vo všetkých CNC strojoch, ktoré sú vybavené riadiacim systémom Siemens Sinumerik. Hlavnou výhodou je zlepšenie výkonnosti CNC stroja.

Ako výhodnejší spôsob simulácie a verifikácie riadiaceho programu sa javí simulácia v CAM systéme. Tento spôsob simulácie značne šetrí čas pri generovaní dráh nástroja,

zvlášť pri komplikovaných tvaroch súčiastok. Funkcie v CAM systémoch sú natoľko prepracované, že obsluha rýchlo a presne vie posúdiť, či je riadiaci program v poriadku. CAM systémy ponúkajú možnosti simulácie aj viacosého obrábania, čo nie všetky riadiace systémy CNC strojov podporujú. Simulácia je v CAM systéme prehrávaná pomocou plnohodnotnej 3D technológie. Obsluha, resp. programátor, fyzicky nestojí priamo pri CNC stroji, ale z pohodlia od stola môže na monitore počítača sledovať simuláciu, zatiaľ čo CNC stroj môže obrábať. Na zložité súčiastky a výpočty s nimi súvisiace je potrebné si zaobstarat' počítač s výkonnejším hardvérom, čo môže byť finančne náročnejšie, ale v konečnom dôsledku rýchle paralelné výpočty počas simulácie šetria čas.

Trendy vo vývoji simulácie a verifikácie obrábania určujú najmä atribúty ako výkon, variabilita, integrácia, presnosť a čím ďalej žiadanejšia ekológia. CAM systémy a riadiace systémy CNC strojov prešli dlhým vývojom. Stále novšie požiadavky na výrobné organizácie ich nútia hľadať riešenia s výhodným pomerom ceny a výkonu. V minulosti boli na trhu dostupné systémy, ktoré umožňovali 2, či 3-osé obrábanie a užívateľovi boli dostupné funkcie, ktoré boli výsadou iba high-end systémov. V súčasnosti je to už 4 a 5-osé obrábanie a systémy si dokážu automaticky nájsť a vypočítať potrebné parametre.

Vývoj CAM systémov rýchlo napreduje a výrobcovia sa snažia čo najlepšie vyhovieť požiadavkám svojich zákazníkov a čo najviac im uľahčiť prácu so softvérom. V blízkej budúcnosti sa budú zameriavať na zlepšenie procesu vývoja produktu pomocou zjednodušených postupov návrhu dokumentácie a odovzdania do výroby. Ďalej na efektívnejšie využitie pamätí a tým zvýšenie výkonu, zvlášť pri práci so zložitými súčiastkami a zostavami. Veľký dôraz sa bude klásť na unikátne zobrazenia pohľadov zostáv vo fotorealistických obrázkoch a animáciách.

Riadiace systémy vo vývoji nezaostávajú. Výrobcovia sa zameriavajú na čoraz jednoduchšie programovanie priamo na mieste, bez ohľadu na to, o aký druh obrábania ide. Dôležitá bude možnosť sledovať viac funkcií stroja na jednej obrazovke. Samozrejmosťou bude kvalitné 3D zobrazenie simulácie a možnosť zobrazit' viac dráh nástrojov súčasne.

2 Cieľ práce

Cieľom mojej diplomovej práce je porovnať spôsoby simulácie a verifikácie obrábania v systéme počítačovej podpory výroby a v riadiacom systéme číslicovo riadeného obrábacieho stroja. Simulácia a verifikácia sú prvkami digitalizácie procesov v organizácii, preto má diplomová práca za úlohu priblížiť možnosti simulácie obrábania a z toho vyplývajúce výhody a nevýhody týchto spôsobov. Preto je cieľom diplomovej práce popísať potenciál bližšie špecifikovaných spôsobov simulácie a verifikácie, aktuálne trendy v simulácii a vízie do budúcnosti, akým smerom by sa mohla simulácia a verifikácia obrábania v riadiacich systémoch CNC strojov a CAM systémov uberať.

3 Metodika práce

Pre splnenie požadovaného cieľa mojej diplomovej práce bude potrebné postupovať podľa nasledovných krokov:

- definícia aplikácie simulácie a verifikácie,
- výber systémov pre porovnanie,
- popis simulácie a verifikácie vo vybraných systémoch,
- výber hodnotiacich kritérií,
- výber konkrétnej súčiastky,
- tvorba riadiaceho programu pre vybranú súčiastku v CAM systéme a v riadiacom systéme CNC stroja,
- ilustrácia na príklade v CAM systéme a v riadiacom systéme CNC stroja,
- rozbor a zhodnotenie na základe vybraných kritérií.

Hodnotiace kritériá, na základe ktorých som sa rozhodovala pre vybrané systémy:

- stupeň integrácie - či je simulácia súčasťou základného vybavenia alebo je potrebné ju dokúpiť zvlášť v samostatnom balíku,
- stupeň náročnosti obsluhy - či je potrebné špeciálne školenie na zvládnutie obsluhy alebo obsluhu zvládne aj osoba so základnými znalosťami programovania RS,
- skúsenosti z využiteľnosti simulácie - či sa simulácia často využíva v obrábaní alebo ju obsluhujúce osoby radšej obchádzajú a spustia obrábanie stroja naprázdno,
- jazyková lokalizácia - v akých jazykoch sú vybrané systémy dostupné,
- cena - v akých cenách sa pohybujú systémy na trhu,
- univerzálnosť - či je simulácia použiteľná aj na zložitejšie simulácie, alebo len na jednoduché, napr. či sú obmedzenia v počte osí, aký je spôsob zobrazenia a možnosti kontroly obrobku, nástroja, upínača, častí stroja atď.

V praxi sa používa niekoľko riadiacich systémov CNC strojov. Tie najpoužívanejšie a najznámejšie z nich sú Fanuc, Heidenhain, alebo Siemens. CAM systémy, ktoré sa v praxi najčastejšie vyskytujú, sú napríklad ProEngineer, PowerMill, AlphaCAM, SurfCAM, EdgeCAM, GibbsCAM a iné.

Základné skúsenosti mám s riadiacim systémom Sinumerik a s CAM systémom ProEngineer. Na základe skúseností a vyššie uvedených hodnotiacich kritérií som sa

rozhodla vykonať porovnanie simulácie a verifikácie obrábania v riadiacom systéme Heidenhain iTNC 530 a v CAM systéme Unigraphics NX5 vo firme HTP Slovakia Vráble s.r.o., ktorá sa predovšetkým zaoberá vstrekovaním plastov. Zástupcovia firmy boli ochotní splniť moje podmienky, mali potrebné technické vybavenie a k dispozícii bol vyškolený programátor, oprávnený vykonávať pracovné úkony na CNC stroji, ako aj v CAM systéme Unigraphics NX5.

4 Výsledky práce

4.1 Definícia aplikácie simulácie a verifikácie

Udržanie konkurencieschopnosti organizácie na trhu, je podmienené najmä jej flexibilitou, garanciou najkratších možných dodacích termínov a zaistením kvality produkcie. V obrábaní jej v tom výrazne pomôže simulácia a verifikácia, ktorá sa v praxi aplikuje najmä kvôli kontrole obrábania. Súčasný systém nám umožňuje sledovať už špičkovú simuláciu obrábania. Postačuje k tomu iba presný model obrábacieho stroja, nástrojových hláv a ostatných pohyblivých komponentov stroja spolu s modelom obrábanej súčiastky. Verifikácia kontroluje dráhy nástrojov, ale môžeme sa stretnúť napríklad aj so zobrazovaním úberu materiálu. Pomocou simulácie môže obsluha stroja ľahko vidieť prípadné kolízie nástroja s obrobkom, alebo iných pohyblivých častí CNC stroja, ktoré by mohli viesť k veľkým škodám, či už na obrábacom stroji a jeho súčiastiach, alebo na obrábanej súčiastke. Simulácia pri kolízii zobrazí výstražné okno s upozornením, alebo sa jednoducho zastaví.

Simulácia a verifikácia graficky znázorní model obrábanej súčiastky, priebeh obrábania a dráhy nástrojov. Ďalšie funkcie sú závislé už iba od možností jednotlivých systémov. Hlavnou výhodou aplikácie simulácie a verifikácie je zefektívnenie výroby, zníženie neproduktívnych časov obrábacích strojov a v konečnom dôsledku zníženie nákladov.

4.2 Výber systémov pre porovnanie

Pre porovnanie simulácie a verifikácie obrábania bolo potrebné vybrať vhodný CAM systém a RS CNC stroja. Aktuálne je na trhu množstvo dostupných CAM systémov od rôznych výrobcov. V praxi sa najčastejšie používa napr. ProEngineer, Unigraphics NX, PowerMill, AlphaCAM, SurfCAM, EdgeCAM, a iné. Všetky tieto CAM systémy sú natoľko prepracované, že obsluha potrebuje absolvovať školenia pre daný systém. Simulácia a verifikácia je ich súčasťou a vo väčšine systémov je využívaná a spoľahlivo spracovaná. Lokalizáciu v českom jazyku obsahuje veľká časť CAM softvérov, v niektorých prípadoch je však potrebné ňou systém dodatočne dovybaviť. CAM systém ProEngineer je pomerne náročný pre začiatočníkov, nemá dostatočne prepracovanú

simuláciu a verifikáciu, má zložité definovanie základných parametrov a veľmi vysoké nároky na hardvér pri veľkých zostavách. SurfCAM je náročný na obsluhu, vytváranie modelu nie je intuitívne a má komplikované funkcie pri zložitejšom programovaní. Patrí však medzi CAM systémy vyššej triedy a je celosvetovo uznávaný. Systém Unigraphics NX umožňuje vytvoriť celý životný cyklus súčiastky od návrhu, až po jej výrobu.

Výrobcovia riadiacich systémov CNC strojov nezaostávajú za vývojom a snažia sa svoje produkty dopĺňať o stále novšie možnosti v obrábaní, či už frézovania, sústruženia, alebo vrtania. Najpoužívanejšie riadiace systémy CNC strojov sú najmä RS Sinumerik od nemeckej spoločnosti Siemens, RS iTNC 530 od nemeckej spoločnosti Heidenhain, alebo RS Fanuc od japonskej spoločnosti Fanuc. V RS Fanuc Manual Guide *i* absentuje zobrazenie reálneho prostredia v simulácií.

4.2.1 Unigraphics NX5

Systém Unigraphics NX5 je celosvetovo uznávaný a presadzovaný CAD/CAM/CAE softvér na tvorbu celého digitálneho procesu vývoja produktu spoločnosti Siemens. Má silné postavenie na trhu vďaka obrovskej možnosti využitia systému v rôznych odvetviach, medzi ktoré patrí aj strojárstvo.



