

# Programování CNC drátové řezačky

Tomáš Knedla

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KNEDLA**  
Osobní číslo: **T07351**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Programování CNC drátové řezačky**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie z oblasti nekonvenčních metod obrábění a programování CNC strojů**
- 2. Modelování součásti v prostředí CAD**
- 3. Načtení modelu v modulu CAM a tvorba obráběcí strategie pro obrábění na obecné drátové řezačce**
- 4. Verifikace obrábění pomocí simulace**
- 5. Tvorba řídicího kódu pro obecnou drátovou řezačku**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ŠTULPA, Miloslav. CNC: Obráběcí stroje a jejich programování. 1. vydání. Praha: BEN – technické nakladatelství, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
2. ŘASA, Jaroslav, POKORNÝ, Přemysl, GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. 2. vyd. Praha: Scientia spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, 2005. 221 s. ISBN 80-7183-336-3.
3. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie. 1. vyd. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
4. MORÁVEK, Rudolf. Nekonenční metody obrábění. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. 102 s. ISBN 80-7082-518-9.
5. JAIN, Vijay K. Advanced Machining Processes. 4. New Delhi : Allied Publishers, 2005. 357 s. ISBN 81-7764-294-4.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

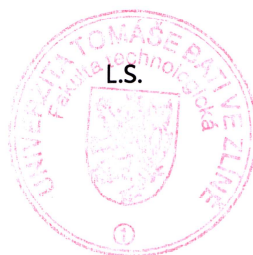
**14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Ve své bakalářské práci se budu zabývat programováním CNC drátové řezačky. Cílem této práce je vytvořit řídicí kód pro ovládání drátové řezačky. V rámci teoretické části bakalářské práce se zaměřím na definování CNC řízení různých druhů nekonvenčních metod, přesněji elektroerozivního obrábění. Na základě teoretických poznatků vytvořím model a strategii pro obrábění na drátové řezačce. Navrženou strategii ověřím prostřednictvím simulace.

Klíčová slova:

Programování, CNC, drátová řezačka, drátové řezání, elektroerozivní obrábění

## **ABSTRACT**

In my thesis I will examine the programming of CNC wire cutter. I intend to create a control code for controlling the wire cutters. The theoretical part of this work will focus on defining the CNC control of various types of unconventional methods, specifically the EDM machining. I will create a model strategy for processing the wire cutter based on theoretical knowledge. I will verify the proposed strategy through simulation.

Keywords:

Programming, CNC, wire cutting, wire cutting, electro-machining

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a poznámky, které jsem využil při psaní této práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině za podporu.

Věda není nic jiného než co nejpřesnější obraz skutečnosti, tedy pravda.

Iva Petrovič Pavlov

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 PRINCIP AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ.....	11
1.2 ZPŮSOBY TVORBY ŘÍDICÍHO PROGRAMU .....	13
1.2.1 Programování ruční.....	13
1.2.2 Programování strojní.....	16
1.2.3 Programování dílenské.....	17
<b>2 METODY OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>18</b>
2.1 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	18
2.1.1 Elektroerozivní obrábění.....	20
2.1.1.1 Princip elektroerozivního obrábění.....	20
2.1.1.2 Elektrokotáční obrábění.....	23
2.1.1.3 Elektroerozivní drátové řezání.....	23
2.1.2 Elektrochemické obrábění.....	24
2.1.3 Obrábění ultrazvukem.....	25
2.1.4 Plazmové technologie .....	27
2.1.5 Obrábění elektronovým paprskem .....	29
2.1.6 Obrábění laserem .....	31
2.1.7 Obrábění kapalinovým paprskem .....	33
2.1.8 Obrábění proudem brusiva.....	34
<b>3 ŘEZÁNÍ DRÁTOVOU ELEKTRODOU</b> .....	<b>35</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>4 MODELOVÁNÍ VÝROBKŮ V PROSTŘEDÍ CAD</b> .....	<b>42</b>
4.1 VYMODELOVANÉ SOUČÁSTI .....	43
4.2 KRITÉRIA OBECNÉ DRÁTOVÉ ŘEZAČKY .....	44
4.3 ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	45
4.4 TVORBA STRATEGIE OBRÁBĚNÍ .....	45
4.4.1 Postup tvorby strategie u vybraného modelu .....	46
4.4.2 Stručné popisy tvorby obráběcí strategie dalších modelů.....	56
4.4.3 Modely obráběné ve 2-osém systému .....	57
4.4.4 Modely obráběné ve 4-osém systému .....	66
4.4.5 Modely obráběné kombinací 2-osého a 4-osého systému.....	69
4.5 UKÁZKA VYGENEROVANÉHO ŘÍDICÍHO KÓDU .....	70
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>72</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>74</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>75</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>77</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>78</b>



## ÚVOD

Od poloviny minulého století došlo k výrazným změnám ve strojírenském oboru. Nositelem těchto změn byl především technický pokrok, využití nových metod a technologií. Revoluci ve strojírenském oboru přinesla počítačově řízená výroba. Došlo také k urychlení a zpřesnění výroby u všech typů obrábění s použitím nejrůznějších typů materiálů.

Číslicově řízené stroje jsou ve srovnání s klasickými konvenčními stroji dražší ale efektivnější. Proto se jejich použití stále více rozšiřuje a současné strojírenství by již bez jejich využití nedokázalo uspokojit světovou poptávku.

Při výběru tématu bakalářské práce mě zaujala oblast programování CNC strojů. Už na střední škole jsem se setkal s číslicově řízeným obráběním, které mě velice zaujalo. Během povinné praxe jsem si vyzkoušel programování a řízení CNC strojů, na kterých probíhalo klasické třískové obrábění. Jedním ze zadaných úkolů bylo například vytvořit řídicí program ručním i automatickým způsobem. Vytvořené obráběcí programy jsem přenášel do paměti CNC strojů a po jejich seřízení jsem prováděl samotnou výrobu součástky. Právě díky tomu, že jsem pracoval pouze s tradičními obráběcími postupy, bych se chtěl v rámci své bakalářské práce více zaměřit na netradiční způsoby obrábění, mezi které patří elektroerozivní obrábění.

Z existujících způsobů elektroerozivního obrábění mě nejvíce zaujal způsob drátového řezání. Při psaní této práce bych si chtěl prohloubit své znalosti o tomto řezání. V teoretické části bakalářské práce se zaměřím na nekonvenční metody obrábění, programování CNC strojů a modelování součástek v programu CAD. Praktická část této práce se bude týkat vytvoření obráběcí strategie pro obrábění na drátové řezačce. Všechny získané poznatky o obrábění tímto způsobem budou ověřeny pomocí navržené simulace. Na základě všech těchto poznatků vytvořím řídicí kód pro obecnou drátovou řezačku.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ

V současné době se ve strojírenství často využívá výpočetní techniky. Dochází k masivní automatizaci výroby. Využití číslicově řízených strojů stále roste. Automatizace přináší rychlejší, spolehlivější, přesnější výrobu a nahrazuje činnost člověka, čímž částečně snižuje možnost lidského selhání, a zvyšuje produktivitu práce.

Samotný vývoj automatického řízení začal již ve čtyřicátých letech 20. století v období druhé světové války. Postupem času došlo k velkým změnám v oblastech konstrukce strojů, ale i v samotném řízení a jeho programování. Jedny z prvních programovatelných strojů, NC stroje (Numerical Control), byly řízeny programem, který byl zaznamenán na děrném štítku nebo pásce. Tyto stroje byly používány při výrobě složitějších součástí s vysokou potřebou opakovatelnosti. Později byly připojeny ke strojům počítače, které zjednodušily programování a řízení strojů. Vzhledem k výkonnosti CNC strojů se jejich ceny snižují, ale kvalita produkovaných výrobků stoupá. Číslicově řízené stroje pokrývají široký rozsah technologií obrábění, tváření, řezání, montáže a měření. CNC stroje se dělí na jednoúčelové, univerzální a stroje s víceosým řízením.

Číslicově řízená centra jsou doplňována manipulačními, kontrolními a dalšími speciálními zařízeními, které zdokonalují automatizování výroby.

Počet klasických konvenčních strojů se snižuje a jsou nahrazovány číslicově řízenými stroji. Změnou výrobních zařízení se mění i požadavky na jejich obsluhu, nikoliv na technické znalosti pracovníků. Rozvoj CNC techniky stále pokračuje a objevují se další zdokonalené stroje.

## 1.1 Princip automatického řízení

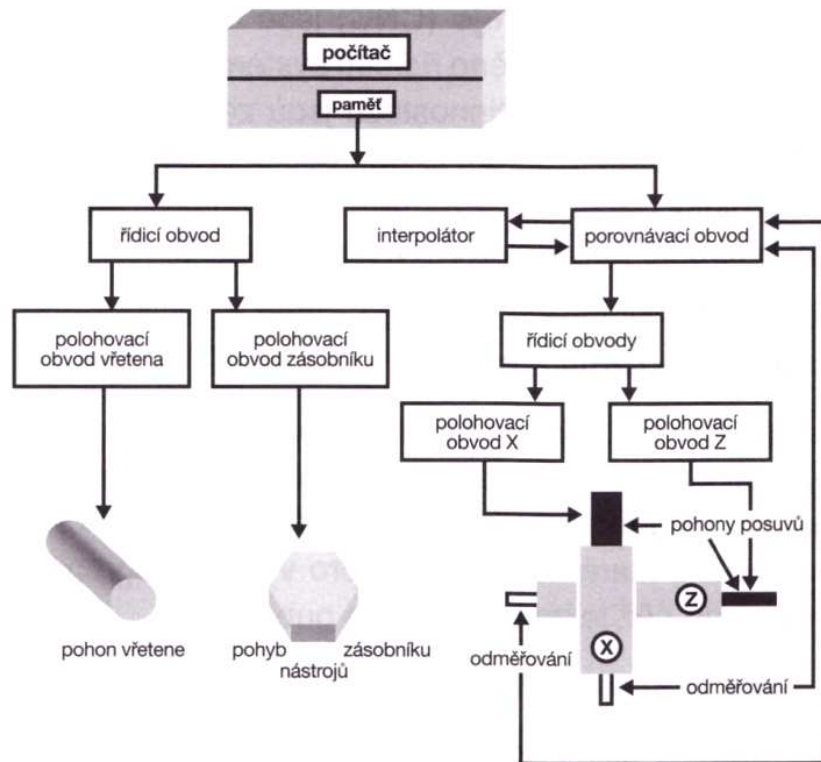
CNC – Computer Numerical Control – počítačem (číslcově) řízený (stroj)

„Číslicově řízené výrobní stroje jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapisovány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti.“

Stroje, které lze jednoduše přizpůsobit jiné výrobě, nazýváme „pružné“.

Řídicí program obsahuje informace:

- geometrické – popis dráhy nástroje nebo obrobku v kartézských souřadnicích, k sestavení dráhy jsou potřeba rozměry z výrobního výkresu součástky.
- technologické – technologie obrábění, řezné podmínky (otáčky, řezná rychlost, rychlost posuvu, hloubka třísky).
- pomocné – povely pro pomocné funkce (zapnutí, chladicí kapaliny, směr otáček vřetene).



Obr. 1. Blokové schéma CNC obráběcího stroje – zjednodušené [1]

### Popis blokového schéma:

- Počítač – průmyslový počítač s řídicím systémem:
  - skládá se z monitoru a ovládacího panelu pro zadávání příkazů při nutné ruční obsluze,
  - lze vytvářet přímo řídicí CNC program,
  - program lze vytvořit i mimo stroj a poté jej nahrát do řídicího systému.
- Řídicí obvody

- probíhá v nich převod logického signálu na silnoproudé elektrické signály, kterými se ovládají části stroje (vřetena, posuvy).
- Interpolátor
  - řeší dráhu nástroje, která je zadána geometrií,
  - zajišťuje výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje,
  - vypočítává ekvidistantu od požadovaného obrysu,
  - zajišťuje geometrickou přesnost výrobku.
- Porovnávací obvod
  - stroj je vybaven zpětnou vazbou, která přenáší informace o dosažených hodnotách v jednotlivých bodech dráhy,
  - tyto hodnoty (souřadnice) jsou porovnávány s požadovanými hodnotami,
  - podle odlišnosti mezi požadovanou a dosaženou hodnotou dojde k zásahu, ke korekci dráhy, tak aby byla dosažena požadovaná hodnota,
  - stroj musí obsahovat odměřovací zařízení.
- Řídicí panel slouží
  - pro vstup dat,
  - ovládání stroje,
  - volby režimu práce,
  - k aktivaci pamětí,
  - aktivaci testů,
  - obsahuje monitor a přenosný ovládací panel. [1]

## 1.2 Způsoby tvorby řídicího programu

### 1.2.1 Programování ruční

Ruční programování CNC strojů provádí programátor ručním zadáváním údajů. Na začátku programu je před první větou (blokem) uveden znak %. Za tímto znakem následuje číslo programu. Před znakem % lze uvádět různé informace, které nebudou strojem zpracovány. Například můžeme uvést název součásti atd. [1]

## Složení programu (v bloku):

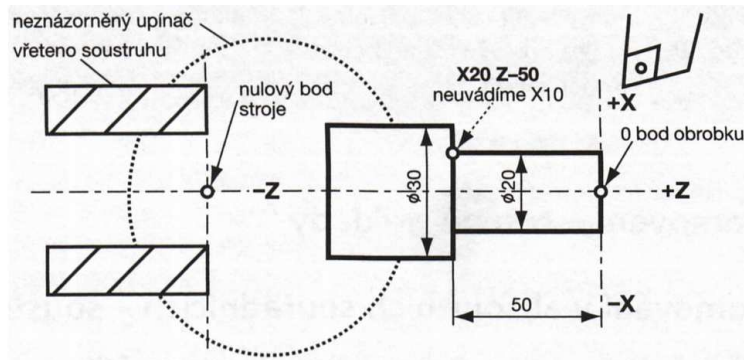
Příklad				Název	Poznámka
N 40 G 00 X 100 Z-50				blok (věta)	Doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je: <b>N G (M) X Y Z F S T D</b> , nemusí se dodržovat, záleží na daném řídicím systému. Doporučuje se dodržovat pro větší přehlednost a kontrolu.
N 40	G 00	X 100	Z-50	příkaz (slovo)	
<b>N</b>	<b>G</b>	<b>X</b>	<b>Z</b>	adresa	
40		00		významová část	
100		50		rozměrová část	
Význam nejpoužívanějších adres:					
Písmeno	Význam				Poznámka
X Y Z	Základní osy souřadného systému – pohyby v osách.				Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů závazná, některá doporučená.  <i>Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů, podle možností daných stroji pro které jsou především určena.</i>
A B C	Rotace kolem základních os.				
I J K	Parametry interpolace nebo stoupání závitu ve směru os.				
P Q R	Pohyb paralelně podél základních os.				
R	Některé systémy používají R jako parametr v podprogramech.				
U V W	Druhý pohyb paralelně se základními osami.				
T	Nastroj.				
D	Paměť korekce nástrojů.				
G	Přípravná (geometrická) funkce.				
M	Pomocná (přídavná) (strojní) funkce.				
N	Číslo bloku (věty).				
F	Posuv.				
S	Otáčky vřeten. Konstantní řezná rychlost.				
L	Volání podprogramu.				

Obr. 2. Složení programu [1]

Název a příklad	Užití
Věta (blok) Věta <b>musí</b> začít písmenem N a číslem např. N 40 Př. N 40 G 00 X 100 Z-50 (obvyklé u výukových systémů, ale <b>nemusí</b> u většiny systémů ve výrobní praxi)	Čísluje se obvykle po desítkách, aby bylo možné dodatečné vložení dalších vět například při opravě programu. Řídicí systém obvykle seřazuje bloky podle čísel vzestupně a v tomto pořadí je čte a stroj vykonává zadané příkazy. Vzestupnost čísel slouží též pro lepší orientaci programátora v programu. Pokud by následující věta(y) obsahovala některé stejné instrukce, nemusí se psát, jsou platné do té doby, než budou přepsány = modální funkce.
Přípravné (hlavní) funkce G (Go) Př. G00; G01; G42 Př. G0; G1; G42	Zpracovávají geometrické informace. Některé systémy připouštějí vložit i více G funkcí do jedné věty. Dvojmístné číslo se nemusí použít, pokud je první číslo 0. <i>Některé systémy používají více než dvojmístná čísla G a také M.</i>
Pomocné funkce M (Machine) Př. M04, také M4	Vyvolávají činnosti mechanismu stroje. Některé se také týkají řídicího systému.
Informace o dráze Př. X20 Z-30	Jsou zadány cílovým bodem v souřadnicích absolutně – G90, nebo přírůstkem – G91.
Funkce nástroje T (Tool) Korekce nástroje D Př. T01 D01	T a D se udávají obvykle dvojmístným číslem vzájemně souvisejícím. Př. T01 D01 současně zpracovává, přiřazuje k danému nástroji dané korekce. Některé řídicí systémy mají jiné řešení přiřazování korekcí k nástrojům.
Posuvové funkce F (Feed)	Velikost posuvů je zadána v: mm za otáčku u soustruhu [mm·ot <sup>-1</sup> ] mm za minutu u frézky [mm·min <sup>-1</sup> ]
Otáčkové funkce S (Speed)	Velikost otáček je zadána, za minutu [min <sup>-1</sup> ], řezné rychlosti [m·min <sup>-1</sup> ]

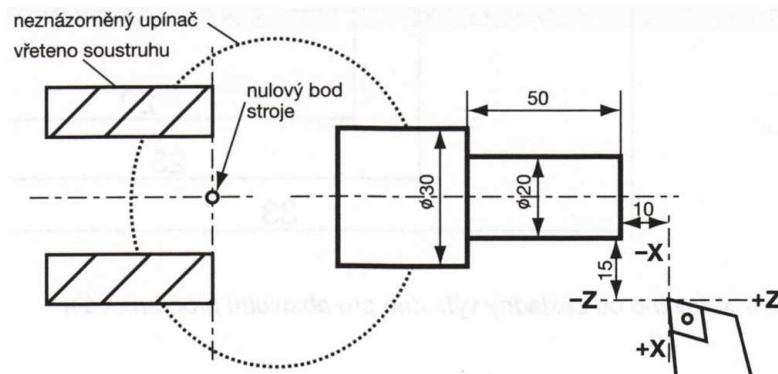
Obr. 3. Přehled funkcí [1]

Ruční programování lze provádět způsobem absolutním nebo inkrementálním.



Č. b.	Příkaz	Komentář	
<p>Nůž za osou: +X je na straně špičky nástroje. Platí takto i pro nástroj před osou. Souřadnicový systém je umístěn v nulovém bodě obrobku. V ose X se zapisují průměry. Správnější by bylo psát X10, ale software soustruhu umožňuje nedělit <math>\varnothing 20</math> mm</p>			
N .....	G90	Absolutní programování	<p>Mnemotechnická pomůcka pro absolutní programování:</p> <p><b>Do kterého bodu souřadnicové soustavy pojedeme nástrojem?</b></p>
N .....	.....	Technologický řádek	
N .....	G00 X20 Z1	1 mm před čelo z bezpečnostních důvodů	
N .....	G01 X20 Z-50	Soustružení $\varnothing 20$ mm L50	
N .....	G01 X30 Z-50	Přerovnání čela $\varnothing 20$ mm / $\varnothing 30$ mm	
N .....	G00 .....	Odjezd do výchozího bodu (výměny nástroje).	
N .....	M30	Konec programu.	

