

Název projektu	Rozvoj technického vzdělávání v Jihočeském kraji
Číslo projektu	CZ.1.07/1.1.00/44.0007
Partner projektu	Střední škola, České Velenice, Revoluční 220

PŘÍRUČKA

CNC FRÉZKA



Zpracovali: Ing. Zdeňka Bočková
Miroslav Sviták

Obsah

1.1	Definice	4
1.2	Konstrukce CNC stroje a jeho řízení.....	4
1.3	Souřadnicový systém stroje	6
1.4	Vztažné body CNC stroje.....	7
1.5	Korekce nástrojů	8
1.6	Generování dráhy.....	10
1.7	Nastavení polohy nulového bodu	11
1.8	Obrábění 1D až 5D.....	12
1.9	Princip programování CNC strojů	13
1.10	Způsob tvorby NC programů	13
1.11	Struktura programu.....	14
1.12	Základní přípravné funkce (G funkce)	15
1.13	Definování pohybu nástroje.....	16
1.14	Absolutní a relativní programování	16
1.15	Funkce rychloposuvu G00	17
1.16	Funkce pracovního posuvu u lineární interpolace G01	18
1.17	Funkce pracovního posuvu u kruhové interpolace G02, G03	18
1.18	Poloměrové korekce dráhy nástroje G40, G41, G42	19
1.19	Další významné přípravné funkce.....	20
1.20	Přesun nulového bodu obrobku G53 až G59	21
1.21	Obráběcí cykly.....	21
1.22	Pomocné funkce M.....	22
1.23	Možnosti obrábění při použití CNC frézek.....	23
2.1.	Technický popis frézky Comagrav MT profi XL	27
2.2	Napájení a umístění stroje	29
2.3	Vřeteno s ruční výměnou nástroje	30
2.4	Údržba stroje	31
2.5.	Mazání vozíku lineárního vedení.....	32
3.1	Základní operace řídicího programu Pilot	33
3.1.1	Záložky	33
3.1.2	Tlačítka.....	33
3.1.3	Záložka Stav	34

3.1.4	Záložka nastavení	35
3.1.5	Záložka Parametry	39
3.1.6	Záložka Test	41
3.1.7	Záložka Zobrazení	43
3.2.	Další nástroje v záložkách	45
3.2.1	Příprava parametrů pro práci s naváděcími značkami a učení systému nalézt vytištěnou značku.....	45
3.2.2.	Nezobrazované klávesy	46
3.2.3.	Jak pomocí Corelu a ArtCamu připravit soubor pro naváděcí značky	47
3.2.4.	Matrix pro značky, vytvoření souboru.....	52
3.2.5.	Kalibrace kamery a vřetene	53
3.2.6.	Užití kamery k nastavení počátku.....	53
3.2.7.	Mechanický skener	54
3.2.8.	Teach-In	56
3.3.	Praktický návod pro spuštění procesu	57
4.1.	Příklady a úkoly	58
	Příklad č.4.1.1	58
	Příklad č.4.1.2	58
	Příklad č.4.1.3	58
	Příklad č.4.1.4	59
	Příklad č.4.1.5	59
	Příklad č.4.1.6	59
	Příklad č.4.1.7.....	60
	Příklad č.4.1.8.....	60
	Seznam použité literatury	61

Poznámka:

Autoři Příručky CNC frézky níže uvedené texty vybrali, didakticky upravili (parafrázovali) a dále již jen podle potřeby pokrátli v souladu s dikcí autorského zákona.

Citace dle: ČSN ISO 690:2011-Bibliografická citace

1.1 Definice

CNC stroj – stroj s číslicovým řízením počítačem
(Computerized Numerical Control)

Pracovní funkce CNC stroje jsou ovládány řídicím systémem pomocí vytvořeného programu, který je vytvořen pomocí alfanumerických znaků.

Vlastní program je složen z oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty.

Program je určen pro řízení silových prvků stroje.

Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na:

- 1) **Geometrické** – popisují dráhu nástroje během obrábění a také příjezd a odjezd nástroje k obrobku. Pro tvorbu programu potřebujeme rozměry součásti z výrobního výkresu.
 - 2) **Technologické** – stanovují řezné podmínky (otáčky nebo řeznou rychlost, posuv, hloubku třísky)
 - 3) **Pomocné** – jsou to povely pro pomocné funkce (zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, směr otáček vřetene apod.)
- Umožňuje výrobu i velmi složitých součástí, které by na konvenčních strojích nebylo možné vyrobit
 - CNC stroj se řadí do tzv. **pružné automatizace** (změna výroby = pouze změna programu)
 - Uplatňují se ve všech oblastech strojírenské výroby (obrábění, tváření, montáž, měření...)
 - Zkrácení výrobních i vedlejších časů, vyšší přesnost, nižší zmetkovitost
 - Nevýhody – vysoké investiční i servisní výdaje, kvalifikovaný personál pro vytváření NC programů....

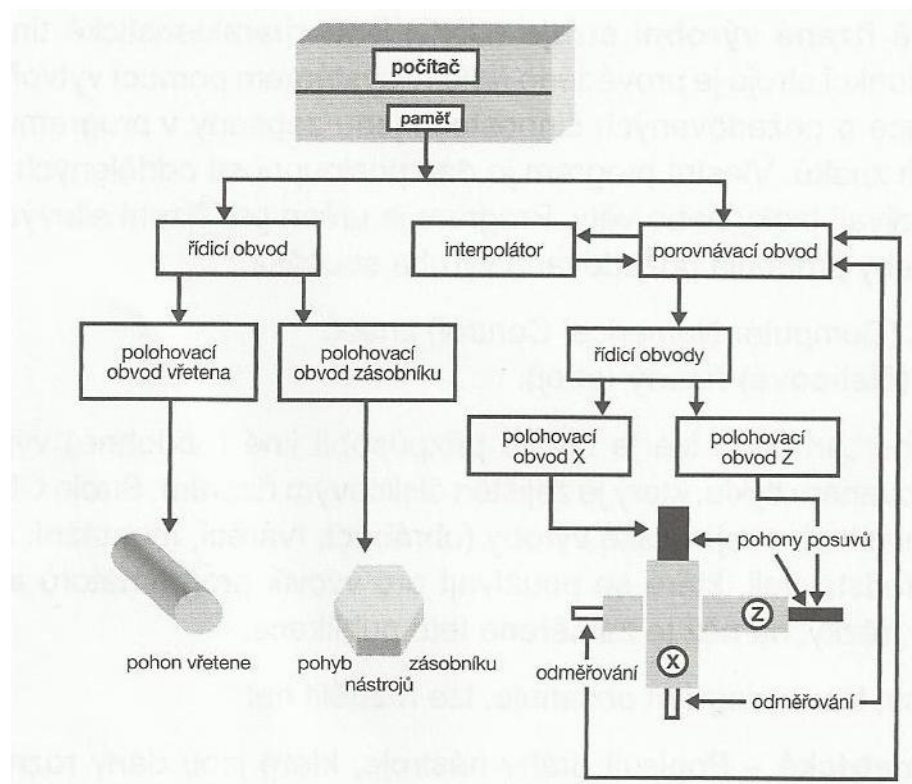
1.2 Konstrukce CNC stroje a jeho řízení

Hlavní prvky CNC stroje

- **Počítač** – Jedná se o průmyslový počítač obsahující řídicí systém, který je nedílnou součástí stroje. Skládá se z obrazovky a ovládacího panelu. Součástí naší školní CNC frézky je součástí stroje běžný počítač vybavený řídicím programem Pilot a klávesnice.

- **Řídicí obvody** – V těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály a těmi se přímo ovládají jednotlivé části stroje, jako jsou motory vřetene a posuvů, ventily atd.
- **Interpolátor** – Řeší dráhu nástroje, která je zadaná geometrickým obrysem obrobku a výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje. Vypočítává tedy ekvidistantu pohybu bodu nástroje, a to konkrétně o bod výměny nástroje, který je vzdálena o vypočítané korekce od požadovaného geometrického obrysu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku
- **Porovnávací obvod** – Stroj musí být vybaven zpětnou vazbou (až na výjimky u jednoduchých CNC strojů určených pro základní výcvik obsluhy), která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů v souřadných osách, v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem (a upraveny v interpolátoru). Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Stroj musí být vybaven odměřováním, které slouží ke zjištění dosažených souřadnic¹.
- **Řídicí panel** (bývá u průmyslových frézek, v případě naší školní frézky máme obrazovku a klávesnici).

Schéma CNC obráběcího stroje a jeho zařízení



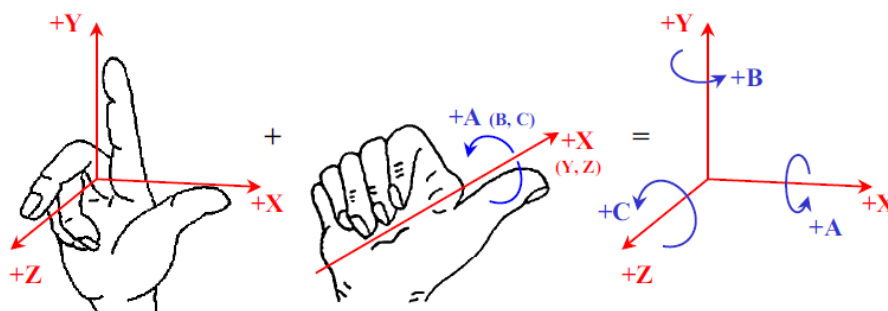
Obrázek 1

¹ Štulpa, M. : Obráběcí stroje a jejich programování. S.11

1.3 Souřadnicový systém stroje

Definice souřadnicového systému

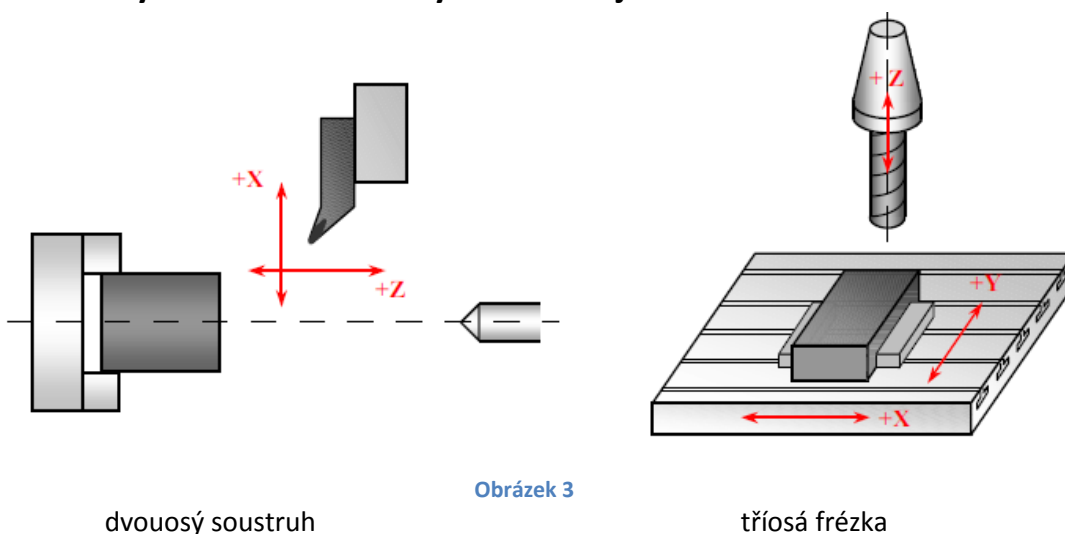
- Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic
- Osy stroje jsou v podstatě pohybové osy, které pomocí programu řídíme
 - Posuvové osy
 - Rotační osy (např. otočný stůl). Pro naší frézku by bylo nutno dokoupit rotační adaptér.
- Osy X, Y, Z označují posuvy, kladný smysl pohybu v dané ose je ve směru narůstání obrobku
- Osy A, B, C označují rotační pohyby kolem os X, Y, a Z,
- Osa Z je hlavní osou stroje (je rovnoběžná např. s osou vřetene)
- Osa X je hlavní osa v rovině upínání obrobku



kladný smysl os souřadného systému je dán pravidlem **pravé ruky**

Obrázek 2

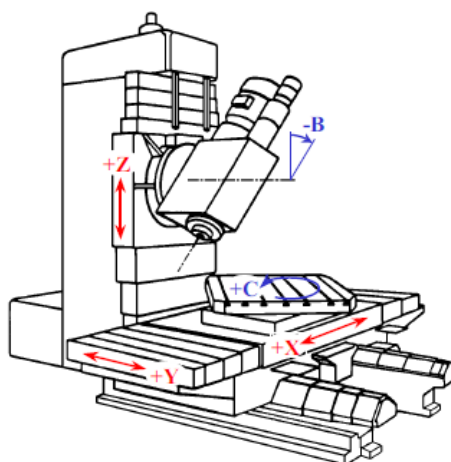
Ukázky souřadnicového systému strojů



Obrázek 3

dvuosý soustruh






třiosá frézka



Obrázek 4
5 - ti osé frézovací centrum

1.4 Vztažné body CNC stroje

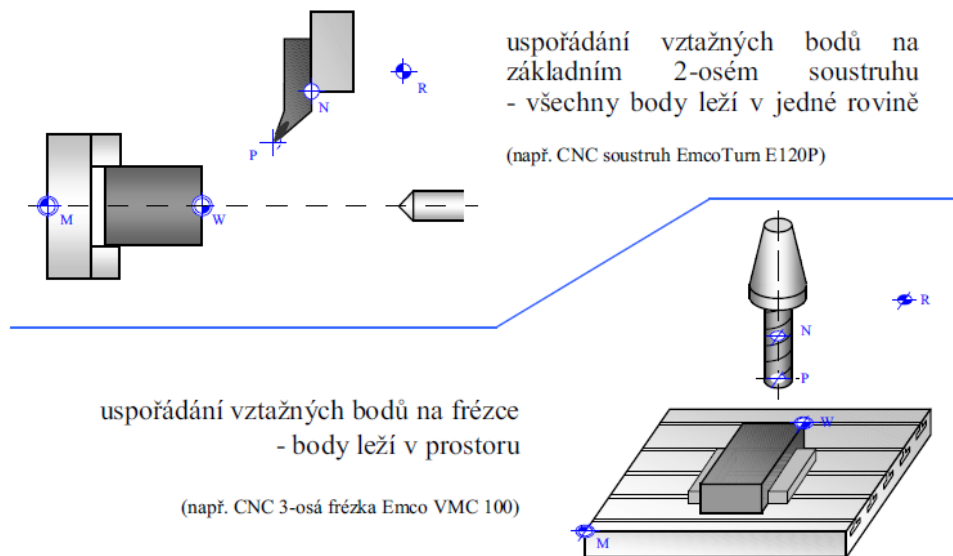
Definice vztažných bodů

M - nulový bod stroje (stanoven výrobcem - výchozí počátek souřadného systému)		M
W - nulový bod obrobku (jeho polohu definuje programátor, váží se k němu všechny programované souřadnice drah v NC programu, jeho poloha je měřena od bodu M)		W
N - nulový bod nástrojového držáku (stanoven výrobcem stroje - referenční bod nástrojového držáku, ke kterému se vztahují rozměry všech nástrojů)		N
P - nulový bod nástroje (soustružnický nůž - bod leží na teoretické špičce nože, rotační nástroje - bod leží v ose ose nástroje na jeho čele)		P
R - referenční bod (jeho poloha dána výrobcem stroje - po zapnutí stroje slouží k nalezení výchozího počátku souřadného systému M, nemá význam, pokud má stroj absolutní odměřování polohy ²)		R

² Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů

http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014).S.40

Příklady vztažných bodů

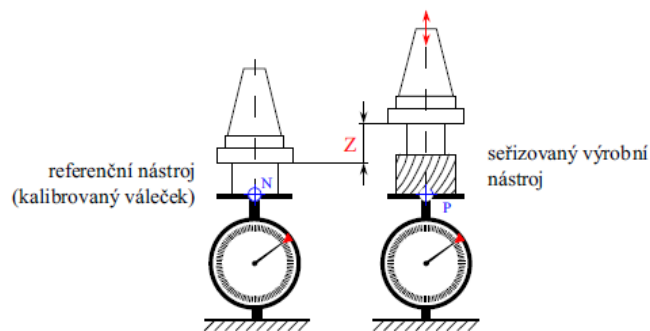


Obrázek 5

1.5 Korekce nástrojů

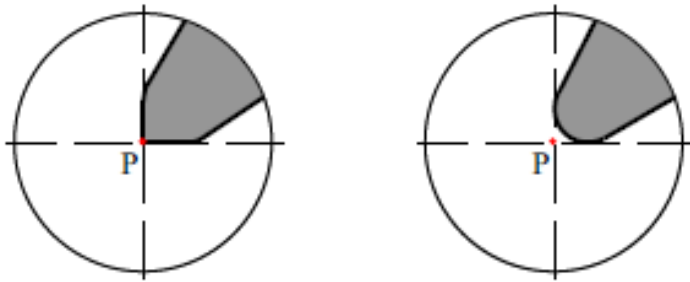
Druhy korekcí:

- Délkové – jejich velikost je vztažena k nulovému bodu výměny nástrojů (je na nástrojovém držáku)

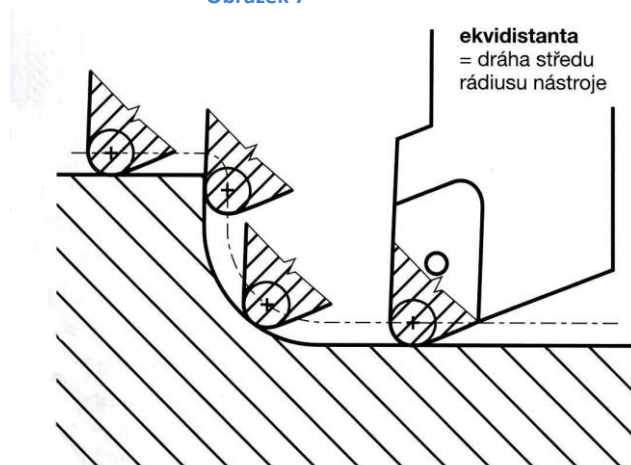


Obrázek 6

- Rádiové – např. soustružnické nože nemají špičku ostrou, ale zaoblenou určitým poloměrem. Při ručním seřizování se obvykle používá optický přístroj s nitkovým křížem. Břitem se najíždí tečně k nitkovému kříži.



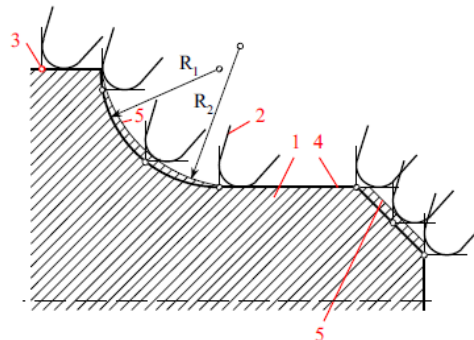
Obrázek 7



Pohyb bodu špičky nástroje po tvarové ploše (kontuře obrobku)

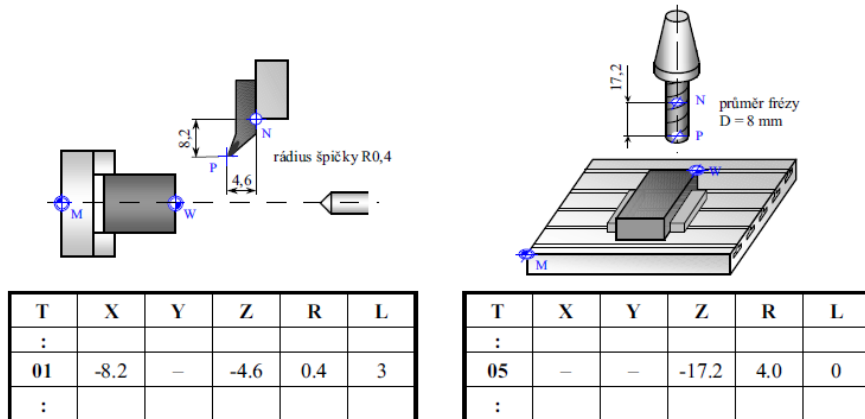
Obrázek 8

- Výsledná – je to součet obou korekcí a vytváří ekvidistantu kontury obrobku, po níž se pohybuje nulový bod nástrojového držáku N.
- Odchylka obrobce od naprogramovaného v případě, že bychom nepoužili korekce nástroje



Obrázek 9

Příklady korekcí nástrojů

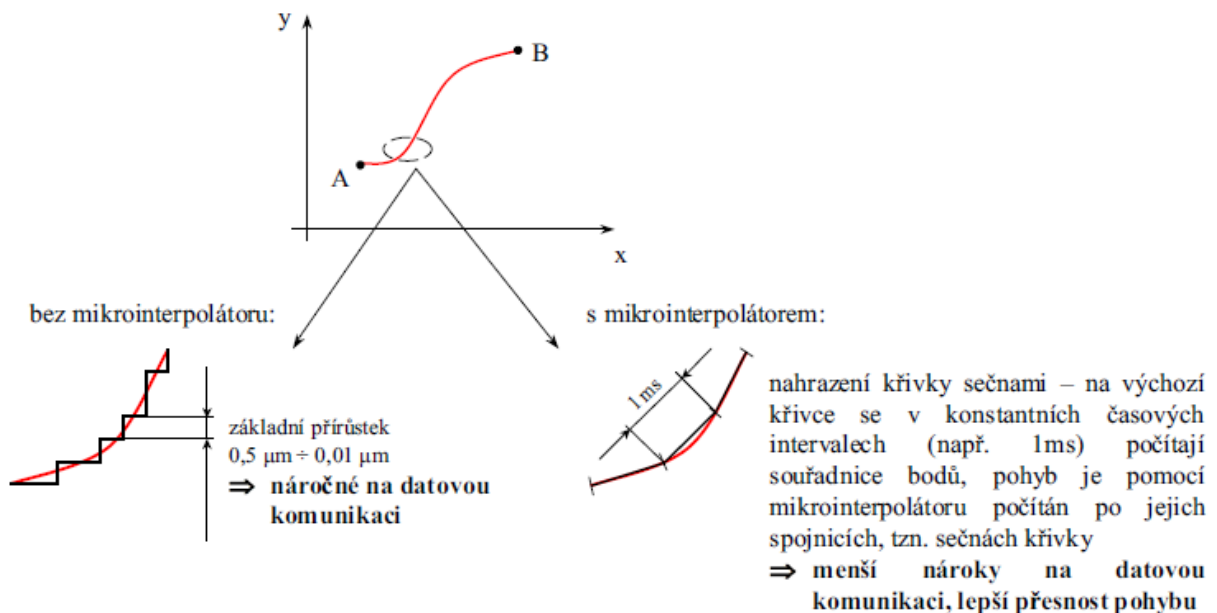


Obrázek 10

Pozn.: Hodnoty korekcí X, Y, Z je třeba vyplňovat s ohledem na smysl os souřadného systému stroje (proto korekce může být i záporná)

1.6 Generování dráhy

Příklad generování dráhy bez a s použitím mikroiinterpolátoru



Obrázek 11

1.7 Nastavení polohy nulového bodu

Před zahájením výroby daného výrobku je třeba určit nulový bod součásti!!