Obr. 9 Úvodná obrazovka Unigraphics NX5

Spoločnosť ponúka jednotlivé CAM moduly systému Unigraphics rozdelené do balíkov, ktoré sú rozdelené podľa zamerania na príslušné odvetvie trhu. Základná verzia je zameraná na dielenské programovanie operácií, s nenáročnými požiadavkami na

zaškolenie programátora. Naopak pre výkonné organizácie, s potrebou všestranného využitia systému a širokou voľbou parametrov, je dostupná plná verzia CAM systému Unigraphics NX5 vrátane všetkých dostupných balíkov. V základnej verzii je možné 3 osovú obrábajúcu a jeho simuláciu, modelovanie v piatich osiach je možné dokúpiť vo vyšších balíkoch. Unigraphics NX5 má veľmi dobré exportné funkcie a spoľahlivo komunikuje s riadiacimi systémami CNC strojov. Pomocou postprocesorov im posiela riadiace programy obrábajúcej súčiastky. V jazykovej lokalizácii je plne preložený do češtiny a teda ľahko dostupný aj obsluhu bez znalostí niektorého svetového jazyka. Základnou súčasťou systému je aj simulácia a verifikácia obrábajúcej, ktorá je na 99% u zákazníkov využívaná.

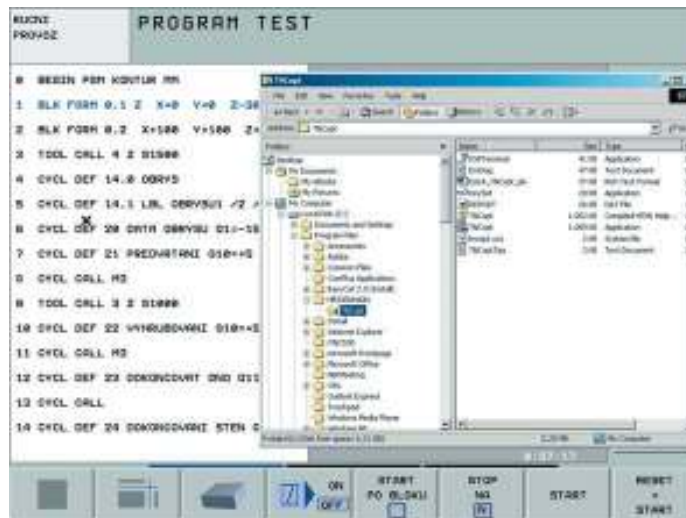
4.2.2 Heidenhain iTNC 530

Riadiaci systém iTNC 530 od spoločnosti Heidenhain je určený pre dielenské programovanie. Používa sa pre frézy, vŕtačky, ako aj pre obrábajúce centrá a môže ovládať až do 12 osí, podľa potrieb zákazníkov. Obrábajúce centrum, na ktorom bolo vykonané porovnanie je 3 osovú. Ovládací panel s klávesnicou (Obr. 10) a tlačidlá obrazovky sú prehľadné, preto je pre obsluhu možné jednoduché a rýchle navolenie funkcií. Programovanie zvládne aj začínajúci programátor so základnými skúsenosťami v oblasti programovania CNC strojov.



Obr. 10 Ovládací panel RS Heidenhain

Obrábacie centrum veľmi jednoducho komunikuje s počítačmi. Dá sa integrovať do siete a spojiť tak s inými dátovými pamäťami, kde si pomocou postprocesorov vzájomne vymieňajú dáta. CNC stroj má vlastný harddisk, na ktorom sú jednotlivé programy uložené. Je možné uložiť ľubovoľný počet riadiacich programov. Systém je navyše vybavený aj operačným systémom Windows, ktorý umožňuje používať štandardné aplikácie (Obr. 11).



Obr. 11 Obrazovka RS Heidenhain s OS Windows

Týmto má obsluha stroja k dispozícii aj ďalšie komunikačné technológie. Súčasťou RS sú aj cykly pre meranie dotykovými sondami, pomocou ktorých možno presne určiť polohy obrobkov, alebo kontrolovať rozmery. iTNC 530 pomocou dotykových sond meria vzdialenosti nástroja a obrobku. Systém obsahuje aj kontrolu nástroja, ktorá zaznamenáva odchýlky polomeru nástroja od požadovanej hodnoty. Nevýhodou je, že výpočty potrebné k obrábaniu musí obsluha sama ručne zadať a vypočítať pri stroji, čo je zdĺhavé. Výhodou iTNC 530 je dostupnosť aj v českom jazyku a možnosť využitia uložených cyklov, napr. vrtacích, frézovacích a iných.

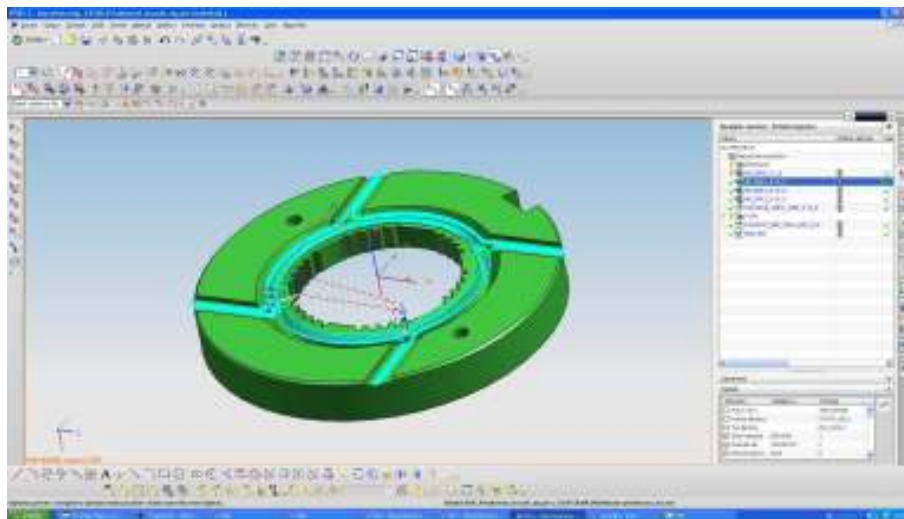
4.3 Popis simulácie a verifikácie vo vybraných systémoch

Pri simulácii a verifikácii je dôležité zobrazenie modelu súčiastky, procesu jej obrábania a kontroly kolízií medzi nástrojom, držiakom nástroja, obrobkom a upínačom. Dôležitým faktorom je tiež možnosť kontroly podrezania materiálu a zostatkového materiálu a iné. Jednotlivé procesy sú popísané na konkrétnych vybraných systémoch (pozri 4.3.1 a 4.3.2).

4.3.1 Popis simulácie a verifikácie v Unigraphics NX5

Simulácia a verifikácia v CAM systéme Unigraphics NX5 je prepracovaná na vysokej úrovni vo veľkom grafickom rozlíšení. Umožňuje prehrať riadiace programy a ich časti a sledovať správnosť postupnosti jednotlivých krokov. Nesprávne zadané údaje, alebo chyby programovania vyhodnotí ako nevykonateľné kroky. Samozrejmosťou systému je kontrola dráhy nástrojov a prípadných kolízií. CAM systém využíva rozdiely medzi počiatočným a cieľovým modelom súčiastky pre výpočty hrubovania na 3D modeli. Po každom kroku obrábania systém prepočíta zostatkový materiál. Ponúka nástroje pre zobrazenie, obrábanie a analýzu zostatkového materiálu. Pri uvádzaní systému do výroby obsluha zapíše potrebné údaje o stroji, o jeho nástrojoch a ostatných pohyblivých častiach stroja udaných výrobcom. Tieto informácie sú uložené do pamäte Unigraphics NX5 a sú k dispozícii pri každom ďalšom programovaní.

V systéme Unigraphics NX5 je možné simulovať zložité obrábanie súčiastok (Obr. 12) a to v 2D aj v 3D zobrazení, alebo v potrebnom reze. Systém pri simulácii ponúka množstvo možností zobrazenia nástroja, držiaka nástroja a iných súčastí riadiaceho programu. Pri simulácii je tiež možné zadať jej rýchlosť.



Obr. 12 Zložitejší model v Unigraphics

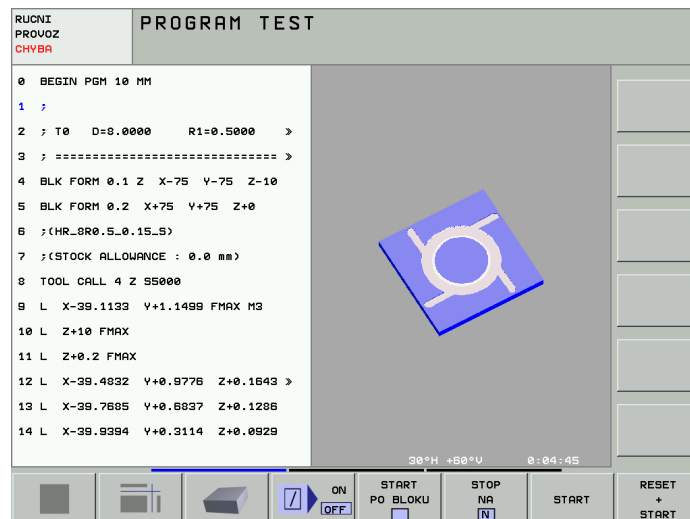
Zložité výpočty riadiaceho programu potrebné k obrábaniu si systém sám vypočíta a vygeneruje finálny riadiaci program spolu s približným časom potrebným na obrábanie. Toto môže trvať niekoľko sekúnd, alebo minút v závislosti od zložitosti súčiastky a jej obrábania. Pre rýchly chod CAM systému je potrebný počítač s výkonným procesorom a s

veľmi dobrou grafickou kartou, ktorá plynulo zobrazí akúkoľvek potrebnú oblasť. V opačnom prípade potrebné výpočty budú trvať dlhšie. Unigraphics NX5 pomáha programátorom hodnotiť kvalitu a vzhľad plôch vizualizáciou s možnosťou analýzy v reálnom čase. Kvalitu návrhu tiež zvyšujú zvýraznené reflexné krivky, analýza krivosti a skosenia, dynamická realizácia rezu. Realistické zobrazenie modelu umožňuje obsluhu systému pozorovať tvary a dizajn v reálnom prostredí a rýchlo skúšať farby, materiály a úpravy povrchu. Integrované nástroje pre simuláciu zahŕňajú tvarovú optimalizáciu, ktorá navrhuje v závislosti na výsledkoch simulácie tie najlepšie geometrické a mechanické parametre. Simulácia a verifikácia pohybu tak dáva obsluhu predstavu o statickom, dynamickom a kinematickom správaní sa celých zostáv.