Obr. 4. Princip absolutního programování [1]



Č. b.	Příkaz	Komentář	
N .....	G91	Přírůstkové programování	<p>Mnemotechnická pomůcka pro přírůstkové programování:</p> <p><b>O kolik popojedeme nástrojem ve směru os X a Z?</b></p> <p>Součet všech drah je roven 0</p>
N .....	.....	Technologický řádek	
N .....	G00 X-15 Z-9	1 mm před čelo z bezpečnostních důvodů	
N .....	G01 X0 Z-51	Soustružení $\varnothing 20$ mm L50	
N .....	G01 X5 Z0	Přerovnání čela $\varnothing 20$ mm / $\varnothing 30$ mm	
N .....	G00 X10 Z60	Odjezd do výchozího bodu	
N .....	M30	Konec programu.	

Obr. 5. Princip přírůstkového programování [1]

### 1.2.2 Programování strojní

Při strojním programování využíváme CAD/CAM systémy.

CAD - computer Aided design - počítačová podpora projektování

CAM - computer aided manufacturin - počítačová podpora obrábění

Výkres vytvořený v systému CAD se kopíruje pro další práci v modulu CAM. Programátorské příkazy funkcí G, M, popisu dráhy, možností cyklů a dalších příkazů už není nutné ručně zadávat. Systém CAM nám je automaticky vytvoří na základě zadávání příkazů z převzaté kontury CAD ve 2D výkresu nebo 3D modelu. CAD/CAM programování vyžaduje vyšší znalosti pro obsluhu těchto modulů. Podle kvalit znalosti programátora se pak odvíjí i kvalita programu.

Modul CAM je směřován na tyto body:

- Strategie obrábění
  - nám značí jak postupovat při výrobě dílce, volba operačních úseků a pořadí (hrubování, hlazení, závity atd.).
- Volba nástroje
  - tvar a rozměry, bod výměny nástroje,
  - řezné podmínky na daný nástroj a na obrobek pro danou strategii obrábění.
- Podmínky obrábění (při ručním programování řešeno funkcemi G a M)
  - strategie obrábění daného úseku,
  - poloha obrábění ke kontuře,
  - způsob obrábění (podél kontury lineárně),
  - chlazení, mazání nástroje,
  - další podmínky.
- Vyhotovení programu, simulace zhotoveného programu, zjištění vyskytujících se chyb (neobrobené nebo podřezané plochy), programátor pak upraví chyby.
- Výběr post procesoru (překladače) pro daný CNC systém stroje.
- Automatizované vyhotovení programu CNC z modulu CAM. Program se zapíše v blocích v kódu ISO jako při ručním programování.
- Přenos programu na příslušný stroj. Na stroji lze program číst a také upravovat.

Kvalita programu je závislá na zkušenosti programátora a použitého programu. [1]



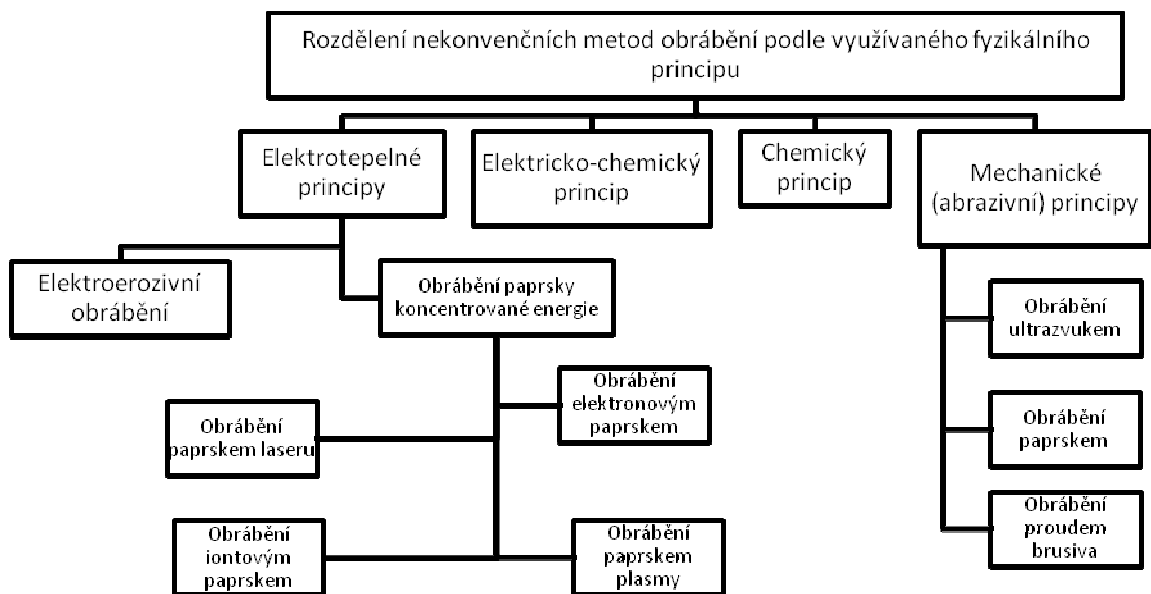
### **1.2.3 Programování dílenské**

Tento způsob programování spočívá v tom, že program pro obrábění součástky vytváří kvalifikovaný pracovník (obsluha) přímo na CNC stroji. Dílenské programování lze provádět na strojích s výkonnějším hardwarem. Programování je shodné s programováním v externím, programátorském pracovišti. Využívá se grafické podpory, pak lze přímo na simulátoru vidět simulaci obrábění po jednotlivě napsaných blocích. Programuje se podle klasických zásad. V případě připojení na počítačovou síť můžeme přebírat výkresovou dokumentaci ze systému CAD, včetně vyhotovených programů. [1]

## 2 METODY OBRÁBĚNÍ

### 2.1 Nekonvenční metody obrábění

Nekonvenční metody obrábění se také nazývají fyzikální technologie obrábění. Tyto metody využívají fyzikální a chemické principy úběru materiálu. U těchto způsobů odebírání materiálu nedochází ke vzniku klasické třísky, které vznikají při obrábění řeznými nástroji. U nekonvenčních technologií se jedná většinou o bezsilové působení nástroje na obráběný materiál.



Obr. 6. Rámcové rozdělení nekonvenčních metod obrábění [4]

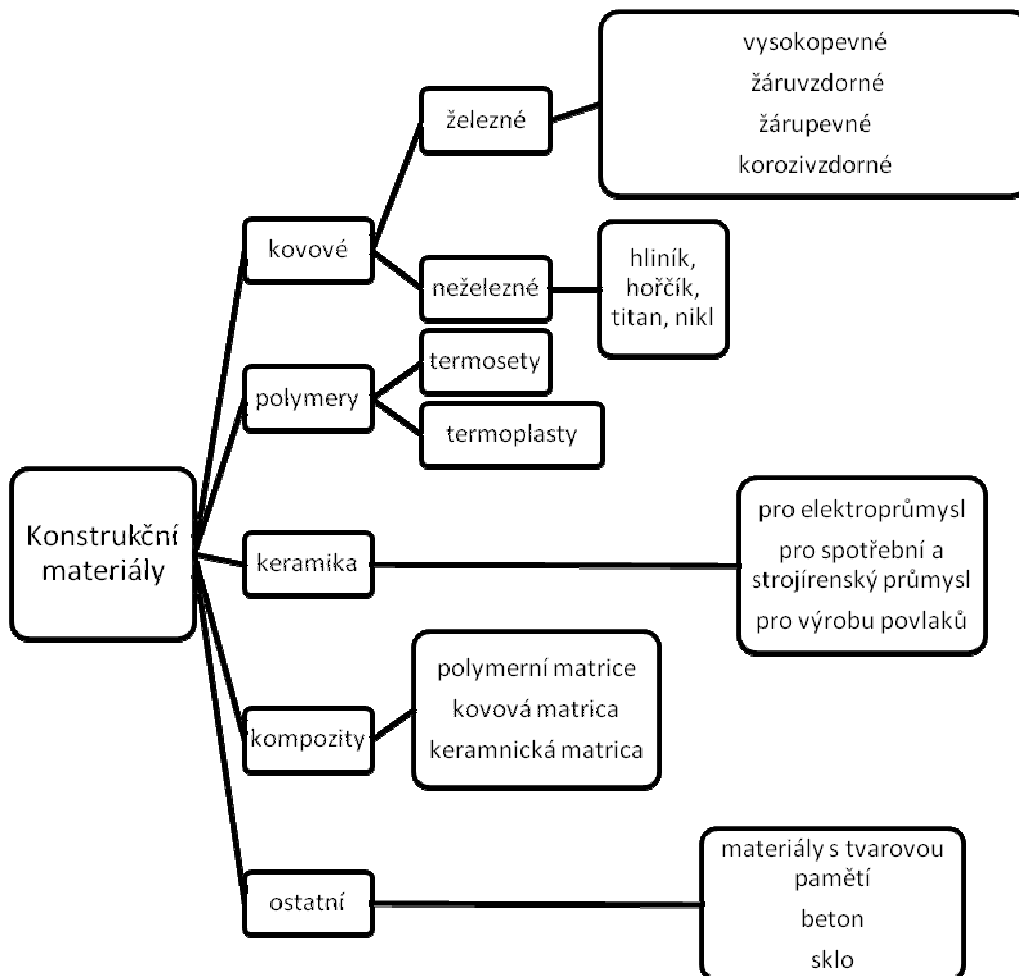
Využití dané fyzikální metody obrábění je ovlivněno obrobiteľností materiálu. Do obrobiteľnosti materiálu zahrnujeme tyto faktory:

- tepelnou vodivost,
- teplotu tání,
- elektrickou vodivost,
- odolnosti proti elektrické erozi,
- odolnosti proti chemické erozi,

- vzájemnou vazbou atomů a molekul.

U klasických třískových metod odebrání materiálu bychom obrobitelnost určovali podle jiných faktorů, například podle pevnosti, tvrdosti, houževnatosti apod.

Fyzikální metody se v průmyslu stále více využívají. Při konstrukci se používají těžkoobrobitelné materiály (kosmický a zbrojní průmysl), které nelze vůbec obrábět klasickým třískovým způsobem nebo jen s velkou obtížností. Vliv mají také ekologická hlediska na využití těchto metod.



Obr. 7. Přehled a rozdělení konstrukčních materiálů s důrazem na těžkoobrobitelné materiály z pohledu obrábění [3]

Fyzikální metody umožňují komplexní opracování tvarově složitých součástí a předmětů bez ohledu, zda se jedná o vnější nebo vnitřní tvarové plochy. S touto metodou obrábění se také zvyšují rozměrové a tvarové přesnosti. Lze vyrábět velmi malé součástky -

miniaturizace, například vyšetřovací pomůcky v lékařství. Nekonvenční metody obrábění se rozšiřují i do dalších odvětví strojírenského průmyslu.

Fyzikální obrábění má také své nevýhody. Mezi ně patří menší produktivita. [2]

*Tab. 1. Porovnání výkonných parametrů vybraných metod obrábění [2]*

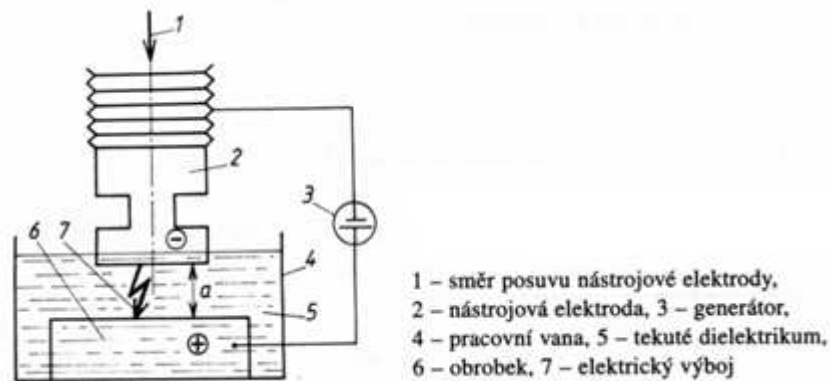
<b>Způsob obrábění</b>	<b>Úběr materiálu <math>Q_v</math> (<math>\text{cm}^3 \cdot \text{mm}^{-1}</math>)</b>	<b>Měrná práce <math>E_p</math> (<math>\text{J} \cdot \text{mm}^{-3}</math>)</b>	<b>Příkon obráběcího stroje (kW)</b>	<b>Dosažitelná přesnost (mm)</b>
Soustružení Frézování	až 1 000 (15 000)	1 až 10	5 až 50	0,025
Broušení	5 – 100 (80 – 1 500)	5 až 200	5 až 150	0,0025
Elektroerozivní obrábění	5 (80)	100 až 1 000	10	0,025
Plazmové obrábění	100 (1 500)	500 až 1 000	50 až 150	0,5
Obrábění elektronovým paprskem	~0,01 (0,15)	1 500	100	0,0255
Obrábění laserem	0,005 (0,08)	až 30 000	5 až 15	0,05
Elektrochemické obrábění	15 – 25 (250 – 400)	10 až 100	200	0,055
Ultrazvukové obrábění	~10 (200)	1 000 až 3 000	1 až 5	0,0155

## 2.1.1 Elektroerozivní obrábění

### 2.1.1.1 Princip elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní obrábění je způsob obrábění, při němž dochází k odebrání materiálu elektrickým výbojem mezi katodou a anodou. Tento proces se nazývá elektroeroze. Vysoká koncentrace energie způsobuje, že materiál taje a odpařuje se.

Katoda je většinou nástrojovou elektrodou. Tyto elektrody se vyrábí z materiálu elektricky vodivého, s vysokou teplotou tání a bodem varu, dobrou tepelnou vodivostí a tepelnou kapacitou, odolného vůči elektrické erozi. Vhodným materiálem z oblasti kovů je elektrolytická měď, slitiny wolframu a mědi, slitiny wolframu a stříbra. Lze používat i nekovové materiály, například grafit. Další možností je kompozice grafitu a mědi.



Obr. 8. Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [2]

Anoda je většinou obrobek ponořený do dielektrika. Obrobek musí být elektricky vodivý. [2]

Při elektroerozivním obrábění je potřeba mít generátory elektrické energie – zdroje. Dělí se na závislé (RC, RLC) a nezávislé generátory (pulsní).

Závislé generátory jsou tzv. elektrojiskrné generátory. Jsou to nejstarší typy zdrojů výbojů. Generátory dávají velmi krátké výboje, v nichž převládá elektronová vodivost. Výhodou je, že tento typ zdroje je spolehlivý a poměrně jednoduchý. Mezi nevýhody patří velký objemový úbytek na nástroji (katoda), přibližně 30 procent a více. Úběrovost je  $2\,000\text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Druhý typ generátorů jsou generátory nezávislé (pulsní). Tyto zdroje se dělí na rotační a polovodičové. Rotační generátory vysílají impulsy, které vznikají roztáčením dynama asynchronního motoru. Rotační zdroje mají stálou frekvenci (400 Hz). Úbytek na nástroji je 1 %. Úběrovost dosahuje až  $5\,000 - 25\,000\text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . [4]

Dielektrikum je kapalina s velkým elektrickým odporem, které má funkci izolátoru mezi elektrodami. Má schopnost odvádět teplo z místa výboje, výbojový kanál, odstraňuje odebraný materiál, zabraňuje usazení odebraného materiálu.

„Hlavní zákonitosti elektroeroze:

- podléhají jí všechny elektricky vodivé materiály,
- může probíhat v plynném i kapalném prostředí (dielektrikum),
- vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze dosáhnout dvou druhů výbojů:
  - oblouk, tj. stacionální výboj,
  - jiskra, tj. nestacionální výboj,
- výboje probíhají mezi elektrodami ve vzdálenosti 5 až 100  $\mu\text{m}$ .“

Fyzikální pochod úběru materiálu:

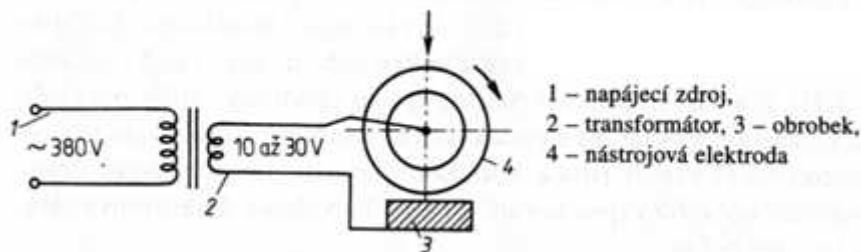
- Obrábění probíhá mezi elektrodami.
- Elektrody jsou ponořeny do dielektrika.
- Výboj vzniká přivedením elektrického napětí na elektrody.
- K výboji vzniká v místě nejsilnějšího elektrického napěťového pole.
- V místě výboje je 3 000 až 12 000  $^{\circ}\text{C}$ , dochází k tání a odpařování materiálu elektrod. Zároveň se vypařuje dielektrikum.
- Při vypnutí elektrického obvodu dochází ke snížení teploty a tlaku. Roztavený materiál je odstraněn z místa výboje. Vzniklé krátery mají objem řádově od  $10^{-3}$  do  $10^{-5}$   $\text{mm}^3$ .
- Zaniká výboj a bublina. Do kráteru se dostává dielektrikum, ochlazuje se roztavený materiál a elektrody.