Nulový bod W je důležitý pro bezchybné najetí nástrojem při zahájení obrábění. Jeho umístění volí programátor.

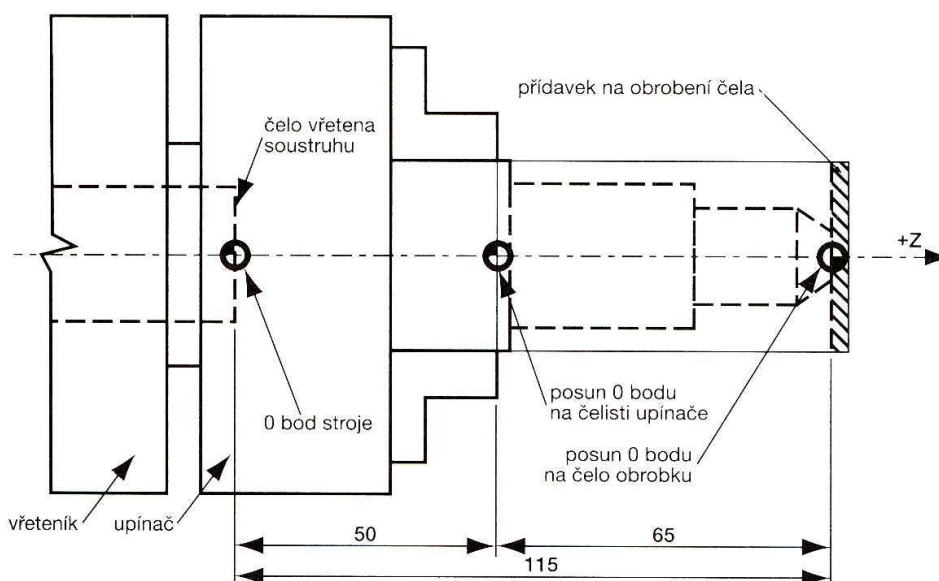
Způsoby určení:

1) Posunem souřadnicové soustavy nulového bodu stroje pomocí funkce programu

- U soustružení se nulový bod obrobku nastavuje většinou na čelo polotovaru a tím se počátek posouvá jen po ose Z. Měří se tudíž jen 1 rozměr.

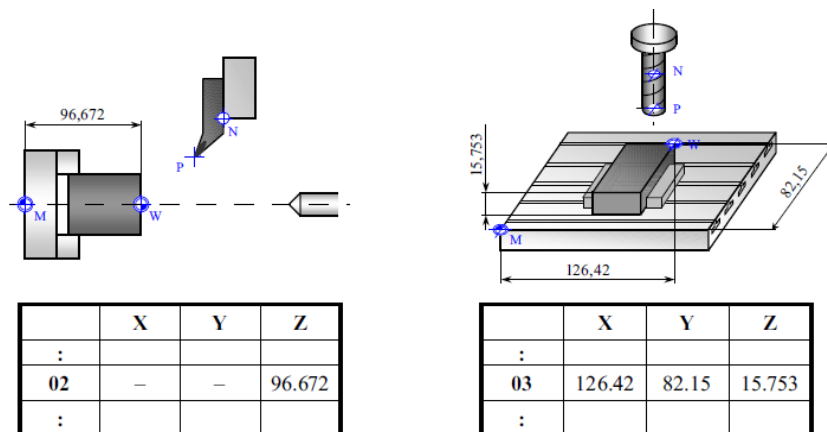
Příklad:

Vzdálenost nulového bodu stroje a čela sklíčidla (50mm) je vložena do řídicího systému jako konstanta a platí pro dané sklíčidlo. Obdobně lze řešit i jiné upínače. Velikost dalšího posunutí (65mm) závisí na výkrese konkrétní součásti.



Obrázek 12

- Při frézování se nulový bod nastavuje na jeden z rohů polotovaru nebo do jeho středu a tím se mohou posouvat až všechny souřadnice X,Y Z. Měří se tudíž až tři rozměry.



Pozn.: hodnoty posunutí nulového bodu X, Y, Z je třeba vyplňovat s ohledem na smysl os souřadného systému stroje (výrobce zpravidla volí počátek souřadného systému tak, aby měly všechny hodnoty posunutí stejné znaménko, obvykle kladné...

Obrázek 13

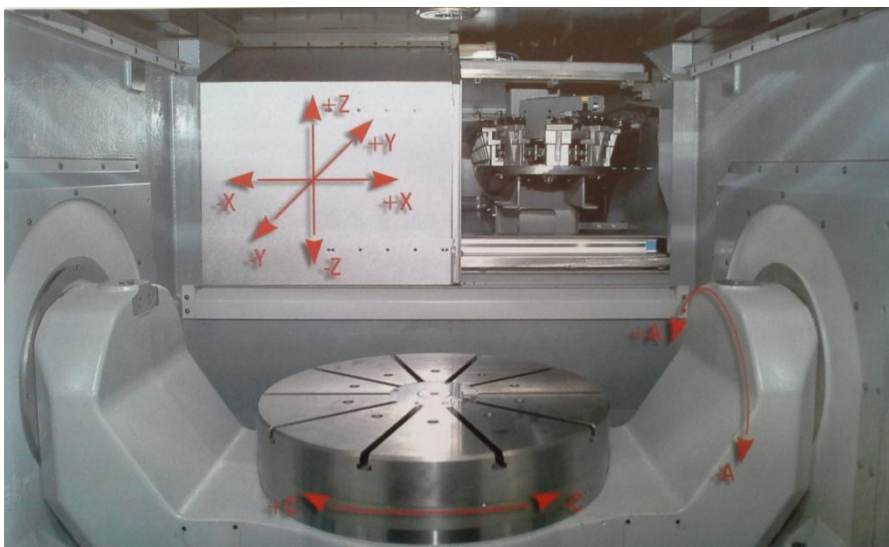
2) Dotekem nástroje

Pro měření hodnot posunutí se buď používá speciální měřicí sonda upnutá místo nástroje, popř. se obrobek ustavuje na doraz, nebo se obrobek naškrábne již seřízeným nástrojem (pokud nesmí být plocha poškozena nástrojem, můžeme naškrábnout přes papírek) a odečtou se hodnoty posunutí v daných osách. Při tomto měření posunutí ale musíme počítat s poloměrem nástroje.

1.8 Obrábění 1D až 5D

Pro hodnocení konstrukční vypslosti stroje (obráběcího centra) se používá jako jeden z ukazatelů počet os souřadnicového systému, které mohou být při obrábění současně v činnosti.

- 1) Jednoosé obrábění 1D (jednoúčelový stroj – vrtání díry)
- 2) Dvou- a půlosé obrábění 2,5D (frézka se současně řízenými osami X, Y a nastavitelnou hloubkou frézování Z)
- 3) Dvouosé obrábění 2D (soustruh, běžná frézka)
- 4) Tříosé obrábění 3D (tříosá frézka – frézování prostorových tvarů)
- 5) Pětiosé obrábění 5D (obráběcí centra – posuvy v osách X, Y, Z, otočný stůl osa C, naklonění stolu osa A nebo B)



Obrázek 14

1.9 Princip programování CNC strojů

- Při programování CNC frézky se nástroj pohybuje vůči obrobku. Obrobek je pevně upnut na pracovním stole.
- Nejsou - li ještě zadány korekce nástrojů a poloha **W**, řídí se pohyb bodu **N** v souřadném systému stroje s nulovým bodem stroje **M**
- Když zadáme korekce nástroje a posunutí nulového bodu obrobku, je řízen pohyb bodu **P** nástroje v souřadném systému stroje s počátkem **W**

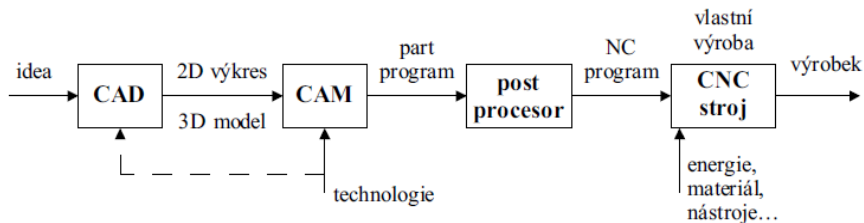
1.10 Způsob tvorby NC programů

G – kód (ISO – kód) je název programovacího jazyka, jehož konečná verze byla v roce 1980 normalizována a schválena jako standard RS274D. Přesto většina firem tento standard nedodrží.

Jednoduché vytváření G – kódu umožňuje např. CAM Express, NX Cam, Smartcam, Gibbscam, Featurecam, Edgecam, Surfcam, Mastercam, One CNC atd. Tyto aplikace využívají ke generování G- kódu překladače zvané post-procesory

Pro automatickou výrobu potřebuje CNC stroj tzv. NC program, popisující geometrii obráběné součásti. Ten je v současné době možné vytvořit třemi základními způsoby:

1. **Ručně** - Programátor vytvoří NC program pomocí údajů na výrobním výkresu, přičemž nemá k dispozici elektronická data součásti.
2. **Pomocí CAD/CAM systému**



Obrázek 15

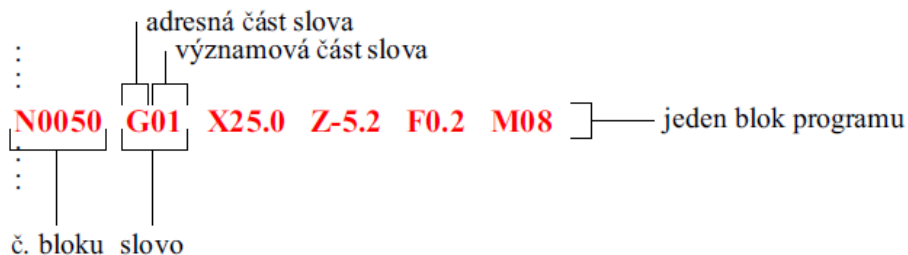
3. **Pomocí dílenského programování** – jednoduchou součást je možno naprogramovat přímo v dílně na ovládacím panelu

1.11 Struktura programu

NC program se skládá ze čtyř hlavních částí:

1. Název programu.....%001
Nejdříve je uveden znak % , za znakem je číslo programu (platí pro většinu řídicích systémů)
2. Přípravná část.....technologické údaje
Patří sem nastavení nulového bodu obrobku, nástroje a jeho korekce, nastavení řezných podmínek a roztočení vřetene.
3. Obsahová část.....geometrie drah nástroje
4. Závěrečná část.....M30
5. Program se skládá z bloků, což jsou v podstatě jednotlivé řádky programu. Bloky jsou vzestupně očíslované, každý blok znamená prakticky jeden příkaz.
6. Každý blok se skládá z čísla bloku, které začíná písmenem N (number), pak následují adresy(např. N,G,X...) doplněné číslicovou částí.Adresa a číslicová část tvoří slovo. Slova jsou od sebe oddělena mezerou.

Příklad bloku (jednoho řádku programu):



Obrázek 16

Význam nepoužívanějších adres:

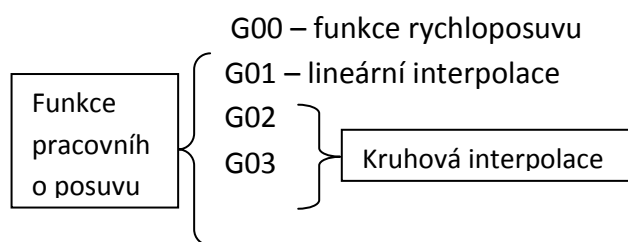
Význam nepoužívanějších adres:		
Písmeno	Význam	Poznámka
X Y Z	Základní osy souřadného systému – pohyby v osách.	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů závazná, některá doporučená.
A B C	Rotace kolem základních os.	
I J K	Parametry interpolace nebo stoupání závitu ve směru 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.	<i>Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů, podle možností daných stroji pro které jsou především určena.</i>
G	Přípravná (geometrická) funkce.	
M	Pomocná (přídavná) (strojní) funkce.	
N	Číslo bloku (věty).	
F	Posuv.	
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost.	
L	Volání podprogramu.	

Obrázek 17

1.12 Základní přípravné funkce (G funkce)

Tyto funkce spolu se souřadnicemi tvoří obsahovou část programu, tj. popisují geometrii drah nástroje.

Základ tvoří čtyři funkce:



1.13 Definování pohybu nástroje

- **Pohyb po úsečce (z jednoho bodu do druhého)**

Úsečka je definována 2 body v prostoru - počátečním a konečným (!!nelze zaměnit).
Souřadnice obou bodů musí být v programu zadány ve správném pořadí.

- Počáteční bod je určen momentální polohou nástroje (tzn. systém už zná jeho souřadnice)
- Konečný bod úsečky je zadán souřadnicemi v programu (př. X25,0 nebo Z-5,2), které jsou za slovem G00 nebo G01

- **Pohyb po kruhovém oblouku**

Kruhový oblouk (kružnice) je určen 3 body v prostoru (počátečním a konečným bodem oblouku a souřadnicemi středu, někdy se souřadnice středu nahrazují poloměrem oblouku)

- Počáteční bod je opět určen momentální polohou nástroje
- Ostatní dva body jsou opět souřadnice (X, Y, Z..) za slovy G02 nebo G03.

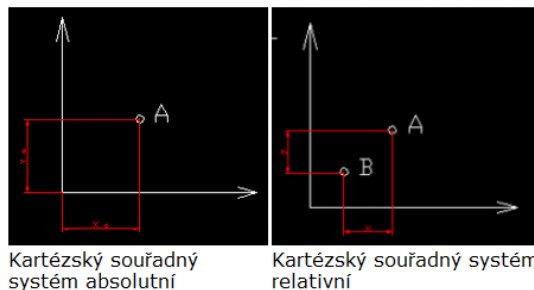
1.14 Absolutní a relativní programování

Programované souřadnice lze zadávat:

- Absolutně G90
- Přírůstkově G91

Při absolutním programování jsou souřadnice bodu vztaženy k počátku souřadného systému, tj. obvykle k nulovému bodu obrobku.

Při přírůstkovém programování jsou souřadnice bodu vztaženy k předchozímu bodu, tzn. programuje se přírůstek souřadnic v kladném nebo záporném směru osy.



Obrázek 18

Porovnání výhod a nevýhod:

- Při absolutním programování jsou souřadnice bodů okamžitě zřejmé z programu, při přírůstkovém programování je třeba projít celý program až k místu, kde je třeba souřadnice zkontrolovat.
- Při přírůstkovém programování hrozí nebezpečí sčítání chyb a nepřesností během celého řetězce přírůstků, proto se doporučuje programovat v absolutních souřadnicích
- Přírůstkové programování lze však s výhodou použít v podprogramech při opakování složitějších tvarů v různých místech, v hlavním programu se najede absolutně na počátek tohoto tvaru a zavolá se podprogram)³.

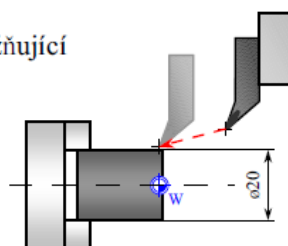
1.15 Funkce rychloposuvu G00

Nástroj se pohybuje z momentální pozice do naprogramovaného bodu rychloposuvem.

- V okamžiku realizace rychloposuvu nástroj nesmí být v kontaktu s obráběným materiálem
- První pohyb realizovaný programem má být proveden rychloposuvem
- Pohyb rychloposuvem nemusí být proveden po nejkratší možné dráze, tzn. úsečce (pozor na srážku nástroje s upínači a jinými částmi stroje)

Příklad: najetí nástroje do polohy umožňující v dalším kroku zarovnání čela

```
:  
N0030 G00 X22.0 Z0.0  
:
```



Obrázek 19

Pozor! Na soustruhu se souřadnice v ose X zapíše jako průměr, nikoli jako skutečná vzdálenost od špičky nože k bodu na obrobku!!
(proto X22.0)

³ Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů

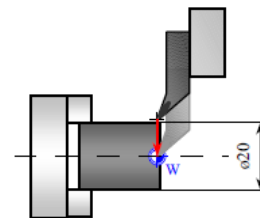
http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014).S.62

1.16 Funkce pracovního posuvu u lineární interpolace G01

- Nástroj se pohybuje z momentální polohy do naprogramovaného bodu pracovním posuvem po přímce (proto lineární)
- K souřadnicím koncového bodu se přidává slovo **F**, které určuje rychlost pracovního posuvu
- Obvykle pokud nedošlo ke změně slova, není třeba zápis v další bloku (viz obrázek: Z0.0 se v druhém řádku neopakuje).

Příklad: zarovnání čela obrobku

```
:  
N0030 G00 X22.0 Z0.0  
N0040 G01 X0.0 F0.2  
:
```



Obrázek 20

1.17 Funkce pracovního posuvu u kruhové interpolace G02, G03

Nástroj se pohybuje z momentální polohy do naprogramovaného bodu pracovním posuvem po kruhovém oblouku.

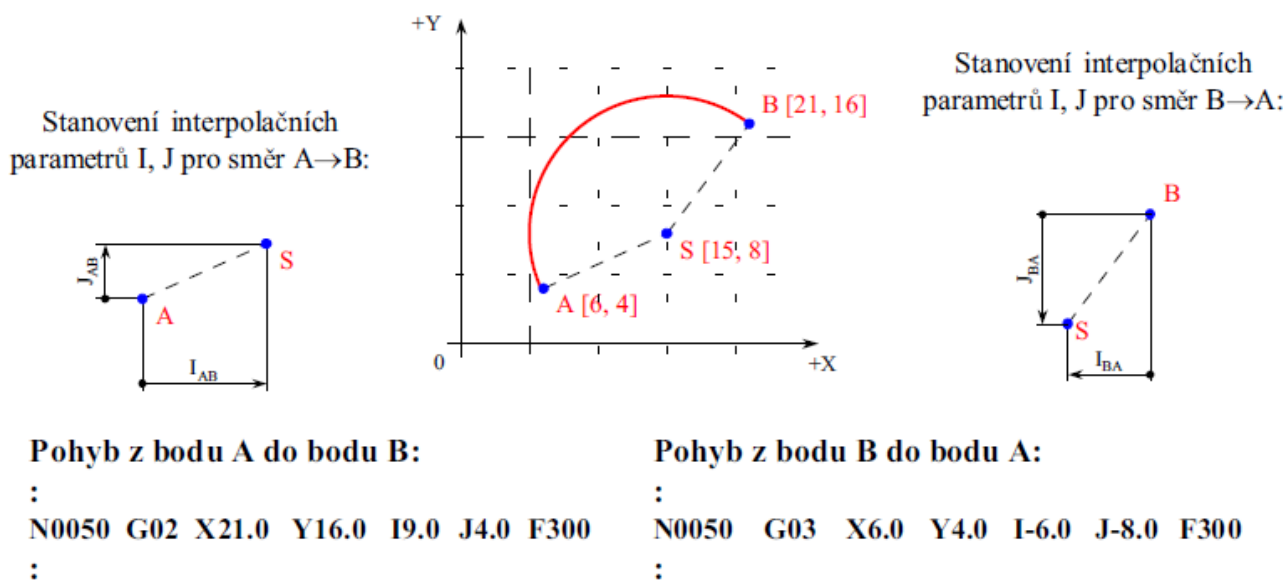
- K souřadnicím koncového bodu se přidávají ještě slova udávající polohu středu oblouku a samozřejmě rychlost pracovního posuvu
- Slovo G02 je pro pohyb nástroje ve směru hodinových ručiček - záporný smysl
- Slovo G03 je pro pohyb nástroje proti směru hodinových ručiček - kladný smysl
- **Soustruh:** Smysl posuzujeme tak, že se díváme za osu rotace obrobku, směr posuzujeme podle směru, jímž je ubírána tříska soustružnickým nožem
- **Frézka:** Smysl určujeme při pohledu shora na rovinu frézování
- Souřadnice středu oblouku se udávají parametry **I, J, K**.

I – souřadnice ve směru X

J – souřadnice ve směru Y

K – souřadnice ve směru Z

- Některá omezení při programování kruhových oblouků:
 - Programovaný kruhový oblouk zpravidla nesmí svírat větší úhel než 180° - větší oblouk je třeba rozdělit do dvou oblouků
 - Klasická kruhová interpolace počítá s kruhovými oblouky ležícími jen v jedné ze základních rovin souřadného systému (XY, YZ, XZ)⁴



Obrázek 21

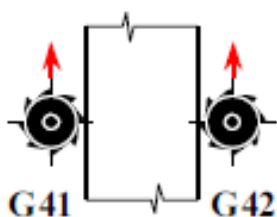
Pozn. Poloha krajních bodů A, B je zadána **absolutně**. Poloha středu je zadána vůči koncovému bodu **přírůstkově**.