4.3.2 Popis simulácie a verifikácie v Heidenhain iTNC 530

Simulácia a verifikácia v riadiacom systéme Heidenhain iTNC 530 je označovaná ako Program test. Simuluje programy a jednotlivé časti programov, v ktorých hľadá nesprávne údaje, narušenie pracovného priestoru, nevykonateľné kroky, alebo geometrické nezrovnalosti. Pomocou dynamickej kontroly kolízie kontroluje prípadné kolízie nástroja s obrobkom. Ak dva objekty kontrolované kontrolou kolízie prekročia určité vzdialenosti od seba, RS zobrazí pri všetkých pohyboch stroja, aj v teste programu chybové upozornenia. Dynamickú kontrolu je možné aj vypnúť. Riadiaci systém pritom berie do úvahy všetky konštrukčné súčasti stroja, ktoré sú definované výrobcom. Taktiež sa systém dá doplniť o ďalšie úrovňové balíky, podľa potrieb zákazníka. CNC stroje sú vybavené slabšími procesormi a grafickými kartami, pretože nie sú na ne kladené vysoké grafické požiadavky.

Graficky jednoduchá simulácia je súčasťou riadiaceho systému. Obsluha si môže spustiť test riadiaceho programu a pri stroji sledovať obrábanie na monitore. Možnosti zobrazenia simulácie systém nemá v ponuke, preto je zložitá simulácia časovo náročná. RS zložitejšie simulácie nezobrazí v plnej grafickej interpretácii. Simulácia neobsahuje simulovaný zdroj svetla v grafickom zobrazení. Realistické podanie modelu súčiastky pomocou svetla a tieňov nie je možné. iTNC 530 je schopný súčasne graficky simulovať prebiehajúce obrábanie súčiastky. Dráhu nástroja však nezobrazuje. Na Obr. 12 je model zložitejšej súčiastky v Unigraphics NX5, ktorú riadiaci systém iTNC 530 zobrazil oveľa jednoduchšie (Obr. 13).



Obr. 13 Zložitejší model v iTNC 530

Riadiaci systém Fanuc Manual Guide *i* navyše zobrazuje aj dráhu nástroja. Novšie verzie RS iTNC 530 umožňujú nastavenie rýchlosti simulácie, grafické zobrazenie obrábania v naklonenej rovine a iné výhody. Testovaním riadiaceho programu je v iTNC 530 možné simulovať priebeh riadiaceho programu, čím sa predíde programovacím chybám pri realizácii.

4.4 Výber hodnotiacich kritérií

Pre výber vhodných systémov pre porovnanie bolo najskôr potrebné určiť hodnotiace kritériá, na základe ktorých sa uskutočnil výber. Ako hlavné kritériá boli určené:

- stupeň integrácie, pri ktorom sme brali do úvahy hlavne základné vybavenie samotných systémov. Dôležitým kritériom bola simulácia ako súčasť základného vybavenia systému.
- stupeň náročnosti obsluhy, s dôrazom na jednoduchosť a intuitívnosť ovládania systémov.
- skúseností z využiteľnosti simulácie, teda či sa simulácia v daných systémoch často používa a ako je spracovaná, alebo naopak či sa nepoužíva a obsluha stroja radšej spustí obrábanie stroja naprázdno.
- jazyková lokalizácia, teda jazyky, v ktorých sú systémy dostupné. Vhodným jazykom bola slovenčina, alebo čeština.
- cena, v akej sa systémy pohybujú na trhu. S týmto kritériom súvisí aj pomer cena - kvalita.

- univerzálnosť systémov, pri ktorej sme brali do úvahy použiteľnosť simulácie na jednoduché a zložité simulácie obrábania. Dôležitým údajom bolo obmedzenie v počte osí, v ktorých bolo možné obrábať. Ďalším kritériom univerzálnosti systémov boli možnosti kontroly a zobrazenia obrobku, nástrojov, upínača a iných častí CNC stroja.

Na základe hodnotiacich kritérií a uvážení sme sa rozhodli porovnanie simulácie a verifikácie uskutočniť v CAD/CAM/CAE systéme Unigraphics NX5 a na CNC stroji Deckel Maho DMC 64 V linear (Obr. 14) s riadiacim systémom Heidenhain iTNC 530. Porovnanie simulácie a verifikácie obrábania sa uskutočnilo vo firme HTP Slovakia Vráble s.r.o., ktorá je súčasťou koncernu a poskytuje komplexný balík služieb v oblasti vstrekovania plastov.



Obr. 14 Obrábacie centrum Deckel Maho DMC 64 V linear

4.5 Výber súčiastky

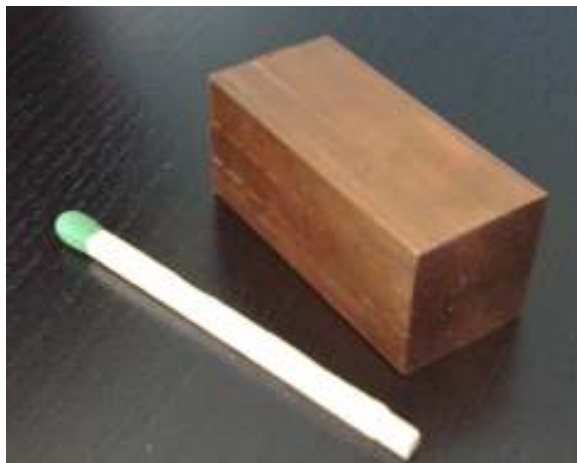
Pre porovnanie simulácie a verifikácie v CAM systéme a v RS stroja sme sa rozhodli pre súčiastku, ktorú aktuálne firma HTP obrábala. Bola ňou elektróda pre elektroerozívne obrábanie (Obr. 15) s rozmermi 6 x 10 x 39 mm. Používa sa pri obrábaní, napr. tenkých, hlbokých dier a špeciálnych tvarov, kde pri konvenčnom trieskovom obrábaní hrozí riziko ľahkého poškodenia nástroja, či už frézy, vrtáku, alebo iného. Vyrobí sa elektróda

požadovaného tvaru, s ktorou sa postupne obrábaný materiál tzv. „odpaľuje“. Elektróda sa pohybuje k obrobku a prúd, ktorý cez ňu preteká, „odpaľuje“ materiál z obrábaného povrchu.



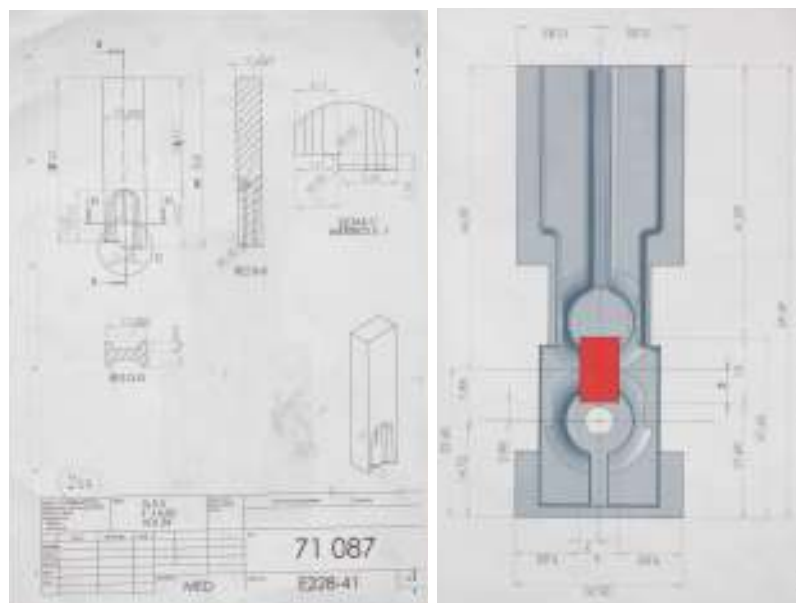
Obr. 15 Obrábaná elektróda

Druh materiálu polotovaru súčiastky bola meď (Obr. 16), z ktorej sa vyrába väčšina elektród pre elektroerozívne obrábanie. Meď má vysokú tepelnú vodivosť, tvárnosť za tepla aj za studena a dobrú odolnosť proti korózii.



Obr. 16 Polotovar súčiastky z medi

K dispozícii sme mali technickú dokumentáciu obrábanej elektródy spolu s náčrtom použitia elektródy pri elektroerozívnom obrábaní (Obr. 17). Pomocou technickej dokumentácie sme vytvorili technologický postup obrábania pre vybranú elektródu. Operácie obrábania nasledovali v postupe hrubovanie, vyhrubovanie a dokončovanie.



Obr. 17 Technická dokumentácia s náčrtom použitia

4.6 Tvorba riadiaceho programu obrábania súčiastky

Riadiaci program je postupnosť krokov obrábania. Aby programátor spoľahlivo navrhol riadiaci program obrábania, podľa ktorého sa bude CNC stroj riadiť, potreboval technickú dokumentáciu obrábanej súčiastky. Technickú dokumentáciu vyhotovil konštruktér, ktorý pomocou CAD systému vytvoril potrebné dokumenty, s ktorými sme pracovali pri porovnaní simulácie a verifikácie.

4.6.1 Tvorba riadiaceho programu v Unigraphics NX5

Tvorba riadiaceho programu v CAM systéme Unigraphics NX5 bola jednoduchá a prehľadná. Za pomoci technickej dokumentácie z CAD systému sme vytvorili 3D model súčiastky. Unigraphics NX5 je intuitívny softvér, do ktorého sme museli zadať iba minimum informácií, podľa ktorých softvér vytvoril riadiaci program.

Ako prvý krok po príprave modelu súčiastky, sme nastavili súradnicový stred, teda nulový bod obrobku. Nulový bod je začiatok, od ktorého vychádzajú všetky súradnice riadiaceho programu. Vyznačili sme na súčiastke body, z ktorých sme chceli vypočítať nulový bod, ktorý Unigraphics NX5 automaticky vygeneroval. Pre vybranú súčiastku bolo potrebné zadať dva nulové body z oboch strán súčiastky, pretože si to vyžadovalo programovanie elektródy.

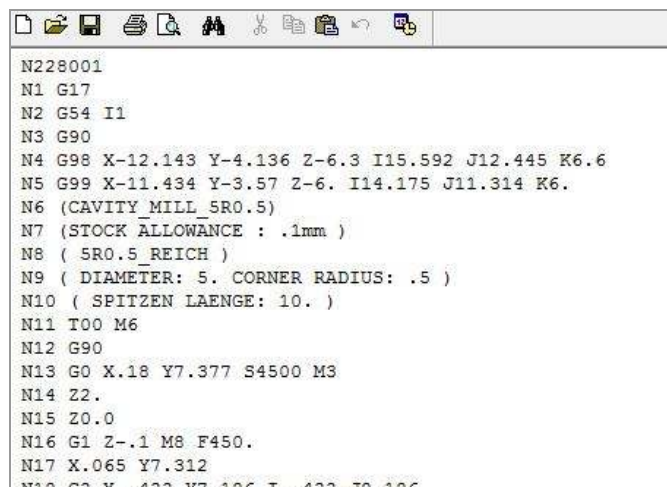
Zadali sme nasledovné parametre obrábania:

- typ nástroja,
- otáčky vretena,
- parametre rezania,
- tolerancie,
- typ nájazdu nástroja na obrobnok,
- reznú oblasť.