Odebraný materiál výbojem je rozložen na úběr anody a katody. Úběr materiálu z nástroje lze minimalizovat:

- vhodným zapojením napájecího elektrického obvodu (polaritou),
- použitím vhodných elektrických parametrů pro jednotlivé výboje,
- četností elektrických výbojů,
- vhodným dielektrikem,
- vhodnou volbou materiálů elektrody nástroje. [2]

### 2.1.1.2 Elektrokotaktní obrábění

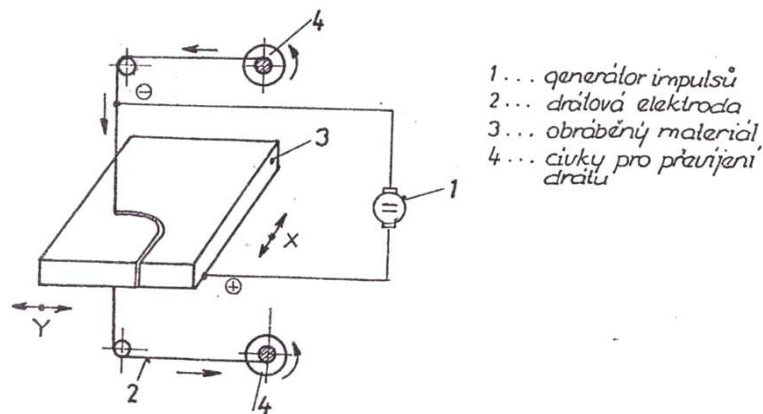
Patří mezi speciální typy elektroerozivního obrábění. Využívá principu nestacionárních kontaktních obloukových výbojů. Ve výbojovém kanálu převládá iontová vodivost. Katoda a anoda jsou zapojeny do obvodu se střídavým napětím. Používají se transformátory s výkonem 10 – 250 kW a frekvencí 50 – 500 Hz. Výboje mají délku až 0,01 s. Elektroda zde vykonává rotační pohyb. Dochází takto k buzení kmitů a zabrání se tak svaření nástroje a obrobku. Nástrojová elektroda má speciální drážky pro vyplachování dielektrikem. Elektrokotaktní obrábění je vhodné pro řezání vtoků a nálitků. U tohoto způsobu obrábění se dosahuje až  $10^6 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  ( $100 - 500 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Dochází zde ke vzniku ultrafialového záření. Tepelné ovlivnění obrobku se pohybuje v hloubce 0,2 – 5 mm. [2]



Obr. 9. Princip stroje pro elektrokotaktní dělení materiálu [2]

### 2.1.1.3 Elektroerozivní drátové řezání

Drátové řezání je jednou z nejrozšířenějších metod elektroerozivního obrábění. Tato nekonvenční metoda se používá při výrobě střižných a lisovaných nástrojů, šablon a plochých součástí. Obrábění materiálu probíhá pomocí elektrody, což je tenký drát převíjený speciálním zařízením. Elektroeroze probíhá mezi drátem a obrobkem. Výboji mezi obrobkem a drátovou elektrodou dochází k obrábění. [4]

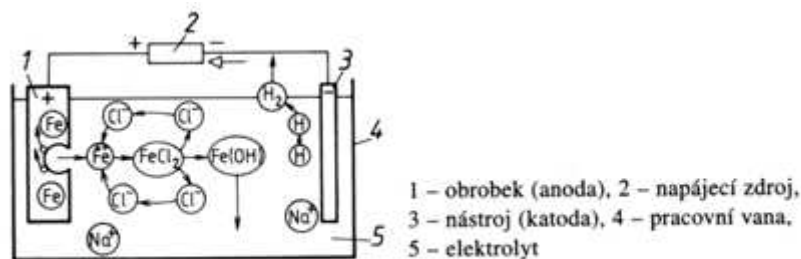


Obr. 10. Princip metody elektroerozivního drátového řezání [4]

### 2.1.2 Elektrochemické obrábění

Tento typ obrábění patří mezi beztlákový způsob obrábění pouze u elektricky vodivých materiálů. „Podstatou metody je fyzikální jev zvaný elektrolyza“. Obrobek (anoda) je ponořen v elektrolytu. V obrobku dochází k reakci. Kationty elektrolytu se slučují s anionty kovu na povrchu anody. Tak dochází k postupnému narušení (úběru) materiálu anody. Anoda kopíruje tvar katody (nástrojové elektrody). U elektrochemického obrábění platí, že čím menší je pracovní mezera mezi elektrodami, tím je větší rychlost rozpouštění kovu. „Tím se řídí regulace přísuvu nástrojové elektrody při obrábění – účelem je udržení stále stejné velikosti (minimální možné, asi 0,05 až 1 mm) pracovní mezery.“

„Elektrochemické obrábění se řídí Faradayovými zákony, teorií elektrolytu a termodynamikou galvanických článků.“ [2]



Obr. 11. Princip elektrochemického obrábění [2]



V okamžiku, kdy dojde k zapojení elektrod do elektrického obvodu, vzniká elektrické homogenní pole. Výkonnost obrábění je dána několika faktory:

- hustotou proudu,
- rychlostí proudění elektrolytu,
- množstvím aktivačních činidel v elektrolytu.

Při vysoké hustotě proudu vznikají tzv. pasivační vrstvy. Tyto vrstvy zpomalují úběr materiálu – anodické rozpouštění. Elektrolyt má několik úkolů. Mezi hlavní úkoly patří zajištění vedení elektrického proudu a určování podmínek rozpouštění anody (obrobku). Elektrolyt odvádí produkty vzniklé chemickou reakcí a zajišťuje odvod tepla z pracovního prostoru. Nejčastější elektrolyty:

- chlorid sodný (NaCl),
- dusičnan sodný (NaNO<sub>3</sub>),
- chlorečnan sodný (NaClO<sub>3</sub>),
- kyselina chlorovodíková (HCl),
- kyselina sírová (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Přenos iontu materiálu v elektrolytu probíhá pomocí konvencí, difuzí a migrací.

„Podle Faradayových zákonů platí:

I. zákon: množství látky uvolněné nebo chemicky přeměněné na elektrodách je přímo úměrné množství prošlého náboje;

II. zákon: prochází-li stejný proud po stejnou dobu různými elektrolyty, je množství vyloučených látek úměrné jejich chemickým ekvivalentům.“ [2]

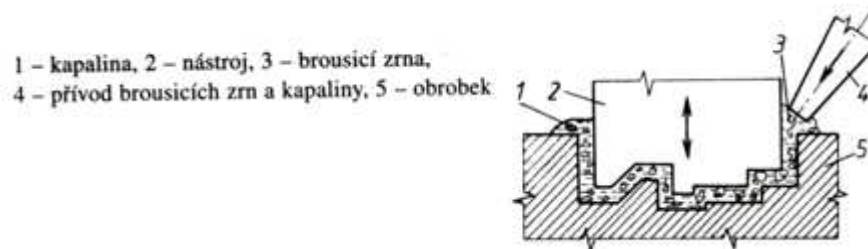
### 2.1.3 Obrábění ultrazvukem

Jedná se o mechanické rozrušení materiálu pomocí pohybu zrn abrazivního materiálu a působením kavitační eroze. Kavitační jev je způsoben kmitavým pohybem nástroje. Zrna jsou přivedena do prostoru mezi nástrojem a obrobkem. Brusná zrna se nachází v kapalném prostředí. Zrna jsou zatlačována do obrobku přes nástroj určitou silou. Ostrými hranami zrn dochází k vylamování částic materiálu z obrobku. Tak dochází ke kopírování tvaru nástroje do obráběného materiálu. [4]

Nástroj může vykonávat několik způsobů pohybu:

- kmitavý (kmity v kolmém směru na obrobek),
- přímočarý posuvný pohyb,
- nebo kombinace kmitů a přímočarého pohybu.

Kmity mají frekvenci 18 – 25 kHz.



Obr. 12. Princip obrábění ultrazvukem [2]

Produktivita obrábění je závislá na obráběném materiálu, na jeho tvrdosti a křehkosti. Výhodou této metody obrábění je obrábění i nevodivých materiálů na rozdíl od elektroerozivních metod obrábění, u nichž lze obrábět jen vodivé materiály.

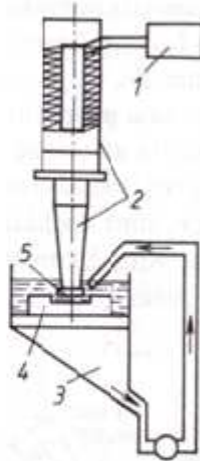
Tab. 2. Obrobitelnost materiálu ultrazvukem [2]

Obráběný materiál	Relativní (poměrná) obrobitelnost	Obráběný materiál	Relativní (poměrná) obrobitelnost
Sklo	1,0 (etanol)	Křemík	0,5
Rubín	0,9	Keramika	0,3
Ferit	0,8	Achát	0,3
Germánium	0,6 – 0,3	Slinutý karbid	0,05 – 0,2

Stroje pro ultrazvukové obrábění obsahují:

- generátor vln,
- systém pro vytvoření kmitů,
- zařízení pro přívod zrn,
- CNC řídicí systém a nástroj pro obrábění.

Nástroje jsou vyráběny z korozi-vzdorné, konstrukční oceli. Je možné je vyrábět i z jiných materiálů, než je ocel. Lze použít i měď nebo mosaz. Funkční část nástroje má tvar požadované plochy.



1 – generátor ultrazvukových kmitů, 2 – systém pro vytvoření mechanických kmitů,  
3 – přívod brousicích zm a kapaliny, 4 – obrobek, 5 – nástroj

Obr. 13. Stroj pro obrábění ultrazvukem [2]

Ultrazvukové obrábění lze uplatnit na řezání materiálu (tyče z křemene), hloubení průchozích děr, hloubení dutin, broušení rovinných ploch. [2]

#### 2.1.4 Plazmové technologie

Plazmové technologie jsou založené na principu ohřevu nebo tavení materiálu při teplotách vyšších než 10 000 °C. Dochází k rozkladu molekul plynu při průchodu elektrickým obloukem. Oblouk je mezi katodou a anodou. Anoda je opracováváný materiál nebo těleso hořáku. Z hořáku proudí paprsek plazmy (průměr 1 mm). Roztavený materiál je odstraněn z místa řezu plynem.

Plazma – „elektricky vodivý stav plynu, který nastává při elektrickém výboji mezi anodou a katodou – vzniká ionizovaný plyn. Původně chemický stejnorodý plyn se změní na směs kladných a záporných iontů, fotonů a dalších elementárních částic.“

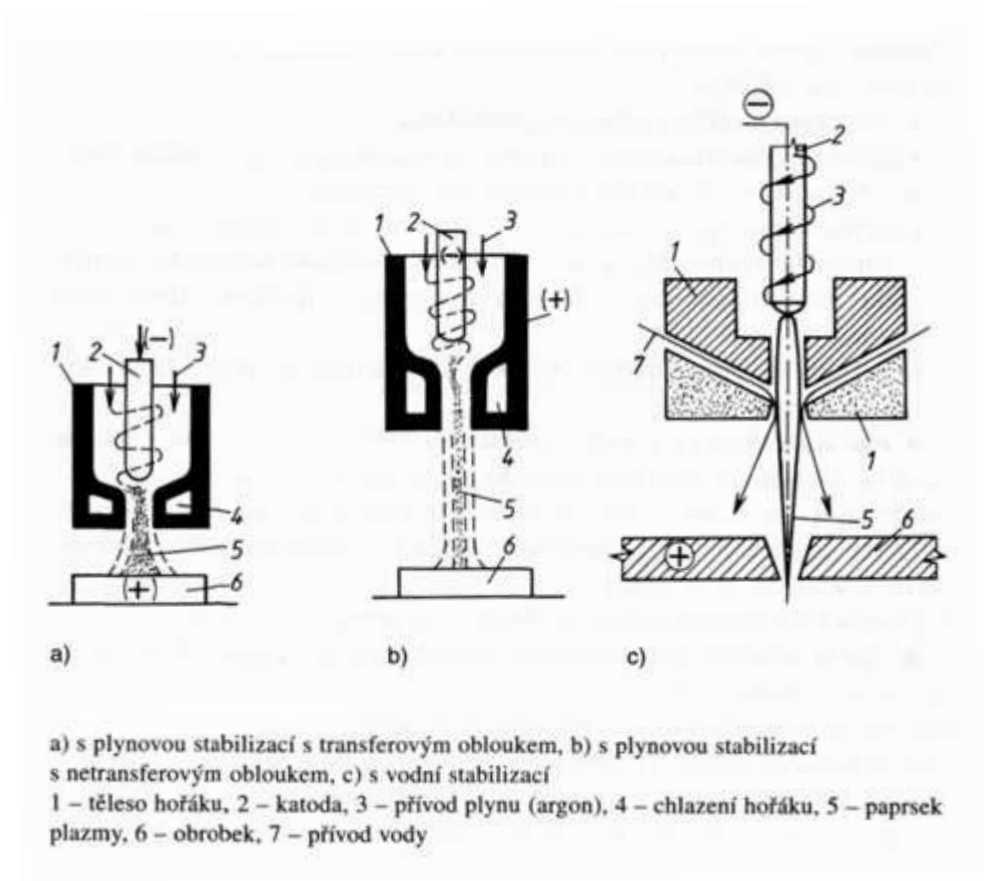
Zařízení pro plazmové obrábění zahrnuje:

- plazmové hořáky,

- zdroje elektrického proudu,
- řídicí jednotky,
- manipulační zařízení (souřadnicové pracovní stoly, manipulátory, roboty).

V plazmovém hořáku dochází k přeměně energie elektrické na energii tepelnou. Používá se několik druhů plazmových hořáků. Dělí se podle stabilizace elektrického oblouku:

- s plynovou stabilizací
  - transferovaný oblouk - elektrický oblouk mezi vnitřní elektrodou v hořáku a obrobkem, obrábění kovových materiálů (ocel, neželezné kovy),
  - netransferovaný oblouk - elektrický oblouk mezi vnitřní elektrodou v hořáku a výstupní tryskou (anoda), obrábění nevodivých materiálů (keramika, nanášení povlaků),
- s vodní stabilizací
  - vstřikování vody do plazmového hořáku,
- plazmové plyny
  - přívod plynu (helium, dusík, argon + vodík) do elektrického oblouku, vzniká ionizace,
- fokusační plyny
  - zaostřují paprsek do výstupu z trysky pomocí plynu (helium, dusík, argon + vodík),
- asistentní plyny
  - tyto plyny (argon, dusík) obklopují plazmový paprsek v pracovním prostoru, ochrana před atmosférou.

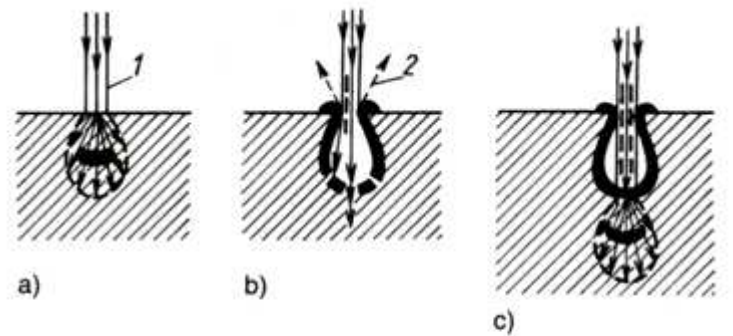


Obr. 14. Plazmové hořáky [2]

K zapálení elektrického oblouku se používá vysokofrekvenčního výboje nebo zapalovací jehly. Tato metoda obrábění se využívá při svařování, řezání nebo stříkání vrstev materiálu. Dále se používá na obrábění těžkoobrobitelných materiálů. [2]

### 2.1.5 Obrábění elektronovým paprskem

Tato metoda nekonvenčního typu obrábění využívá kinetické energie proudu urychlených elektronů.



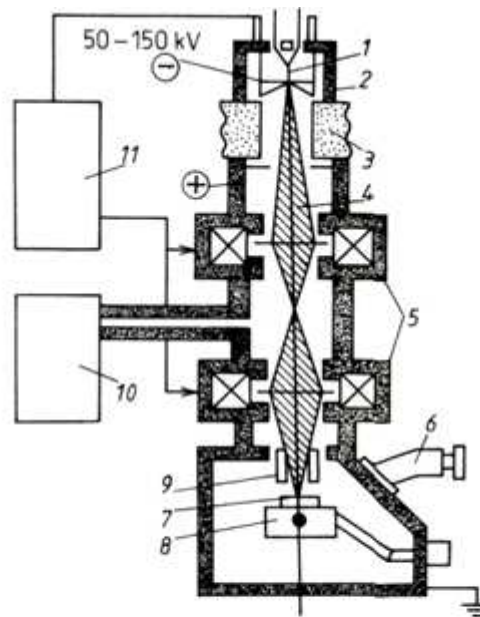
a) vnik elektronů do materiálu obrobku, b) erupční odpařování materiálu,  
c) opětový vnik elektronů do materiálu obrobku  
1 – elektronový paprsek, 2 – páry odpařeného kovu

*Obr. 15. Princip obrábění elektronovým paprskem [2]*

Obrábění elektronovým paprskem může být kontinuální nebo přerušovaný (pulzní) proces. V pracovním místě, kam dopadá elektronový paprsek, se kinetická energie změní na tepelnou energii. Elektronový paprsek vnikne do obrobku. V určité hloubce dojde k zastavení pohybu elektronů a začne vznikat tepelná energie. Tato energie se soustřeďuje pod povrchem materiálu a dochází k erupčnímu odpařování (tání) materiálu. Páry vznikající při obrábění jsou ionizovány a přeměňovány na nové paprsky.

Stroje pro toto obrábění se skládají z:

- elektronového děla,
- zaostřovacího systému,
- systému pro vychylování elektronového paprsku,
- napájecího zařízení,
- pracovní komory a systému pro automatické řízení.



1 – wolframový drát, 2 – elektronové dělo, 3 – izolátor, 4 – elektronový paprsek,  
 5 – elektromagnetické čočky, 6 – průzor, 7 – obrobek, 8 – pracovní stůl,  
 9 – elektrostatické vychylování elektronového paprsku, 10 – vývěvy, 11 – napájecí zdroj

Obr. 16. Zařízení pro obrábění elektronovým paprskem [2]

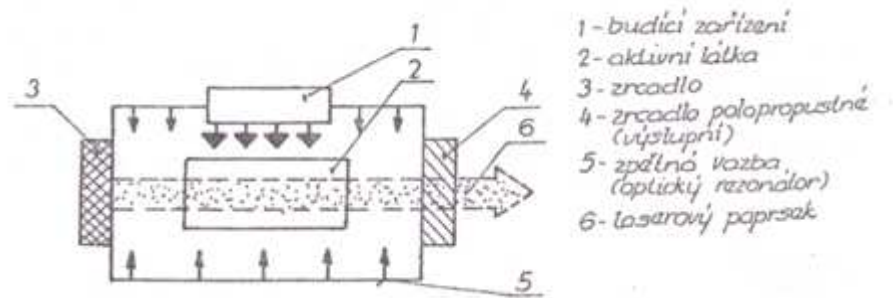
Elektronové dělo je zdroj elektronů. Paprsek prochází přes elektromagnetický zaostřovací systém (elektromagnetické čočky) a je zaostřen na malou plochu. Zaostření na malou plochu = vysoká plošná hustota energie.

Pracovní cyklus probíhá ve vakuu. Obrábění pomocí proudu elektronů lze využít při svařování, vrtání dlouhých děr malých průměrů, řezání – termické procesy. Můžeme jej využít v oblasti elektrotechniky při výrobě čipů (chemické reakce) – netermické procesy. [2]

### 2.1.6 Obrábění laserem

Laser – light amplification by simulated emission of radiation (zesílení světla pomocí vynucené emise záření)

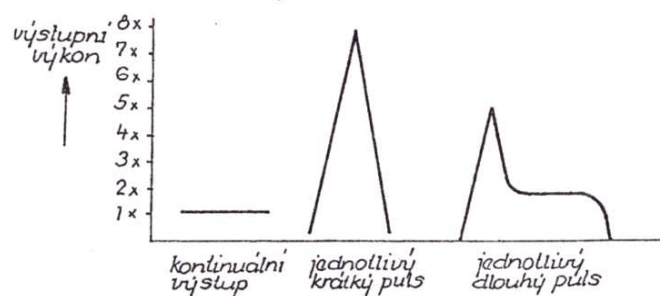
Laser je generátorem elektromagnetického záření v optické oblasti vlnových délek při využití stimulovaného záření.



Obr. 17. Obecné vyjádření principu LASERU [4]

Záření je soustředěno do paprsku. Související světelný paprsek se společným původem v jediném zdroji je ovládán pomocí soustavy čoček a zrcadel. Paprsek při dopadu na překážku (obrobek) přemění tuto energii na tepelnou energii.

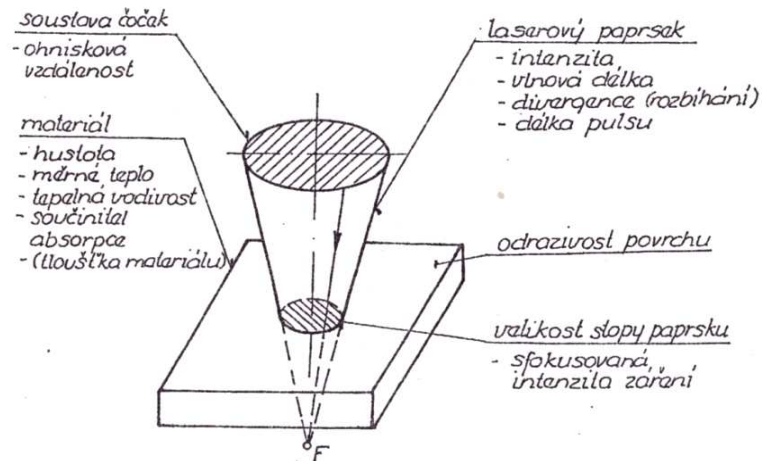
Lasery můžeme dělit dle použité aktivní látky (aktivní prostředí) na plynové, v pevné fázi a kapalinové. Nejčastěji se používají plynové typy laseru. Aktivní prostředí se skládá ze směsi plynů  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  a He. Toto jsou tzv.  $\text{CO}_2$  lasery.