1.18 Poloměrové korekce dráhy nástroje G40, G41, G42

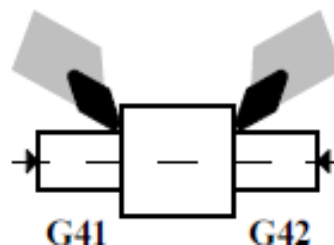
G40.....zrušení korekce dráhy nástroje

G41.....korekce dráhy nástroje vlevo

G42.....korekce dráhy nástroje vpravo



Obrázek 22



Obrázek 23

⁴ Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů

http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014).S.66

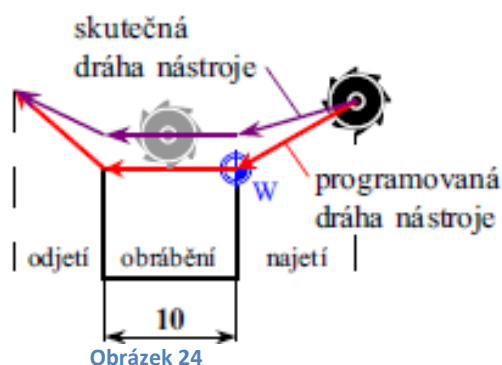
Aktivace a deaktivace korekcí dráhy nástroje musí být v programu spojena s najetím a odjetím – během těchto pohybů totiž dochází k přepočtu korekce drah nástroje z programované na požadovanou (a zpět).

Příklad:

N0030 G01 G42 X0.0 Y0.0 F100

N0040 G01 X-10.0 Y0.0 F100

N0050 G01 G40 X-15.0 Y5.0 F100⁵



Obrázek 24

1.19 Další významné přípravné funkce

Funkce	Význam
G04	časová prodleva, parametr udává dobu čekání
G17	výběr roviny XY – při programování 2,5-osé frézky určuje pracovní rovinu
G18	výběr roviny ZX – při programování 2,5-osé frézky určuje pracovní rovinu
G19	výběr roviny YZ – při programování 2,5-osé frézky určuje pracovní rovinu
G33	funkce řezání závitů – viz dále
G43	korekce délky nástroje – kladná
G44	korekce délky nástroje – záporná
G53	zrušení posunutí nulového bodu obrobku, počátek je nastaven zpět do bodu M
G54...G59	posunutí nulového bodu obrobku, použití se na různých ŘS liší
G70	nastavení rozměrových jednotek na palce
G71	nastavení rozměrových jednotek na milimetry (implicitní na většině strojů pro Evropu)
G80	zrušení pracovního cyklu
G81...G89	pracovní cyklus 1...9, použití se na různých ŘS liší
G92	přímé nastavení nul. bodu obrobku / omezení max. otáček vřetena (ve spojení s G96) – liší se dle ŘS
G94	nastavení jednotek rychlosti posuvu na [mm/min]
G95	nastavení jednotek rychlosti posuvu na [mm/ot] nebo [μm/ot]
G96	konstantní řezná rychlost při soustružení ⇒ otáčky se mění v závislosti na obráběném průměru
G97	konstantní otáčky při soustružení (zrušení předchozí funkce)

Obrázek 25

⁵ Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů

http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014).S.71

1.20 Přesun nulového bodu obrobku G53 až G59

Souřadný systém je možné posunout z nulového bodu stroje, nebo z naposledy stanoveného nulového bodu. Systém má 5 registrů (paměťových míst) rozdělených do dvou skupin.

G54	G53 Ruší posunutí celé 1. skupiny
G55	
G57	G56 Ruší posunutí celé 2. skupiny
G58	
G59	

Aktivací posunutí nulového bodu z první skupiny a potom z druhé (nebo naopak) dojde k sečtení obou hodnot posunutí (je to výhodné např. při upínání různých dílů do stejného upínače - jedno posunutí z bodu M na upínač, druhé z upínače na díl – obvykle lze snadněji měřit).

Posun nulového bodu prakticky aktivuje až funkce G00 (rychlposuv). G00 musí být první přípravná funkce v programu po funkcích posunutí nulového bodu.

1.21 Obráběcí cykly

Použití dosud popisovaných funkcí vedlo k vytvoření programu, kde v podstatě jedna věta znamená jeden pohyb nástroje – takový program ale může být dlouhý a nepřehledný, zvláště pro složitější díly.

Proto obráběcí cykly shrnují obrábění určité části obrobku do jediné věty.

Tím se podstatně zkracuje program a zvyšuje jeho přehlednost.

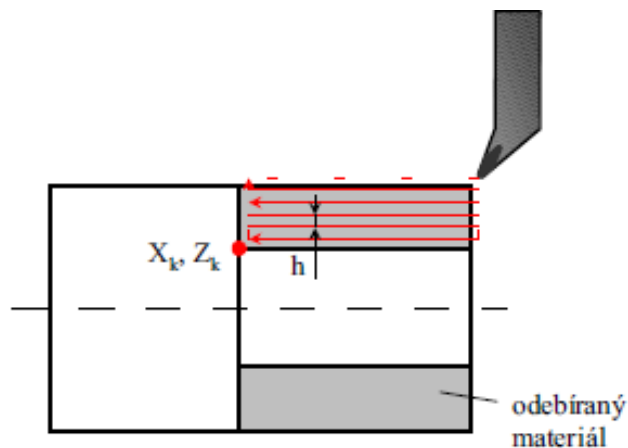
- Soustružení – např. cykly hrubovací, závitovací vrtací, zapichovací
- Frézování – např. vrtání hlubokých děr, obrábění kapes a ostrovů, zrcadlení a kopírování tvaru

Např.:

Základní hrubovací cyklus – pro nadefinování cyklu musí být zadány alespoň tyto parametry:

- Výchozí bod (je dán obvykle výchozí polohou nástroje)
- Koncový bod
- Hloubka řezu (popř. počet třísek)
- Velikost pracovního posuvu

- Jako doplňkové parametry mohou být zadány přídavky pro dokončování v jednotlivých směrech



Výpočet jednotlivých drah potřebných k vyhrubování (na obrázku červeně) je úkolem řídicího systému stroje v rámci cyklu.⁶

Obrázek 26

1.22 Pomocné funkce M

Následující tabulka uvádí označení pomocných funkcí.

Funkce	Význam
M00	Nepodmíněný stop programu
M03	Roztočení vřetena v záporném smyslu
M04	Roztočení vřetena v kladném smyslu
M05	Zastavení vřetena
M06	Výměna nástroje
M07	Zapnutí chlazení č.2
M08	Zapnutí chlazení č.1
M09	Vypnutí chlazení
M30	Konec programu s návratem kurzoru na počátek programu (funkce zajistí zároveň vypnutí vřetena, chlazení apod.)

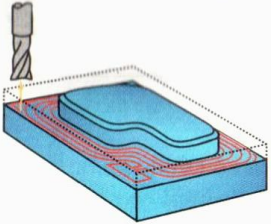
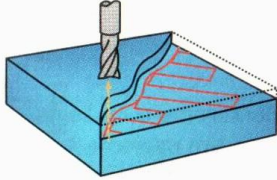
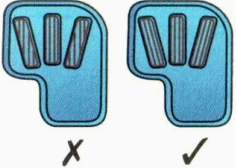
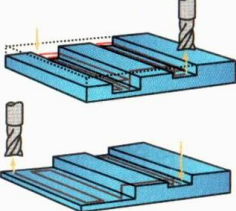
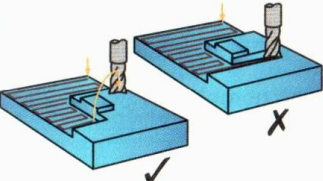
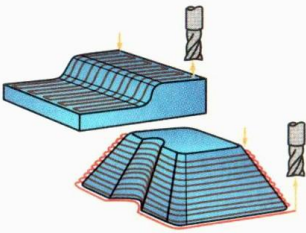
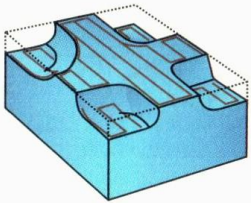
⁶ Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů

http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014).S.77


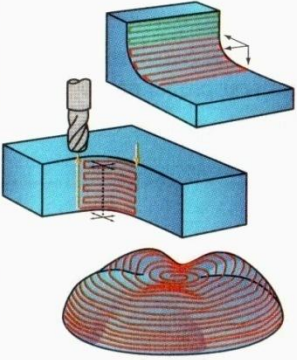
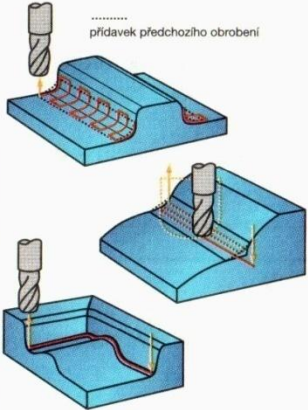
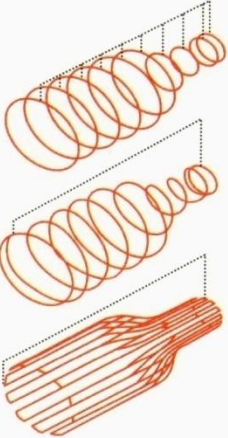
1.23 Možnosti obrábění při použití CNC frézek

	<p>Frézování sousledné – nesousledné (je dáno v závislosti na směru pohybu obrobku a smyslu otáček)</p> <p>Stručně: sousledné – dává lepší povrch nesousledné – bývá výhodnější při hrubování</p>
	<p>Frézy – nejčastěji používané druhy Obrázek ukazuje různé tvary „tradičních“ nástrojů.</p>
	<p>Rampování Sjetí pod úhlem, kdy se do materiálu postupně zabojuje fréza. Dovoluje použít výkonnou frézu, která nemá břity do středu rotace nástroje (nepoužívá se drážkovací fréza).</p>
	<p>Drážkovací fréza Zaboří se do materiálu a následuje frézování v rovině kolmé na osu rotace.</p>
	<p>Předvrtání otvorů pro zaboření frézy Polohu je možné předefinovat nebo ji navrhne příslušný software. Do otvoru najíždí fréza vícebřitá výkonná (frézuje se v rovině kolmé na osu rotace – nemusí se používat drážkovací fréza).</p>

Obrázek 27

	<p>Frézování kontury (ofsetování, paralelní frézování) Frézuje se podél vytvořeného CAD tvaru. Postupně se odebírá materiál, až se dosáhne požadovaného tvaru. Frézuje se ve více vrstvách („Z“ výškách) a také ve spirále (rampováním). Zhotovují se vnější i vnitřní tvary, u vnitřních je možné začít frézování od středu ke kontuře (začít uvnitř), nebo naopak – od kontury do středu (začít vně).</p>
	<p>Rastrování k profilu Je vhodné pro větší úběr materiálu, řeší se pod libovolným úhlem a s určitým překrytím průměru frézy. Vlastní tvar profilu se objíždí následně, lze jej též objíždět i před rastrováním.</p>
	<p>Nastavení úhlu pohybu nástroje Je to optimální obrábění, pokud software dokáže upravit dráhy nástroje např. ve směru drážky</p>
	<p>Drážkování Je zapotřebí, aby nástroj vyrobil jednu drážku a následně druhou – neobráběl ve stejných výškách všechny drážky současně. Přejezdy Je nutné, aby software vyhodnotil minimální výšky přejezdů – tak odstraní neúsporné dráhy a minimalizoval čas.</p>
	<p>Minimalizování záběrů plnou šířkou frézy Optimální záběr se uvádí jako 2/3 až 3/4 průměru frézy. Plný záběr, pokud nesnížíme řezné podmínky, značí přetížení nástroje, jeho otupení, případně havárii.</p>
	<p>Dokončení lze provádět rastrem Lze provádět rovnoběžně s osami, pod zvoleným úhlem a křížem. Použití závisí na sklonu ploch vůči dráze nástroje (má vliv na drsnost plochy). Obecně je rastrování použitelné pro plochy s mírným sklonem, až vodorovně. Dokončení lze provádět v konstantních „Z“ výškách Má smysl od určité strmosti až po komé stěny.</p>
	<p>Obrábění v hranicích Na povrchu modelu můžeme vyznačit (nakreslit) hranice a v nich provádět obrábění různými způsoby. Je výhodné u horizontálních a mírně skloněných ploch – není třeba obrábět celý povrch. Ve spojení se „Z“ výškami vznikají na výrobku velmi kvalitní plochy.</p>

Obrázek 28

	<p>Tyto strategie jsou výhodné pro kruhové (nebo blízké kruhu) plochy na výrobcích ve 2D.</p> <p>Frézování ve spirále – použití též pro plochy 3D, obdoba dokončování v „Z“ výškách, výhodné pro rychlostní obrábění (<i>nástroj nemění směr – nemusí zpomalovat</i>).</p> <p>Radiální frézování – frézuje se od středu a ke středu kruhu, spojení drah. Zadává se úhel, od kterého a do kterého se obrábí.</p>
	<p>Frézování projekcí – používá se pro vyšší kvalitu povrchu na složitých tvarech modelu.</p> <ol style="list-style-type: none"> Rovinou (představa: z plochy, kterou definujeme a můžeme naklánět, „ozářujeme“ různá zákoutí apod.) – tím můžeme na tyto plochy promítat individuální rastr. Přímkou (představa: „ozáření přímkou – trubicí zářivky“) – obrábíme dráhami: přímka, kruh, spirála, což je výhodné pro obrábění dutin. Bodem (představa: „ozáření žárovkou – bodem“) – dráhy vznikají projekcí kruhu, spirály, radiály.
 <p>přídavek předchozího obrábění</p>	<p>Zbytkové obrábění Toto obrábění odstraňuje zbytky materiálu, které zůstaly neobrobena po předchozím nástroji. Podmínkou je použití menšího nástroje – neobrobíme vše.</p> <p>Obrábění rohů obrázky 1 a 2 – dráhu, směr nástroje lze volit.</p> <p>Obrábění perem obrázek 3 – nástroj se pohybuje podél rohů obrobku.</p>
	<p>Rotační obrábění Ideální způsob, jak obrábět rotační dílce na frézce. Provádí se na stole frézky v přístroji, kde součást rotuje kolem X. Použít lze strategie:</p> <ul style="list-style-type: none"> – kruh – spirála – lineární <p>Metoda nutná pro tvarování reliéfů na rotačních plochách.</p>

Obrázek 29

	<p>Editace drah nástroje</p> <p>1. Náběhy a propojení Ještě před obráběním na stroji je často nutné náběhy nástroje upravit, a to při vstupech a výstupech z materiálu. Navíc je třeba upravit a propojit dráhy nástroje při přejezdech mezi jednotlivými ostrůvky obrábění. Účelem modifikovaného programu je, aby byl optimální a doba obrábění byla minimální.</p>
	<p>2. Transformace drah Zrcadlení, posun, rotace – dávají nový duplikát, další obrábění z původního obrazce. Pozor na směr rotace nástroje.</p> <p>3. Limitování drah Lze provádět rovinou nebo křivkou pomocí myši. Tím omezíme obrábění na potřebnou míru a tím uspoříme čas.</p> <p>4. Spojení drah Dráhy obrábění jednotlivých strategií lze spojovat, a tak redukovat čas. Lze kombinovat v pořadí, které si zvolíme. Používáme i tam, kde máme různé nástroje – a to pro použití na obráběcích centrech s výměníkem nástrojů.</p>
	<p>5. Odstranění a úpravy drah nástroje Z hlediska ekonomiky je to nutné, pokud nejsou efektivní pro výrobu. Jedná se o rychloposuvy a pracovní posuvy.</p>
	<p>Systémy kontrolují kolize nástroje a držáku Kontrolují: Zda došlo ke kolizi, hloubkou střetu; místo kolize. Jedná se o dostatečné vysunutí nástroje a délku ostří nástroje.</p>

Obrázek 30

2.1. Technický popis frézky Comagrav MT profi XL

Parametry stroje

3 osá frézka pro gravírování a frézování COMAGRAV MT Profi se vyrábí jakožto kompletní zařízení včetně vřetene a kvalitního softwaru na gravírování a frézování.

Využitelná plocha je větší než list A4, což předurčuje MT Profi k výrobě firemních tabulí a značení.

Frézka má tuhou konstrukci z HP profilů, pohyblivý stůl a portál na pevno.

Je opatřena přesným kuličkovým lineárním vedením a kuličkovými šrouby v osách XYZ, a dále výkonnými krokovými motory.

COMAGRAV MT Profi je gravírovací frézka vhodná pro použití např. v signmakingu na výrobu raznic (včetně oceli), gravírování a vyřezávání tabulek z mosazi, hliníku, dvouvrstevných gravírovacích plastů, akrylátu, plexiskla, pro výrobu orientačních systémů, označování trofejí, jmenovek, frézování písmen a podobně, v reklamě při popisování předmětů jako jsou zapalovače, placatky, sklenice, pera, tužky, hrnky a jiné válcové předměty; v průmyslu na výrobu čelních a přístrojových panelů, mechanických komponent, popisování forem, modelů, desek plošných spojů, atd.; ve zlatnictví na výrobu malých forem, knoflíků, modelů a na porývání téměř jakéhokoli materiálu diamantovým hrotem (nerezová ocel, sklo).

Technické parametry	
	Pracovní plocha
COMAGRAV MT Profi XL	640 x 420 mm
zdvih osy Z	95 mm, volitelně 220 mm
prostor pod portálem	180 mm, volitelně 300 mm
rychlost posuvu	0,1 - 50 mm/s (3000 mm/min)
rozlišení	0,003125 mm
výkon vřetene	až 730 Wattů
řídící systém	PILOT 3D kontrolér
hmotnost	38-70 kg
sériová výbava	frézovací a gravírovací software Delcam ArtCAM Express
	hliníkový upínací stůl s "T" drážkami a 4 praktickými upínkami
	automatický senzor osy Z pro snadné nastavení počátku

volitelné doplňky

nouzové bezpečnostní STOP tlačítko

2.5D a 3D gravírovací a frézovací software

Sprejový chladicí systém

Vakuová vysokotlaká vývěva a vakuový stůl

Příprava pro odsávání

Mechanická skenovací sonda

Laserová skenovací sonda

Kamera pro tiskové značky nebo nastavení počátku os XY

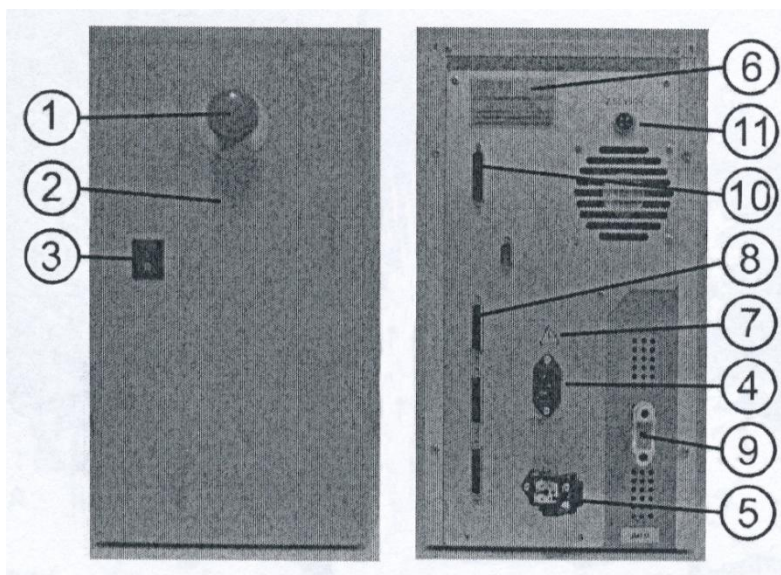
Rotační adaptér pro válcové plochy a modelování (A osa)

Diamantový nástroj pro porývání s odpružením

Poznámka: Technické parametry byly získány od výrobce

Stroj se skládá ze dvou základních částí:

- Řídící jednotka



Obrázek 31

Řídící jednotka je elektronické zařízení, které ovládá pohyby stroje a pracovní zařízení instalovaná na vřeteníku.

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1) Nouzové tlačítko STOP | 7) Umístění výstražné značky |
| 2) Síťový vypínač (POWER) | 8) Konektory připojení ke stroji (X,Y,Z) |
| 3) Kontrolka zapnutí | 9) Upevnění objímky pro kabely |
| 4) Konektor síťového kabelu | 10) Konektor připojení k PC |
| 5) Konektor připojení vřetene | 11) Konektor automatického snímače ⁷ |
| 6) Výrobní štítek | |

⁷ Autor neuveden: Comagrav - původní návod k použití

- **Samotný stroj**

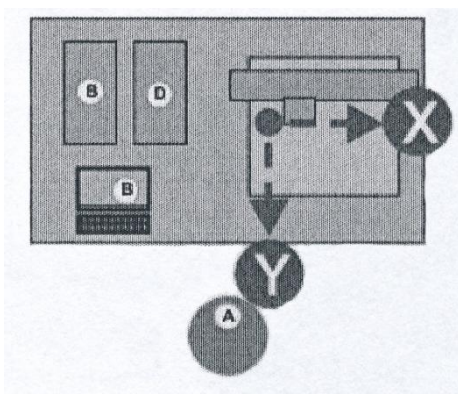
Samotný stroj se skládá z vřeteníku a pracovního stolu. Vřeteník se pohybuje vlevo a vpravo po portálu, nahoru a dolů ve směru osy Z. Portál se pohybuje směrem dopředu a dozadu. Pod vřeteníkem je pracovní stůl, který je vybaven T – drážkou pro upevnění materiálu.

2.2 Napájení a umístění stroje

Frézka MT profi XL vyžaduje samostatnou zásuvku 230V AC, 50Hz, 6A.

- Zařízení nevystavujeme sálavému teplu
- Zařízení neumísťujeme do prašného prostředí
- Zařízení provozujeme na pevném stabilním stole v místnosti s rovnou a bezpečnou podlahou, která není zdrojem statické elektřiny

Doporučené rozměry pracovního stolu jsou 1600 x 950mm s nosností 120 kg



Obrázek 32

A.....pracoviště obsluhy

B.....řídící PC a poloha a orientace klávesnice

D.....řídící jednotka

2.3 Vřeteno s ruční výměnou nástroje

Profesionální vřeteno je třífázový motor s vyváženým rotorem, hermeticky uzavřenými ložisky, držákem pro kleštinu a nástroj, rotor je uložen v několika ložiscích.