Ku každému parametru bolo k dispozícii viacero spôsobov realizácie obrábania. Výpočty potrebné k zadaniu parametrov obrábania si CAM systém vypočítal sám za pár sekúnd. Proces výpočtu je rýchly a spoľahlivý, vznik chyby je len veľmi málo pravdepodobný. Po zadaní všetkých potrebných parametrov obrábania sme spustili simuláciu a verifikáciu obrábania.

4.6.2 Tvorba riadiaceho programu v Heidenhain iTNC 530

Tvorba riadiaceho programu v RS bola mierne zložitejšia a časovo náročnejšia. Z CAD systému sme pomocou postprocesorov premiestnili dáta modelu súčiastky do riadiaceho systému Heidenhain iTNC 530 (Obr. 18). Z časového hľadiska nebolo možné vytvoriť operácie ručne pomocou ISO kódu, pretože program mal 84 212 riadkov. Každá z operácii mala vytvorený vlastný súbor. Premiestnenie dát do RS prebehlo rýchlo a dáta sa uložili na harddisk riadiaceho systému. Po spustení sa zobrazil graficky jednoduchý model súčiastky s požadovanými rozmermi.



```
N228001
N1 G17
N2 G54 I1
N3 G90
N4 G98 X-12.143 Y-4.136 Z-6.3 I15.592 J12.445 K6.6
N5 G99 X-11.434 Y-3.57 Z-6. I14.175 J11.314 K6.
N6 (CAVITY_MILL_5R0.5)
N7 (STOCK_ALLOWANCE : .1mm )
N8 ( 5R0.5 REICH )
N9 ( DIAMETER: 5. CORNER_RADIUS: .5 )
N10 ( SPITZEN LAENGE: 10. )
N11 T00 M6
N12 G90
N13 G0 X.18 Y7.377 S4500 M3
N14 Z2.
N15 Z0.0
N16 G1 Z-.1 M8 F450.
N17 X.065 Y7.312
N18 G2 X-.422 Y7.186 I-.422 J8.186
```

Obr. 18 Riadiaci program vybranej súčiastky

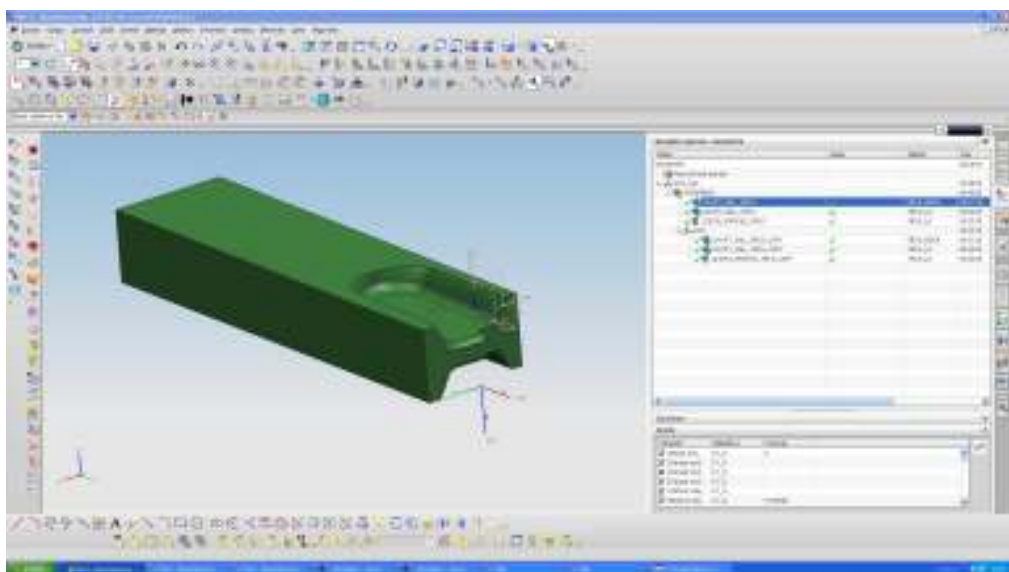
Prvým krokom bolo nastavenie nulového bodu. Pomocou funkcie sme kliknutím na príslušný prvok posunuli nulový bod nákresu do správnej polohy. Bolo potrebné zadať tie isté parametre obrábania, ako v CAM systéme. V tomto prípade bolo potrebné všetky nastavenia parametrov aj výpočty zrealizovať ručne. Pri tomto spôsobe výpočtov môže ľahko vzniknúť chyba, pretože RS nekontroluje výpočty. Tvorba riadiaceho programu v riadiacom systéme sa ukázala ako časovo náročná a nie veľmi spoľahlivá metóda.

4.7 Ilustrácia na príklade vo vybraných systémoch

Pri porovnaní dvoch spôsobov simulácie a verifikácie obrábania sme sa zameriavali hlavne na grafické zobrazenie modelu súčiastky, možnosti nastavenia simulácie a verifikácie dráhy nástrojov a na upozornenia pri prípadných kolíziách. Príklady na obidva systémy bližšie popisujú nasledujúce podkapitoly (pozri 4.7.1 a 4.7.2).

4.7.1 Ilustrácia v Unigraphics NX5

Simuláciou riadiaceho programu v Unigraphics NX5 sme sledovali priebeh riadiaceho programu obrábanej súčiastky a verifikáciu dráhy nástrojov CNC stroja. Po otvorení modelu súčiastky sa úvodná obrazovka Unigraphics NX5 zmenila na programátorské rozhranie s množstvom ikôn pre programovanie obrábania (Obr. 19).

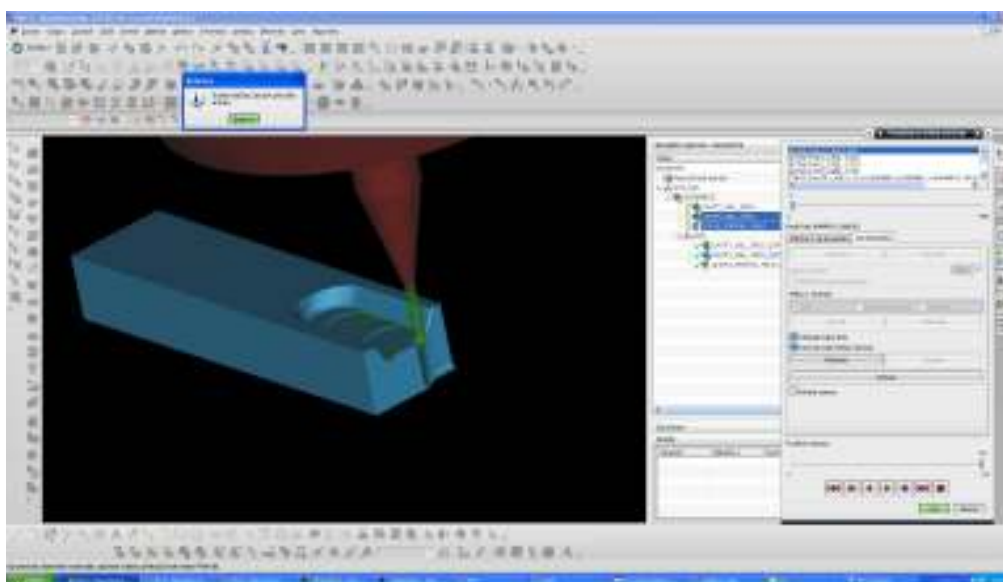


Obr. 19 Model súčiastky v Unigraphics NX5

Na Obr. 19 je v ľavej časti obrazovky model súčiastky a v pravej časti navigácia operácií. Pomocou tejto funkcie sa dala súčiastka zobrazíť postupne po častiach programu, ako bola vytvorená. Ponúkané možnosti zobrazenia modelu súčiastky boli jasne popísané. Súčiastkou sme mohli jednoducho otáčať v 3D priestore vo všetkých smeroch pomocou 3D myšky, s ktorou bolo možné sa prirodzene a intuitívne orientovať v prostredí Unigraphics NX5. Súčiastku bolo možné si priblížiť, vzdialiť a otáčať ňou vo všetkých smeroch.

V pravej časti obrazovky (Obr. 19) ponuka zobrazovala možnosti zobrazenia obrábanej súčiastky. Elektródu sme pomocou týchto nastavení mohli vidieť ako priehľadnú, iba jej obrysy, alebo v zadanom reze a pod. Nastavenia umožňovali zobrazíť len určitú časť súčiastky, alebo len jej vybrané plochy. Každá plocha súčiastky sa dala farebne odlíšiť inou farbou. Pred samotnou simuláciou bolo možné na súčiastke zobrazíť dráhy nástrojov, ktoré boli od súčiastky farebne odlíšené tenkými čiarami symbolizujúcimi dráhy nástrojov.

Simuláciu obrábania sme spustili jednoduchým postupom krokov v časti Vizualizace dráhy nástroje. Na Obr. 20 je v pravej časti priebeh simulácie, kde je modrou farbou znázornená súčiastka a červenou farbou je zobrazený držiak nástroja. Zelenou farbou je zobrazený nástroj a jeho dráha.