Obr. 18. Typ laserového signálu [4]

Lasery mohou pracovat kontinuálním i pulsním způsobem. Při pulsním provozu se dosahuje velké hustoty energie pro zvýšení absorpce záření v materiálech s velkou odrazovostí a nižším objemovým ohřevem materiálu v důsledku krátké délky pulsu paprsku. [4]

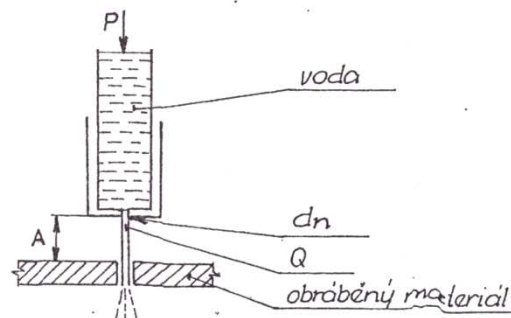




Obr. 19. Laserový paprsek [4]

### 2.1.7 Obrábění kapalinovým paprskem

Obrábění vysokoenergetickým kapalinovým paprskem (VKP) probíhá za využití abrazivních účinků vysokoenergetického vodního paprsku. Kapalinové obrábění patří k netradičním obráběcím metodám hlavně při obrábění nekovových materiálů. Používá se v leteckém a kosmickém průmyslu.



Obr. 20. Kapalinový vodní paprsek [4]

Na vodu působí tlak, který můžeme plynule regulovat podle potřeby. Vodní trysky jsou vyráběny ze safíru, rubínu nebo diamantu. Kapalína proudí z trysek rychlostí asi  $1000 \text{ m} \cdot \text{sek}^{-1}$ . Životnost trysek je přímo úměrná množství minerálů ve vodě a je v rozsahu 50 – 500 hodin. Vodním paprskem je možné řezat materiály o tloušťce 5 – 15 mm.

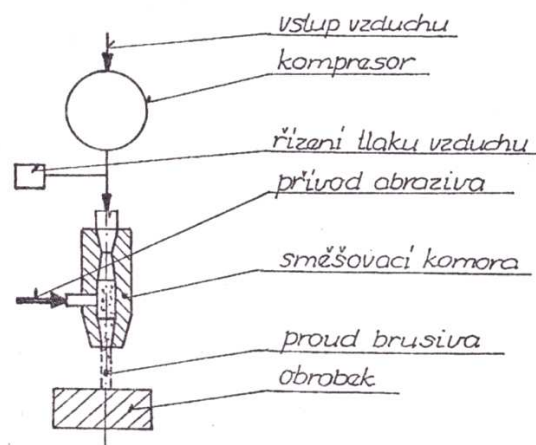
Kapalinový paprsek zvládá řezat i materiály, například kevlar, lamináty, uhlíkové kompozity. Rychlost řezání závisí na typu materiálu:

- lepenka, fólie, buničina až  $400 \text{ m.min}^{-1}$ ,
- kůže, potraviny  $10 - 100 \text{ m.min}^{-1}$ ,
- uhlíkové kompozity, kevlar  $0,5 - 10 \text{ m.min}^{-1}$ .

Kapalinový paprsek může být obohacen o abrazivní příměsi. Příměsi jsou syntetické i přírodní. Tryska musí odolávat abrazivním účinkům příměsí. Výstupní tryska se vyrábí z karbidu wolframu nebo keramických materiálů na bázi korundu. Lze řezat všechny známé materiály.

### 2.1.8 Obrábění proudem brusiva

Obrábění proudem brusiva probíhá díky přítomnosti abrazivního účinku brusiva, které je nesené proudem vzduchu o vysoké rychlosti.

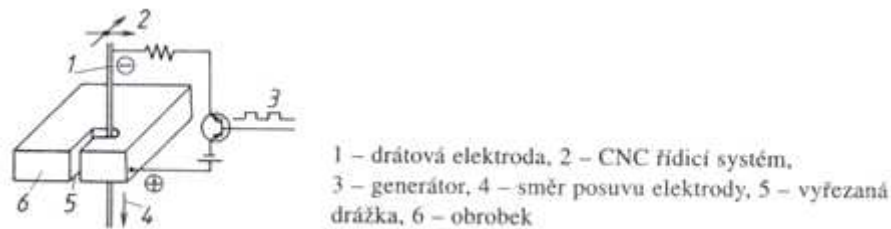


Obr. 21. Obrábění proudem brusiva [4]

Obrábění AJM (Abrasive Jet Machining) je využíváno hlavně k výrobě drážek při obrábění křemíku u polovodičů v elektrotechnickém průmyslu. Dále se používá na ryté nápisy a znaky do skla, odstraňování otřepů lékařských jehel. [4]

### 3 ŘEZÁNÍ DRÁTOVOU ELEKTRODOU

Řezání drátovou elektrodou lze považovat za jednu z nejpoužívanějších nekonvenčních elektrických metod obrábění, k výrobě plochých součástí (střížných, lisovacích nástrojů, šablon). Drátovou elektrodou lze vyrábět různé rovinné plochy. Při obrábění drátovou elektrodou platí zákony elektroeroze. Princip elektroeroze byl již popsán v části Princip elektroerozivního obrábění. Elektroeroze probíhá mezi drátem (nástrojová elektroda) a obrobkem.



Obr. 22. Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou [2]

Řezání drátem Wire-EDM má 4 základní prvky:

- Proudový zdroj

Napájecí systém se liší od konvenčních EDM systému napájení v tepové frekvenci, která je asi 1 MHz. To vede ke snížení velikosti kráteru nebo lepšímu povrchu. Vzhledem k průměru drátu se nemůže nést proud větší než 20A.

- Dielektrické prostředí

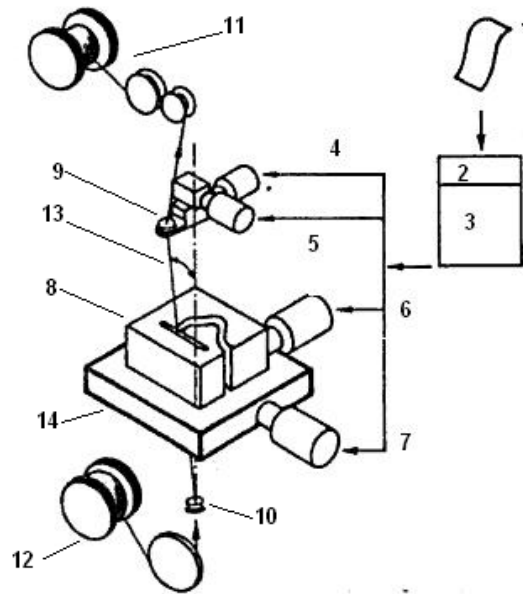
Používá se deionizovaná voda. Má nízkou viskozitu a má vysokou účinnost při chlazení místa obrábění. Pro zvýšení účinnosti se používá přívod deionizované vody podél osy drátu.

- Systém polohování

Obvykle se používá CNC řízení 2-osých stolů (X, Y). Pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou se vytváří samočinně úběrem materiálu obrobku před elektrodou. U složitějších drátových řezaček máme další dvě osy (U, V), které umožňují naklápění drátu vůči polohovacímu stolu.

- Hnací systém

Hnací systém nám zabezpečuje stálý a rovnoměrný přísun drátu, tak aby nedocházelo k jeho nadměrnému opotřebení. Tento systém nám zajišťuje dostatečné napnutí drátu. Drátová elektroda se před začátkem obrábění kalibruje přes diamantový průvlak.



1 – NC páska (program), 2 – počítač, 3 – řídicí jednotka, 4 – pohon osy V, 5 – pohon osy U, 6 – pohon osy Y, 7 – pohon osy X, 8 – obrobek, 9 – horní vedení drátu, 10 – spodní vedení drátu, 11 – horní cívka drátu, 12 – spodní cívka drátu, 13 – naklonění drátu, 14 – pracovní stůl

Obr. 23. Drátová řezačka [5]

Řezací drát je připojen ke generátoru jako elektroda opačné polarity.

V praxi se používají dráty odlišného průměru a materiálu. Volba typu drátu závisí podle požadavků na výsledný produkt. Na jemné řezy se používá drát o průměru 0,03 – 0,07 mm, který je vyroben z molybdenu. Běžně se používá jako materiál na výrobu drátu měď. Na silnější dráty je používána mosaz. Další variantou drátové elektrody je vrstvený drát. Takový drát se používá při obráběcích procesech, při nichž dochází k větším teplotním zatížením. Vrstvený drát zvyšuje účinnost jiskry. Jádro vrstveného drátu je z mědi a povrchová vrstva je vyrobena ze zinku. [2,5]

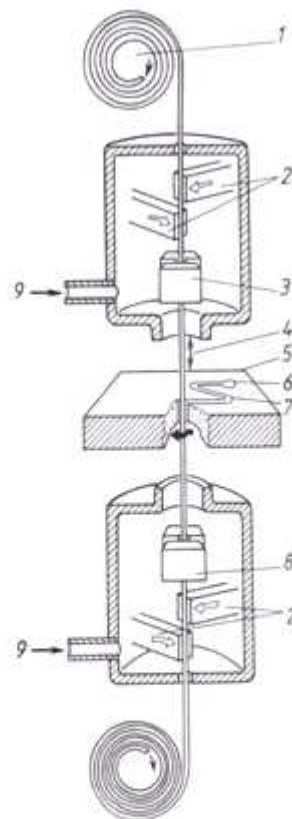
Drát musí mít tyto vlastnosti:

- vysoká mechanická pevnost,

- vysoká přesnost průměru drátu,
- vysoká tvarová přesnost.

Kvalita výrobku záleží na:

- stroji,
- přesnosti a spolehlivosti CNC systému,
- stabilitě pracovních parametrů,
- kvalitě přívodu čistícího dielektrika (deionizovaná voda),
- dokonalé napnutí a narovnání drátové elektrody.



1 – zásobník drátu, 2 – přívod výbojového proudu,  
 3 – horní vedení drátu, 4 – napínání drátu,  
 5 – obrobek, 6 – startovací díra, 7 – fezaný tvar,  
 8 – dolní vedení drátu, 9 – přívod dielektrika

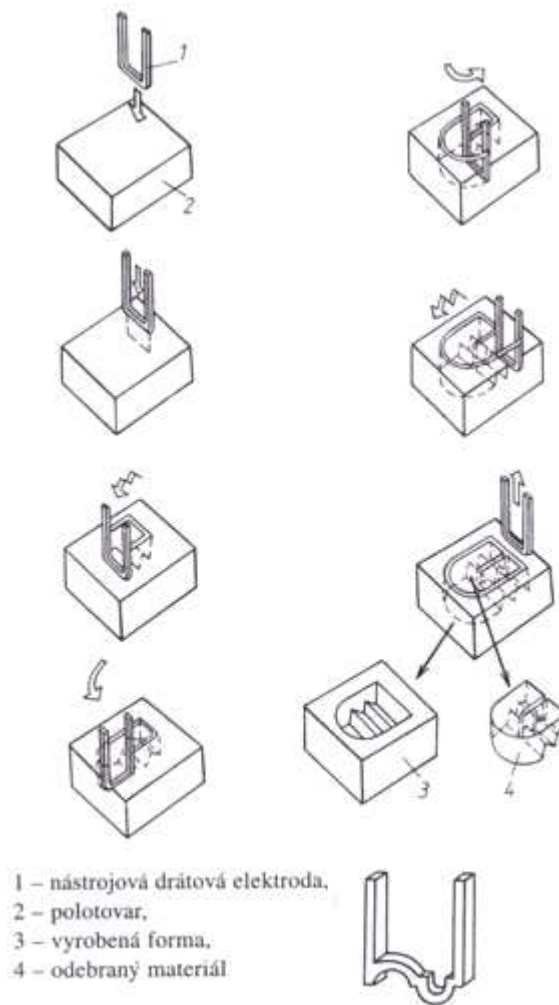
Obr. 24. Schéma podávání a vedení drátové elektrody [2]

„Dosahování technologických parametrů při elektroerozivním řezání drátovou elektrodou:

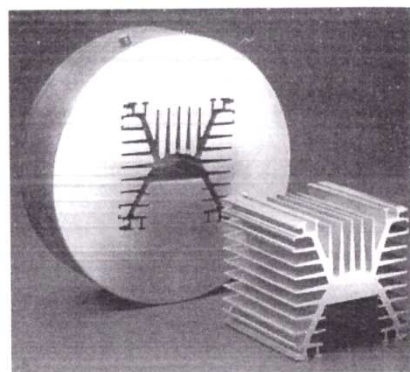
- maximální úběr materiálu 35 až 200 mm<sup>2</sup>.min<sup>-1</sup>,
- rovnoběžnost řezu do 2 μm na 100 mm tloušťky materiálu,
- jakost obrobeneho povrchu Ra = 0,15 až 0,3 μm,
- přesnost rozměrů a tvaru obrobeneho povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje:
  - při kolísání teploty ±3 °C je přesnost ±3 μm,
  - při kolísání teploty ±1 °C je odchylka ±1 μm,
- maximální tloušťka řezaného materiálu 350 mm.“

Moderní stroje umožňují automatické vrtání díry a automatické zavedení drátu. Takto automatizovaný stroj může pracovat 80 hodin bez zásahu obsluhy.

Elektroerozivní drátovou metodou lze vytvářet trojrozměrné tvary. Tyto tvary se vyrábí za použití tvarové drátové elektrody. Nástrojová tvarová elektroda má tvar trubky obdélníkového průřezu. Výsledný tvar je kombinací tvaru speciální elektrody a jejího pohybu. [2]



Obr. 25. Princip výroby dutiny tvarovou drátovou elektrodou [2]



Obr. 26. Příklad výrobku vyřezávaného drátovou elektrodou – složitý výrobek [2]

„Dosahované parametry při řezání tvarovou drátovou elektrodou:

- přesnost obroběných rozměrů 0,1 mm,

- jakost obrobeneho povrchu Ra = 10  $\mu\text{m}$ ,
- rychlost posuvného pohybu nástrojové elektrody 0,17 až 0,55  $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ,
- výhodné pro obrábění dutin o délce větší než 70 mm.“ [2]

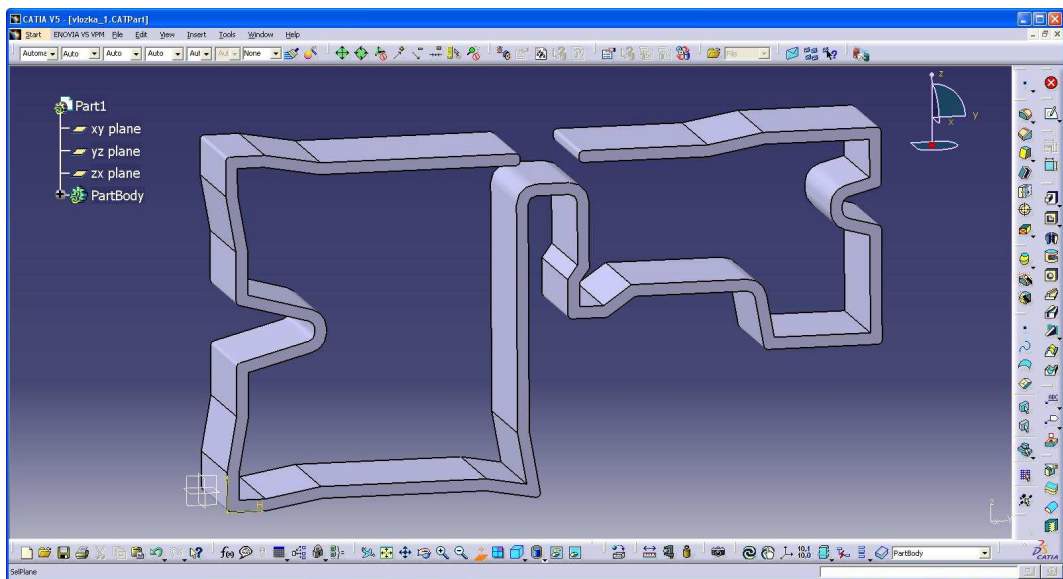


## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

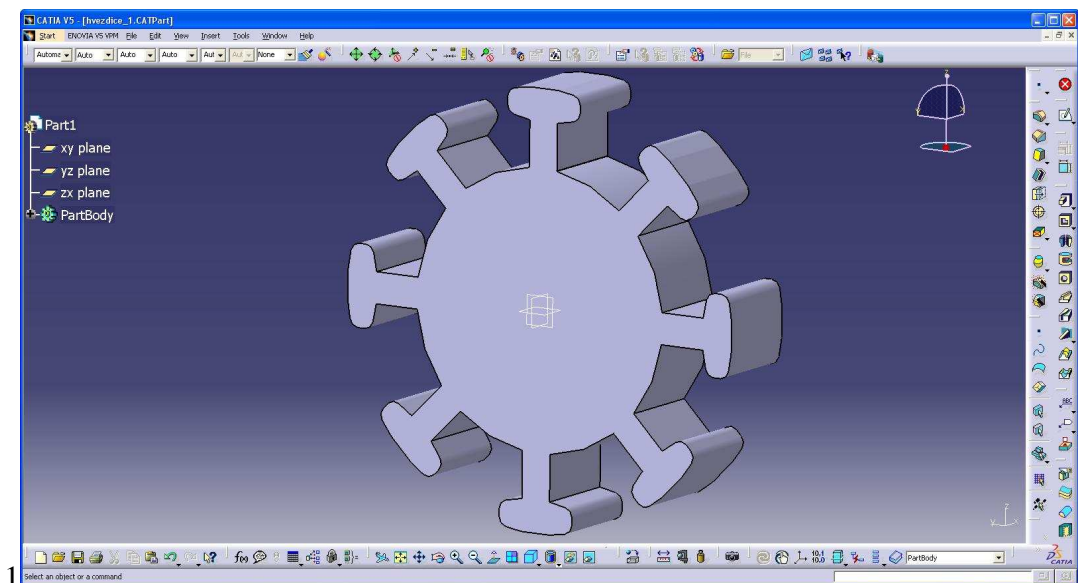
## 4 MODELOVÁNÍ VÝROBKŮ V PROSTŘEDÍ CAD

Pro praktickou část bakalářské práce jsem vytvořil několik modelů. Jde o kovové chladiče, ozubené kolo, lisovací přípravky nebo speciální pružné tenkostěnné vložky. Inspiraci k některým modelům jsem našel na webových stránkách firem zabývajících se výrobky zpracovanými pomocí drátového řezání.

K modelování součástí jsem využíval prostředí CAD systému CATIA a Autodesk Inventor. V obou modelovacích prostředích jsem v minulosti nabíral dostatečné zkušenosti pro tvorbu modelů.