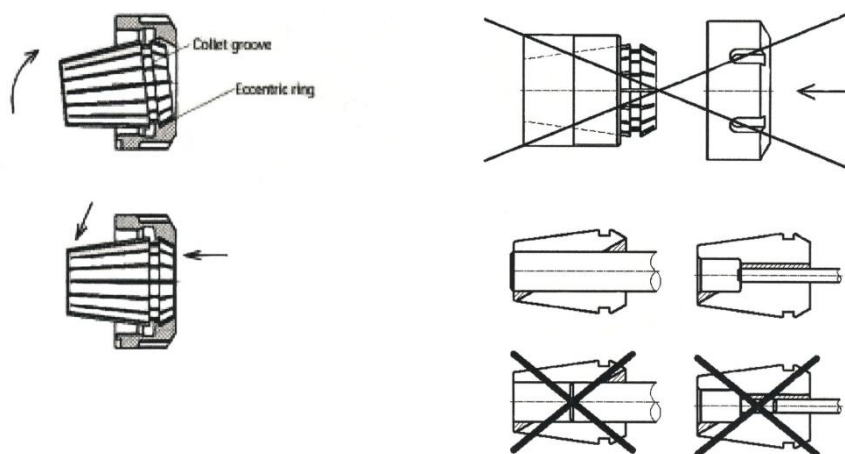
Otáčky vřetene nastavuje řídicí program Pilot.

Pokyny pro správné užívání vřetene:

- Než zatížíte vřeteno, nechte ho pomalu zahřát
Je doporučen zahřívací cyklus, který se provádí s držákem nástroje ve vřetenu, ale bez obrábění“
50% maxima otáček po dobu 2 min
75% maxima otáček po dobu 2 min
100% otáček po dobu 1 min
- Během práce nesmí teplota měřená na přední straně uložení ložiska vřetene přesáhnout 60°C (vyšší teplota může poškodit mazivo ložisek)
- Nikdy nepoužívejte levné nevyvážené nástroje, aby nedošlo k poškození vřetene
- Těleso vřetene udržujte čisté
- Motory vyhovují směrnici EMC EEC 89/336 a EEC 89/392, která předpokládá, že motor nemůže být spuštěn dříve než stroj, kde je včleněn do provozu
- Soubor „zahradi vřetene.cnc“ provede zahřátí automaticky

Poznámka: Pokyny pro správné užívání vřetene získány od výrobce

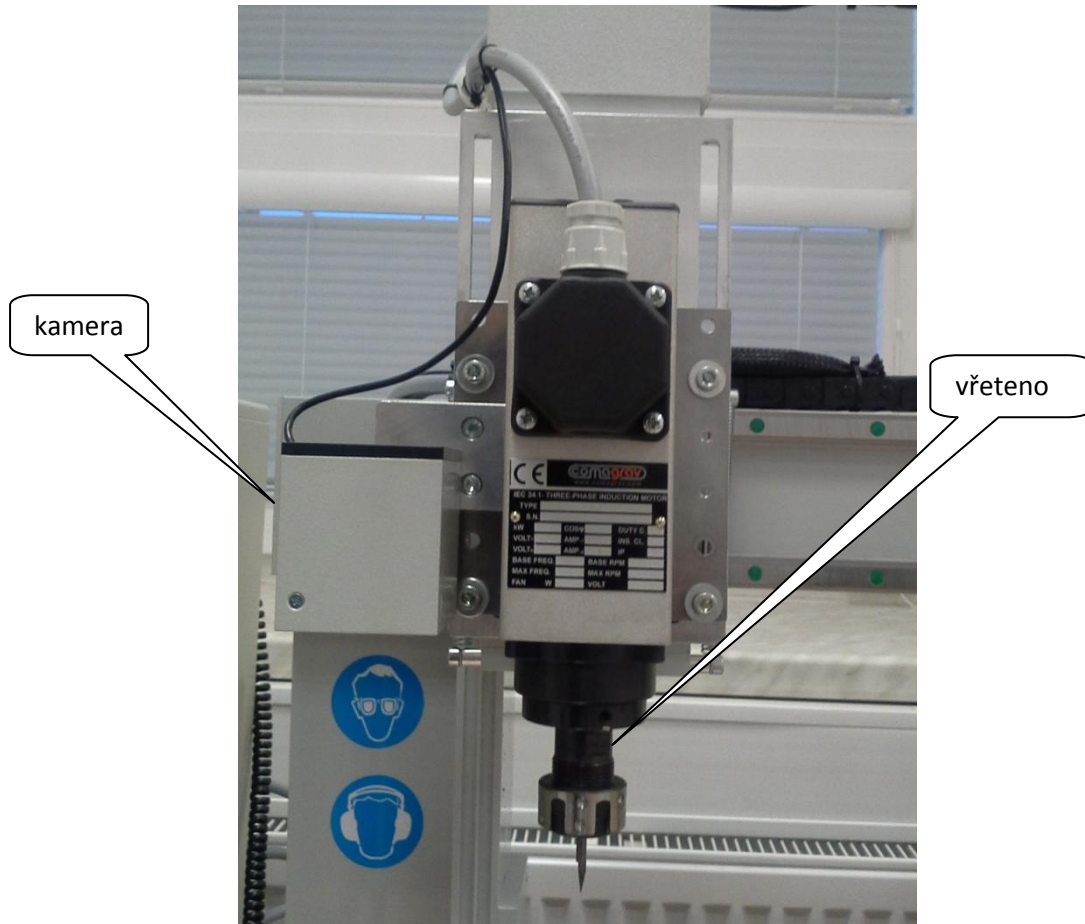
Při výměně nástroje převlečnou matici povolte originálními klíči a vyjměte nástroj. Při výměně kleštiny pamatujte, že nová kleština musí dobře zapadnout do převlečné matice. Nástroj umísťujte v kleštině co nejhlouběji.



Obrázek 33

Na vřeteníku stroje je instalována **kamera**.

Je určena k automatickému rozpoznávání tiskových značek pro frézování potištěných materiálů., může také sloužit k nastavení počátečního bodu obrábění, kontroly založení materiálu apod.



Obrázek 34

2.4 Údržba stroje

Po skončení jakékoliv práce vyčistěte pracovní stůl a všechny viditelné části od špon, prachu, pilin a tekutin.

Používejte jemný štětec a vysavač!! Je zakázáno čistit zařízení stlačeným vzduchem, používat ředidla a rozpouštědla k čištění stroje.

Důležité: Lineární vedení jsou výrobcem namazána netvrdnoucími mazivy s dlouhou životností. Jednou za měsíc zkontrolujte, zda nejsou vyschlá. Mažte lineární vedení průmyslovými mazivy pro kuličková ložiska.

Důležité: Obrábíte-li materiály produkující abrazivní prach (dřevo, pryskyřice na modely, sádra apod.), používejte účinné odsávací zařízení.

Důležité: Kuličkové šrouby vyžadují pravidelnou péči. Jednou za 6 měsíců promažte matice kuličkových šroubů maznicí naplněnou mazivem pro kuličková ložiska. Nepoužívejte maziva s příměsí grafitu nebo MoS2!!!

Důležité: Ozubené tyče jsou mazány s vyšší viskozitou, zjistíte-li, že mazivo ztuhlo či je znečištěno, staré mazivo odstraňte a naneste nové. Nenechte běhat pastorek po tyči na sucho!

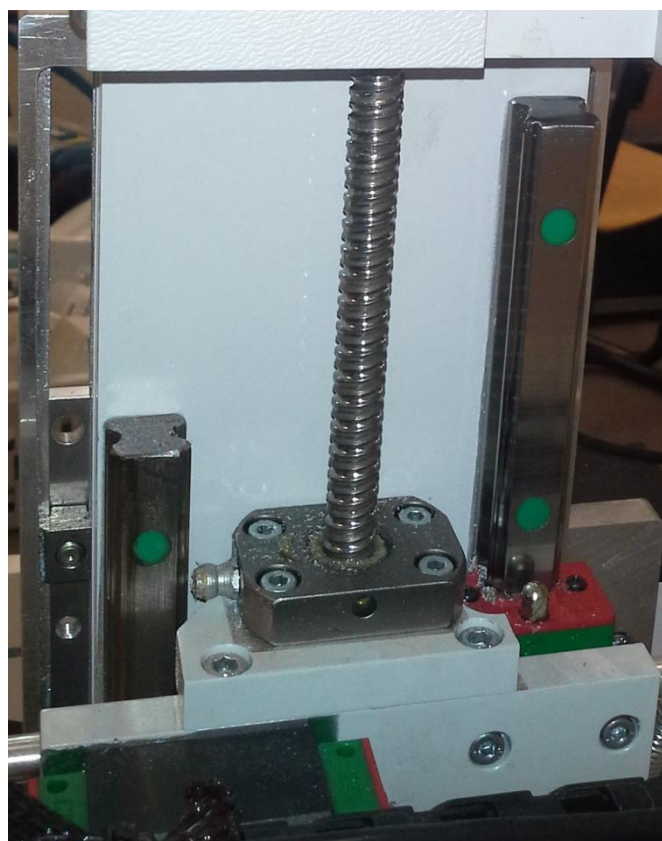
Lze používat shodné mazivo jako na lineární vedení.

2.5. Mazání vozíku lineárního vedení

Jednou za dva měsíce vytlačte mazacím lisem z vozíku starý tuk a nahradte ho tukem čerstvým. Zpracováváte-li prašné materiály, interval přiměřeně zkratzte.

Doporučený mazací tuk:

Agip	Autol Top 2000	KP 2 G-30
Aral	Aralub 4034Kp 2	K-20
BP	Energrease LC 2	KP 2 P-25
Esso	Ronex MP-D	
Klüber	Microlube GL 261	KP 1N-30
Mobil	Mobilith SHC 1500	KP 1 K-10
MOGUL	LV 2-3	
Optimol	Longtime PD 2	KP 2 K-40
Tribol	Tribol 3020/1000-2	KP 2 K-30
SKF	service VKG 1/0.2	



Obrázek 35

Poznámka: Doporučený mazací tuk získán od výrobce.

Maznice matice kuličkového šroubu je přístupná po otevření malého krytu na zadní straně portálu. Ke zpřístupnění maznice posuňte ručně vřeteník.

3.1 Základní operace řídicího programu Pilot

3.1.1 Záložky

Program má několik záložek. Mezi jednotlivými záložkami můžeme přepínat například kliknutím pravým tlačítkem myši na název záložky.

- **Stav** – zobrazuje stav stroje, jako pozice, plnění buferu atd.
- **Test** (klávesa F4) – ruční posuv a nastavení počátku, kamera
- **Parametry** (klávesa Z) – nastavení parametrů jako je hloubky, rychlost apod.
- **Zobrazení** (U) – zobrazuje dráhy nástroje (zobrazení 2D nebo 3D)
- **Nadstavení** (S) – společná nastavení

Záložky a tlačítka jsou dostupné nebo nedostupné v závislosti na stavu stroje. Během obrábění například není možné měnit Nastavení.

3.1.2 Tlačítka

Na levé straně okna programu Pilot jsou ovládací tlačítka:

Otevřít (F1) – *pro otevření souboru s drahami nástroje*

Pilot je kompatibilní s HPGL soubory pro 2D gravírování a ISO G – kód pro 3D gravírování a frézování.

Domů/Start (F2) – *vícefunkční tlačítko pro start pohybu stroje nebo pro provedení příkazu Domů*

Vždy po spuštění systému Pilot se objeví volba Domů. Toto je nutné pro kalibrování pozice stroje. Poté se tlačítko změní na funkci Start. Před použitím tlačítka start si buďte jisti, že jste nastavili počátek, rychlost, hloubky a jiné parametry správně.

Stop (spc - mezerník) – *pro zastavení procesu*

Po stisknutí se pohyb zastaví, vřeteno se vypne a stroj vyjede v ose Z do horní pozice. V závislosti na nastavení systému zařízení provede pohyb domů.

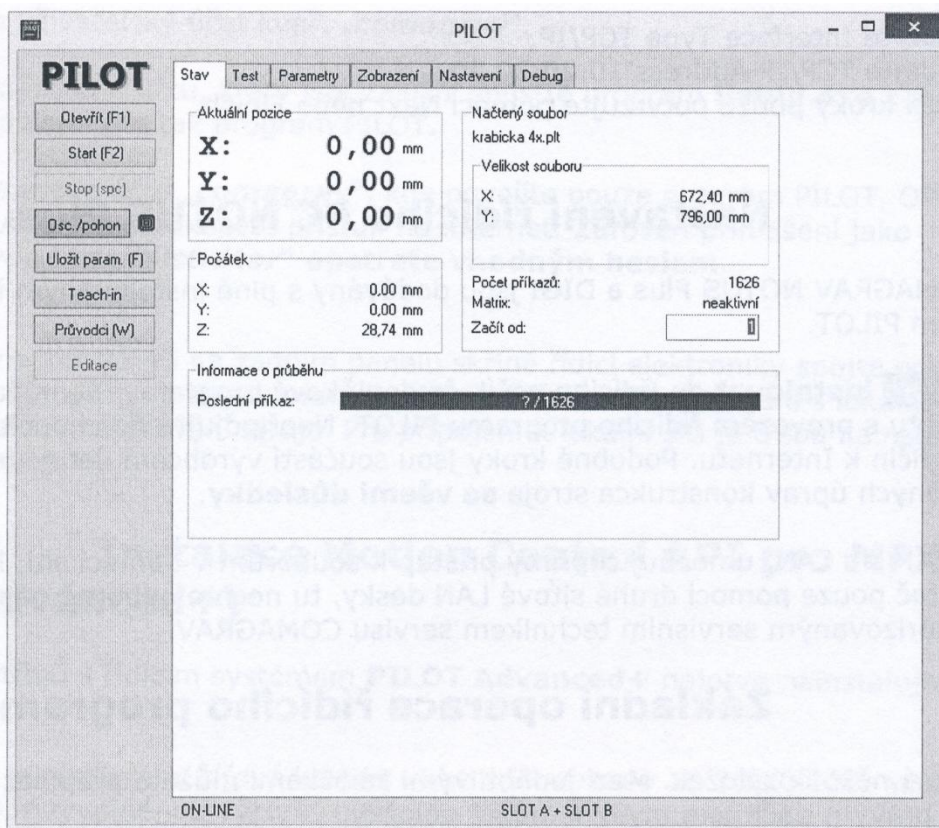
Osc/pohon/Vřeteno – *určuje, zda se spustí oscilace nože nebo otáčení*

motorizovaného kolečka (obojí nemáme k dispozici), případně zda se zapne otáčení vřetene po Start.

Normálně je tlačítko vždy aktivní (zelená). Chceme-li pracovat s netočícím se vřetenem, deaktivujeme tlačítkem (červená)⁸.

⁸ Kapitoly 3.1, 3.2, 3.3 jsou zpracovány pomocí textu:

Autor neuveden: Comagrav – původní návod k použití



Obrázek 36

Uložit param.(F) – uloží parametry (hloubku, rychlosti, nastavení počátku, atd.)

Načtete – li soubor s drahami příště, jsou uložené parametry načteny. Lze to ignorovat – viz záložka Nastavení

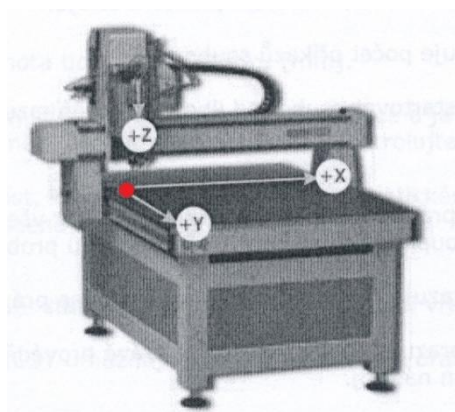
Teach –in – ruční vytvoření 3D dráhy

Otáčky vřetene – lze zapsat, nebo se nastavují klávesami Home a End (záložka Test) resp. klávesa + (záložka Stav a Test) na numerické části klávesnice. Lze také zobrazovat parametr ze souboru – viz dále.

Průvodci – průvodci připojení některých jednotek

3.1.3 Záložka Stav

Záložka **Stav** zobrazuje okamžitý stav systému, jako pozici, počátek, jméno souboru, rozměry.



Obrázek 37

Červený bod označuje pozici stroje **DOMŮ (HOME position)**.

Zde se stroj kalibruje, hodnoty os v pozici **DOMŮ** jsou $X = 0$ $Y = 0$ $Z = 0$. Od této pozice zařízení určuje svoji **Aktuální pozici** zobrazovanou v záložce **Stav**.

Aktuální pozice – zobrazuje současnou pozici os XYZ

Počátek – počáteční pozice vřeteníku

U 2D souborů se jedná o levý horní roh (z pohledu shora) nebo o pozici $x = 0$, $y = 0$ v souboru. U 3D souborů je počátek stanoven při generování drah souboru.

Počátek se nastavuje v záložce **Test**.

Načtený soubor – název načteného souboru s rozměry a počtem příkazů, které obsahuje

Velikost souboru – Pro 2D soubory obsahuje hodnoty rozměru pouze pro osy X a Y

- Pro 3D soubory obsahuje hodnoty rozměru pro osy XYZ, nastavení Počátku pro 3D soubory se již zvolí během generování drah v CAM software. Tato $[0, 0, 0]$ pozice se nastaví jako Počátek v pracovním prostoru stroje.

Počet příkazů – zobrazuje počet příkazů souboru

Začít od – umožňuje odstartovat soubor od libovolného příkazu

Může mít hodnotu od 1 po počet příkazů.

Informace o průběhu

- Aktuální příkaz – číslo právě prováděného příkazu a počet všech příkazů souboru. Současně se vyplňuje sloupec tak, jak zpracování souboru probíhá.
- Aktuální nástroj – zobrazuje číslo nástroje, jehož dráhy se právě provádějí
- Aktuální průchod – zobrazuje, který průchod je právě prováděn. Ve 2D můžeme nastavit až 50 průchodů pro jeden nástroj.
- Rychlost XY – zobrazuje nastavenou rychlost pohybu nástroje v materiálu. Tato hodnota se zadává v záložce Parametry.
- Rychlost Z – zobrazuje nastavenou rychlost pohybu nástroje při zápichu do materiálu
- Doba provádění – zobrazuje čas uplynulý od spuštění zpracování souboru
- Buffer – zobrazuje vnitřní vyplnění paměti Pilotu. Buffer se postupně doplňuje příkazy

3.1.4 Záložka nastavení

2D

Přejezd nad plochou – zde nastavíme požadovanou výšku v milimetrech, kterou bude stroj používat pro přejezdy nad materiálem. Doporučená hodnota je 1mm.

Počátek 2D souboru určovat – volba počátku 2D souboru

Nástroj č.8 používat pouze pro určení rozměrů (99 pro CNN soubory) – tato funkce se nastaví, když se nástroj č.8 použije (SP8 v HPGL)

3D

Absolutní I, J, K – G-kód může obsahovat příkazy G2 a G3 pro kruhovou interpolaci. Tyto hodnoty jsou buď absolutní nebo relativní.

Načítání souboru – HPGL soubor bude načten s rotací nebo/a zrcadlením podle volby

Test rychlosti

Spustit test rychlosti počítače - zjistí výkon připojeného počítače a přizpůsobí jeho výkonu vlastnosti stroje

Z senzor

Tloušťka senzoru - hodnota tloušťky Z senzoru v [mm]

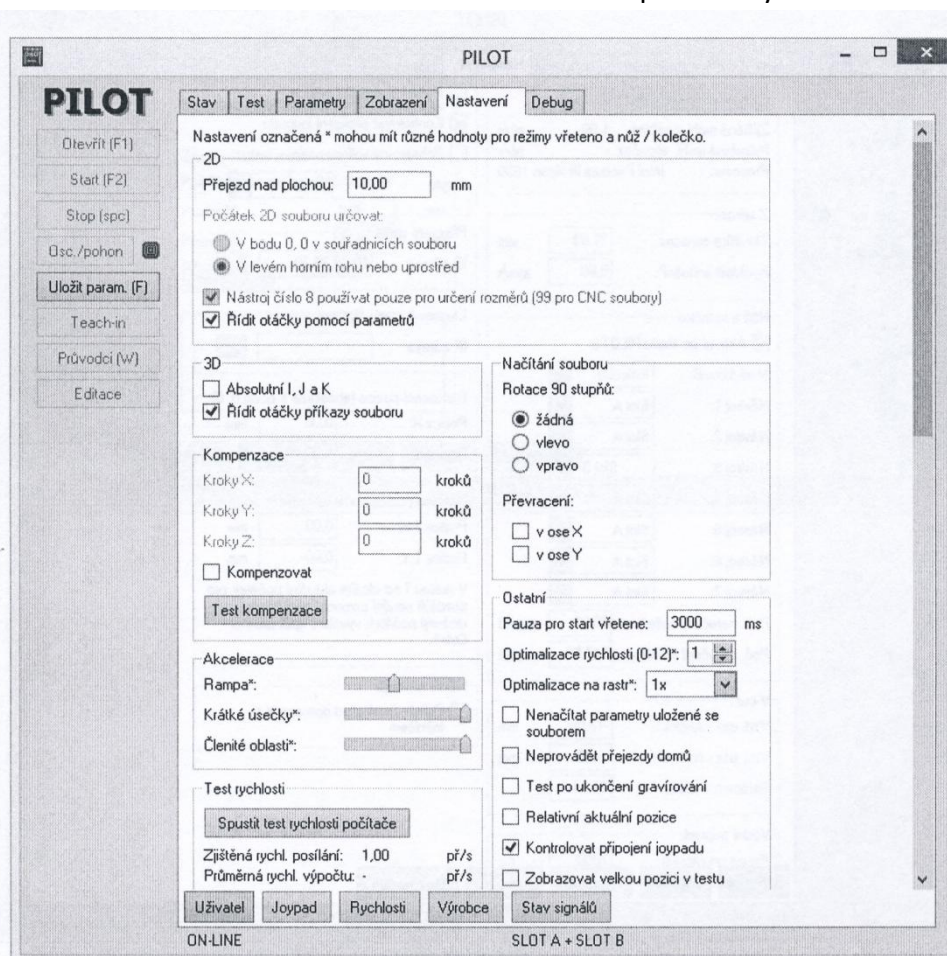
Rychlost – zadejte rychlost, která bude použita při automatickém nastavení osy Z pomocí Z senzoru. Doporučená hodnota je mezi 0,5 a 1 mm/s.