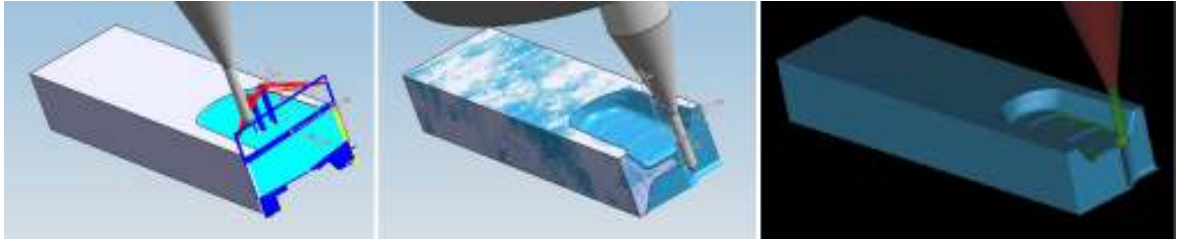


Obr. 20 Simulácia obrábania v Unigraphics NX5

Vľavo na Obr. 20 je panel s nástrojmi pre simuláciu, na ktorom sú umiestnené karty. V poradí prvá - Vizualizace dráhy nástroje, na ktorej sa nachádzala možnosť spustiť simuláciu od vybraného bloku riadiaceho programu. V ponuke nastavenia sa ďalej nachádzali možnosti prehrávania simulácie a verifikácie. Ponuka Prehrať, 3D dynamický a 2D dynamický používali rôzne pohľady na súčiastku (Obr. 21). Nasledovala možnosť Vyhľadať kolíziu IPW, kde IPW označuje nástroj, a Kontrola kolízií držiaka nástroja. Tieto dve možnosti bolo možné zapnúť aj vypnúť podľa potreby. V dolnej časti panelu s nástrojmi bola rýchlosť simulácie. Stupnica mala rozmedzie od najnižšej rýchlosti s číslom 1 až po najrýchlejšiu s číslom 10. Táto rýchlosť určovala zobrazovanú rýchlosť dráhy nástroja v simulácii. Funkciu bolo možné využiť najmä pri rýchlom sledovaní celej dráhy nástroja. CAM systém za pár sekúnd otvoril aj zložité súčiastky a bez akýchkoľvek zdržaní prehral ich simulácie. Pod nastavením rýchlosti sa nachádzali tlačidlá, pomocou ktorých sa simulácia ovládala. Dve stredné tlačidlá Prehrať spustili simuláciu. Dve vedľajšie tlačidlá plnili funkciu Prehrať nasledujúci blok programu, v opačnom prípade Prehrať predchádzajúci blok programu. Krajné tlačidlá s dvomi šípkami ponúkali rýchle prehranie simulácie vpred, alebo rýchle vrátenie sa o niekoľko krokov dopredu. Simulácia sa po stlačení tlačidla Stop, v ktoromkoľvek kroku a v akejkoľvek rýchlosti okamžite zastavila. Po jej zastavení ju bolo možné opäť kedykoľvek spustiť od bodu, v ktorom bola zastavená.

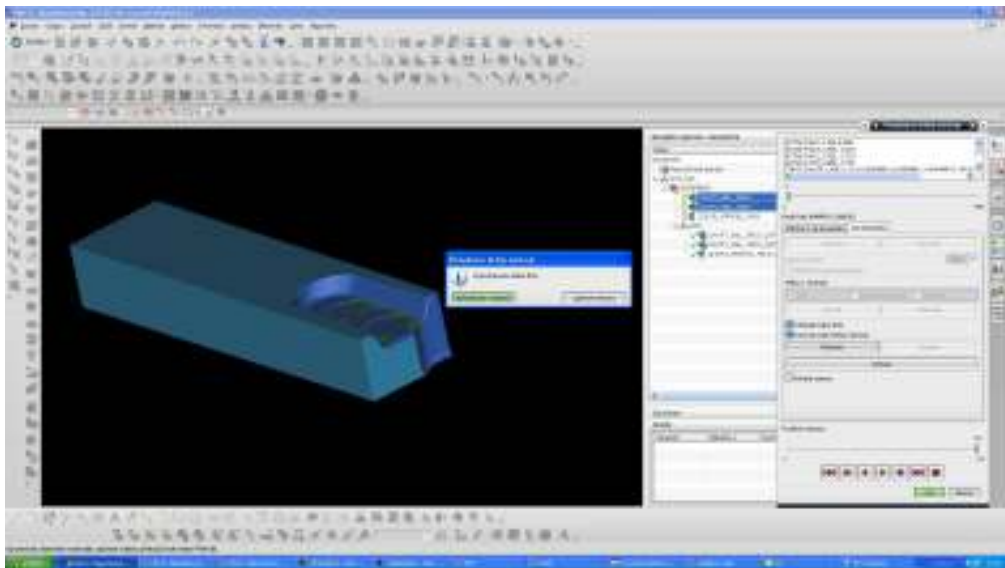
Unigraphics NX5 umožnil aj detailné zobrazenie vybranej časti. S touto funkciou sa zobrazilo malé okno, v ktorom bolo zväčšene vidieť tú časť simulácie, kde sa práve nachádzal kurzor myšky. Prípadné vykonané zmeny v riadiacom programe zadané počas priebehu simulácie sa v jej aktuálnom priebehu nezobrazili. Po uložení zmien a ukončení simulácie a jej opätovnom spustení sa zobrazili aj zmeny.

Na Obr. 21 sú vyššie spomínané pohľady na model elektródy. Prvý pohľad znázorňuje súčiastku v zobrazení Prehrať. Systém v tejto možnosti vykreslil súčiastku veľmi jednoducho a zvýraznil iba dráhy nástrojov. V druhom pohľade je súčiastka zobrazená 3D dynamicky. V tomto pohľade bolo realisticky vidieť odobratý materiál zo súčiastky. Tretí pohľad v 2D dynamicky zobrazil súčiastku, nástroj a dráhu nástroja. Tento pohľad nám najviac vyhovoval, pretože simulácia tu bola prehľadná a ľahko viditeľná.



Obr. 21 Pohľady na súčiastku v Unigraphics NX5

Kolízny stav sa v simulácii prejavil jej zastavením a zobrazením okna o upozornení (Obr. 22). Túto možnosť s upozornením bolo možné v Unigraphics NX5 zapnúť, alebo vypnúť. Na obrazovke sa objavilo okno s oznámením o objavení kolízie IPW. Mohli sme sa rozhodnúť, či budeme pokračovať v simulácii, alebo ju zastavíme. Keď bola možnosť o zastavení simulácie v prípade kolízie vypnutá, animácia pokračovala po kolízii ďalej a kolízne miesto sa sfarbilo na červeno.



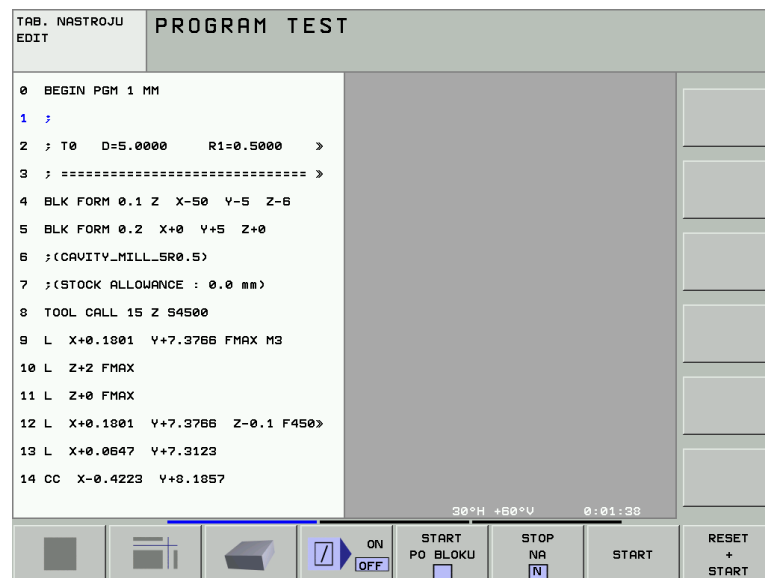
Obr. 22 Kolízia nástroja so súčiastkou v Unigraphics NX5

Na Obr. 22 je obrábaná súčiastka označená modrou farbou a už obrobená plocha a tým aj dráha nástroja je odlišená zelenou farbou. Pri kolízii nástroja s obrobkom sa kolízne miesto sfarbilo na červeno a zobrazovanie nástroja sa skrylo. Po spustení pokračovania v simulácii ďalej prebiehala bez zmien. Unigraphics NX5 umožňoval zobraziť aj prostredie CNC stroja, upínača a iných pohyblivých častí stroja, čo sa využíva hlavne pri zložitých súčiastkach. Prostredie CNC stroja sa modeluje hlavne pri 5 osovom obrábaní. V našom prípade to však nebolo nutné.

Časové údaje o simulácii neboli zobrazené. Unigraphics NX5 počas simulácie nezobrazoval za aký dlhý čas sa obrobok obrobí, ani aktuálny časový priebeh simulácie a verifikácie obrábania. Systém však automaticky vypočítal celkový čas obrábania súčiastky na CNC stroji. Tento údaj sme si mohli prezrieť ešte pred spustením simulácie v časti tvorby riadiaceho programu. Čas, ktorý Unigraphics vypočítal, udával časy dráh obrábania nástrojov. Do tohto času neboli započítané časy na presun nástrojov naprázdno, alebo výmenu nástrojov. Preto sme vypočítaný čas považovali za orientačný. EdgeCAM umožňuje zobraziť časový údaj počas priebehu simulácie. ProEngineer má základnú simuláciu pohybu a analýzy, ktoré nie je animované a graficky spracovaná tak, aby sa dala porovnávať so simuláciou v iných CAM systémoch.

4.7.2 Ilustrácia v Heidenhain iTNC 530

Časť simulácie a verifikácie obrábania v riadiacom systéme Heidenhain iTNC 530 sa nazýva Program test (Obr. 23).

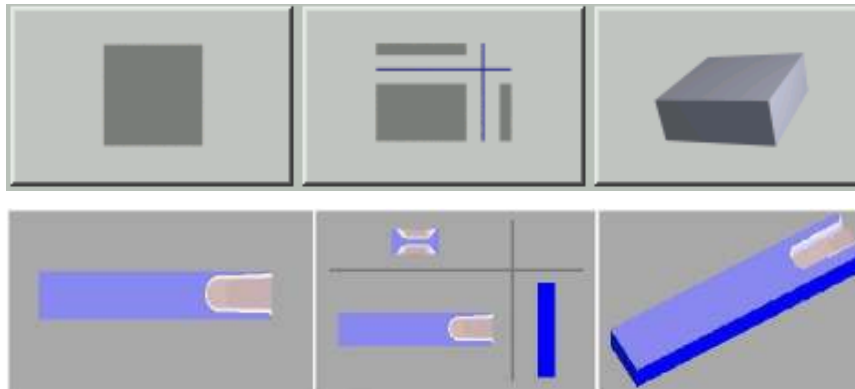


Obr. 23 Test programu

Na Obr. 23 sú v dolnej časti obrazovky ikony ovládania simulácie. Prvé tri zľava umožňovali prepínanie pohľadov na obrábanú súčiastku. Ostatné ikony umožňovali testovať celý program, alebo každý blok programu samostatne a zastaviť test programu. Test sme mohli kedykoľvek prerušiť aj počas obrábacích cyklov a znovu ho spustiť, ale sme nemohli vykonať v programe žiadnu zmenu, ani sa presunúť na iný blok programu.

Softvérové tlačidlo RESET + START testovalo aktívny program, až po jeho naprogramované prerušenie, alebo po koniec programu. Tlačidlo STOP prerušilo testovanie a zmenilo sa na tlačidlo START, ktoré pokračovalo po prerušení v testovaní programu. Test umožnil testovanie programu po blokoch, prerušenie v ľubovoľnom bloku, alebo preskočenie do blokov.