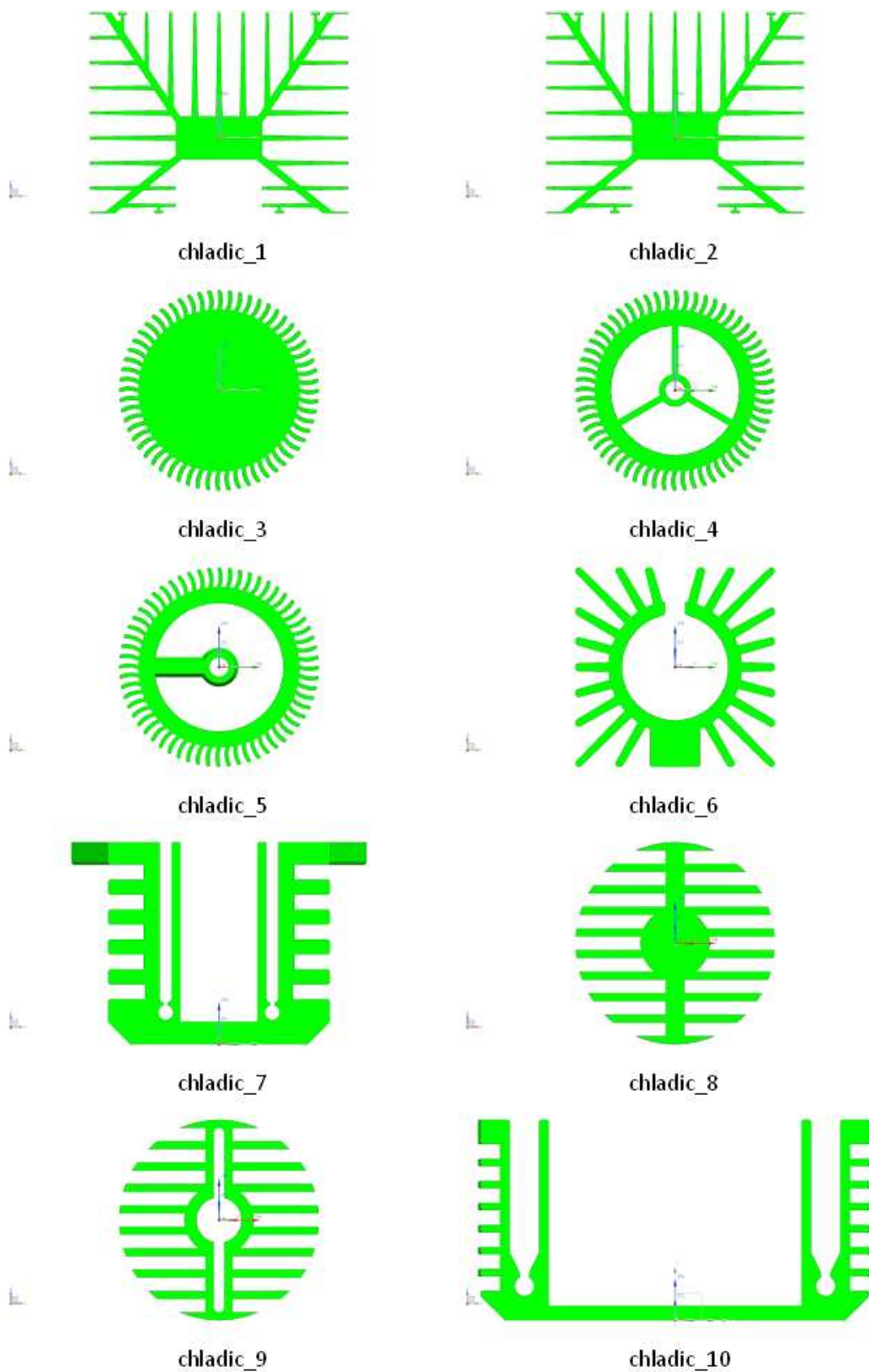


Obr. 27. Modelovací prostředí CATIA, model vložka\_1

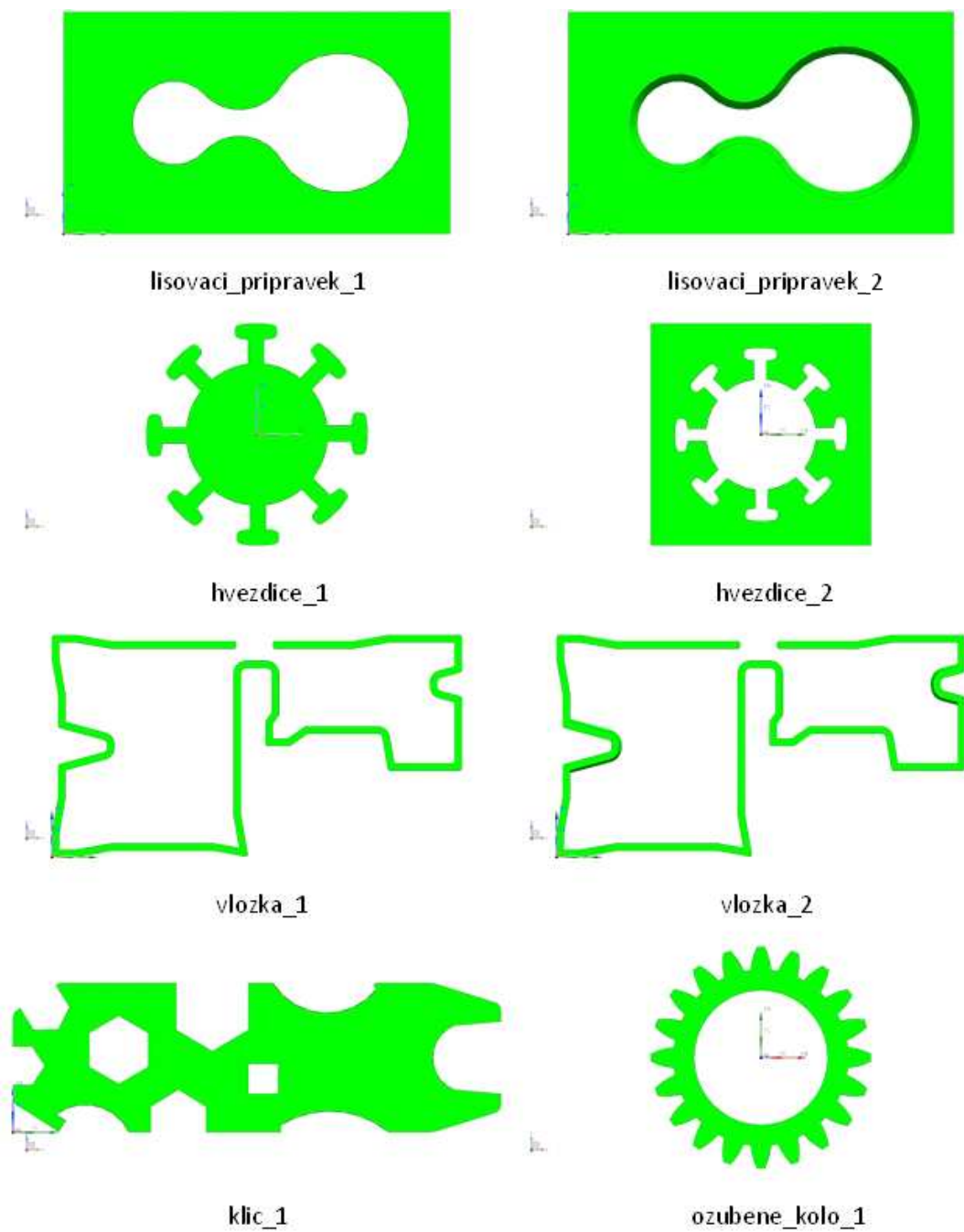


Obr. 28. Modelovací prostředí CATIA, model hvězdice\_1

#### 4.1 Vymodelované součásti



Obr. 29. Modely chladičů



Obr. 30. Ostatní modely

## 4.2 Kritéria obecné drátové řezačky

Jako stroj jsem zvolil obecnou drátovou řezačku. Obrobek nesmí přesáhnout tloušťku 35 mm. Úkosy stěn nesmí být větší než 32°.

Průměr nástroje – drátu je 0,2 mm. Pro navléknutí drátu je potřeba průchozí díry o průměru 2 mm. Poloha pro vrtaný navlékací otvor je u modelů různá podle jejich tvaru. Většinou je otvor, například mezi žebry, v dutinách nebo otvorech.

### 4.3 Řezné podmínky

Volím následující řezné podmínky:

Tab. 3. Řezné podmínky na obecné drátové řezačce

Stroj	Obecná drátová řezačka
Rychlost posuvu	254 m/min (v programu – na stroji se modifikuje)
Průměr drátu	0,2 mm
Navlékací otvor	Ø 2 mm, pozice podle modelu
Poloha osy Z souřadného systému	shodná s osou drátu (nástroje)
Řezání podle počtu os	2-osé, 4-osé, v závislosti na modelu
Operace	1 hrubovací krok
Post procesor	WIRE_EDM_4_AXIS

### 4.4 Tvorba strategie obrábění

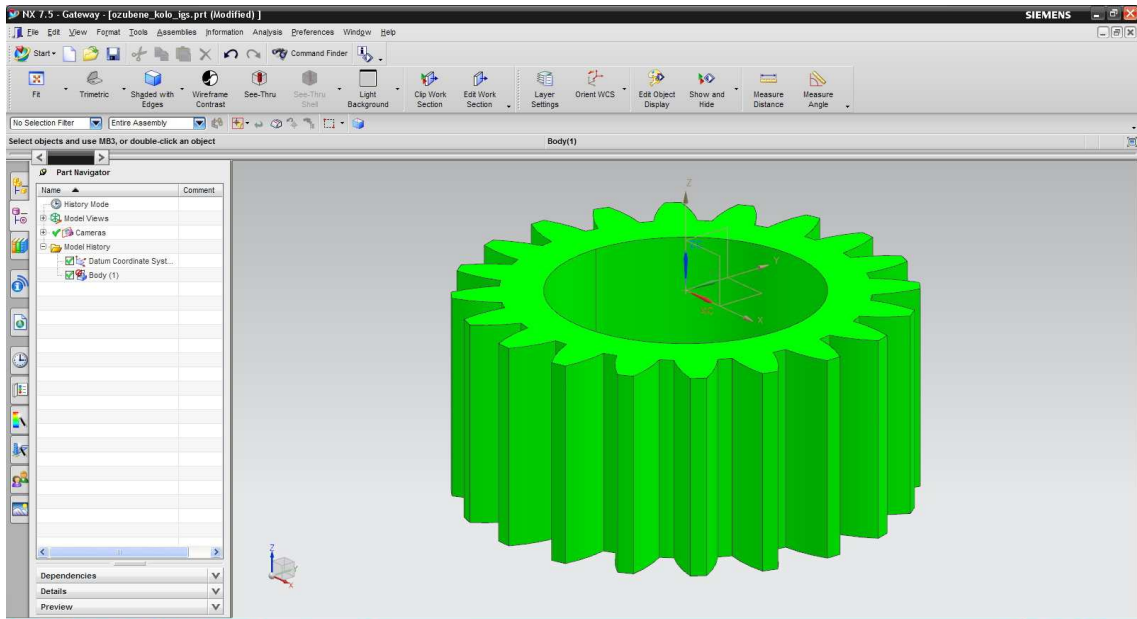
Pro navržení strategie jsem použil CAM systém NX od společnosti Siemens. V tomto CAM programu jsem absolvoval jeden semestr. Na všechny modely jsem vytvořil optimální obráběcí strategii.

Všechny vytvořené modely v prostředí Catia nebo Inventor jsem převedl do formátu, který vhodně zobrazí daný model. Na modely klasické bez zešíkmených ploch lze použít 2-osý systém. Tyto modely jsem převedl do formátu souboru igs. Ostatní modely, ve kterých jsou některé plochy zešíkmené a lze použít jen 4-osý systém, jsem převedl do formátu souboru stp. Modely s úkosy nešly zobrazit v programu NX ve formátu igs.

#### 4.4.1 Postup tvorby strategie u vybraného modelu

V této části předvedu tvorbu strategie obrábění jednoho z vytvořených modelů. Jde o model ozubeného kola s čelním přímým ozubením. U modelu budu provádět řezání vnitřního tvaru a vnějšího ozubení. Model lze obrábět v 2-osém systému.

Model jsem převedl z formátu catpart do formátu igs.



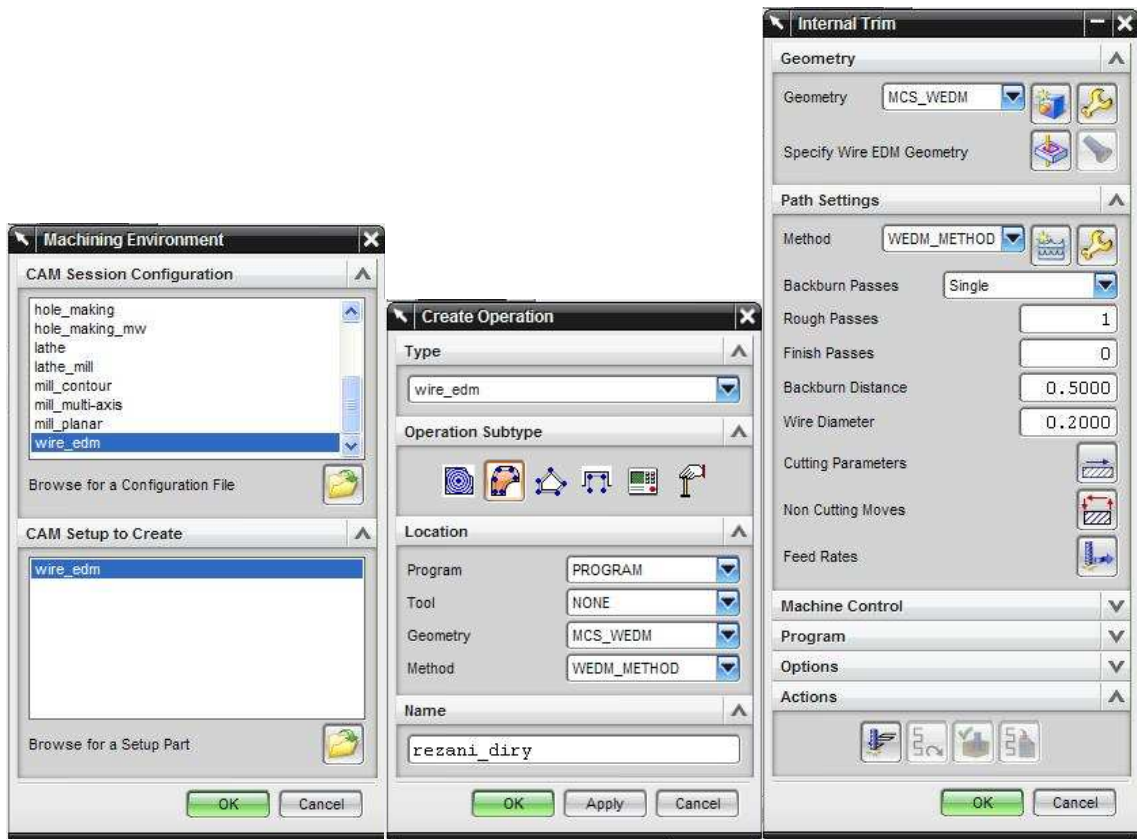
Obr. 31. Prostředí CAM systému NX, načtení modelu

Prvním krokem bylo načtení modelu ve formátu igs.



Obr. 32. Volba výrobního modulu

V programu NX jsem jako první v nabídce „Start“ zvolil výrobní modul. Výrobní modul je určen k tvorbě obráběcí strategie.



Obr. 33. Volba obráběcího prostředí, vytvoření operace, vnitřní řezání

Z nabídky obráběcích prostředí jsem zvolil obráběcí prostředí drátové řezačky – wire edm. Model byl zobrazen s vhodně orientovaným souřadným systémem. Osa ZM byla souběžně s osou nástroje – drátu.

První úsek pro obrábění byla vnitřní válcová plocha. V nabídce vytvoření operace jsem nastavil vnitřní funkci, program „Program“, metodu „Drátové řezání“ a pojmenoval jsem tuto operaci „rezani\_diry“.

V dialogovém okně „Vnitřní funkce“ jsem upravil počet hrubovacích a dokončovacích kroků. Upravil jsem průměr drátu na 0,2 mm.



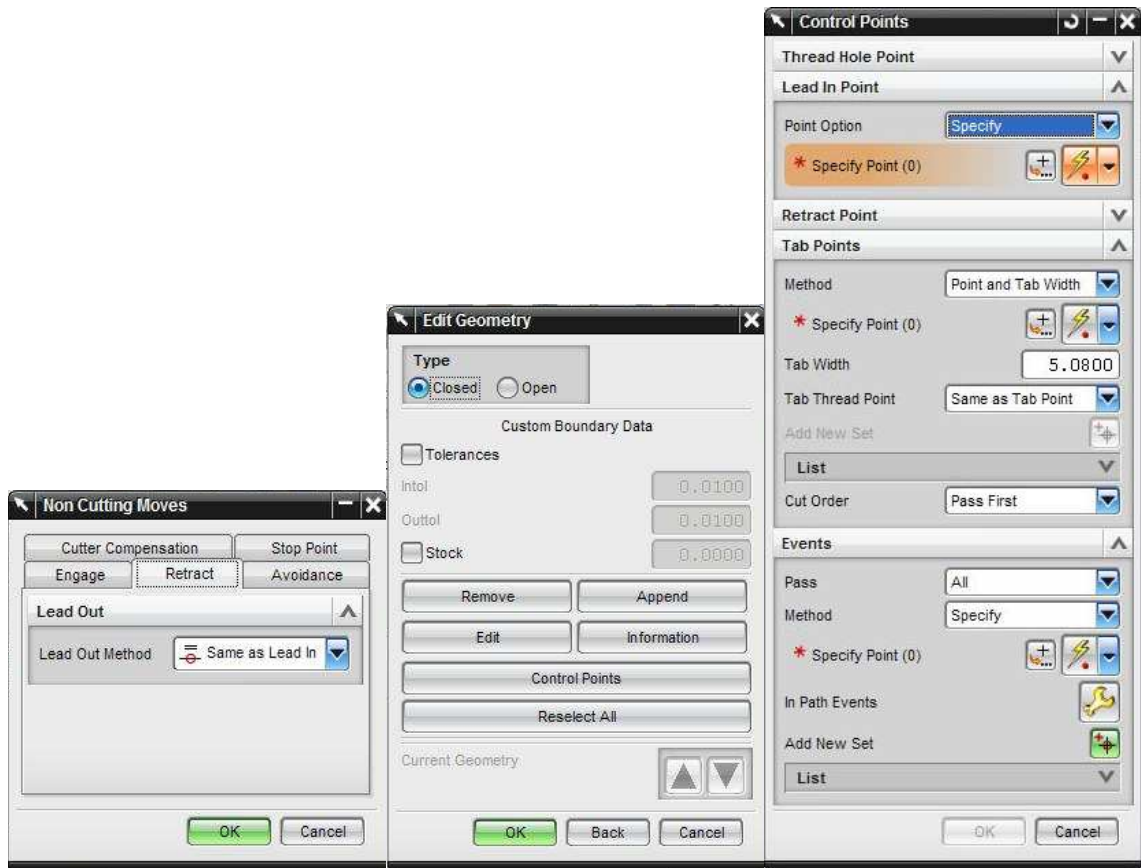
Obr. 34. Výběr geometrie, řezné parametry, nájezdový bod

V dialogovém okně „Vnitřní funkce“ jsem specifikoval geometrii řezání. Geometrii díry jsem vybral pomocí křivek.