Ostatní

Pauza pro start vřetene – stanovení prodlevy pro roztočení vřetene [ms]

Optimalizace – program Pilot umožňuje operátorovi ovlivnit dráhu nástroje, nastavení je 1/1

Nenačítat parametry uložené souborem – při otevření souboru nenačte posledně uložené parametry



Obrázek 38

Neprovádět přejezdy domů – po skončení procesu neprovede pohyb DOMŮ. Stroj v připraveném stavu je možné poslat DOMŮ klávesou F10.

Test po ukončení – po ukončení obrábění uvede stroj do stavu Test

Relativní aktuální pozice - aktuální pozice stroje se zobrazuje relativně vůči pozici počátku

Kontrolovat připojení joypadu – kontroluje připojení ovladače

Zobrazovat velkou pozici v testu– zobrazí **Aktuální pozici** velkými číslicemi viditelnými z dálky

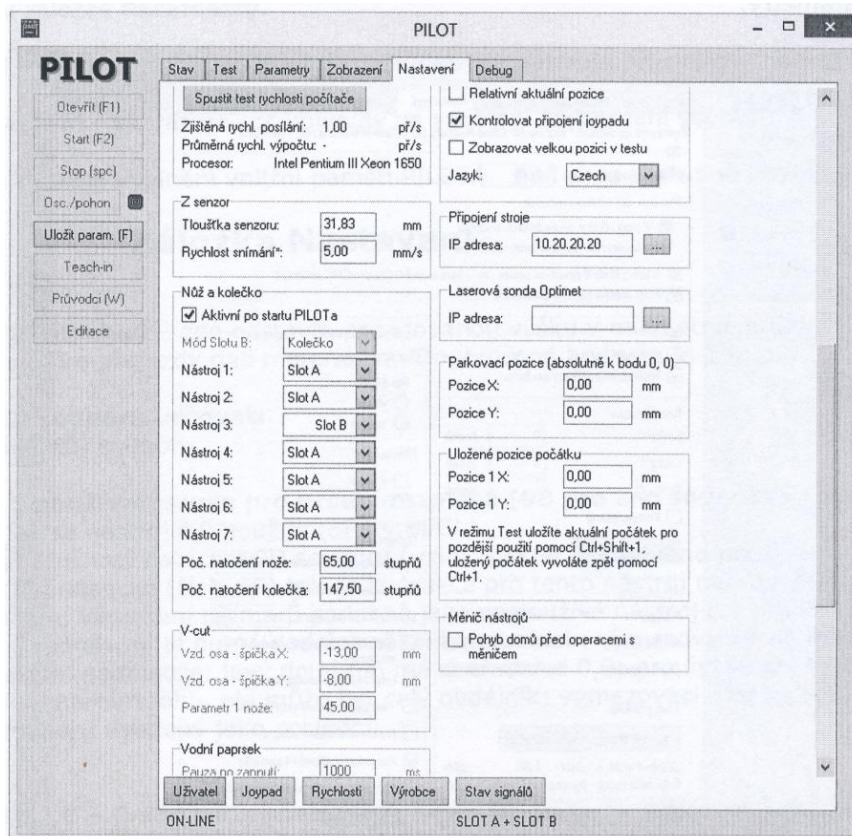
Jazyk– jazyk ovládání Pilota. Změna se projeví při novém spuštění Pilota.

Akcelerace– ovlivnění plynulosti pohybu stroje. **Rampa** je nejstrmější v pravém dorazu ukazovátka. V **Krátkých úsečkách** akceleruje stroj nejdynamičtěji, je – li ukazovátko v pravé části okna. Členité oblasti mají význam zejména u strojů velkých formátů, kdy se při nastavení ukazovátko směrem na levou stranu okna docílí plynulejší průjezd při frézování velkých částí.

Kompensace

Kompenzovat – volba automatické kompenzace

Test kompenzace – máte-li pocit, že kolečko není kolečko, pak spusťte tento test. Průvodce vás provede testem kompenzace a nastaví naměřené hodnoty. Následně pak kompenzaci zapněte.



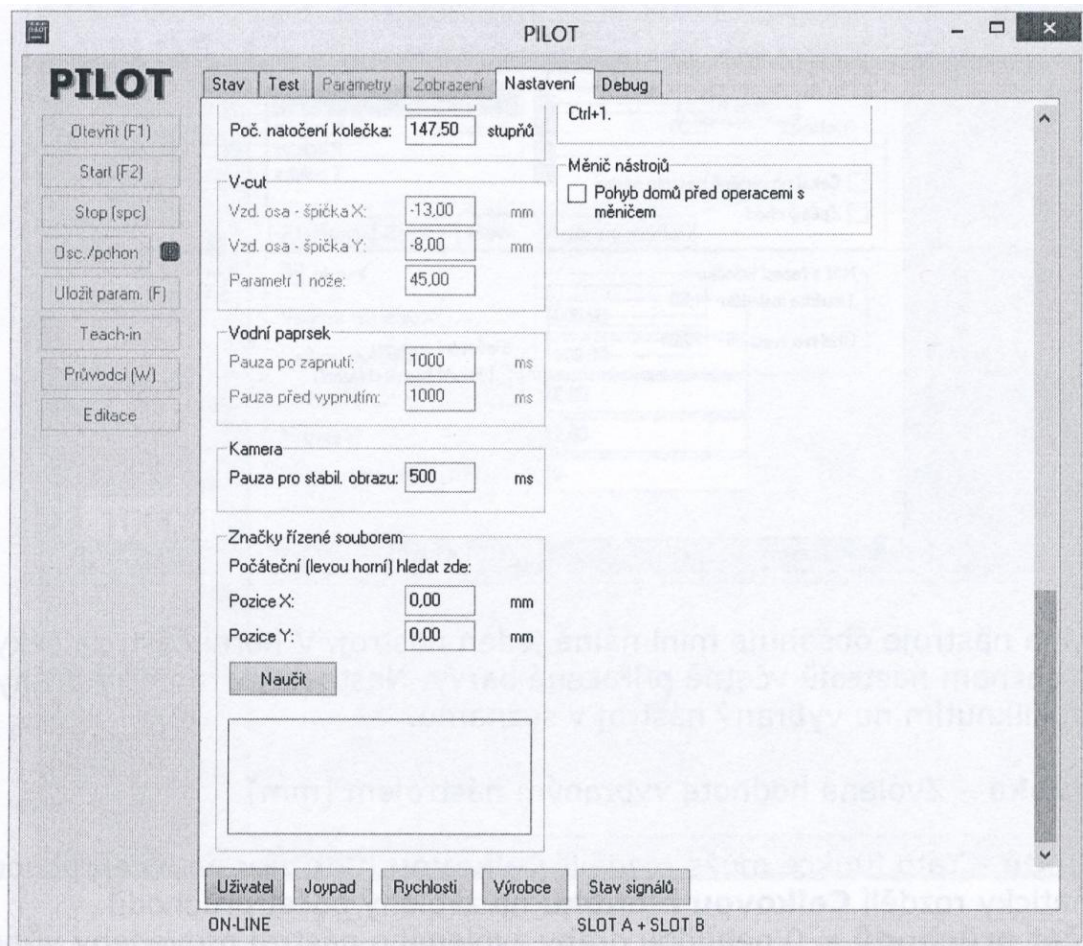
Obrázek 39

Parkovací pozice (absolutně k bodu 0,0) - do příkazu **DOMŮ** se stroj přesune do pozice **DOMŮ** a pak do **Parkovací pozice**. Po skončení zpracování souboru se stroj přesune do této pozice přímo.

Uložené pozice počátku – stiskem kombinace CTRL + SHIFT +1 v záložce **Test** se sem uloží hodnota **Počátku**, zpět se do **Počátku** přenese stiskem CTRL + 1. Slouží k uživatelskému nastavení počátku např. při použití svěráku nebo mechanických zarážek k opakovanému upínání materiálu na stále stejné místo.

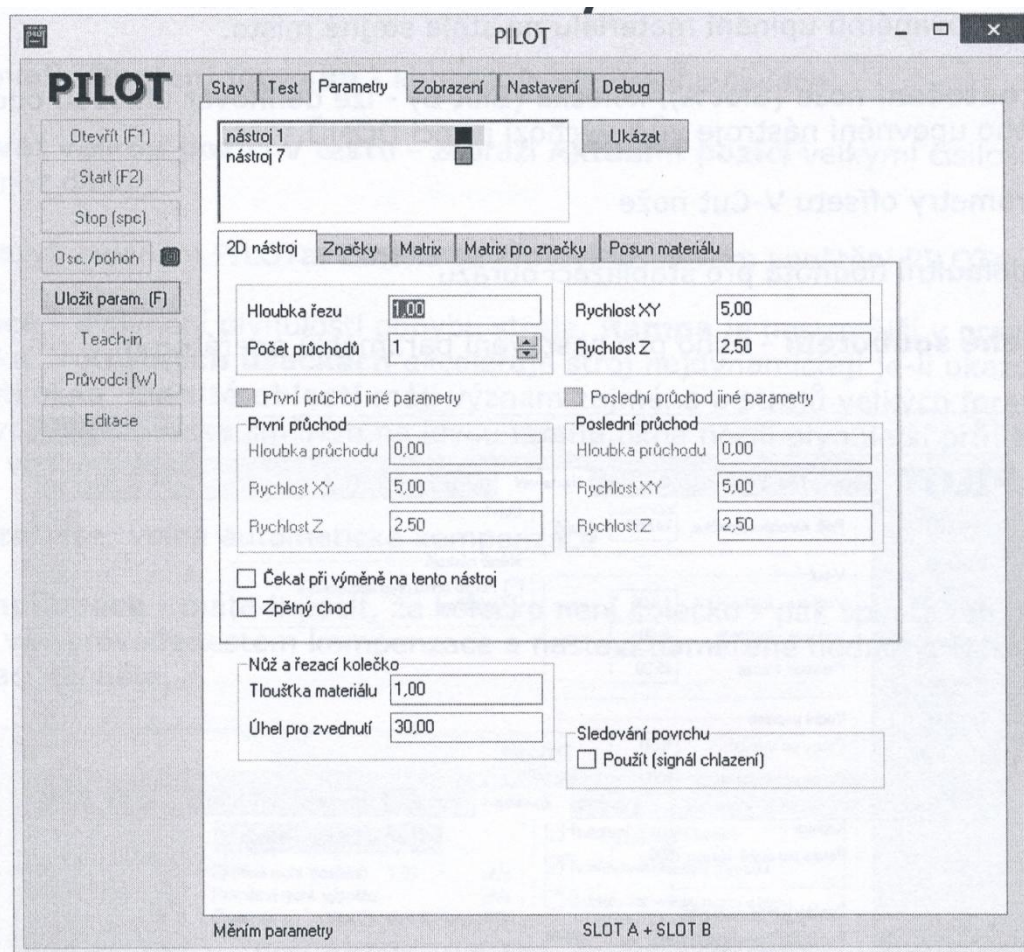
Kamera – defaultní hodnota pro stabilizaci obrazu

Značky řízené souborem – okno pro nastavení parametrů operátorem



Obrázek 40

3.1.5 Záložka Parametry



Obrázek 41

Každá 2D dráha nástroje obsahuje minimálně jeden nástroj. V horní části záložky Parametry je seznam nástrojů včetně přiřazené barvy. Nastavte parametry dráhy pro každý nástroj kliknutím na vybraný nástroj v seznamu.

2Dnástroj

Celková hloubka – zvolená hodnota vybraným nástrojem

Počet průchodů – tato funkce může rozdělit **Celkovou hloubku** na víceprůchodové. Pilot automaticky rozdělí **Celkovou hloubku** na zvolený počet průchodů. Zadaním **Počet průchodů** = 0 nebudou dráhy zvoleného nástroje provedeny vůbec.

Rychlost XY – rychlost pro posun materiálu v [mm/s]. Zadaná hodnota je programem použita jako maximální rychlost.

Rychlost Z – rychlost v ose Z směrem do materiálu v [mm/s]

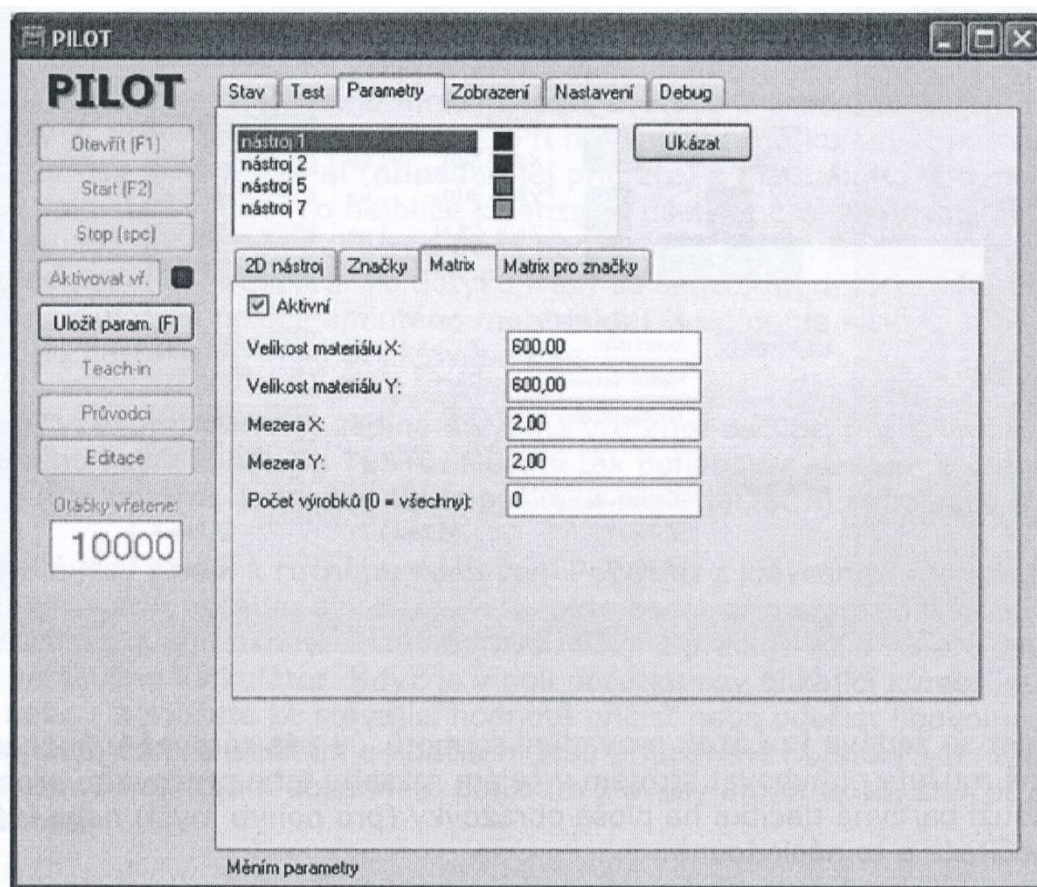
Nastavení prvního a Posledního průchod – pokud zadáte alespoň dva průchody, můžete zadat parametry dráhy pro první průchod odlišné od ostatních.

Zatrhněte políčko **První průchod jiné parametry** pro aktivaci funkce. Potom zadejte hloubku prvního průchodu a rychlosti posuvu. Pokud zadáte více než dva průchody, můžete také určit parametry pro poslední průchod odlišné od ostatních. Tato funkce je vhodná zejména na dočištění při frézování ve 2D.

Čekat při výměně na tento nástroj – čeká před procesem daného nástroje na výměnu nástroje ve vřetenu. Systém se přepne do režimu **Test** a umožní nám nastavit osu Z novému nástroji.

Zpětný chod – tato volba umožňuje provést dráhu pro zadaný nástroj dvakrát, tam a zpět

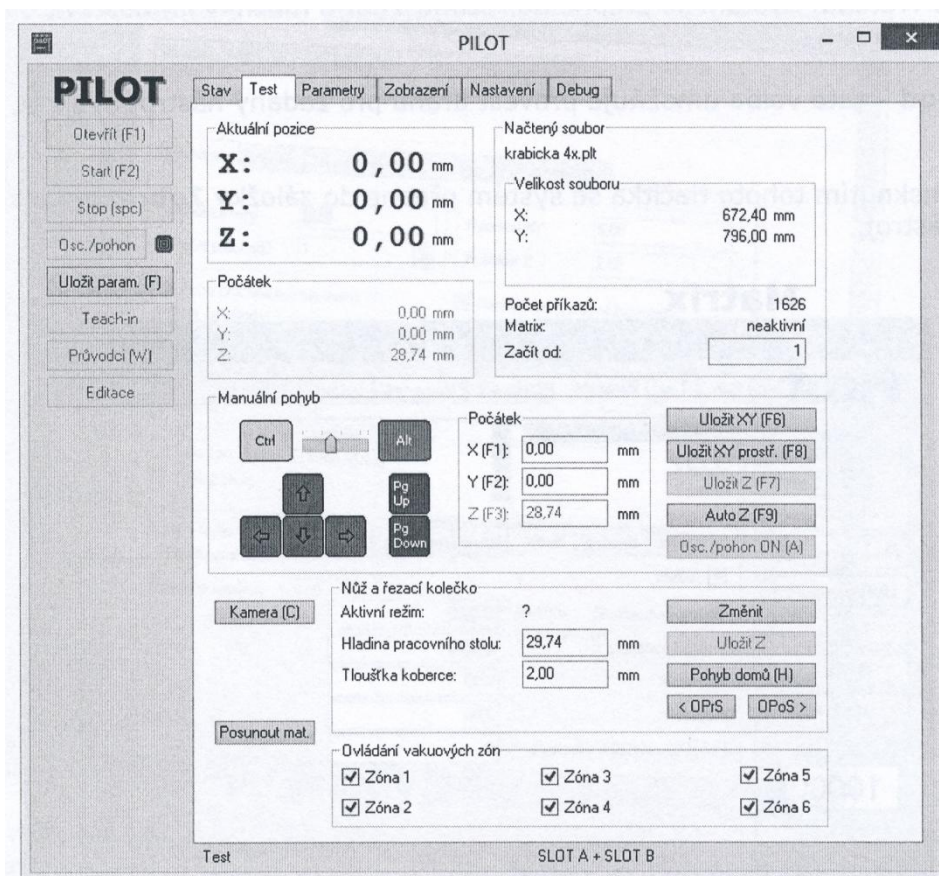
Matrix



Obrázek 42

Funkci **Matrix** ovládáte v záložce **Parametry**. Zvolte velikost materiálu a počet výrobků v ploše.

3.1.6 Záložka Test



Obrázek 43

V záložce **Test** se zadává **Počátek** provádění souboru. Je zde zároveň umožněn manuální pohyb. Ručně můžete pohybovat strojem v celém rozsahu jeho pracovního prostoru. K pohybu slouží barevná tlačítka na ploše obrazovky (pro pohyb myši) nebo klávesy:

- ALT + kurzorové šipky.....rychlý pohyb X a Y
- ALT + PageUp/PageDown.....rychlý pohyb osy Z
- Shift + kurzorové šipky.....střední pohyb os X a Y
- Shift + PageUp/PageDown.....střední pohyb osy Z
- CTRL + kurzorové šipky.....pomalý pohyb os X a Y
- CTRL + PageUp/PageDown.....pomalý pohyb osy Z

Uložit XY (F6) – tlačítko pro uložení **Počátku** v osách X a Y. Ručně dojedzte strojem na místo, kde je levý horní roh materiálu (nebo do pozice 0,0 odpovídající souboru HPGL) a stiskněte F6. Tak se nastaví tato pozice jako **Počátek** os X,Y. Při nastavování počátků 3D souborů budete vždy nastavovat pozici, která odpovídá hodnotám 0,0 os X a Y definovaných předem v souboru. Záleží tedy na G-kódu a jak byl vytvořen.

Uložit XY prostř.(F8) – pouze pro 2D. Užije se v případech, kdy u materiálu nelze nastavit levý horní roh. Potom je touto funkcí možné zadat střed souboru. Použitelné pro kulaté předměty.

Uložit Z(F7) – tlačítko slouží k nastavení **Počátku** v ose Z. Najedte se strojem na pozici, kde se fréza dotýká materiálu a použijte funkci. Od této pozice se bude počítat hloubka a přejezd nad materiálem.



Obrázek 44

Auto Z(F9) – tato funkce nahrazuje funkci **Uložit Z**. **Auto Z** pracuje s automatickým senzorem osy Z, který je ve výbavě stroje. Při nastavení počátku osy Z postupujte takto: položte senzor osy Z na materiál (případně jej přidržte a manuálním pohybem najedte nad senzor. Pokuste se najet co nejbližší k senzoru, ušetříte tak čas. Nyní stiskněte tlačítko (nebo klávesu F9) a vyčkejte, dokud se fréza nedotkne senzoru. Po dotyku frézy se senzorem dojde k uložení pozice senzoru a tím k uložení pozice upnutého materiálu. Pokud dojde k potížím během automatického nastavení, stiskněte klávesu Esc.