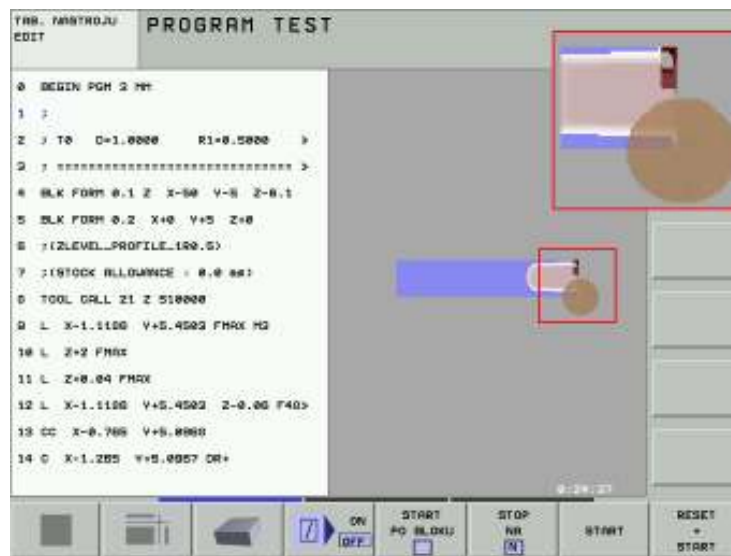
Po zobrazení modelu súčiastky a vytvorení riadiaceho programu obrábania sme pristúpili k časti testovania programu v Program teste. Ovládanie simulácie v Program teste bolo veľmi intuitívne a jednoduché. iTNC 530 umožňoval simuláciu obrábania obrobku graficky zobrazit' v troch pohľadoch, medzi ktorými sa bolo možné prepínať v dolnej časti ovládania. Bližšie ich vystihujú tri ikony v hornej časti na Obr. 24. Prvá ikona zľava umožňuje zobrazit' pohľad na simuláciu súčiastky v pôdoryse. V poradí druhá zobrazí obrábanú súčiastku v troch rovinách a tretia ikona umožňuje 3D zobrazenie simulácie, ktoré je možné vidieť v dolnej časti na Obr. 24. Počas priebehu simulácie sme mohli softvérovými tlačidlami kedykoľvek meniť pohľady na súčiastku. Prepnutie pohľadu nebolo oneskorené.



Obr. 24 Možnosti zobrazenia obrobku

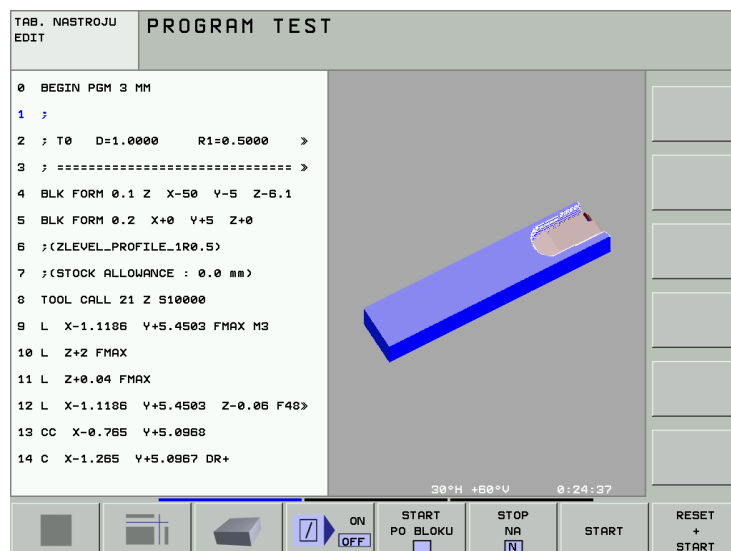
Riadiaci systém iTNC 530 iné možnosti zobrazenia, alebo nastavenia simulácie neponúkal. Tiež nezobrazoval pohyby nástroja pri jeho výmene a iné polohovanie. Možnosti zobrazenia ostatných pohyblivých častí CNC stroja, ako je napríklad držiak nástroja, RS neumožňoval. Možnosť nastavenia rýchlosti simulácie nefigurovala v žiadnom z troch pohľadov. Pri zložitých súčiastkach bola simulácia a verifikácia dráhy značne pomalšia, pretože RS si sám počítal jednotlivé riadky riadiaceho programu a pomaly ich premietal do grafickej simulácie.

Pri simulácii v pôdoryse riadiaci systém zobrazil nástroj a obrobené plochy farebne odlíšiť (Obr. 25). Grafická simulácia prebiehala v tomto zobrazení najrýchlejšie. Na Obr. 25 v červenom ráme môžeme vidieť zväčšený detail obrábanej súčiastky, kde je nástroj znázornený hnedým krúžkom. Tmavo červená oblasť je obrábaná plocha, v ktorej nastala kolízia nástroja so súčiastkou.



Obr. 25 Simulácia v pôdoryse

Zobrazenie v 3D, teda v priestore nám ukázalo obrábanie súčiastky v 3D priestore (Obr. 26). Nástroj ani dráhu nástroja systém nezobrazoval. Na Obr. 26 je tmavo červenou farbou vyznačená obrobená plocha súčiastky, kde nastala kolízia.



Obr. 26 Simulácia v 3D

Zobrazenie v troch rovinách bolo veľmi podobné a ukazovalo jeden pohľad zhora a dva bočné pohľady na súčiastku. Funkcie a možnosti zobrazenia boli tie isté, ako pri pohľade v pôdoryse a v 3D zobrazení.

Riadiaci systém na kolíziu upozornil zastavením priebehu simulácie a iné upozornenia nezobrazil. Za kolíziu považoval nekorektný parameter, ktorý nebolo možné vykonať. Týmto spôsobom upozorňoval na kolíziu v každom z troch možných spôsobov zobrazenia simulácie. Stlačením tlačidla START bolo možné ďalej pokračovať v prerušenej simulácii a verifikácii. Simuláciu bolo možné spustiť aj po blokoch. V tomto prípade bola simulácia vykonaná až do konca programu, alebo k jeho naprogramovanému prerušeniu tak, ako to spôsob blok po bloku vystihuje. Po prerušení mohol program pokračovať ďalej. Zobrazenie prostredia CNC stroja, alebo držiaka nástrojov a iných pohyblivých častí stroja v našom prípade, teda pri 3 osovom obrábaní nebolo nutné. V niektorých prípadoch sa modeluje držiak nástroja pri zložitejších súčiastkach. Prostredie CNC stroja sa často modeluje hlavne pri 5 osovom obrábaní.

Priebeh simulácie a verifikácie riadiaceho programu bol zaznamenávaný aj časovým údajom v pravom dolnom rohu obrazovky počas celej simulácie. Čas zobrazoval celkovú dĺžku simulácie a aktuálny čas priebehu. Čas bol zobrazený od štartu programu až po jeho koniec a pri naprogramovanom, alebo vynútenom prerušení sa zastavil. Po spustení simulácie sa opäť spustil. Pri simulácii a verifikácii v iTNC 530 nám riadiaci systém zobrazil aj čas obrábania, za ktorý sa súčiastka obrobí do finálnej podoby. Tento čas, ktorý riadiaci systém vypočítal, bol časom pohybov nástroja posuvom. Čas, za ktorý nástroj prešiel dráhu naprázdno sa do celkovej dĺžky trvania obrábania súčiastky nepočítal. Riadiaci systém tiež do tohto času nezapočítal časy, ktoré boli strávené výmenou nástroja a inými strojnými úkonmi. Do úvahy bral iba čistý čas obrábania súčiastky, preto tento čas zistený riadiacim systémom nie je vhodný na určenie presného výrobného času, iba približného. Počas simulácie obrábania, alebo pohybov nástrojov riadiaci systém vypočítaval hlavné a vedľajšie časy. Zobraziť tieto časy bolo možné v tabuľke, v ktorej boli zobrazené hlavné, vedľajšie a celkové časy obrábania farebne odlíšené. Každý riadok predstavoval iný nástroj použitý pre obrábanie. Programátor jasne videl, kde je ešte možná redukcia času.

4.8 Zhodnotenie na základe vybraných kritérií

Simulácia a verifikácia obrábania sa v oboch prípadoch ukázala, ako veľmi efektívny spôsob overenia obrábania pred jeho spustením, s ktorým sa dá predísť prípadným kolíziám a poruchám CNC stroja. Pri obrábaní akéhokoľvek druhu je v organizáciách využívaná na 99%, najmä pri zložitejších súčiastkach. Metóda pokus - omyl je už dávno minulosťou. Oba systémy umožnili animovane zobrazit' riadiace programy, alebo ich časti a sledovali pritom správnosť programu a verifikáciu dráh nástrojov. Simulácia bola základnou súčasťou oboch systémov. Obsluhu systémov zvládla aj osoba so základnými znalosťami v oblasti programovania. Systémy boli dostupné v českom jazyku, ale bolo nutné si ich touto jazykovou lokalizáciou dovybaviť. Čo sa týka univerzálnosti simulácie v systémoch je možné simulovať aj 5 osovú obrábajúcu. Pri CAM systéme Unigraphics NX5 je potrebné softvér dovybaviť možnosťou obrábania v piatich osiach. V našom prípade bolo CNC obrábacie centrum 3 osovú, preto riadiaci systém iTNC 530 bol prispôsobený pre tento typ stroja. Samozrejme riadiace systémy Heidenhain je možné používať aj na CNC strojoch s vyšším počtom osí obrábania. V možnostiach kontroly a zobrazenia obrobku, nástrojov a iných pohyblivých častí stroja mal CAM systém viac možností nastavenia a zobrazenia. Riadiaci systém ponúkal základné zobrazenia obrobku a jednoduché zobrazenie nástroja.