Dále jsem upravil horní a dolní roviny ZM nastavení drátu. Tyto roviny jsem předsadil o 10 mm. Předsazení jsem provedl, aby bylo lépe vidět dráhu nástroje při simulaci.

Nájezdovou vzdálenost jsem volil v směru kolmém na obráběnou plochu. Vzdálenost nájezdu jsem zadal 3 mm.

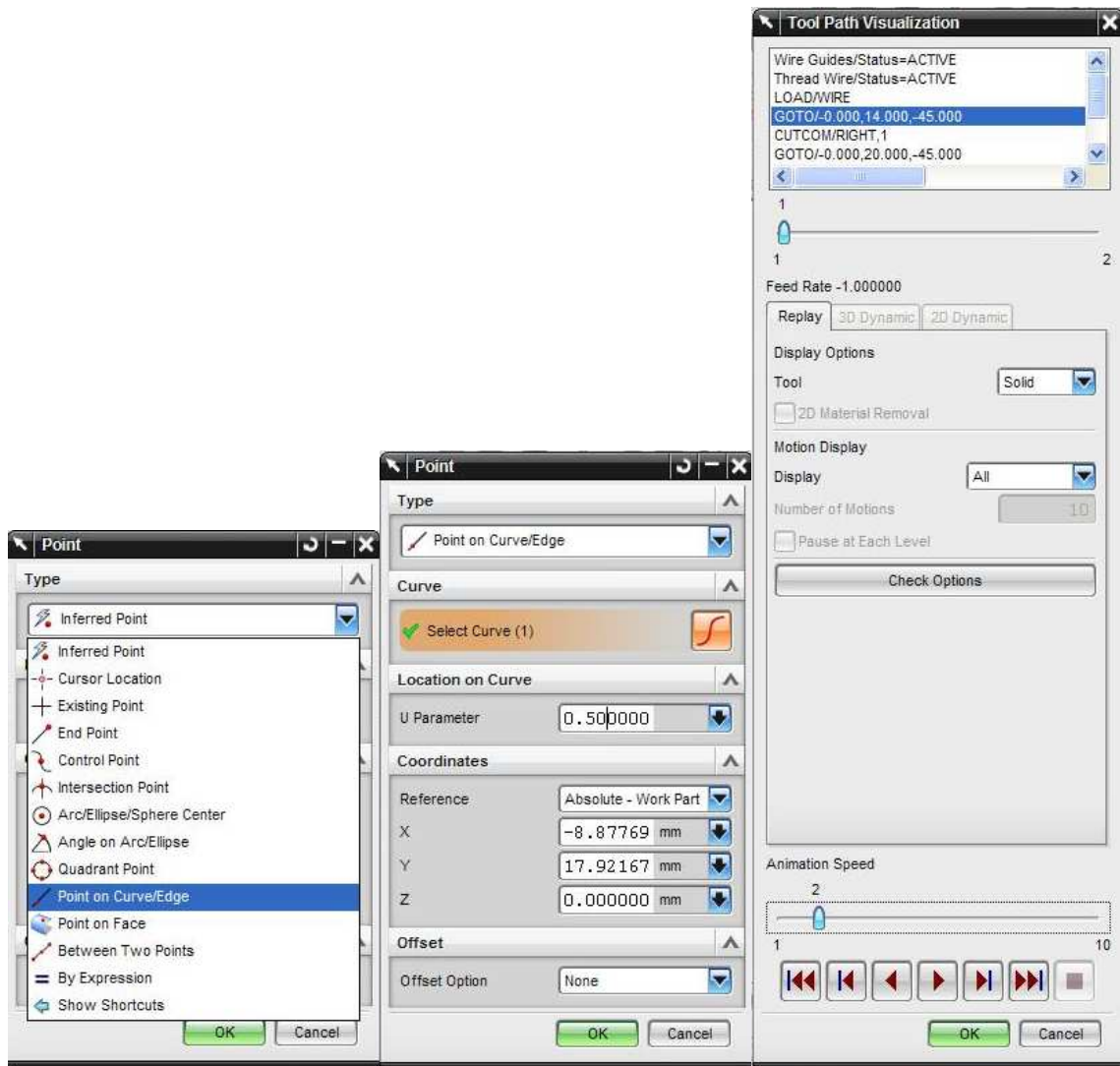




Obr. 35. Nastavení výjezdového bodu, úprava geometrie, kontrolní bod

Výjezdovou vzdálenost a orientaci výjezdu drátu vzhledem k obráběné ploše jsem nechal shodnou jako při najíždění drátu.

V dialogovém okně „Editace geometrie“ jsem nastavil kontrolní bod. Tento kontrolní bod je místem, kde se předvrtá díra pro navléknutí nástroje – drátu.

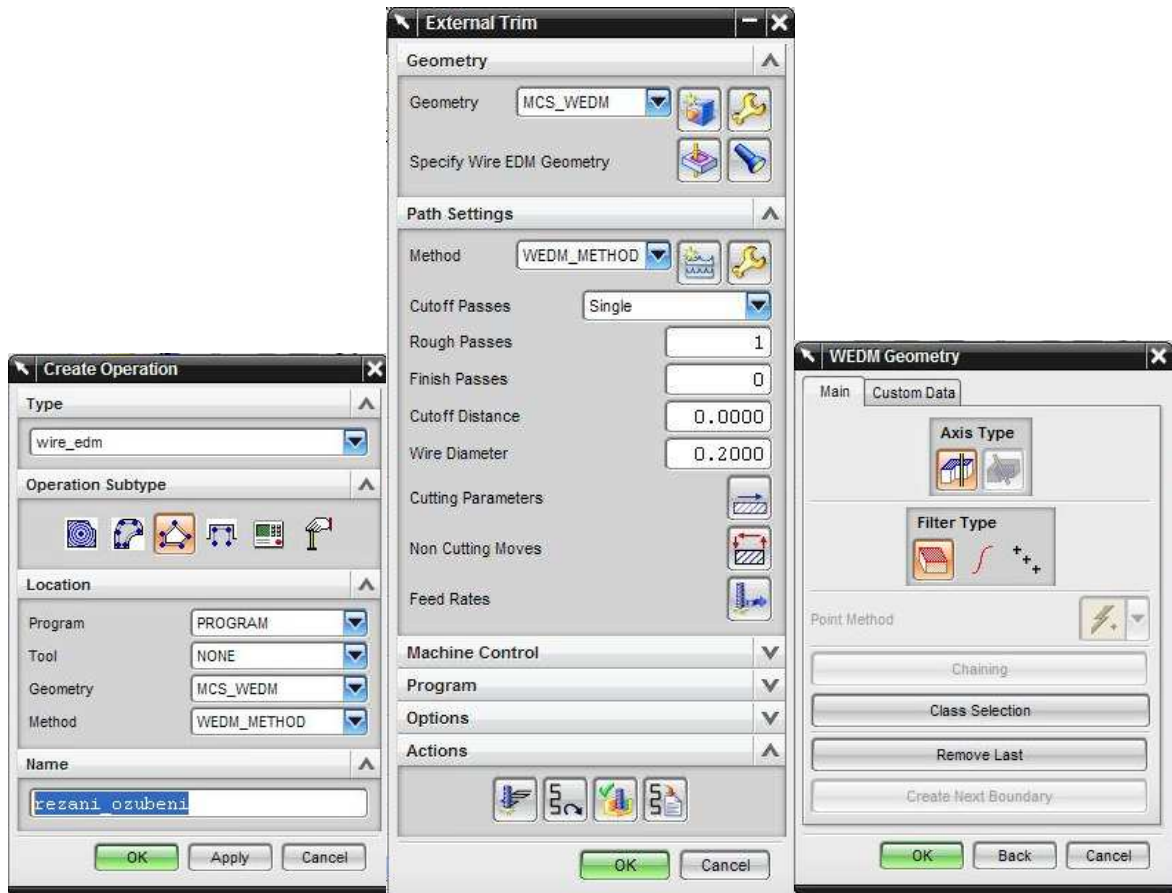


Obr. 36. Výběr typu bodu, umístění bodu na křivce, simulace

Kontrolní bod jsem vytvořil pomocí bodu na křivce. Zvolil jsem hranu díry. Přesnou polohu bodu jsem upravil parametrem U. Polohu kontrolního bodu jsem upravil na střed jedné z křivek.

Pro kontrolu jsem spustil simulaci, prostřednictvím které jsem sledoval pohyb nástroje při najetí, obrábění a výjezdu.

Druhou operací na modelu byla výroba vnějšího ozubení.

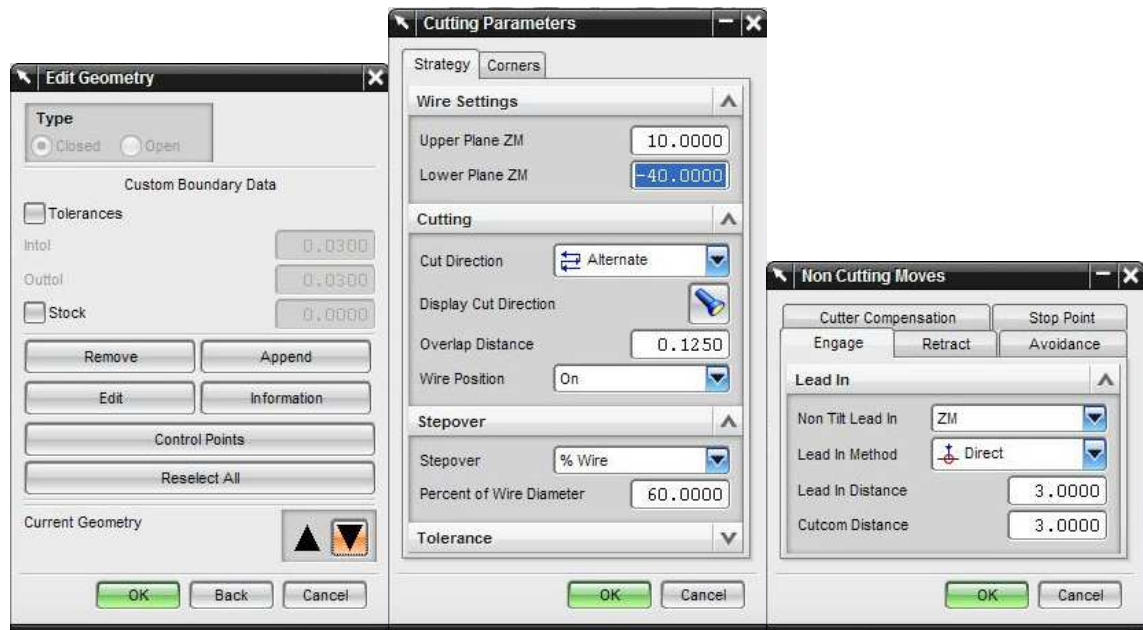


Obr. 37. Vytvoření operace, vnější funkce, výběr geometrie

V okně „Tvorba operace“ jsem zvolil vnější funkci, upravil jsem program pro „Program“ a metodu „Drátové řezání“. Pro lepší orientaci v průběžně vytvářeném stromu operací jsem pojmenoval tuto vnější operaci „rezani\_ozubeni“.

V dialogovém okně vnější funkce jsem upravil počet hrubovacích a dokončovacích kroků. Průměr drátu jsem nastavil 0,2 mm.

Geometrii jsem vybíral pomocí funkcí plochy. Označil jsem tak plochu kolmou k ose nástroje. Takto se automaticky označily hrany díry i ozubení.

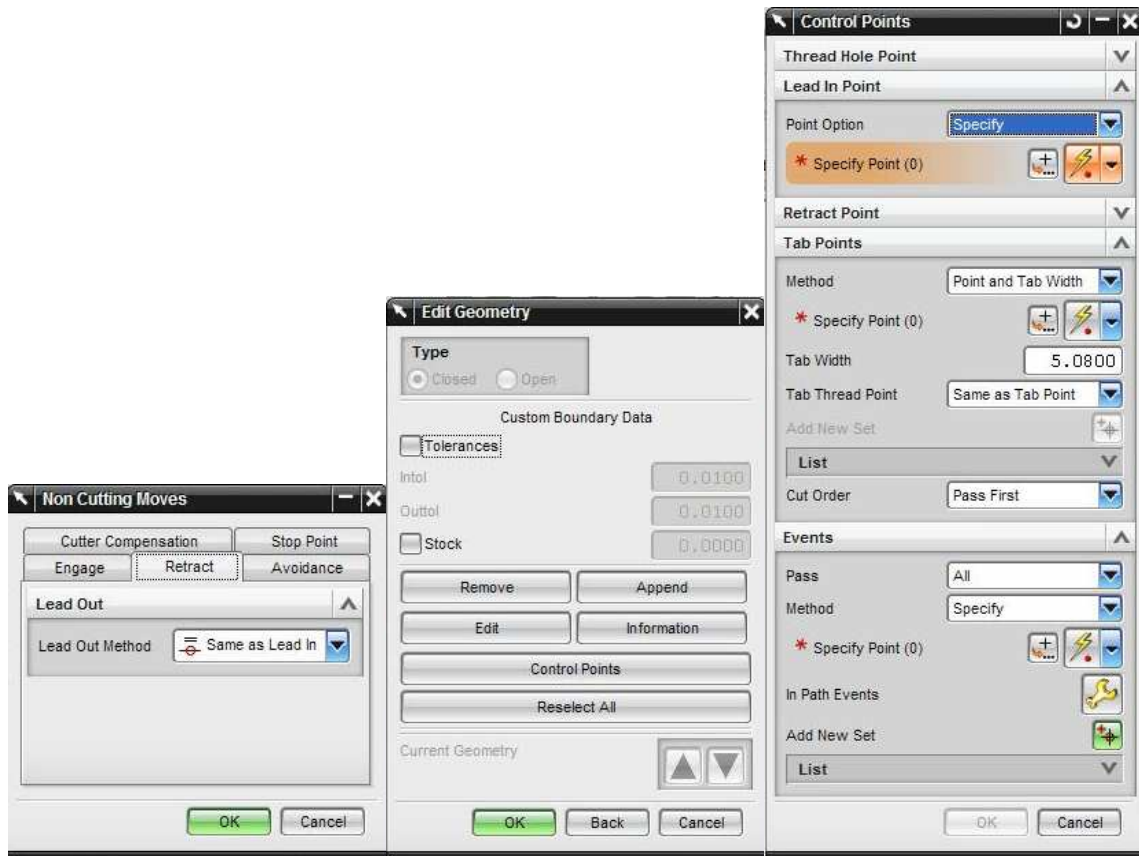


Obr. 38. Úprava geometrie, nastavení řezných parametrů, nastavení nájezdového bodu

Při úpravě geometrie jsem provedl odstranění zvýrazněných křivek díry. Poté zůstaly označeny pouze křivky patřící k ozubení.

Tak jako u vnitřní operace jsem provedl předsazení horní a dolní roviny ZM o 10 mm.

Nájezdovou vzdálenost jsem nastavil kolmo na hranu ve vzdálenosti 3 mm.



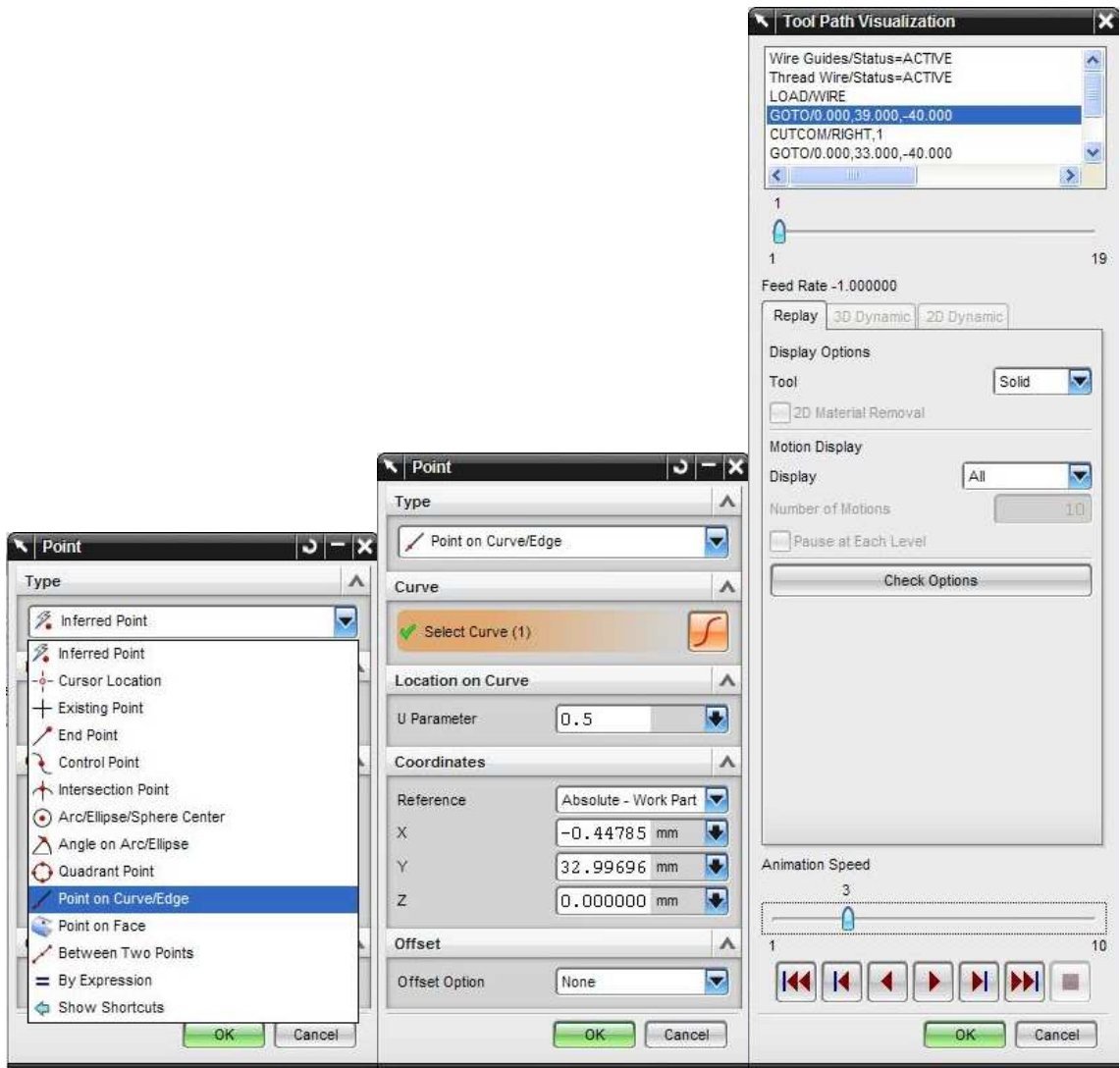
Obr. 39. Nastavení výjezdového bodu, úprava geometrie, kontrolní bod

Výjezdovou vzdálenost a orientaci výjezdu drátu vůči obráběné ploše jsem nechal shodnou jako při najíždění drátu, kolmou a ve vzdálenosti 3 mm.

V dialogovém okně „Editace geometrie“ jsem nastavil kontrolní bod. Tento kontrolní bod je, tak jako při výrobě díry, místem, kde se předvrtá díra pro navléknutí nástroje - drátu.

Kontrolní bod jsem vybíral pomocí bodu na křivce.