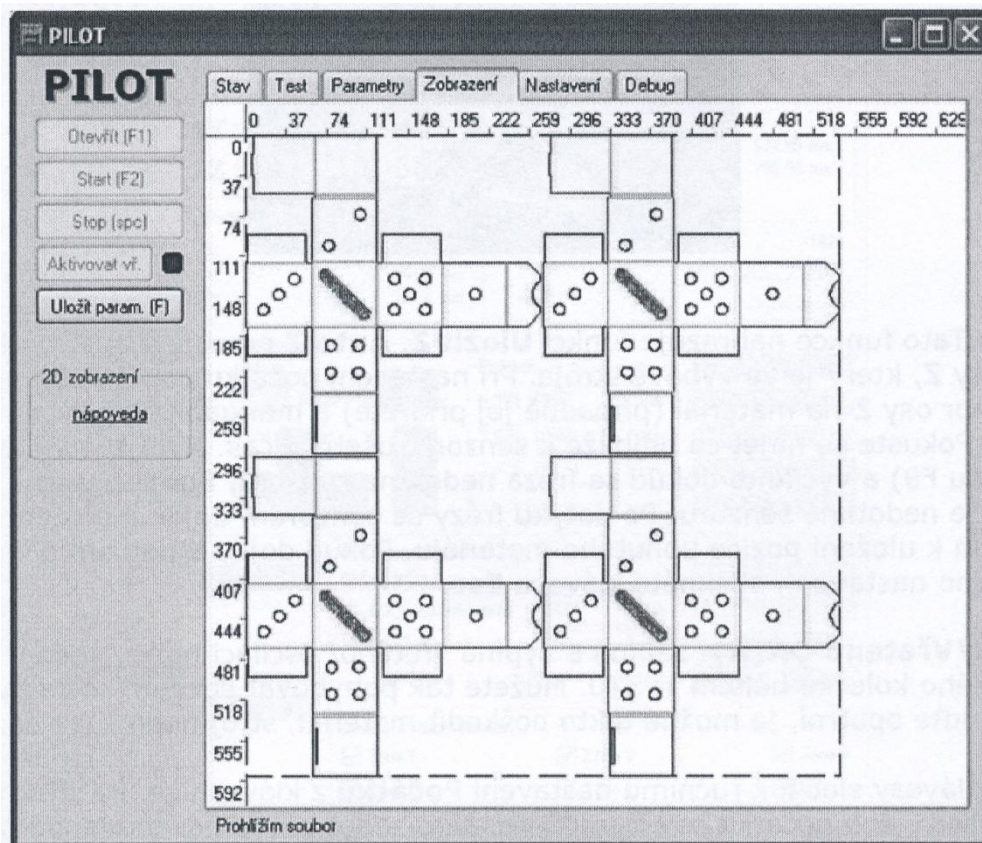
Osc/pohon/Vřeteno ON(A) – zapíná a vypíná vřeteno/oscilaci nože/točení motorizovaného kolečka během **Testu**. Můžete tak pohybovat strojem se zapnutou jednotkou. **Pozor** – je takto možno poškodit materiál nebo stroj!!!!

Klávesy F1, F2, F3 – slouží k ručnímu nastavení **Počátku** z klávesnice. Po stisknutí klávesy F1 bude kurzor v poli počátku osy X a můžete takto zadat přímo požadovanou hodnotu. Do pole se dostanete také, když na něj kliknete myší. Stejně pracuje F2 a F3 pro osy Y a Z. Lze použít vestavěný kalkulátor: když je v poli počátku osy blikající kurzor, stiskněte klávesu + nebo – a můžete ke stávající hodnotě přičíst nebo odečíst libovolnou hodnotu. Pro přičítání a odečítání jsou připravené hodnoty sejmuté z rozměrů souboru. K těmto hodnotám dosáhnete použitím klávesy **šipka dolů**, součet potvrdíte klávesou **Enter**. Pozice stroje je zobrazena v poli **Aktuální pozice**.

Kamera C – zobrazí obraz v kameře

3.1.7 Záložka Zobrazení

2D zobrazení vlevo na liště

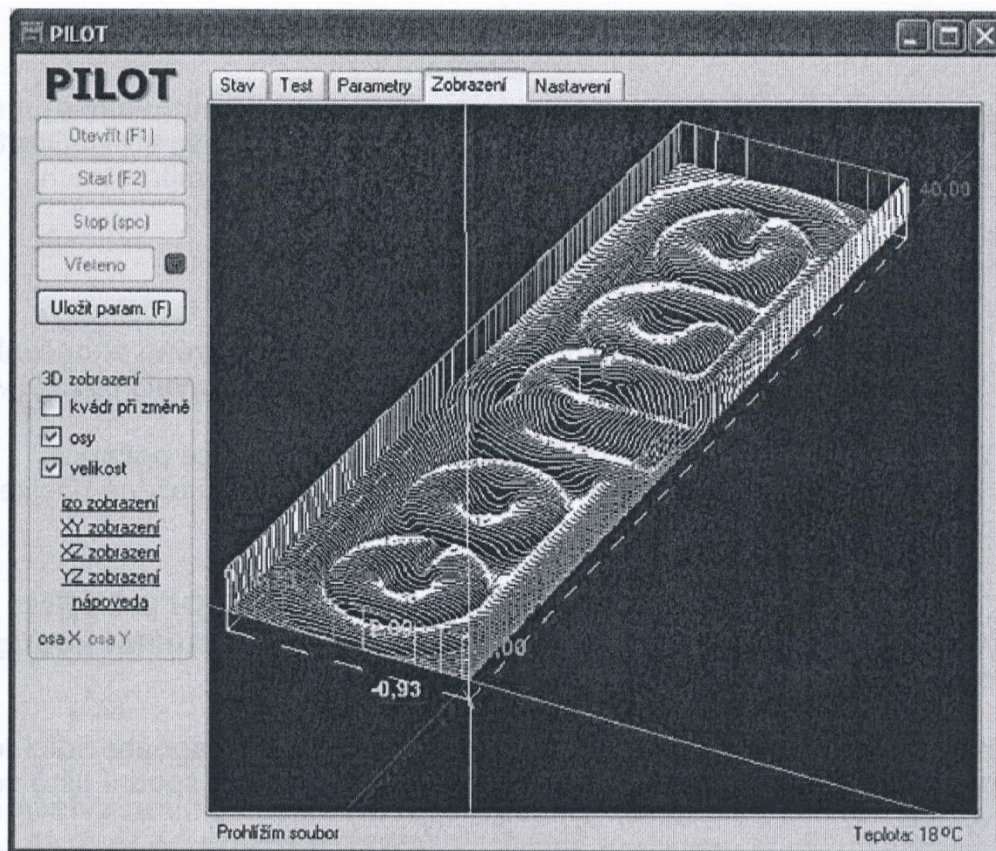


Obrázek 45

Obrázek zobrazuje 2D dráhu nástroje. Pokud je v souboru více nástrojů, jsou zobrazeny v různých barvách.

Zvětšení – zobrazení můžete zvětšovat nebo zmenšovat pomocí myši a to stisknutím a podržením pravého tlačítka myši a pohybem myši vlevo a vpravo. Také můžete použít kolečko myši

Posuv - držíte levé tlačítko myši a hýbáme myší libovolným směrem.



Obrázek 46

3D zobrazení vlevo na liště

Obrázek zobrazuje 3D dráhu nástroje. Koordináty všech tří os jsou zobrazeny barvami: X červeně, Y zeleně a Z žlutě.

Rotace – 3D pohled lze natáčet držením levého tlačítka myši

Zvětšení - stisknutím a držením pravého tlačítka myši a jejím pohybem nebo použitím kolečka myši

Posuv – držením levého tlačítka myši a jejím pohybem libovolným směrem.

Kvádr při změně – zatrhněte toto políčko pro zrychlené vykreslování dráhy během změn ohledu

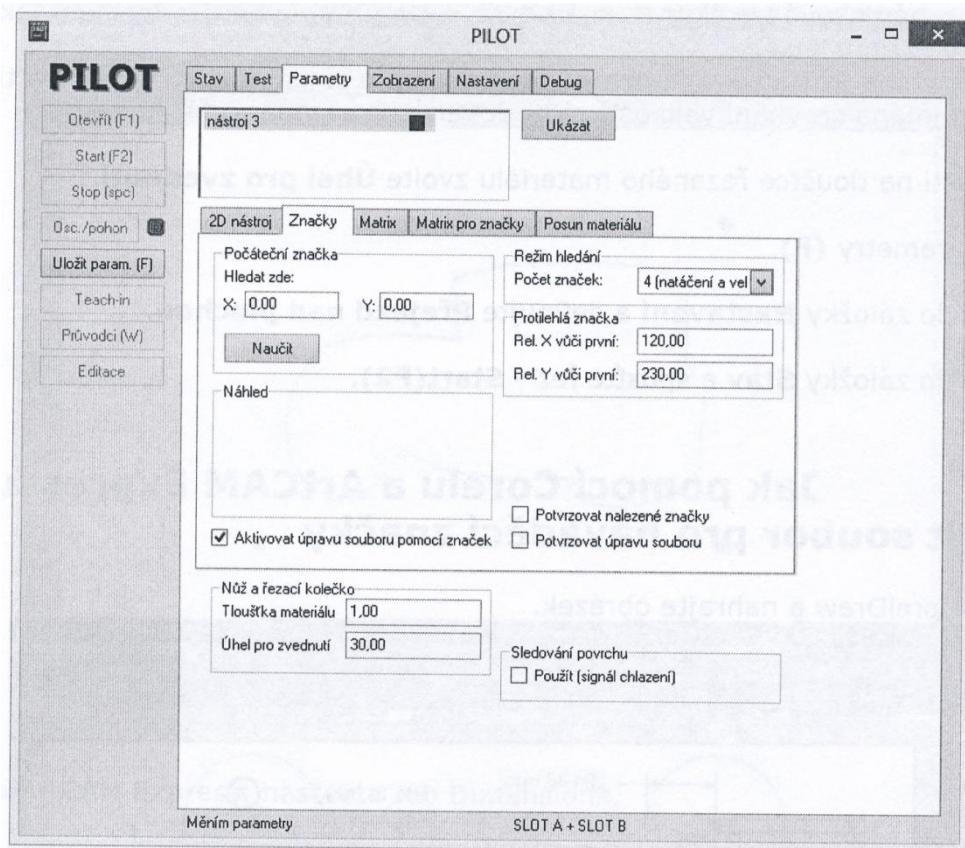
Osy – toto políčko zatrhněte, pokud chcete vykreslování koordinát os

Velikost - toto políčko zatrhněte, pokud chcete v zobrazení vykreslovat také limitní hodnoty dráhy stroje.

V poli **3D zobrazení** máte možnost vybírat z předvolených pohledů.

3.2. Další nástroje v záložkách

3.2.1 Příprava parametrů pro práci s naváděcími značkami a učení systému nalézt vytištěnou značku



Obrázek 47

- 1) Přejděte na **Značky** v záložce **Parametry** v případě, že chcete použít tiskové značky k navádění a korekci rotace a korekci souboru při lineární deformaci vytištěného objektu.
- 2) Nejdříve musíte Pilota naučit, kde je značka umístěna (a potom bude při opakované výrobě v rozsahu zorného pole kamery přibližně umístována) a jak vypadá. Klikněte v sekci **Počáteční značka** na **Naučit** a pohybujte strojem, až značka bude uprostřed červeného kříže. Zelený rámeček vám pomůže určit lépe střed značky. Klikněte na **Zapamatovat**.
- 3) V **Režimu hledání** zvolte **Počet značek-4(natáčení a velikost)**

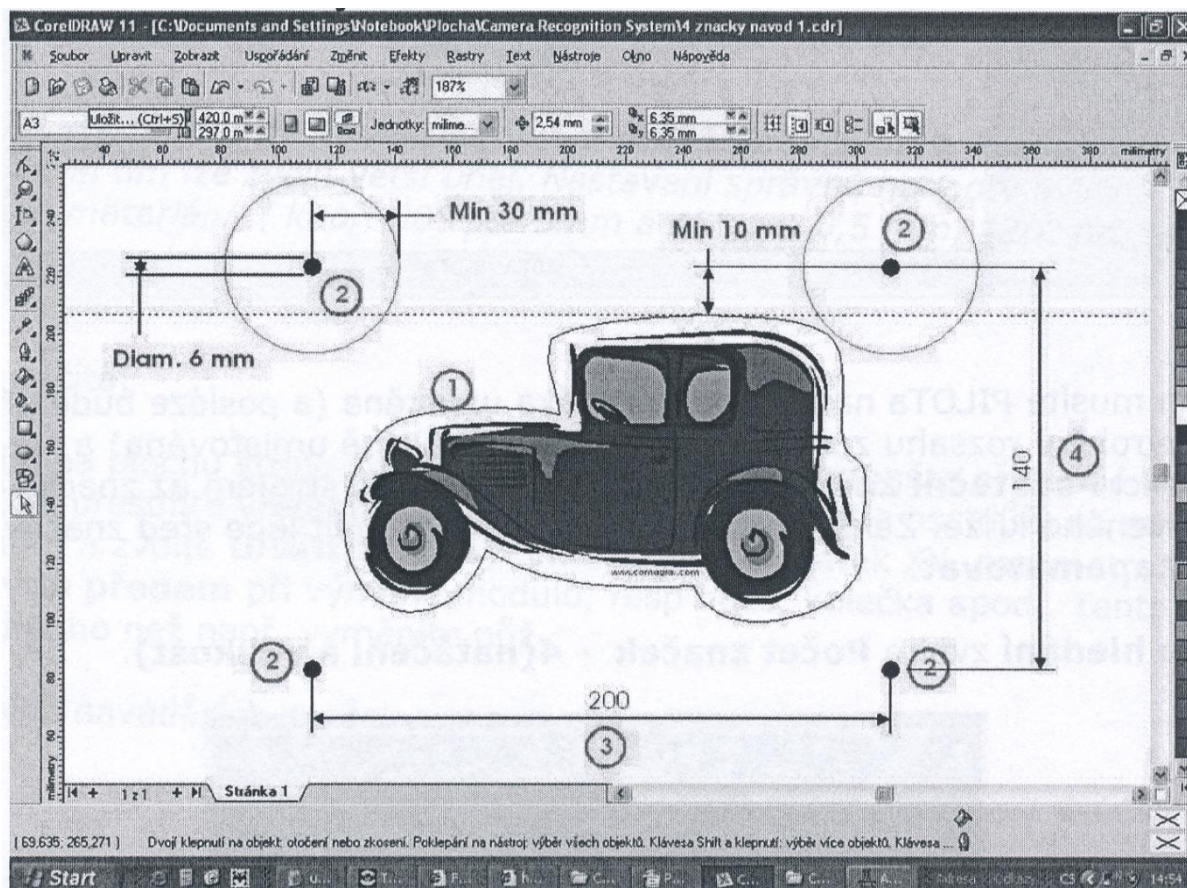
- 4) Zapište vzdálenosti X a Y ke druhé značce do odpovídajících okének v sekci **Protilehlá značka**.
- 5) Zvolte **Aktivovat úpravu souboru pomocí značek**.
Poznámka: Volba **Potvrzovat nalezené značívám** umožní manuálně doladit polohu nalezené tiskové značky v zorném poli kamery (shodným způsobem jako popojíždíte v režimu Test).
Poznámka: Volba **Potvrzovat úpravu souboru** vám zajistí kontrolu, jak byl tisk natočen a zejména srovnání velikostí „požadovaných“ a „viděných“ kamerou.
- 6) V závislosti na tloušťce řezaného materiálu zvolte **Úhel pro zvednutí**.
- 7) **Uložte parametry (F)**
- 8) Přejděte do záložky **Nastavení** a definujte **Přejezd nad plochou**
- 9) Přejděte do záložky **Stav** a spusťte řez – **Start(F2)**

3.2.2. Nezobrazované klávesy

ESC.....	zastaví frézku při pohybu domů
F10.....	provede pohyb frézky Domů i ve stavu Start
CTRL+SHIFT+ALT+F12.....	zobrazí rozdíl pozice Domů v milimetrech
U.....	přepne do záložky zobrazení
Z.....	přepne do záložky Parametry
S.....	přepne do záložky Nastavení
F4.....	přepne do záložka Test
F9.....	doplní do bufferu pokyn pro řízené ukončení práce
P.....	uloží Aktuální pozici jako Parkovací pozici (v záložce Test)
CTRL+SHIFT+1.....	uloží Počátek do Uložené pozice počátku
CTRL+1.....	přenesení do Počátku hodnotu Uložené pozice počátku

3.2.3. Jak pomocí Corelu a ArtCamu připravit soubor pro naváděcí značky

1) Spusťte Corel a nahrajte obrázek



Obrázek 48

2) Nakreslete dráhu řezu (1)

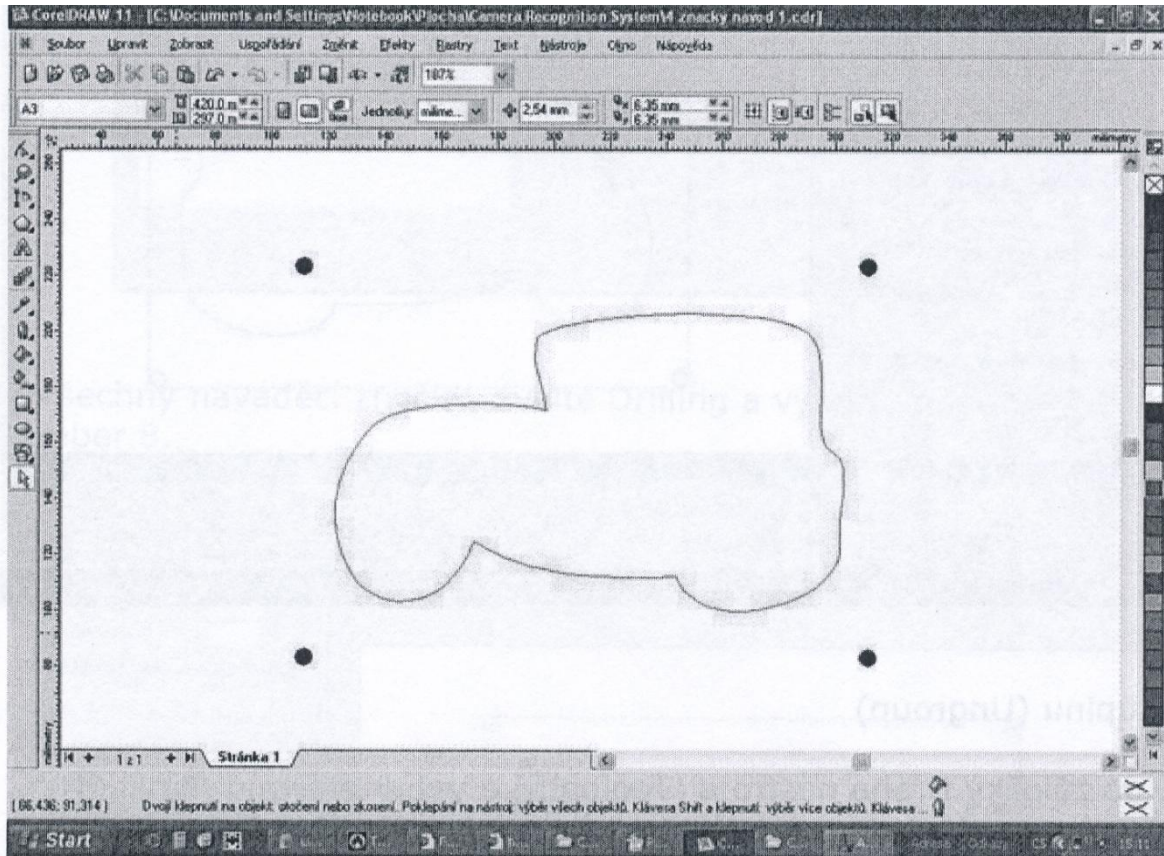
3) Nakreslete naváděcí značky jako černá kolečka o průměru 6mm (2)

Pro umístování naváděcích značek dodržujte tato pravidla:

- Vzhledem k zornému úhlu kamery (10x12cm) je třeba, aby vzdálenost mezi jakoukoli tmavou plochou a středem naváděcí značky byla minimálně 30mm (to platí i o okraji potištěné plochy).
- Střed 1. a 4. naváděcí značky musí být umístěn minimálně 10mm vně od dráhy řezu
- Naváděcí značky tvoří **vždy** vrcholy obdélníka.
2. a 3. naváděcí značky nemusí být bezpodmínečně umístěny „za“ dráhou řezu vpravo.

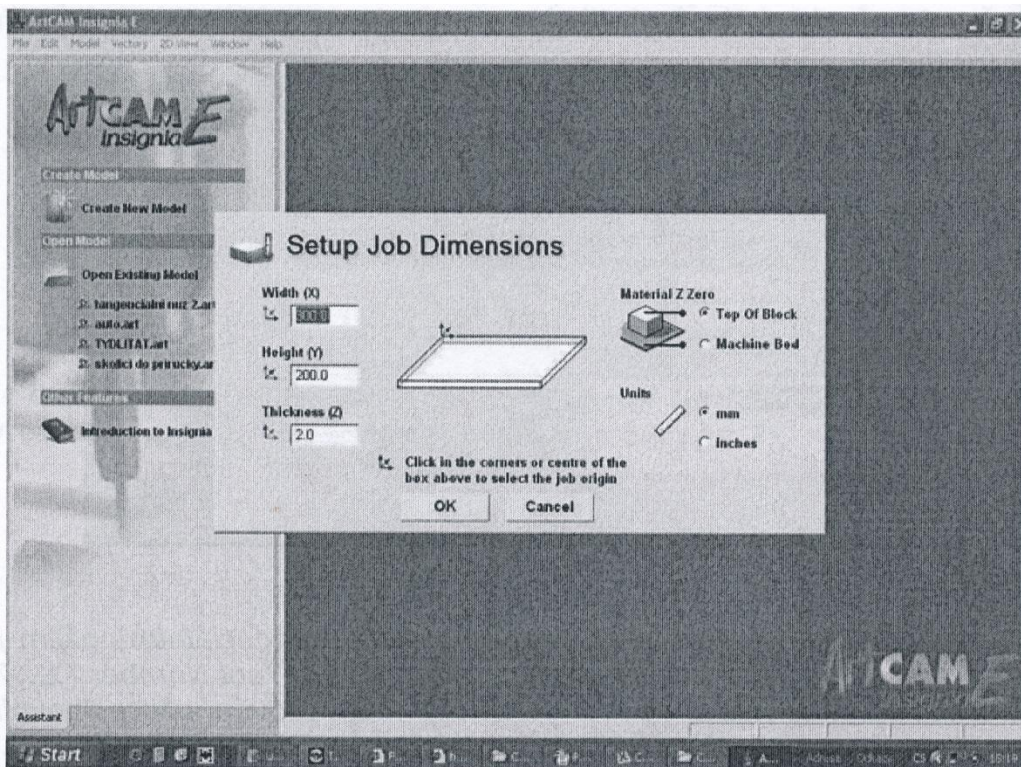
4) Poznamenejte si vzdálenosti X (3) a Y(4) – hodnoty použijte v **Parametrech** Pilota.