Výhodou CAM systému Unigraphics NX5 bola možnosť výroby aj tvarovo zložitých súčiastok, čo priamo na CNC stroji nebolo možné. Viac možností grafického zobrazenia modelu súčiastky nám umožňovalo lepšiu orientáciu. Systém umožňoval nastaviť všetky grafické parametre od farieb modelu, jeho veľkosti až po farby nástrojov a obrobených plôch. Riadiaci systém iTNC 530 ponúkal základné zobrazenie modelu. Výhodou RS však bol zobrazovaný čas obrábania počas simulácie. V otázke zobrazovania kolíznych situácií bol CAM systém lepšie vybavený, ako RS stroja a taktiež umožňoval zobrazit' súčiastku z akéhokoľvek uhla. RS stroja bol limitovaný maximálne tromi možnosťami zobrazenia. Vytvorenie riadiaceho programu v CAM systéme bolo rýchlejšie, ako v riadiacom systéme stroja. Výrobné časy boli vďaka tomu kratšie. V Unigraphics NX5 bolo možné zhotovit' celý životný cyklus výrobku. Výpočty potrebné pre vytvorenie riadiaceho programu Unigraphics NX5 boli spracované automaticky, v prípade RS sme ich počítali ručne pri ovládacom paneli. Čas potrebný na vytvorenie programu bol preto dlhší. Nevýhodou CAM systému boli vyššie náklady na jeho zavedenie a podporu. Pri veľkých CAM systémoch,

ktorým je Unigraphics NX5, sa cena pohybovala rádovo niekoľko desiat tisíc eur. CAM systém mal vysoké nároky na hardvér počítača. Neustále sa zvyšujúce požiadavky na Unigraphics a stále novšie, na hardvér náročnejšie verzie nútili organizáciu pravidelne zvyšovať výkon hardvéru, čo priamo súviselo so zvyšovaním nákladov. Taktiež bolo pre obsluhu CAM systému potrebné absolvovať školenie programovania v Unigraphics NX5. Pri riadiacom systéme nenastala potreba neustále zvyšovať výkonnosť hardvéru. V konečnom dôsledku sa investície do CAM systému organizácií vrátili vo forme zefektívnenia celkového výrobného procesu súčiastok a zníženia neproduktívnych časov. V grafickej simulácii odoberania materiálu a overení kolíznych situácií mal CAM systém Unigraphics NX5 výborné výsledky. Na základe výhod CAM systémov a RS strojov v oblasti simulácie a verifikácie, budú tieto systémy čoraz viac zaujímavejším riešením pre výrobné organizácie vo všetkých oblastiach nielen strojárskoho priemyslu.

Z ekonomického hľadiska použitie simulácie a verifikácie obrábania vo vybraných systémoch nemožno porovnávať. Organizácie si pred zavedením jednotlivých spôsobov simulácie obrábania musia prejsť radom analýz, ktorých výsledkom bude zhodnotenie, aký systém je pre ich pomery vyhovujúci. Firma HTP je charakteristická veľmi vysokou pestrosťou výrobného programu, produkciou prevažne zložitých výrobkov pre vlastnú nástrojareň, produkujúcu formy pre vstrekovanie plastov, ale aj produkciou súčiastok dodávateľským spôsobom pre iné organizácie. Produkcia je prevažne s nízkymi objemami, kusová výroba s individuálnymi prístupmi a postupmi, produkciou prototypov a pod. Obsluha je skúsená, so znalosťami jazykov a výpočtovej techniky, ale aj strojárskych technológií. Z tohto dôvodu jednoznačne zvolili používanie CAM systému, aj napriek jeho veľmi vysokej obstarávacej cene, potrebe vysokej špecializácie obsluhy a nárokoch na hardvér. Pri používaní CAM systému Unigraphics NX5 ťažia najmä z výhod, ktorými sú:

- vysoká flexibilita oproti konkurencii,
- krátke nastavovacie časy,
- spoľahlivosť prevádzky a včasné odhaľovanie chýb obrábania,
- s tým spojené úspory na materiáloch a nástrojoch.

Tento trend si plánuje organizácia udržať aj naďalej. Do budúcnosti plánuje zakúpiť novšiu verziu CAM systému Unigraphics.

5 Diskusia

Simulácia a verifikácia obrábania je obrovským pokrokom v oblasti obrábania. V minulosti v období prvých riadiacich systémov neexistovala možnosť simulácie a verifikácie obrábania. Obsluhy CNC strojov testovali riadiace programy formou pokus - omyl. Celosvetový rozvoj v oblasti strojárstva zvýšil nároky zákazníkov a tým podporil konkurencieschopnosť výrobných organizácií na trhu. Organizácie tak chceli vyrábať rýchlejšie, kvalitnejšie a s čo najnižšími nákladmi. Preto sa v strojárskej oblasti vývoj nezastavil, ale naopak začal napredovať. Podľa Kurica (1999) bude vývoj v budúcnosti podmienený predovšetkým ďalším vývojom softvéru, ktorý je do určitej miery limitovaný vývojom hardvéru. Systémy 21. storočia však nezaostávajú za novými metódami obrábania a výrobcom nič nebráni v uvádzaní nových systémov na trh, pretože počítačové technológie vrátane softvéru a hardvéru sú v súčasnosti najrýchlejšie vyvíjajúcou sa oblasťou. RS rovnako, ako aj CAD/CAM systémy sú vytvárané na základe nových trendov vývoja v obrábaní a nasadzovanie modernej výrobných technológií, ku ktorej tieto systémy s určitou patriť, je základným trendom modernizácie v organizácii. Aktuálne sú CAD/CAM systémy čoraz viac presadzované v organizáciách ako veľmi efektívne riešenie úspory času a zníženia nákladov vo výrobe. Tak, ako riadiace systémy, aj CAD/CAM systémy podliehajú inovácii. Kuric (1999) sa vyjadril, že nové prvky do vývoja aplikácií CA systémov môžu priniesť aj nové prostriedky informačných technológií, ktorými je aj internet. Tento jav je dnes už samozrejmosťou. Všetky súčasné systémy umožňujú prepojenie internej siete v organizácii s internetom. Tento krok priniesol nové možnosti pre obsluhu systémov. Výrobné organizácie prostredníctvom internetu majú napríklad technickú podporu od dodávateľov systémov, servis na diaľku a iné výhody. Podľa doterajšieho vývoja v oblasti simulácie a verifikácie obrábania v CAD/CAM systémoch a v riadiacich systémoch CNC strojov bude ďalší vývoj smerovať ku komplexnej dynamickej simulácii strojov, ktorá bude zahŕňať predikciu správania sa CNC stroja pri reálnom obrábaní. Vďaka schopnosti zapamätať si obrábacie operácie pomocou inteligentného riadenia strojov bude predchádzať hroziacim kolíziám pri ručnom pohybe s osami stroja napríklad pri nastavovaní nástroja. Vývoj riadiacich systémov CNC strojov smeruje k predstaveniu multiplatformového systému, ktorý umožní voľne kombinovať hardvérovú základňu s ľubovoľným softvérovým vybavením od rozdielnych výrobcov, čím umožní implementovať funkcie CAM systému do riadiaceho systému CNC stroja.

Návrh na využitie výsledkov

Výsledkom diplomovej práce sú poznatky, ktoré porovnávajú simuláciu a verifikáciu obrábania dvomi spôsobmi. Spôsob simulácie a verifikácie pomocou CAM systému a simulácia a verifikácia v riadiacom systéme CNC obrábacieho centra. Zavádzanie týchto systémov v organizáciách je významným krokom v ich vývoji do budúcnosti, preto je dôležité im venovať pozornosť. Nie je však jednoznačne možné definovať, ktorý zo systémov simulácie a verifikácie je výhodnejší. Organizácie musia prejsť radom analýz, meraní a porovnávaní, ktorých výsledkom bude zavedenie systémov, podľa ich kritérií.

Ekonomickú výhodnosť v používaní jednotlivých systémov, je potrebné posudzovať pre konkrétnu aplikáciu a na základe kritérií, ktorými sú:

- zloženie sortimentu výrobkov organizácie (jednoduché výrobky, výrobky strednej zložitosti, zložité výrobky vyrábané zložitými technologickými postupmi),
- frekvencia obmeny riadiaceho programu (dlhodobá výroba s veľkým objemom konkrétneho výrobku, krátkodobá výroba s nízkym objemom výrobkov, jednorázová výroba s niekoľko kusovou produkciou),
- cena materiálu polotovaru (polotovary z lacného a dostupného materiálu, polotovary zo špeciálnych, nedostupných, alebo cenovo náročných materiálov),
- úroveň doterajších skúseností obsluhy (operátor so základnými znalosťami a veľkým rizikom vzniku kolízie počas obrábania, skúsený programátor),
- úroveň aktuálneho technického vybavenia (na strane hardvéru CNC stroja, na strane hardvéru výpočtovej techniky, počítača).

V prípade organizácie so zavedenou dlhodobou výrobou jednej súčiastky s veľkým objemom produkcie, ktorej riadiaci program je uložený v riadiacom systéme CNC stroja, nemá z hľadiska praktického prínosu a vzniknutých nákladov význam zavádzať nové CAM systémy do výroby. Naopak v organizácii, ktorá jednorázovo vyrába kusové výrobky s nízkym objemom produkcie, alebo často obmieňa výrobný program, je výhodné zaviesť CAM systém do výroby. Tento krok môže organizácii uľahčiť neustále ručné zadávanie programov do riadiacich systémov a tým znížiť výrobné časy. Iné nároky má organizácia, ktorá potrebuje iba upravovať plochy pre následnú výrobu a iné má tá, ktorá sa zaoberá kompletnou konštrukciou a výrobou súčiastok.

Záver

Obrábanie je výrobný proces, pri ktorom sa vhodným spôsobom odoberá materiál z polotovaru a zhotovujú sa súčiastky. Ako v každom odvetví, tak aj v strojárskom vývoji obrábání napreduje a v súčasnosti sú na výrobné organizácie vyvíjané zvýšené nároky v oblasti konkurencieschopnosti a zvýšenia kvality. Organizácie sa preto snažia vyrábať rýchlejšie, kvalitnejšie a s čo najnižšími nákladmi. V tejto snahe im vo veľkej miere pomáha simulácia a verifikácia obrábania, ktorá sa v praxi aplikuje najmä kvôli kontrole riadiacich programov pred spustením obrábania na CNC stroji. Diplomová práca porovnáva dva spôsoby simulácie a verifikácie a to pomocou CAM systému a pomocou riadiaceho systému CNC stroja. Na základe hodnotiacich kritérií sme si pre porovnanie zvolili CAM systém Unigraphics NX5 a riadiaci systém Heidenhain iTNC 530. Systém Unigraphics NX5 je celosvetovo uznávaný CAD/CAM/CAE softvér na tvorbu celého životného cyklu súčiastky používaný vo všetkých odvetviach. Medzi najpoužívanejšie riadiace systémy patrí aj Heidenhain iTNC 530, ktorý je určený pre dielenské programovanie. Simulácia a verifikácia je súčasťou oboch porovnávaných systémov, napriek tomu je zobrazenie modelov súčiastok odlišné. CAM systém ponúka oveľa viac možností zobrazenia súčiastky vo vysokom grafickom rozlíšení. Disponuje nastaveniami od 2D a 3D zobrazenia, rýchlosti simulácie, až po zobrazenia nástroja, držiaka nástroja a iných pohyblivých častí CNC stroja. Samozrejmosťou systému je verifikácia dráhy nástroja, pomocou ktorej možno včas odhaliť prípadné kolízie. Simulácia a verifikácia v Unigraphics NX5 je prispôsobená pre simuláciu zložitých súčiastok a celých zostáv, pri ktorých automaticky vypočíta potrebné výpočty k obrábaniu. Tak, ako všetky CAM systémy aj Unigraphics NX5 potrebuje výkonný hardvér počítača, bez ktorého by neplnil očakávania v podobe úspory času. Riadiaci systém Heidenhain iTNC 530 obsahuje graficky jednoduchú simuláciu a verifikáciu obrábania v časti Program test. Testovaním je možné vykonať potrebné kontroly riadiacich programov pred ich spustením. iTNC 530 však nedisponuje rozšírenými nastaveniami pre simuláciu a verifikáciu. Pre porovnanie slúžila elektróda pre elektroerozívne obrábanie. Pomocou technickej dokumentácie bol zhotovený model elektródy, na základe ktorého sme vytvorili riadiaci program obrábania. Vytvorenie riadiaceho programu v CAM systéme si vyžadovalo vybrať vstupné parametre obrábania a potrebné výpočty Unigraphics NX5 automaticky vypočítal. Časovo náročnejšie bolo vytváranie riadiaceho programu v iTNC 530, kde sme vstupné parametre a potrebné výpočty zadávali ručne. Systémy automaticky vypočítali aj orientačný čas