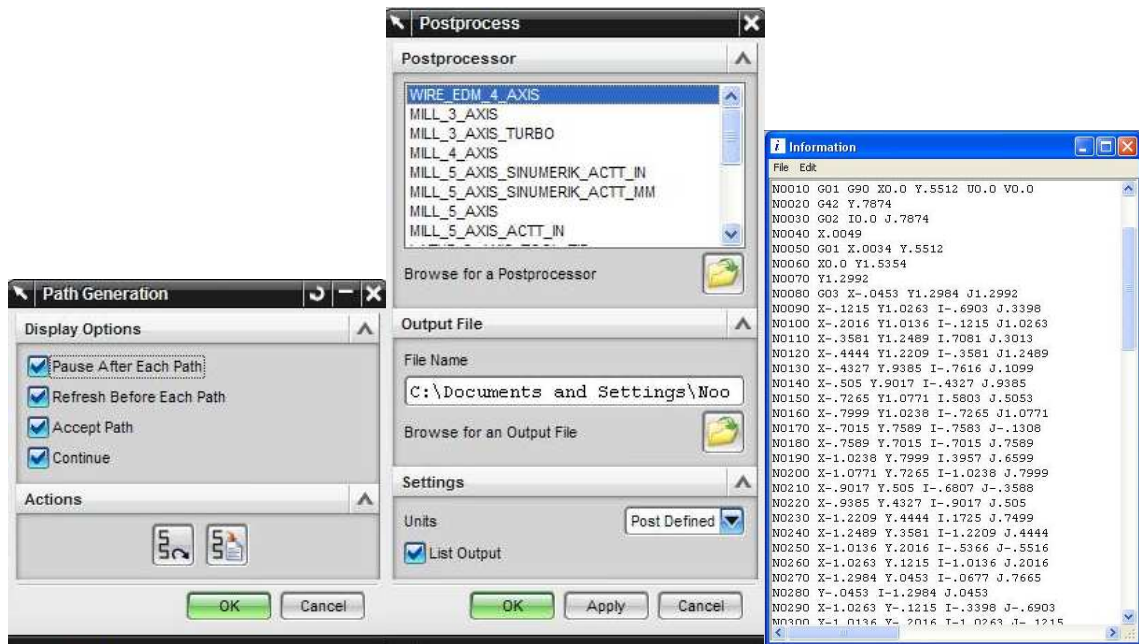
Vybral jsem si bod na hraně. Kontrolní bod jsem umístil na místo největšího průměru ozubení.



Obr. 40. Typ bodu, umístění bodu, simulace

Kontrolní bod jsem vytvořil opět pomocí bodu na křivce. Zvolil jsem hranu díry. Přesnou polohu bodu jsem upravil parametrem U. Polohu kontrolního bodu jsem přesunul na střed křivky vrcholu ozubení.

Opět jsem pro kontrolu provedl simulaci vytvořené operace, prostřednictvím které jsem sledoval přesný pohyb nástroje.



Obr. 41. Generování kódu, post procesor, řídicí kód

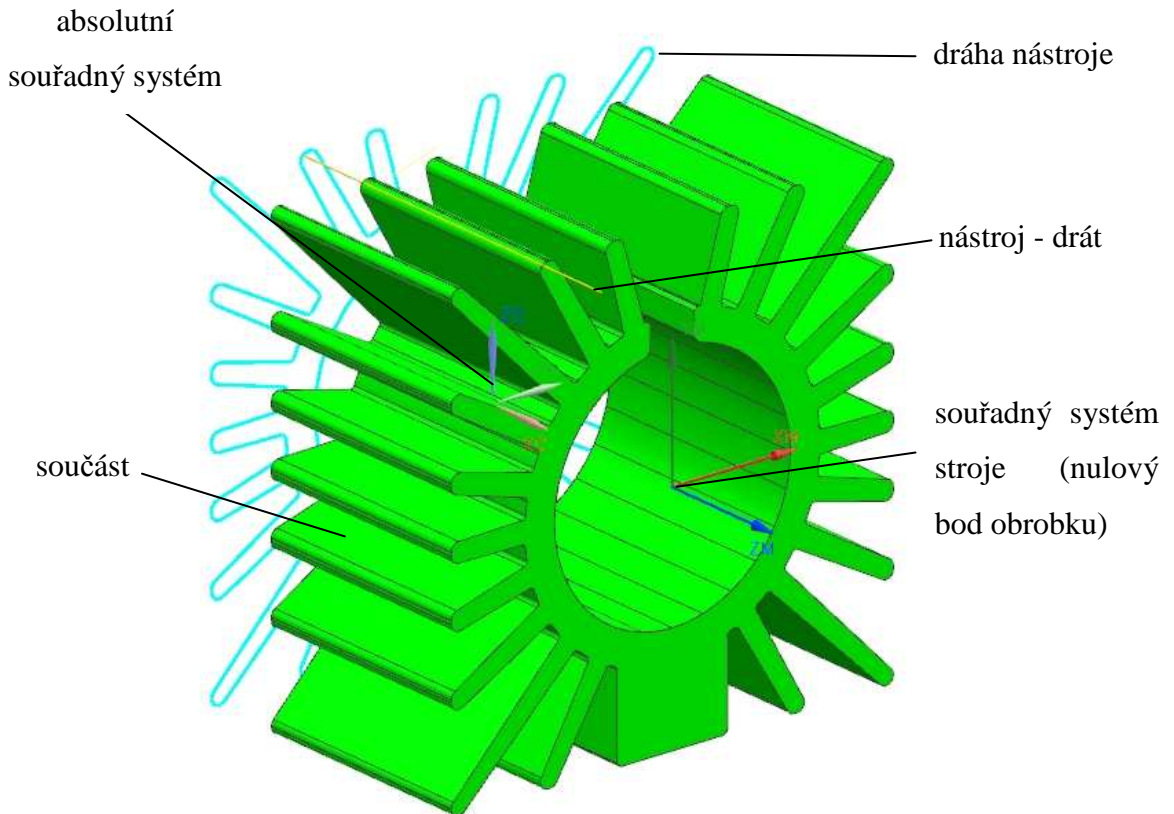
Ve stromu provedených operací jsem označil operace „rezani\_diry“ a „rezani\_ozubeni“, které jsem vytvořil. Spustil jsem generaci kódu.

Po jeho úspěšné generaci kódu jsem spustil post procesor.

Po dokončení práce post procesoru jsem získal řídicí kód pro obrobení ozubeného kola.

#### 4.4.2 Stručné popisy tvorby obráběcí strategie dalších modelů

V této části stručně popíši úpravy a nastavení při tvorbě obráběcí strategie u dalších vytvořených modelů.



Obr. 42. Popis modelu při simulaci řezání v programu NX

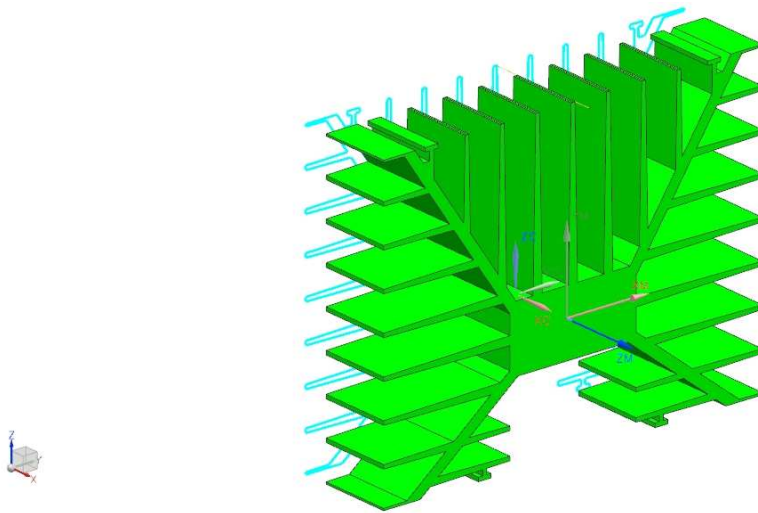
U všech zde představených modelů jsem provedl:

- úprava souřadného systému, osa ZM souběžná s osou nástroje – drátu, zvolení polohy podle modelu,
- volba operace, vnější a vnitřní řezání, pojmenování operace,
- 1 hrubovací krok, 0 dokončovacích kroků,
- průměr drátu 0,2 mm,
- úprava horní a dolní roviny ZM drátu pro lepší viditelnost dráhy nástroje,
- vzdálenost najíždění, kolmý nájezd na hranu, výjezd nástroje shodný s najížděním,



- výběr geometrie – křivkou, plochou, 2-osý systém, 4-osý systém u modelů se zešikmenými plochami,
- nájezdový bod umístěn na hranu,
- simulace po dokončení každé vytvořené operace,
- generace kódu a post procesor na závěr tvorby strategie.

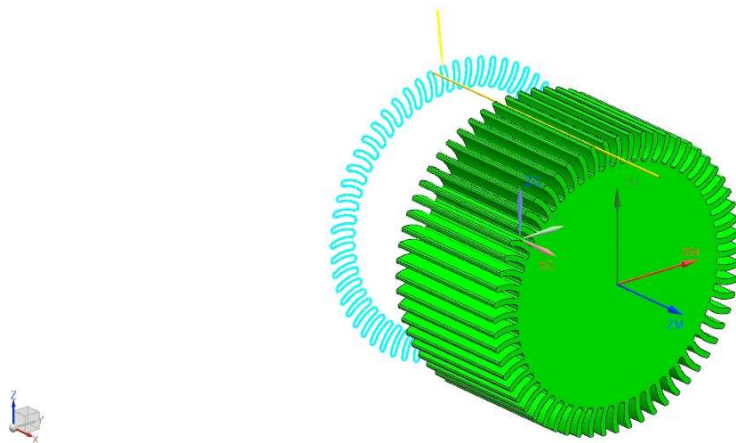
#### 4.4.3 Modely obráběné ve 2-osém systému



*Obr. 43. Model chladic\_1*

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_1:

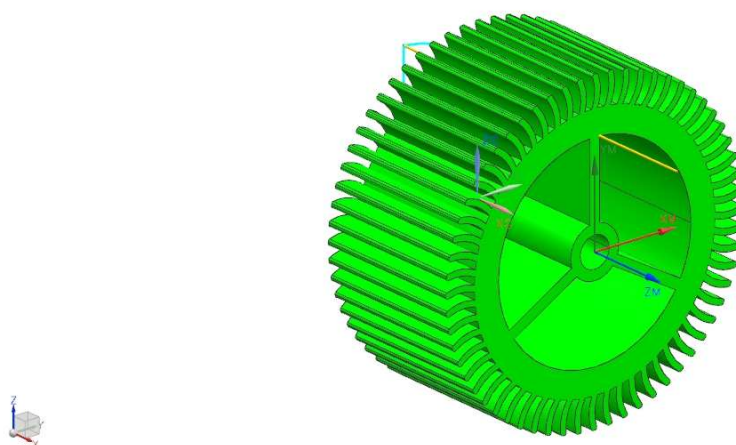
- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v dolní střední části součásti.



Obr. 44. Model chladic\_3

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_3:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu lopatky v horní střední části součásti.

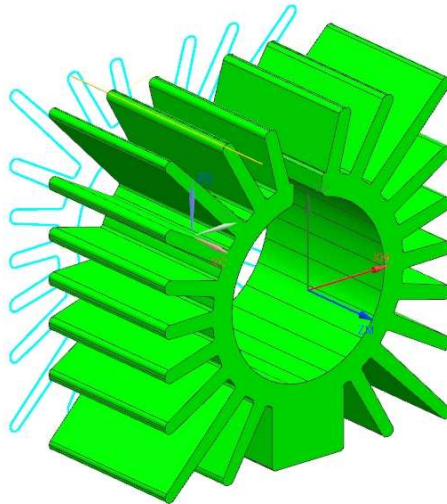


Obr. 45. Model chladic\_4

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_4:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,

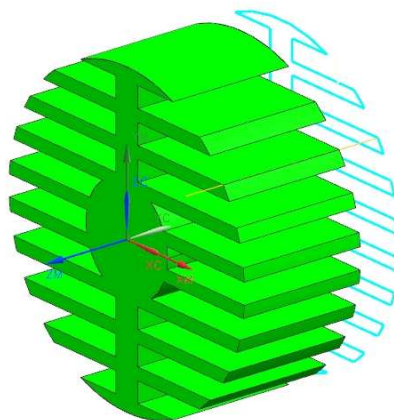
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA\_1,
- vzdálenost najíždění 2 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve střední části součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA\_2,
- vzdálenost najíždění 2 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve střední části součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA\_3,
- vzdálenost najíždění 2 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve střední části součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DIRY,
- 1 hrubovací krok, 0 dokončovacích kroků,
- vzdálenost najíždění 0,75 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve středu díry,
- operace vnější řezání: REZANI\_VNEJSI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod zvolen na hranu lopatky v horní části součásti.



Obr. 46. Model chladic\_6

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_6:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v horní střední části součásti.

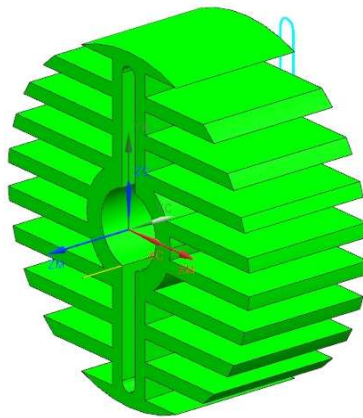


Obr. 47. Model chladic\_8

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_8:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,

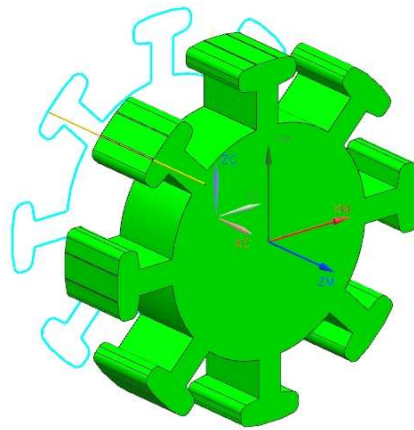
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v horní pravé části součásti.



Obr. 48. Model chladic\_9

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_9:

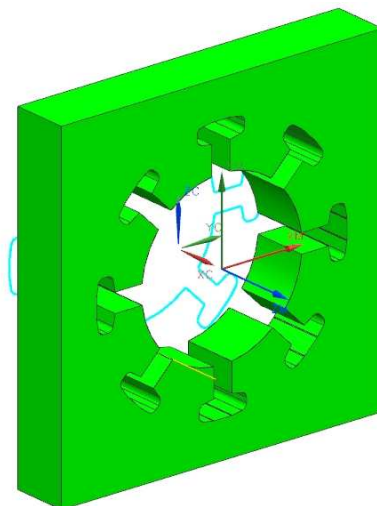
- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie kruhového otvoru a drážky křivkami 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn blízko středu na hranu kruhového otvoru,
- operace vnější řezání: REZANI\_VNEJSI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie vnějšího tvaru plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v horní pravé části součásti.



*Obr. 49. Model hvezdice\_1*

Tvorba strategie obrábění - model hvezdice\_1:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v prostoru mezi lopatkami v horní části součásti.

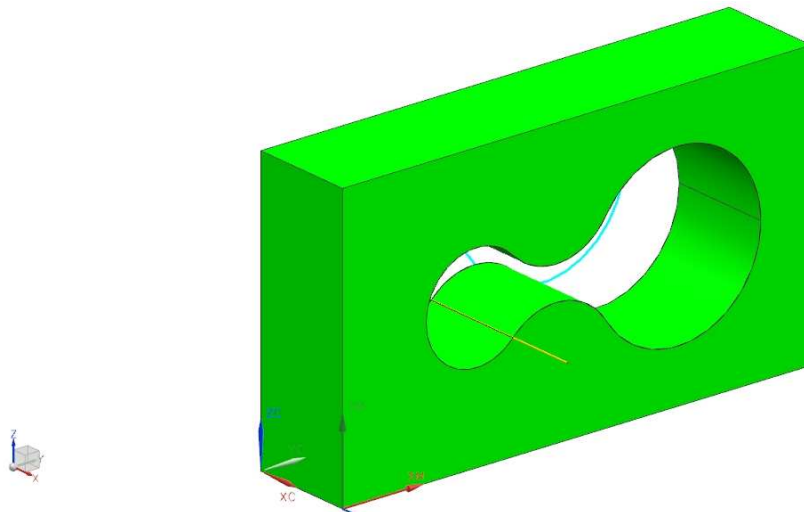


*Obr. 50. Model hvezdice\_2*

Tvorba strategie obrábění - model hvezdice\_2:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,

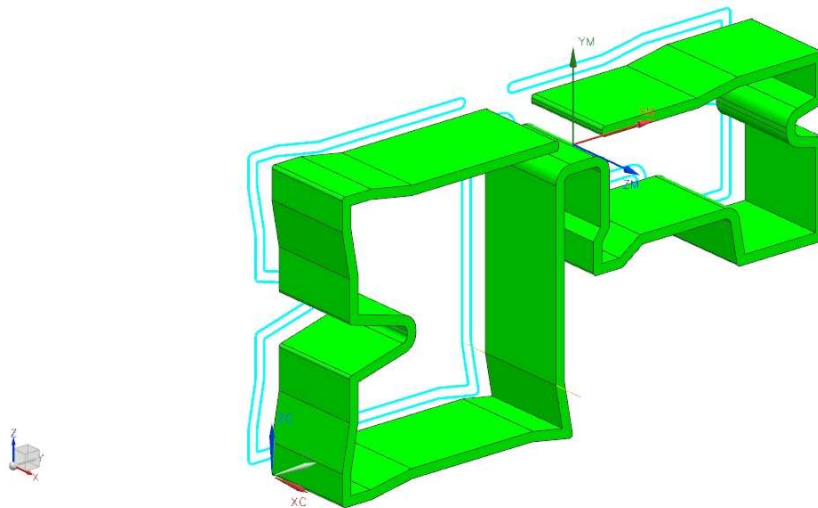
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu kruhové dutiny v horní části součásti.



*Obr. 51. Model lisovací\_pripravek\_1*

Tvorba strategie obrábění – model lisovací\_pripravek\_1:

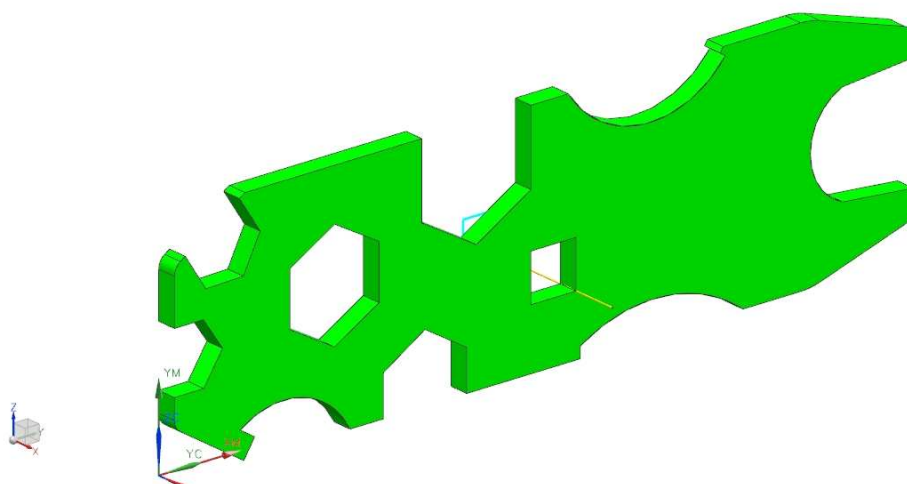
- souřadný systém nastaven do dolního levého rohu součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie křivkami 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve střední pravé části součásti.