5) Exportujte naváděcí značky a dráhy řezu v EPS formátu, bez původního obrázku.



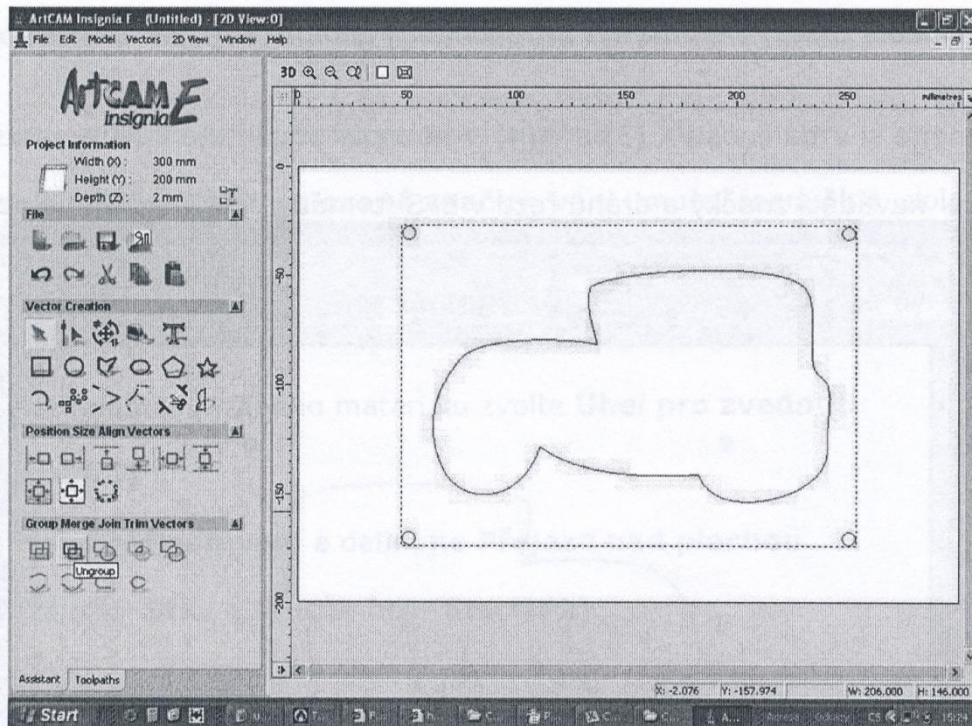
Obrázek 49

6) Spusťte ArtCam, nastavte Job Dimensions



Obrázek 50

7) Načtete data připravená v Corelu (Import vector data(eps))

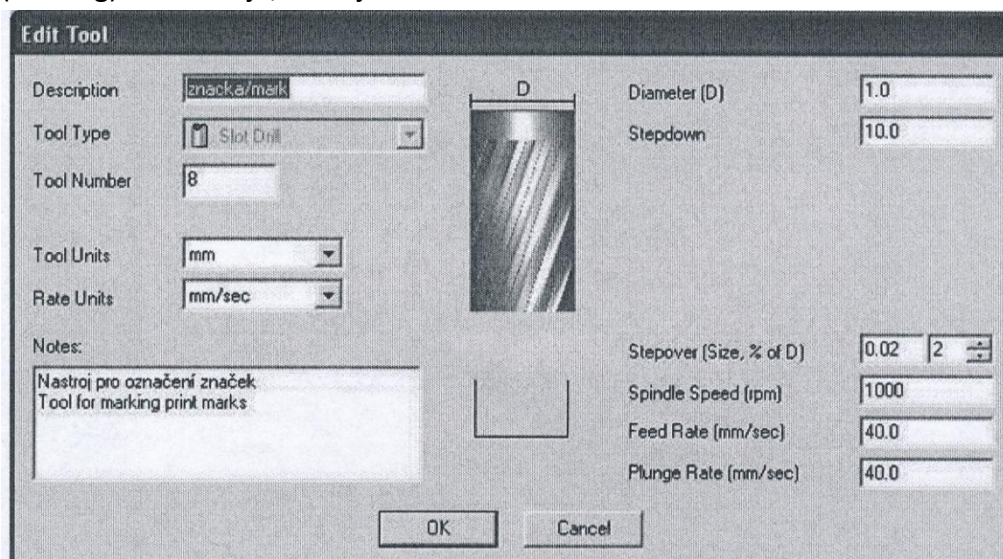


Obrázek 51

8) Zrušte skupinu (Ungroup)

9) Přejděte do záložky Dráha nástroje (Toolpath) a vyberte vrtání (Drilling)

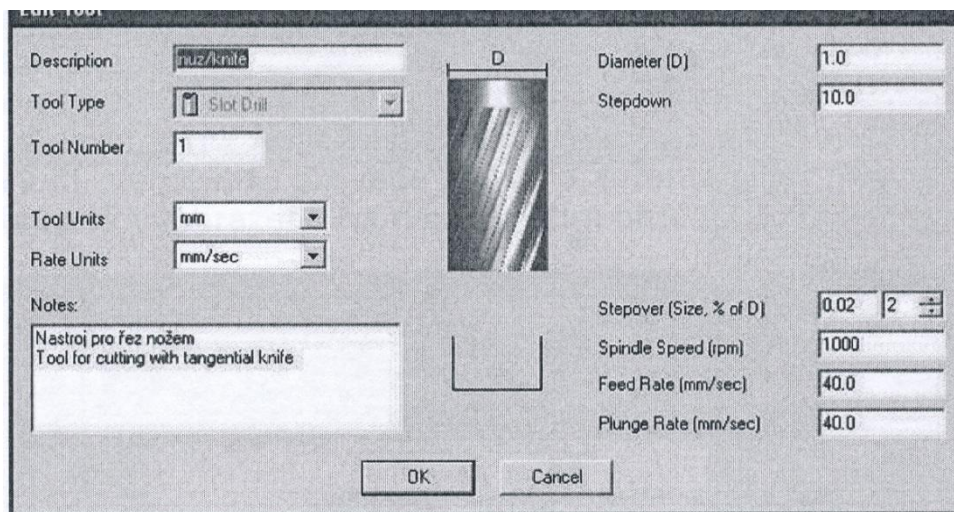
Poznámka: Nástroj pro generování vhodného kódu pro střed naváděcí značky je virtuální válcová fréza o průměru 1mm (viz obrázek). Aplikuje se v modu vrtání (drilling). Důležité je, že se jedná o Tool Number 8.



Obrázek 52

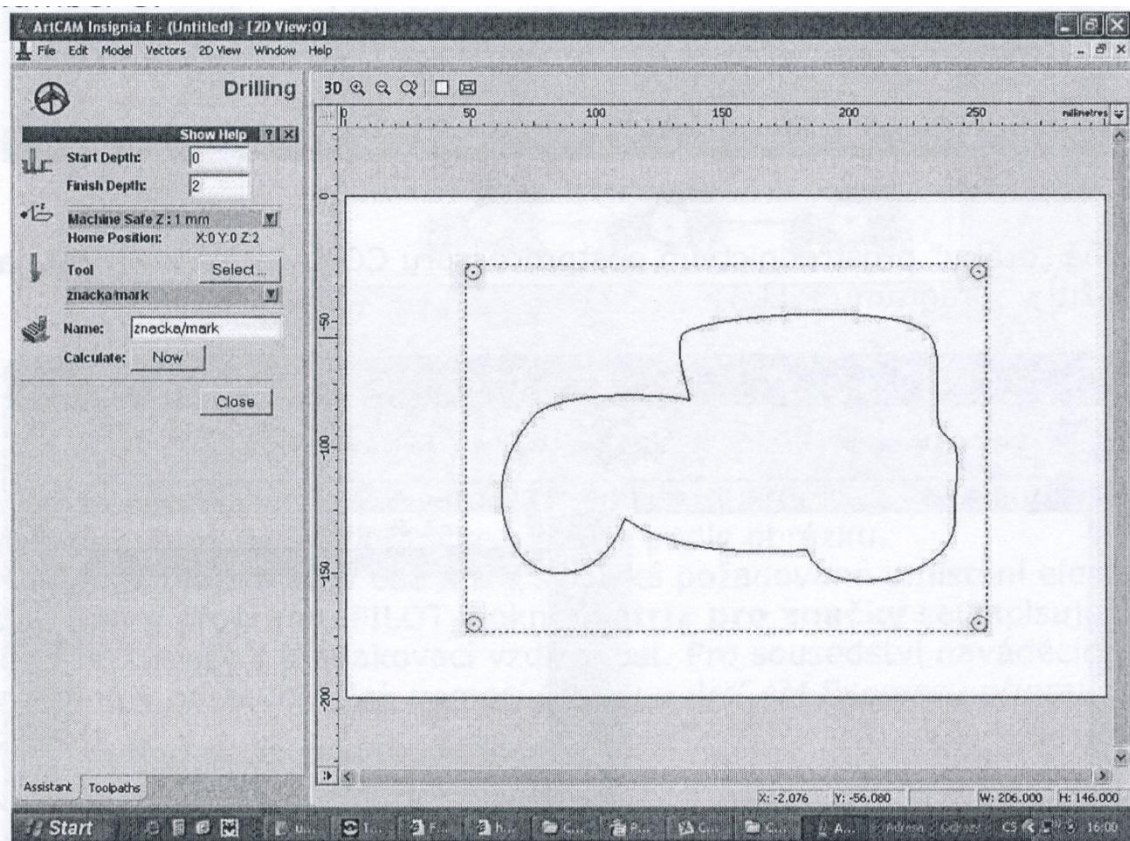
Pro frézování užíjte libovolný nástroj a mod 2D Profillig a nezapomeňte, že i zde musí být jako Tool Number (1....7).

Poznámka: Hodnota Stepdown u jednotlivých nástrojů musí být větší než tloušťka materiálu (Thickness) v okně Setup Job Dimensions.



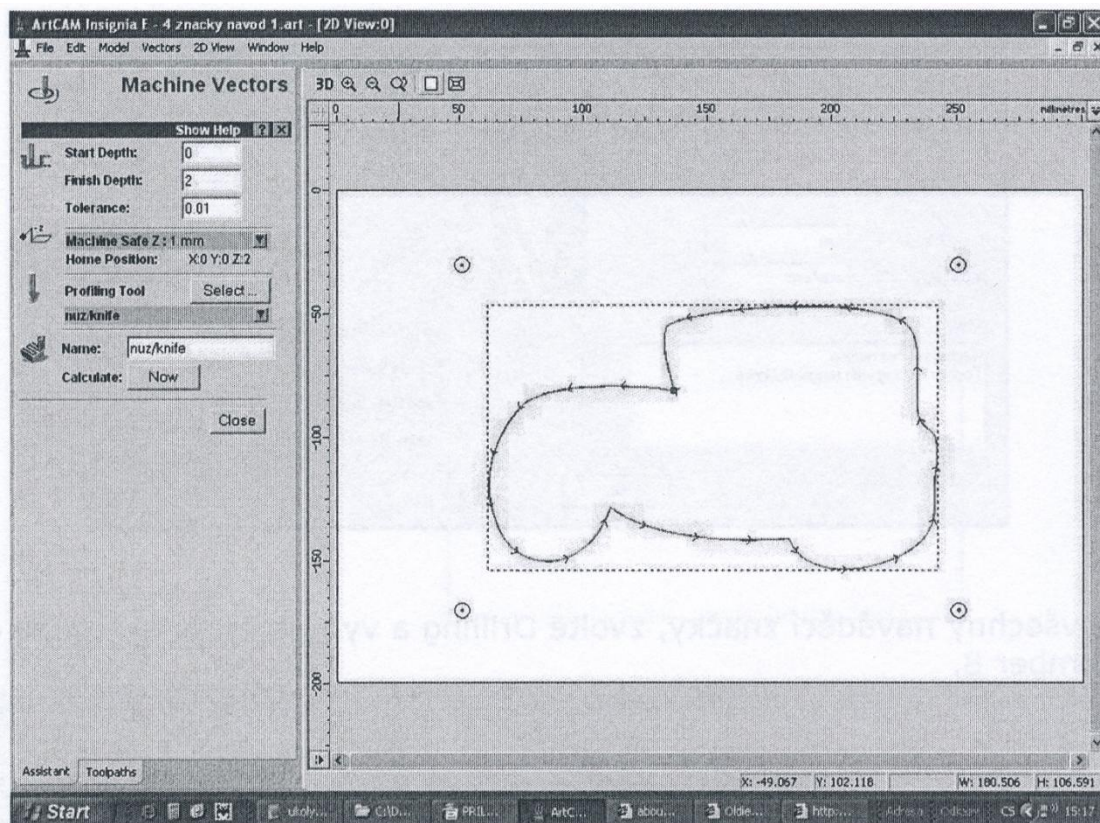
Obrázek 53

10) Vyberte všechny naváděcí značky, zvolte Drilling a vyberte nástroj – bude označený jako Tool Number 8.



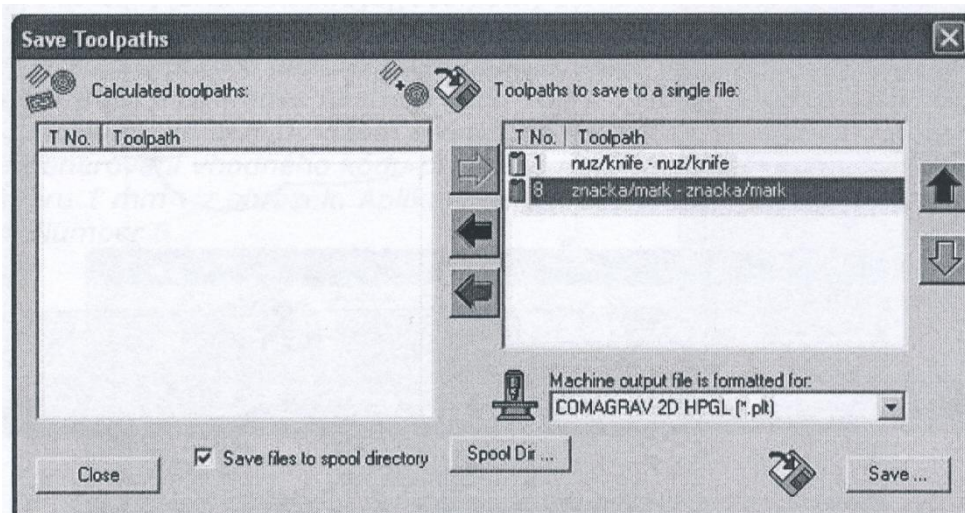
Obrázek 54

11) Vyberte dráhu řezu a zvolte 2D profiling pro frézování vřetenem. Označte nástroj jako Tool Number (1....7).



Obrázek 55

12) Uložte obě „dráhy“ prostřednictvím postprocessoru COMAGRAV 2D HPGL jako PLT soubor v programu Pilot.

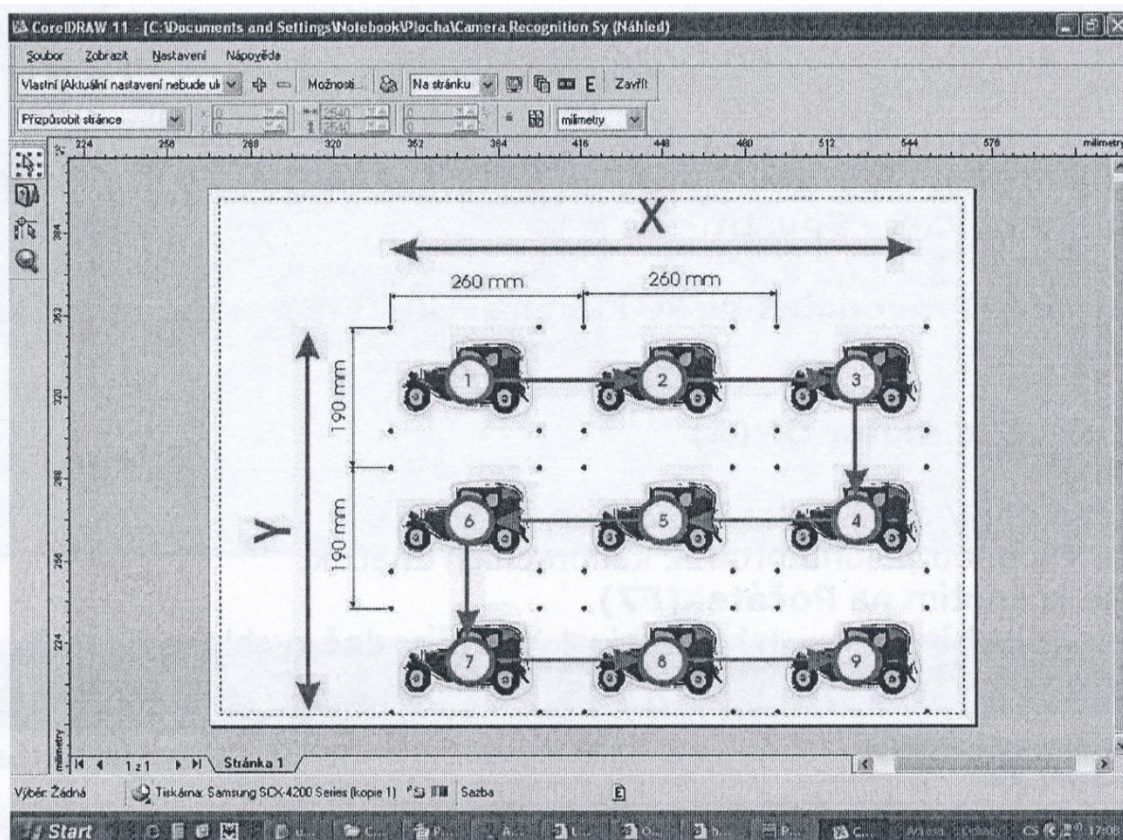


Obrázek 56

13) Nahrajte soubor do programu Pilot.

3.2.4. Matrix pro značky, vytvoření souboru

- 1) Je nepohodlné vyřezávat jednotlivé elementy samostatně, protože pro každý element musíte Pilota naučit jeho levou horní naváděcí značku a určit její předpokládanou polohu. Funkce Multi-element to provede za vás a automaticky. Potřebné údaje a pravidla jsou souhrnně vyobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 57

- A** – elementy jsou zpracovávány v pořadí podle čísel v kroužku. Při přerušení lze pak pokračovat elementem, jehož pořadí se vypočte podle obrázku.
- B** – opakovaným kopírováním v ose X a Y se získá požadované umístění elementů, v záložce **Parametry** programu Pilot v okně **Matrix pro značky** se zapisuje počet opakování v ose X, resp. Y a opakovací vzdálenost. Pro sousedství naváděcích značek platí pravidla uvedená v odstavci 2.4.2.
- 2) V Pilotovi v záložce **Parametry** v okně **Značky** aktivujte volbu: **Aktivovat úpravu souboru pomocí značek v Režimu hledání – 4 (natáčení a velikost)**.
 - 3) Přejděte do okna **Matrix pro značky** a zadejte požadované hodnoty.
 - 4) Jste-li si jisti, že máte správné nastavení včetně, můžete spustit zpracování **Start (F2)**.

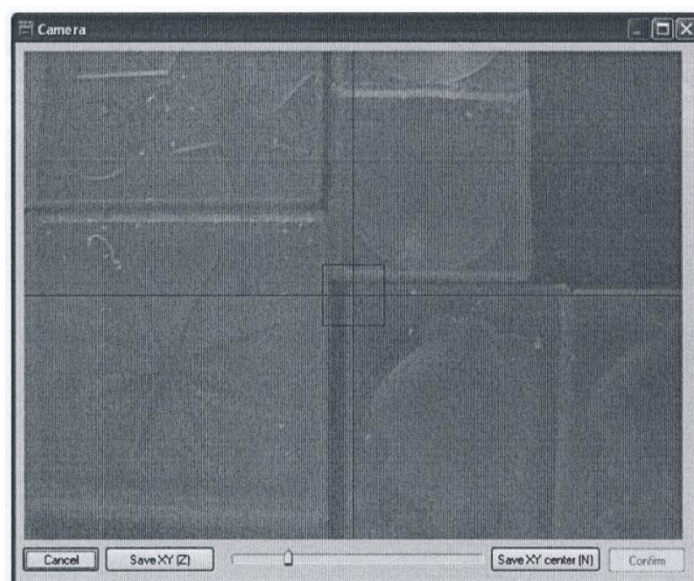
3.2.5. Kalibrace kamery a vřetene

Řádná spolupráce naváděcí kamery s vřetenem vyžaduje provést kalibraci vůči umístění hrotu nástroje ve vřetenu.

- 1) Ke kalibraci potřebujete dvoubarevný gravírovací plast a gravírovací nástroj (doporučeno úhel 30° - 40°, špička 0,3 až 0,6 mm).
- 2) Připevněte plast na pracovní desku stolu, upevněte nástroj do vřetene, spusťte Pilota, přejděte do **Průvodců** a vyberte **Kamera – Kalibrace-Spustit**. Průvodce vás kalibrací povede.
- 3) Sledujte text v okně **Kalibrace kamery**.
 - Zvolte vhodnou polohu umístění značek
 - Potvrďte kliknutím na **Počátek (F7)**
 - Zvolte hloubku gravírování, jeho **Rychlost XY**, **Rychlost Z** a otáčky vřetene.
- 4) Klikněte na **Vytvoř značky (F2)**. Frézka vygravíruje značky do dvoubarevného plastu.
- 5) Sledujte komentář v okně **Kalibrace kamery**. Použijte standardní klávesy pro pohyb stroje, nastavte levou značku pod červený kříž.
- 6) Posuňte ukazovátkem myši zelenou linku pomocí vodítka nad pravou značku.
- 7) Hotovo.
- 8) Spusťte ještě jednou **Průvodce** pro kalibraci **Kamera – Kalibrace – Spustit** k zobrazení výsledku.