potrebný na obrábanie. Simulácia a verifikácia v systéme Unigraphics NX5 umožnila zobrazit' model elektródy z akéhokoľvek uhla a pri verifikácii dráhy nástrojov upozornila na kolíziu nástroja s obrobkom formou upozornenia a farebného odlíšenia kolízneho miesta. Simulácia a verifikácia v riadiacom systéme iTNC 530 zobrazila model elektródy v troch možných pohľadoch spolu s priebežným časom simulácie a na kolíziu nástroja upozornila zastavením simulácie riadiaceho programu. Napriek rozdielom sa v oboch prípadoch simulácia a verifikácia obrábania ukázala ako veľmi efektívny spôsob šetrenia výrobných časov v organizácii. Porovnané systémy majú svoje výhody a nevýhody a nie je možné jednoznačne zhodnotiť, ktorý zo spôsobov simulácie a verifikácie je ekonomicky výhodnejší. Organizácia musí pri rozhodovaní prejsť rôznymi meraniami a poznať kritériá, na základe ktorých sa rozhodne pre vhodný spôsob simulácie a verifikácie obrábania. Vývoj v oblasti obrábania neustále napreduje a s ním aj technológie potrebné k zlepšeniu výkonnosti systémov. Je len otázkou času, kedy bude predstavený multiplatformový riadiaci systém CNC stroja, umožňujúci kombinovať hardvér so softvérom od rozdielnych výrobcov.

Zoznam použitej literatúry

BILÍK, Oldřich - VRABEC, Martin. 2002. *Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů*. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. 141 s. ISBN 80-248-0034-9.

DEMEČ, Peter. 2005. *Číslicové riadenie obrábacích strojov* [online]. [cit. 2011-02-01]. Dostupné na internete: <http://www.myinfo.sk/download/SKOLA/006-CNC_Zakladne_Pojmy_a_Definicie.pdf>.

E-learning Sinumeric 820T. 2003. [online] Bratislava : Sjf STU, aktualizované 2003. [cit. 2011-01-10]. Dostupné na internete: <<http://www.kvs.sjf.stuba.sk/sinumeric/index.html>>.

FABIAN, Michal. 2008. *CA.. technológie a CNC obrábanie*. [online] aktualizované 2008. [cit. 2011-02-23]. Dostupné na internete: <<http://www.it-strojar.sk/articles/00005.pdf>>.

FABIANOVÁ, Jana. 2006. CAD/CAM systémy pri návrhu tvaru a výrobe plastových výliskov. In *Transfer inovácií* [online]. roč. VIII, 2006, č. 9, s. 88-90 [cit. 2011-03-05]. Dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/9-2006/pdf/88-90.pdf>>. ISBN 80-7093-6.

HAVRILA, Michal. 2005. *Číslicovo riadená výrobná technika*. 1. vyd. Košice : FVT TU, 2005. 129 s. ISBN 80-8073-243-4.

CHROMJAKOVÁ, Felicita. 2010. *Simulácia*. [online] aktualizované 2010. [cit. 2011-02-27]. Dostupné na internete: <http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=71>.

IŽOL, Peter. 2007. Návrh programu v CAD/CAM systéme. In *Transfer inovácií* [online]. roč. IX, 2007, č. 10, s. 88-90 [cit. 2011-02-20]. Dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/10-2007/pdf/88-90.pdf>>. ISBN 80-7093-6.

IŽOL, Peter. 2008. Programovanie CNC obrábacích strojov dielenskými systémami. In *Transfer inovácií* [online]. roč. X, 2008, č. 12, s. 140-142 [cit. 2011-02-05]. Dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/12-2008/pdf/140-142.pdf>>. ISSN 1337-7094.

- JANDEČKA, Karel a i. 2007. *Postprocesory a programování NC strojů*. 1. vyd. Ústí nad Labem : Univerzita J.E. Purkyňe - FVTM, 2007. 244 s. ISBN 978-80-7044-870-0.
- JURČO, Richard. 2007. Poskytujeme komplexné riešenie vo svete obrábania. In *Strojárstvo* [online]. roč. XI, 2007, č. 10, s. 85-87 [cit. 2011-02-11]. Dostupné na internete: <http://www.nexnet.sk/UserFiles/letaky/Strojarstvo_10_07.pdf>.
- JURČO, Richard. 2008. Programovanie CNC strojov. In *Strojárstvo* [online]. roč. XII, 2008, č. 4, s. 69-71 [cit. 2011-01-20]. Dostupné na internete: <http://www.edgcamcz.cz/UserFiles/letaky/Strojarstvo_4_08.pdf>.
- KNAP, Zdeněk. 2006. *Výuka programování CNC strojů* [online]. Trutnov : SPŠ, 2006. [cit. 2011-03-06]. Dostupné na internete: <<http://dilna.aeromni.com/download/skripta-programovani-cnc.pdf>>.
- Kontrola obrábění. 2009 [online] Praha : 3E Praha Engineering, a.s., aktualizované 2009. [cit. 2011-03-10]. Dostupné na internete: <<http://www.3epraha.cz/hsmworks/profesni-cleneni-hsmworks/kontrola-obrabeni-hsmworks>>.
- KURIC, Ivan. a i. 2002. *Počítačom podporované systémy v strojárstve*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita, 2002. 351 s. ISBN 80-7100-948-2.
- KURIC, Ivan. 1999. CA systémy. [online]. Žilina : Žilinská univerzita, 1999. [cit. 2011-01-20]. Dostupné na internete: <<http://fstroj.utc.sk/web/kma/student/ca/kap2/ca%20texty%20kap2.htm>>
- MAJERÍK, Jozef. 2008. Programovanie CNC obrábacích strojov: spôsoby a úrovne. In *Strojárstvo* [online]. roč. XII, 2008, č. 12, [cit. 2011-02-13]. Dostupné na internete: <<http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/122008/42-43.pdf>>. ISSN 1335-2938.
- MARCINČIN, Jozef Novák. 2002. *The Analyses of Computer Aided Manufacturing*. Krakov : 2002. 104 s. ISBN 3-901509-33.
- MATIJA, Rudolf - VOJTKO, Imrich - MIŠÍK, Ladislav. 2008. *Praktiká pre riadiaci systém Fanuc (Všeobecné funkcie)*. 1. vyd. Košice : FVT TU, 2008. 95 s. ISBN 978-80-553-0090-0.

PÁCHNIKOVÁ, Lucia - IGNÁTH, Ivan. 2007. Prostriedky počítačovej podpory pre dizajn výrobných buniek s robotom Scara. In *Novus Scientia* [online]. roč. X, 2007, s. 433-438 [cit. 2011-02-20]. Dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/novus/papers/433-438.pdf>>. ISBN 978-80-8073-922-5.

PETERKA, Jozef - JANÁČ, Alexander. 2002. *CAD/CAM Systémy*. 1. vyd. Bratislava : STU, 2002. 63 s. ISBN 80-227-1685-5.

PETERKA, Jozef - JANÁČ, Alexander - GÖRÖG, Augustín. 2002. *Programovanie NC strojov I*. 1. vyd. Bratislava : STU, 2002. 75 s. ISBN 80-227-1686-3.

POPPEOVÁ, Viera a i. 2002. *Automatizácia strojárkej výroby*. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2002. 229 s. ISBN 80-8070-009-5.

URBANOVÁ, Renáta. 2007. Programovanie CNC obrábania. In *Výrobné inžinierstvo* [online]. roč. VI, 2007, č. 1, s. 38-39 [cit. 2011-01-20]. Dostupné na internete: <<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf07/1-str-38-39.pdf>>. ISSN 1335-7972.

URBANOVÁ, Renáta - HAVRILA, Michal. 2007. Dielenské programovanie CNC obrábania. In *Strojárstvo*. roč. XI, 2007, č. 2, s. 72-73. ISSN 1335-2938.

URBANOVÁ, Renáta - HAVRILA, Michal. 2007. Súčasný systémy dielenského programovania. In *Výrobné inžinierstvo* [online]. roč. VI, 2007, č. 2, s. 31-35 [cit. 2011-02-22]. Dostupné na internete: <<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf07/2-str-31-35.pdf>>. ISSN 1335-7972.

URBANOVÁ, Renáta - HAVRILA, Michal. 2008. Rozvoj dielenského programovania CNC strojov. In *AT&P journal*. roč. XV, 2008, č. 5, s. 46-49. ISSN 1335-2237.

VARGA, Ján - IŽOL, Peter. 2010. Dielenské NC programovanie - súčasť moderného výrobného procesu. In *Transférer inovácií* [online]. roč. XVI, 2010, č. 1, s. 240-243 [cit. 2011-02-05]. Dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/transfereinovacii/pages/archiv/transférer/16-2010/pdf/240-243.pdf>>. ISSN 1337-7094.

VASILKO, Karol - MARCINČIN, Jozef Novák - HAVRILA, Michal. 2003. *Výrobné inžinierstvo*. 1. vyd. Košice : FVT TU, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.

VASKÝ, Jozef - NEMLAHA, Eduard - MASÁR, Ladislav. 2003. *CAD/CAM systémy*. 1. vyd. Bratislava : STU, 2003. 255 s. ISBN 80-227-1882-3.

Vericut. 2004 [online] Prešov : IPM Solutions, aktualizované 2004. [cit. 2011-03-06]. Dostupné na internete: <<http://www.ipmsolutions.sk/showdoc.do?docid=1423>>.

VRABEC, Martin - MÁDL, Ján. 2004. *NC programování v obrábění*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. 92 s. ISBN 80-01-03045-8.