Obr. 52. Model vložka\_1

Tvorba strategie obrábění - model vložka\_1:

- souřadný systém nastaven do horní střední části součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v horní střední části součásti.



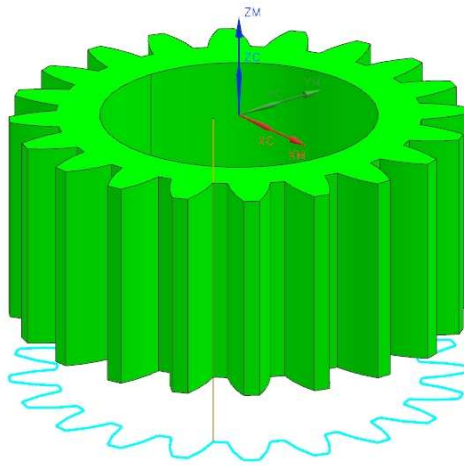
Obr. 53. Model klic

Tvorba strategie obrábění - model klic:

- souřadný systém nastaven do dolního levého rohu součásti,



- operace vnitřní řezání: REZANI\_6HRAN\_OTVOR,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie křivkami 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu šestihránného otvoru v součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_4HRAN\_OTVOR,
- vzdálenost najíždění 2 mm,
- výběr geometrie křivkami 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu čtyřhranného otvoru v součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_VNEJSI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu horního čtyřhranného vybrání v součásti.



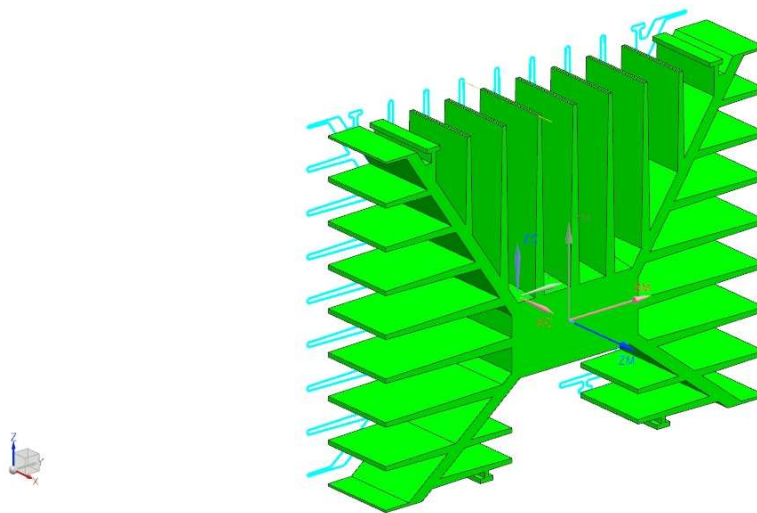
Obr. 54. Model ozubene\_kolo

Tvorba strategie obrábění - model ozubene\_kolo:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DIRA,
- vzdálenost najíždění 3 mm,

- výběr geometrie křivkami 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu otvoru,
- operace vnější řezání: REZANI\_OZUBENI,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie křivkami 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu čtyřhranného otvoru v součásti.

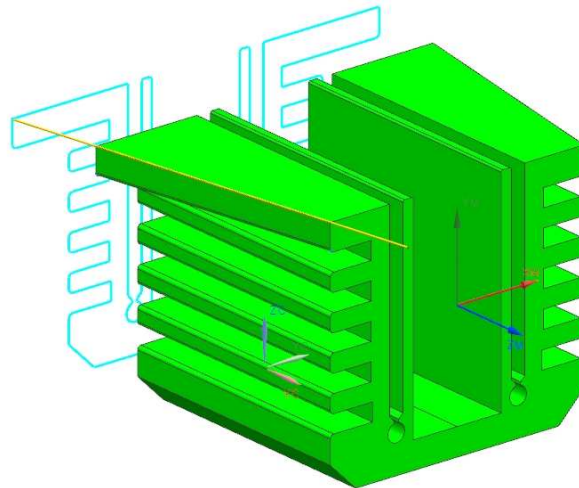
#### 4.4.4 Modely obráběné ve 4-osém systému



Obr. 55. Model chladic\_2

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_2:

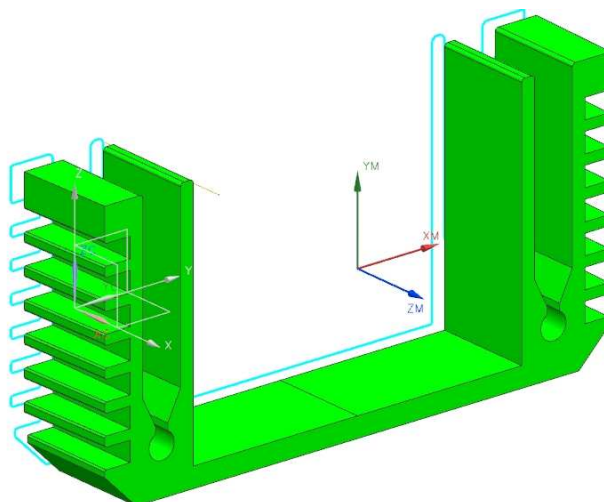
- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL\_UHEL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 4-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v dolní střední části součásti.



Obr. 56. Model chladic\_7

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_7:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL\_UHEL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 4-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve střední části dutiny součásti.

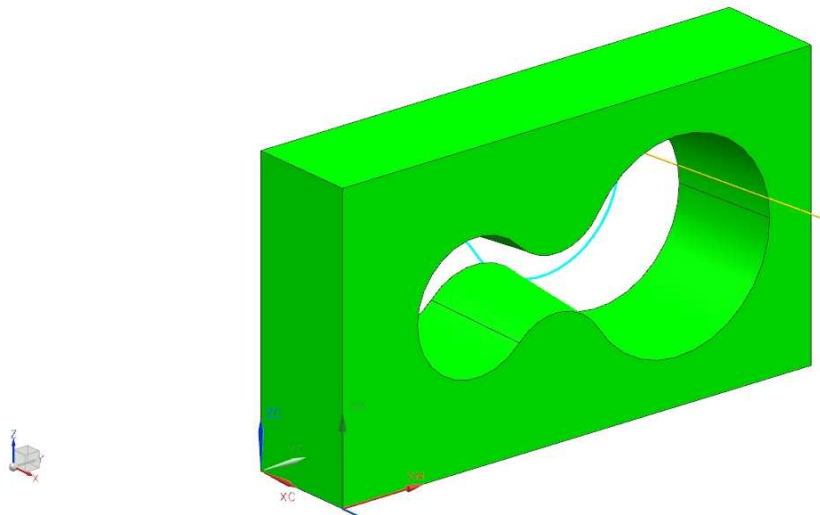


Obr. 57. Model chladic\_10

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_10:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,

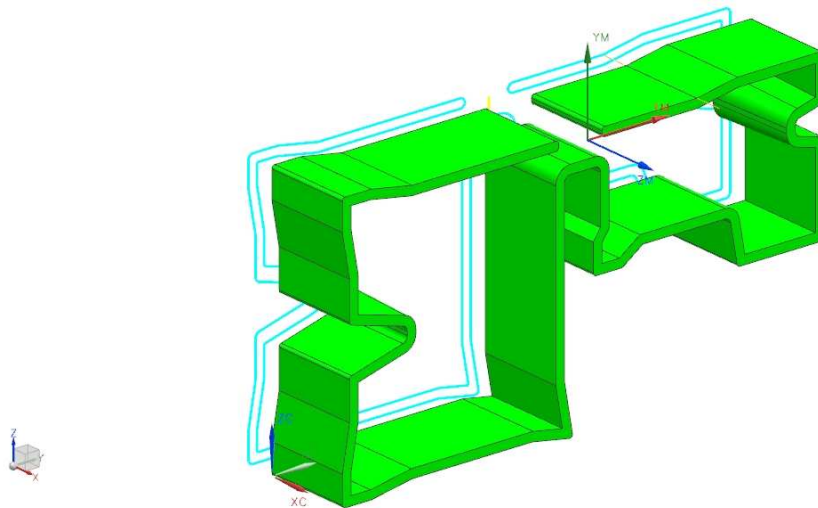
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL\_UHEL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 4-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve drážce v pravé části součásti.



Obr. 58. Model lisovací\_pripravek\_2

Tvorba strategie obrábění - model lisovací\_pripravek\_2:

- souřadný systém nastaven do dolního levého rohu součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINA\_UHEL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 4-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve střední pravé části součásti.

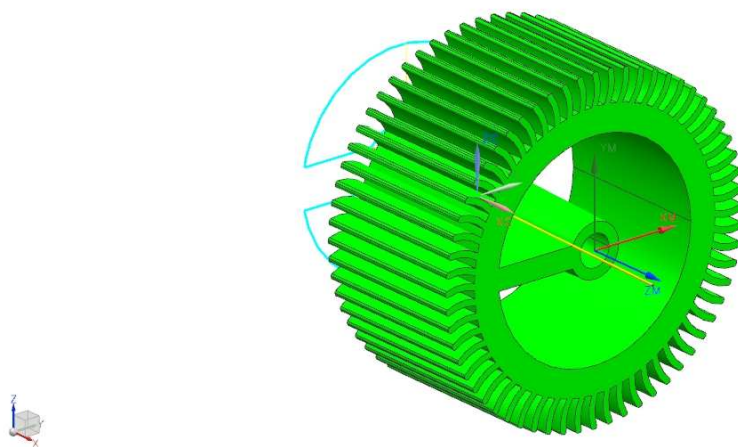


Obr. 59. Model vložka\_2

Tvorba strategie obrábění - model vložka\_2:

- souřadný systém nastaven do horní střední části součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_PROFIL\_UHEL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 4-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu v horní střední části součásti.

#### 4.4.5 Modely obráběné kombinací 2-osého a 4-osého systému



Obr. 60. Model chladic\_5

Tvorba strategie obrábění - model chladic\_5:

- souřadný systém nastaven do středu součásti,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DIRY,
- vzdálenost najíždění 0,75 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu ve středu díry,
- operace vnitřní řezání: REZANI\_DUTINY\_UHEL,
- vzdálenost najíždění 2 mm,
- výběr geometrie plochou 4-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu kruhové dutiny v horní části součásti,
- operace vnější řezání: REZANI\_VNEJSI\_PROFIL,
- vzdálenost najíždění 3 mm,
- výběr geometrie plochou 2-osého systému,
- nájezdový bod umístěn na hranu lopatky v horní části součásti.

#### 4.5 Ukázka vygenerovaného řídicího kódu

Ukázka řídicího kódu, konkrétně model chladic\_6.

N0010 G01 G90 X.0223 Y1.0279 U0.0 V0.0; pracovní posuv, programování absolutní

N0020 G42 X-.2048 Y.9627; korekce pravá

N0030 X-.2592 Y1.1526; pracovním posuvem na pozici X,Y

N0040 X-.2615 Y1.1585

N0050 X-.2734 Y1.1732

N0060 X-.2907 Y1.1806

N0070 X-.3236 Y1.1801

.

.

.

N2460 Y.7618

N2470 X-.1375 Y.7753

N2480 X-.1504 Y.7729

N2490 X-.2062 Y.9675

N2500 X.0209 Y1.0326

N2510 M02; konec programu

## ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce jsem se zabýval programováním CNC strojů. Popsal jsem jak princip programování, tak i možné způsoby tvorby řídicího programu. Dále jsem popsal několik nekonvenčních metod obrábění z oblasti elektroobrábění a příbuzných nekonvenčních metod. V poslední části jsem se podrobněji věnoval metodě drátového řezání, kterou jsem důkladně popsal.

Praktická část mé bakalářské práce byla zaměřena na tvorbu řídicího kódu pro obecnou drátovou řezačku. Prvním krokem bylo vytvoření několika modelů. Inspiraci pro modely jsem hledal na webových stránkách firem zabývajících se drátovým řezáním. Modely jsem vytvářel v modelovacím prostředí programů Catia a Inventor. Velká část modelů jsou chladiče odlišného tvaru. Tyto modely jsem pak musel načíst v programu Cam Express (NX 7.5). Zde nastal problém s formátem jednotlivých modelů. Musel jsem u vytvořených modelů změnit formáty. Po úspěšném a správném zobrazení součástí v programu Cam Express (NX 7.5) jsem se soustředil na programování navržených modelů. Na všechny modely jsem vytvořil optimální strategii pro obrábění na drátové řezačce s danými reznými podmínkami (tab. 3). Podle propozic modelů jsem volil 2-osé nebo 4-osé programování. U všech modelů jsem provedl ověření pomocí simulace obrábění. Posledním úkolem bylo vytvoření řídicího kódu pro obecnou drátovou řezačku postprocesorem WIRE\_EDM\_4\_AXIS. Řídicí programy jsem uložil na příložené CD.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: Obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vydání. Praha: BEN - technické nakladatelství, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [2] ŘASA, Jaroslav, POKORNÝ, Přemysl, GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, 2005. 221 s. ISBN 80-7183-336-3.
- [3] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
- [4] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. 102 s. ISBN 80-7082-518-9.
- [5] JAIN, Vijay K. *Advanced Machining Processes*. 4. New Delhi: Allied Publishers, 2005. 357 s. ISBN 81-7764-294-4.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CNC	Computerized Numerical Control - počítačem (číslicově) řízené stroje
NC	Numerical Control - číslicově řízené stroje (využívající děrovou pásku)
CAD	Computer Aided Desing - počítačem podporované projektování
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačová podpora obrábění
CAD/CAM	propojení systémů CAD a CAM
$E_p$	měrná práce
$Q_v$	úběr materiálu
VKP	vysokoenergetický kapalinový paprsek
AJM	Abrasive Jet Machining – obrábění proudem brusiva
Wire – EDM	drátová řezačka
EDM	elektroerozivní obrábění
$R_a$	jakost obrobeného povrchu
MCS	souřadný systém stroje
NX	program pro tvorbu strategie obrábění

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Blokové schéma CNC obráběcího stroje – zjednodušené [1].....</i>	12
<i>Obr. 2. Složení programu [1].....</i>	14
<i>Obr. 3. Přehled funkcí [1].....</i>	14
<i>Obr. 4. Princip absolutního programování [1].....</i>	15
<i>Obr. 5. Princip přírůstkového programování [1].....</i>	15
<i>Obr. 6. Rámcové rozdělení nekonvenčních metod obrábění [4].....</i>	18
<i>Obr. 7. Přehled a rozdělení konstrukčních materiálů s důrazem na těžkoobrobitelné materiály z pohledu obrábění [3].....</i>	19
<i>Obr. 8. Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [2].....</i>	21
<i>Obr. 9. Princip stroje pro elektrokontaktní dělení materiálu [2].....</i>	23
<i>Obr. 10. Princip metody elektroerozivního drátového řezání [4].....</i>	24
<i>Obr. 11. Princip elektrochemického obrábění [2].....</i>	24
<i>Obr. 12. Princip obrábění ultrazvukem [2].....</i>	26
<i>Obr. 13. Stroj pro obrábění ultrazvukem [2].....</i>	27
<i>Obr. 14. Plazmové hořáky [2].....</i>	29
<i>Obr. 15. Princip obrábění elektronovým paprskem [2].....</i>	30
<i>Obr. 16. Zařízení pro obrábění elektronovým paprskem [2].....</i>	31
<i>Obr. 17. Obecné vyjádření principu LASERU [4].....</i>	32
<i>Obr. 18. Typ laserového signálu [4].....</i>	32
<i>Obr. 19. Laserový paprsek [4].....</i>	33
<i>Obr. 20. Kapalinový vodní paprsek [4].....</i>	33
<i>Obr. 21. Obrábění proudem brusiva [4].....</i>	34
<i>Obr. 22. Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou [2].....</i>	35
<i>Obr. 23. Drátová řezačka [5].....</i>	36
<i>Obr. 24. Schéma podávání a vedení drátové elektrody [2].....</i>	37
<i>Obr. 25. Princip výroby dutiny tvarovou drátovou elektrodou [2].....</i>	39
<i>Obr. 26. Příklad výrobku vyřezávaného drátovou elektrodou – složitý výrobek [2].....</i>	39
<i>Obr. 27. Modelovací prostředí CATIA, model vložka_1.....</i>	42
<i>Obr. 28. Modelovací prostředí CATIA, model hvězdice_1.....</i>	42
<i>Obr. 29. Modely chladičů.....</i>	43
<i>Obr. 30. Ostatní modely.....</i>	44
<i>Obr. 31. Prostředí CAM systému NX, načtení modelu.....</i>	46

<i>Obr. 32. Volba výrobního modulu .....</i>	46
<i>Obr. 33. Volba obráběcího prostředí, vytvoření operace, vnitřní řezání .....</i>	47
<i>Obr. 34. Výběr geometrie, řezné parametry, nájezdový bod .....</i>	48
<i>Obr. 35. Nastavení výjezdového bodu, úprava geometrie, kontrolní bod .....</i>	49
<i>Obr. 36. Výběr typu bodu, umístění bodu na křivce, simulace .....</i>	50
<i>Obr. 37. Vytvoření operace, vnější funkce, výběr geometrie .....</i>	51
<i>Obr. 38. Úprava geometrie, nastavení řezných parametrů, nastavení nájezdového bodu .....</i>	52
<i>Obr. 39. Nastavení výjezdového bodu, úprava geometrie, kontrolní bod .....</i>	53
<i>Obr. 40. Typ bodu, umístění bodu, simulace .....</i>	54
<i>Obr. 41. Generování kódu, post procesor, řídicí kód .....</i>	55
<i>Obr. 42. Popis modelu při simulaci řezání v programu NX .....</i>	56
<i>Obr. 43. Model chladic_1 .....</i>	57
<i>Obr. 44. Model chladic_3 .....</i>	58
<i>Obr. 45. Model chladic_4 .....</i>	58
<i>Obr. 46. Model chladic_6 .....</i>	60
<i>Obr. 47. Model chladic_8 .....</i>	60
<i>Obr. 48. Model chladic_9 .....</i>	61
<i>Obr. 49. Model hvezdice_1 .....</i>	62
<i>Obr. 50. Model hvezdice_2 .....</i>	62
<i>Obr. 51. Model lisovaci_pripravek_1 .....</i>	63
<i>Obr. 52. Model vložka_1 .....</i>	64
<i>Obr. 53. Model klic .....</i>	64
<i>Obr. 54. Model ozubene_kolo .....</i>	65
<i>Obr. 55. Model chladic_2 .....</i>	66
<i>Obr. 56. Model chladic_7 .....</i>	67
<i>Obr. 57. Model chladic_10 .....</i>	67
<i>Obr. 58. Model lisovaci_pripravek_2 .....</i>	68
<i>Obr. 59. Model vložka_2 .....</i>	69
<i>Obr. 60. Model chladic_5 .....</i>	69

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Porovnání výkonných parametrů vybraných metod obrábění [2] .....</i>	20
<i>Tab. 2. Obrobitelnost materiálu ultrazvukem [2] .....</i>	26
<i>Tab. 3. Řezné podmínky na obecné drátové řezačce .....</i>	45

## SEZNAM PŘÍLOH

Na CD nosiči:

Adresář „Modely“	18 modelů z programu Catia a Inventor
Adresář „Obrazky“	Detailní pohledy na vytvořené modely
Adresář „Programy“	18 programů pro obrábění modelů na drátové řezačce
Adresář „Verifikace“	Videa verifikace obrábění pomocí simulace v programu NX Cam