3.2.6. Užití kamery k nastavení počátku

Kameru lze **použít** k nastavení **Počátku**. V záložce **Test** spusťte **Kameru (C)** a pohybujte strojem až červený kříž zobrazí polohu požadovaného **Počátku**. K uložení polohy použijte klávesu **Z** nebo **N** (odpovídá F6 a F8 v záložce **Test**).



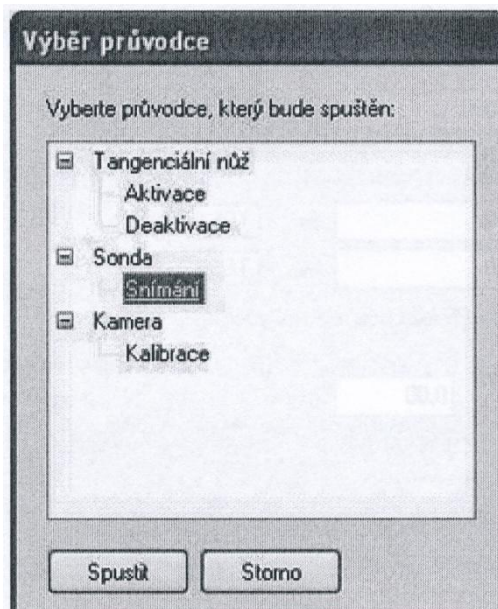
Obrázek 58

3.2.7. Mechanický skener



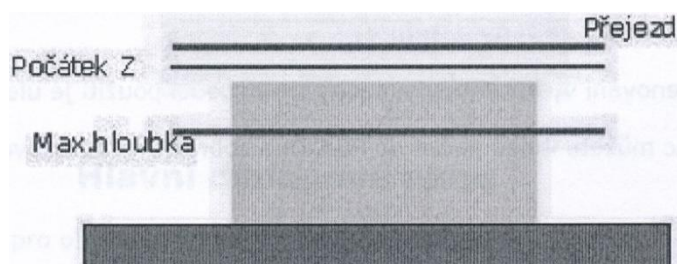
Obrázek 59

- 1) Nainstalujte sondu připojte kabel do příslušného konektoru na zadním panelu skříně elektroniky - na vřeteníku.



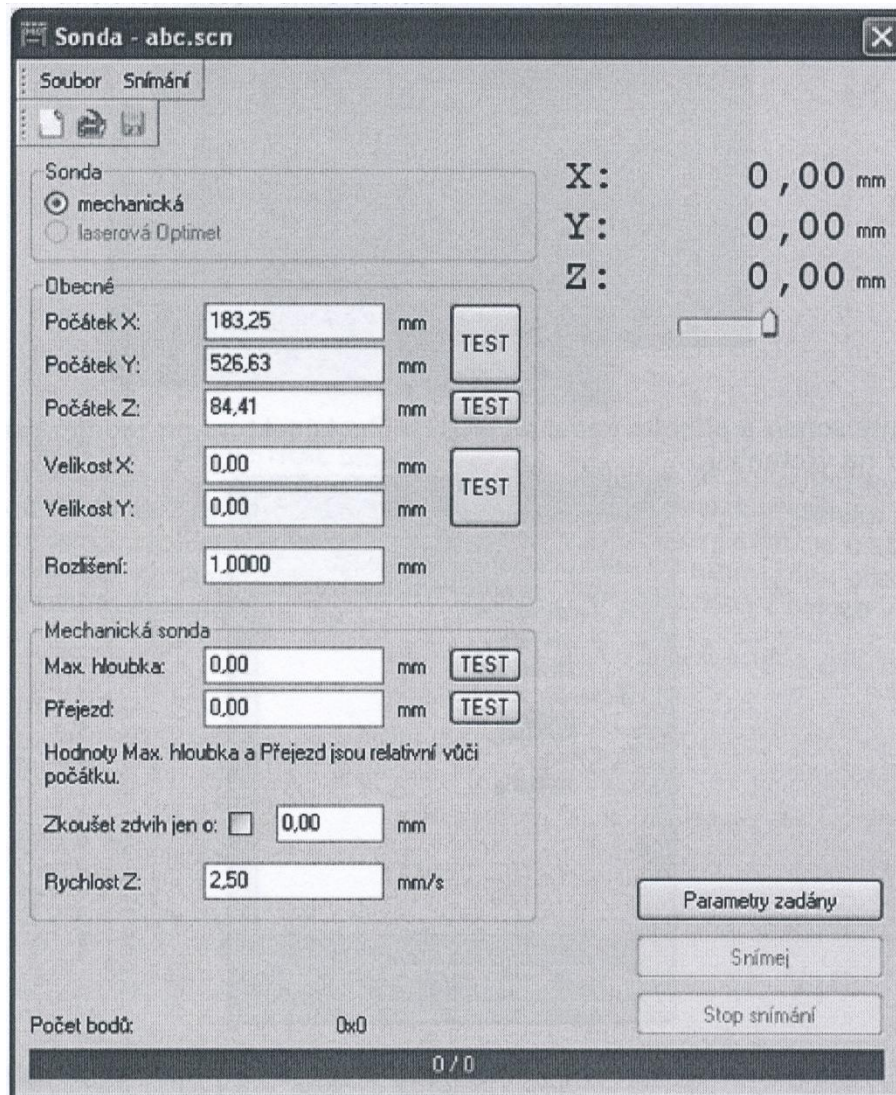
Obrázek 60

- 2) Proveďte jednoduchý test správné funkce: LED dioda musí v klidu svítit zeleně, jestliže se dotknete skenovacího hrotu, změní se barva LED diody na červenou.
- 3) Spusťte průvodce v programu Pilot, vyberte **Sond – Snímání – Spustit**.
- 4) Klikněte na **Soubor** a určete jméno souboru pro naskenovaná data



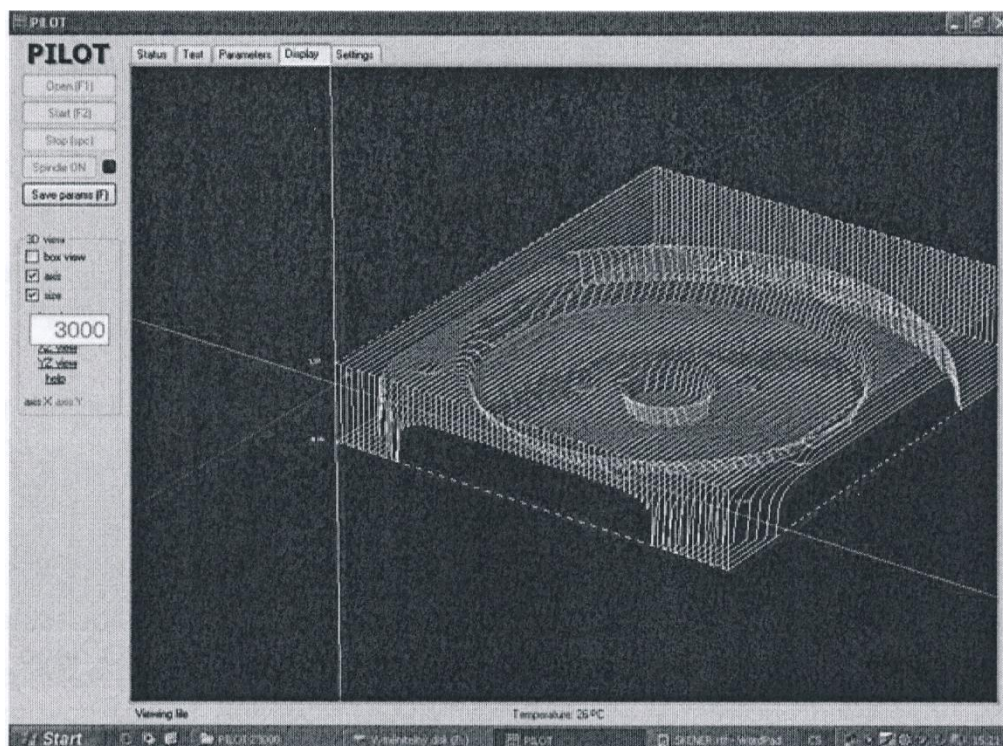
Obrázek 61

- 5) Umístěte soubor pro skenování na pracovní plochu stroje.
- 6) Zvolte Počátek X,Y a Z, Max. hloubku a Přejezd, Velikost X a Y. Hodnoty můžete napsat nebo ručně popojíždět strojem do požadovaných pozic použitím kláves CTRL/ALT a ARROW/PAGE UP/PAGE DOWN (jako v záložce Test) a potvrzovat odpovídajícím tlačítkem Test v okně Sonda.



Obrázek 62

- 7) Určete výšku zdvihu (**Zkoušet zdvih jen o**) – při vertikálním posuvu před „překážkou“.
- 8) Určete skenovací **Rychlost Z** a **Rozlišení**.
- 9) Klikněte na **Parametry zadání** a **Snímej**.
- 10) Po ukončení skenování vyberte typy souborů a pro budoucí použití je uložte.
- 11) Soubor typu CNN můžete ihned načíst do Pilota a zobrazit na obrazovce.



Obrázek 63

3.2.8. Teach-In

Podprogram **Teach-In** je služba pro uživatele, kteří potřebují vytvářet jednoduché dráhy nástroje na již zhotoveném výrobku, popřípadě „naučit“ zařízení obrábět po zadávané dráze. **Teach-In** nevytváří nic jiného než ISO G-kód a umožňuje používat příkazy G0, G1, G2 a G3. Soubory se ukládají s koncovkou TNC a jsou načítány pro výrobu Pilota se známou pozicí (proveden pohyb domů).

Pokud byl Teach-In již před tím někdy spuštěn, nahraje se automaticky naposledy otevřený soubor. Jinak je vytvářen soubor nový.

Ve spodní části základního okna Teach-Inu naleznete parametry aktuálně vybraného příkazu, aktuální pozici relativně k počátku a stav, ve kterém se program nachází.

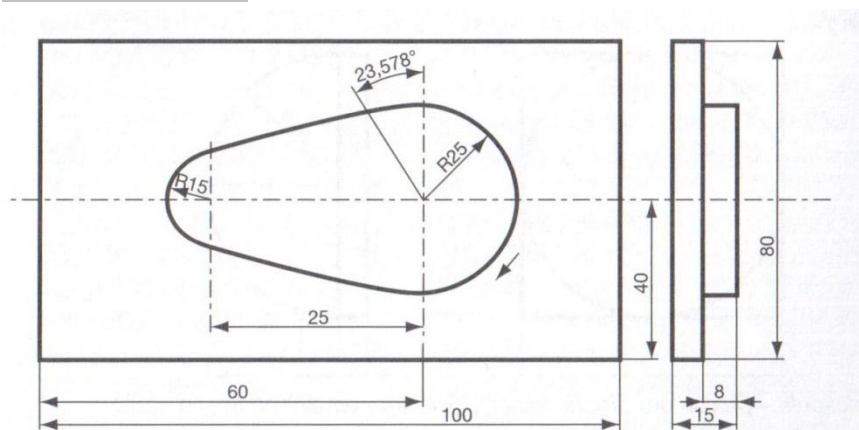
3.3. Praktický návod pro spuštění procesu

- 1) Otevřít program Pilot (na ploše monitoru)
- 2) Spustit řídicí jednotku (červené tlačítko)
- 3) Otevřít **Stav** (na horní liště), potom aktivovat tlačítko **Otevřít (F1)** a načíst požadovaný soubor
- 4) V záložce **Parametry** nastavte parametry drah nástrojů
- 5) Nastavení počátečního bodu V osách X a Y (nachází se v levém horním rohu materiálu):
Otevřít **Test** (na horní liště) a najet na počáteční bod v osách X a Y
 - a) Ručně
 - b) Kamerou (tlačítko **Kamera (C)**)
V obou případech používáme:
Alt + kurzorové šipky.....rychlý pohyb v osách X a Y
Ctrl + kurzorové šipky.....pomalý pohyb v osách X a Y
Po určení počátku stisknout tlačítko **Uložit XY (F6)** a **Zavřít**.
- 6) Nastavení hloubky Z
Otevřít **Test** a najet nízko nad sondu.
K posuvu nám slouží klávesy:
Alt + PageUp/Down.....rychlý pohyb v ose Z
Ctrl + PageUp/Down.....pomalý pohyb v ose Z
Po umístění nástroje nad sondu zmáčknout **Auto Z (F9)**
- 7) Nyní v záložce **Stav** nastavit otáčky vřetene (vlevo)
- 8) V záložce **Stav** uložit nastavené parametry tlačítkem **Uložit parametry (F9)**
- 9) V záložce **Stav** spustit zpracování souboru tlačítkem **Start (F2)**

Rychlé zastavení procesu :
 - a) Záložka **Stav**, vlevo tlačítko **Stop (spc)**
 - b) Mezerníkem

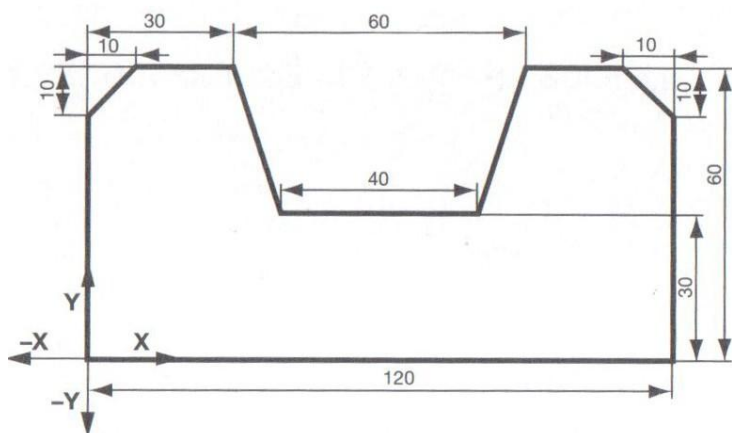
4.1. Příklady a úkoly

Příklad č.4.1.1



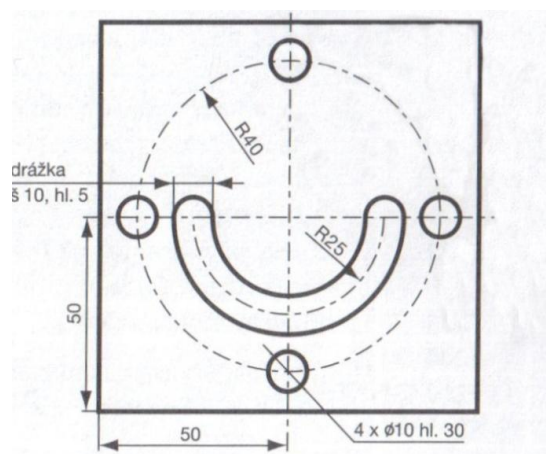
Obrázek 64

Příklad č.4.1.2



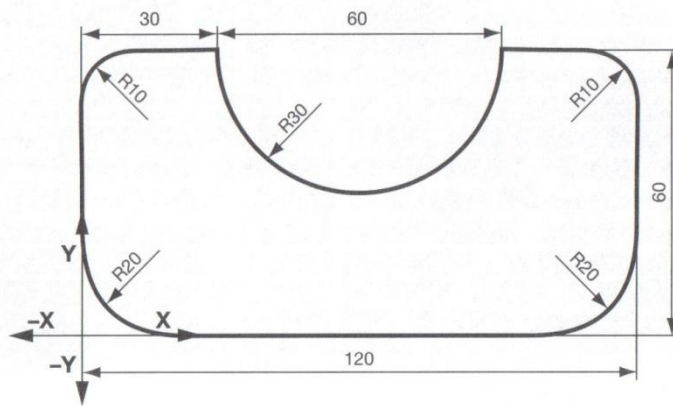
Obrázek 65

Příklad č.4.1.3



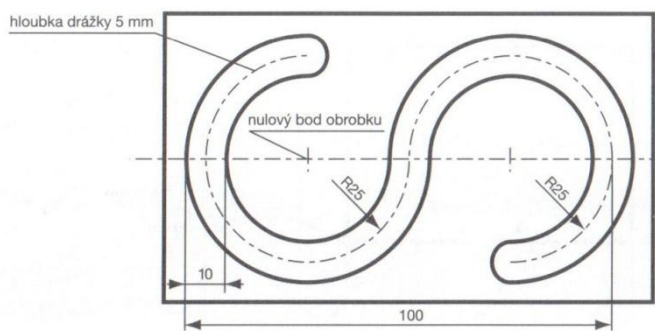
Obrázek 66

Příklad č.4.1.4



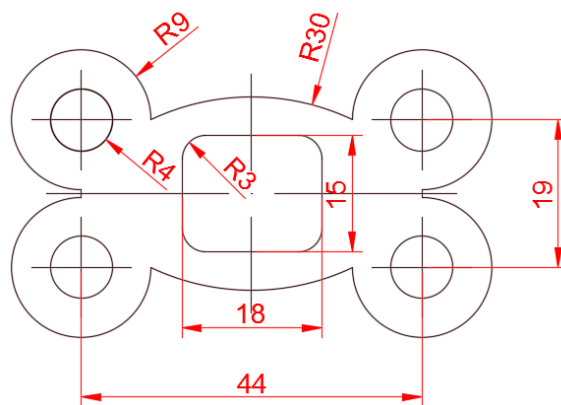
Obrázek 67

Příklad č.4.1.5



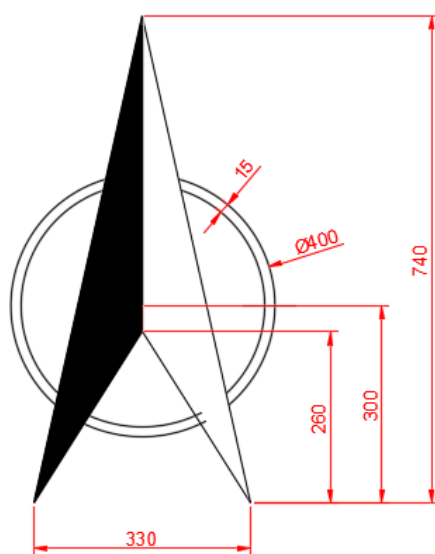
Obrázek 68

Příklad č.4.1.6



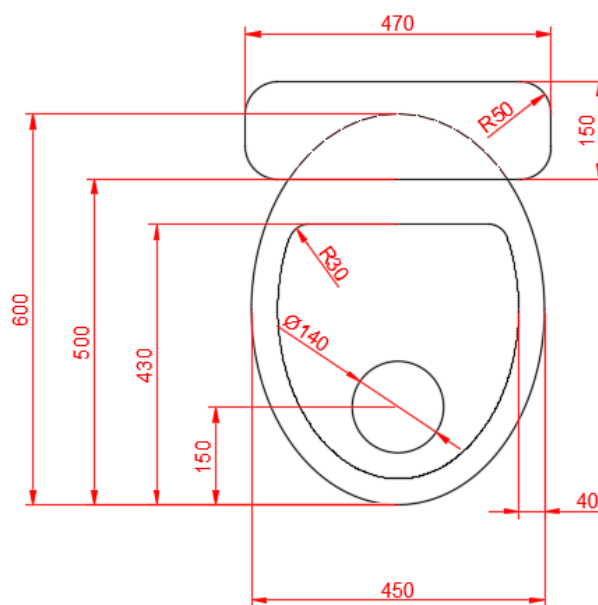
Obrázek 69

Příklad č.4.1.7



Obrázek 70

Příklad č.4.1.8



Obrázek 71

Seznam použité literatury

Štulpa, M.: Obráběcí stroje a jejich programování, Praha, BEN – technická literatura, 2008

Autor neuveden: Comagrav – původní návod k použití, 2014

Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů (prezentace přednášek, II. Část, Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní), Liberec 2005

http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014)

Zdroje obrázků:

Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů (prezentace přednášek, II. Část, Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní), Liberec 2005

http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf (ověřeno dne 12.12.2014)

Obrázek 2 - str.35, Obrázek 3 - str.36, Obrázek 4 - str.37, Obrázek 5 - str.40, Obrázek 6 - str.41, Obrázek 7 - str.45, Obrázek 8 - str.43, Obrázek 10 - str.68, Obrázek 11 - str.46, Obrázek 12 - str.10, Obrázek 14 - str.46, Obrázek 16 - str.53, Obrázek 17 - str.58, Obrázek 20 - str.63, Obrázek 21 - str.64, Obrázek 22 - str.67, Obrázek 23, 24, 25 - str.71, Obrázek 26 - str.72, Obrázek 27 - str.77

Štulpa, M.: Obráběcí stroje a jejich programování, Praha, BEN – technická literatura, 2008:

Obrázek 1 - str.10, Obrázek 9 - str.27, Obrázek 13 - str.19, Obrázek 18 - str.33, Obrázek 28 - str.54, Obrázek 29 - str.55, Obrázek 30 - str.56, Obrázek 31 - str.57, Obrázek 65 - str.45, Obrázek 66 - str.106, Obrázek 67 - str.44, Obrázek 68 - str.107, Obrázek 69 - str.110

<http://www.scrigroup.com/limba/ceha-slovaca/26/CAD-SYSTEMY44595.php> (ověřeno dne 12.12.2014)

Obrázek 19 - str.16

Autor neuveden: Comagrav – původní návod k použití, 2014

Obrázek 32 - str.7, Obrázek 33 - str.10, Obrázek 34 - str.14, Obrázek 37 - str.26, Obrázek 38 - str.27, Obrázek 39 - str.29, Obrázek 40 - str.30, Obrázek 41 - str.31, Obrázek 42 - str.32, Obrázek 43 - str.33, Obrázek 44 - str.34, Obrázek 45 - str.35, Obrázek 46 - str.36, Obrázek 47 - str.37, Obrázek 48 - str.41, Obrázek 49 - str.42, Obrázek 50, 51 - str.43, Obrázek 52, 53 - str.44, Obrázek 54, 55 - str.45, Obrázek 56, 57 - str.46, Obrázek 58 - str.47, Obrázek 59 - str.62, Obrázek 60, 61, 62 - str.71, Obrázek 63 - str.72, Obrázek 64 - str.73

Foto autora/archiv školy:

Obrázek 15 - str.13, Obrázek 35 - str.31, Obrázek 36 - str.32, Obrázek 70 - str.59, Obrázek 71, 72 - str.60