

Výroba součástí složitých výrobků pomocí NC stroje

Martin Číhal

Bakalářská práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Martin ČÍHAL

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Výroba součástí složitých výrobků pomocí NC stroje

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Zhotovení programu pro NC obrábění**
- 3. Výroba součástí**
- 4. Vyhodnocení výsledků**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Cihlářová, P.- Hill, M.-Píška, Fundamentals of CNC machining, VUT Brno.

Cihlářová, P.- Hill, M.-Píška, CNC machining – Distinction Workbook. VUT Brno.

KOČMAN,K.-PROKOP,J. Technologie obrábění. CERM Brno, 2003, s.271, ISBN 80-214-1996-2

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2007

Ve Zlíně dne 29. ledna 2007


prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na oblast číslicově řízených strojů, zejména na volbu vhodného nástroje pro obrábění součástí z balsového dřeva využívaného v leteckém modelářství. Dále je srovnávána výroba tvarově složitých profilů pomocí NC frézky a laseru. Tato práce také obsahuje základní informace o číslicově řízených strojích, jejich vývoji, ovládání a také základní informace o programování CNC strojů.

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on numerical controlled machines, especially on choosing an appropriate tool for cutting parts from balsa wood, that is usually used in aeromodelling. Then, there are compared technologies of making difficult shapes by NC milling and by laser.

This work contents basic information about the computer-aided manufacturing and CNC machines, about their control and also basic information about programs for their control.

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálových podkladů k práci.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 CHARAKTERISTIKA NC STOJE	10
1.1 HISTORICKÝ VÝVOJ NC STROJŮ	10
1.1.1 Vývojové stupně NC strojů	10
1.1.2 Řídící média	11
1.2 VYSVĚTLENÍ NĚKTERÝCH POJMŮ A ZKRATEK	12
2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	14
2.1 SOUŘADNÝ SYSTÉM.....	14
2.2 PRACOVNÍ PROSTOR CNC STROJE	15
2.3 STAVBA CNC KÓDU	16
2.4 PROGRAMOVÁNÍ CNC KÓDU	18
3 CAM SYSTÉMY	19
3.1 VÝZNAM CAM SYSTÉMŮ	19
3.2 PŘEHLED CAM SYSTÉMŮ NA ČESKÉM TRHU	19
3.2.1 AlphaCAM	19
3.2.2 ArtCAM	20
3.2.3 Catia V5	20
3.2.4 EdgeCAM	20
3.2.5 Pro/Engineer.....	21
3.2.6 SolidCAM	21
3.2.7 SurfCAM.....	22
3.2.8 Kovoprog.....	22
4 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	23
4.1 DĚLENÍ FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ	23
4.2 KOREKCE	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
5 PŘÍPRAVA VZORKU	29
5.1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	29
5.1.1 Balsa.....	29
Druhy prkének	30
Přehled balsy	32
5.1.2 Překližka.....	32
5.2 FRÉZKA HWT C-442 CNC PROFI	33
5.3 UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK	34
5.3.1 Výroba přípravku	34
5.4 POSTUP VÝROBY A POPIS VZORKU	35
5.4.1 Měření drsnosti obrobené plochy.....	36

5.4.2	Charakteristiky drsnosti povrchu a tvaru profilu (ČSN EN ISO 4287)	36
5.4.3	Naměřené hodnoty drsnosti povrchu získané frézováním	37
5.5	LASER LS700 30W	46
5.6	POSTUP VÝROBY VZORKU ZA POMOCÍ LASERU	47
5.6.1	Naměřené hodnoty drsnosti povrchu získané laserovým řezáním.....	48
5.7	OPTICKÉ HODNOCENÍ VZORKŮ	52
6	RC MODEL LETADLA FÉNIX	55
6.1	STAVBA MODELU	56
	ZÁVĚR.....	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	64
	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

ÚVOD

Na počátku padesátých let byly v Americe vyvinuty první NC stroje. NC je zkratka Numerical Control (číslicové řízení). To znamená, že všechny potřebné informace jsou systému zadávány ve formě čísel a písmen. První programovatelné automaty označované jako NC stroje vykovávaly příkazy programu, který byl na paměťovém médiu odpovídajícím úrovni vývoje, tj. na děrném štítku, děrné pásce, později na magnetické pásce. V této podobě se prosadily ve výrobě složitějších součástí při odpovídající opakovatelnosti. Vyplňovaly tak prostor mezi jednoúčelovými mechanicky řízenými automaty, které se uplatnily pro výrobu jednodušších součástí v hromadné a velkosériové výrobě, a klasickými stroji s ručním ovládáním, které jsou vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu.

V dnešní době NC stroje představují nosný prvek pružné automatizace obráběcích procesů v oblasti středněsériových, malosériových a v řadě případů také kusových výrob. Při opakované výrobě je snadno aplikovatelný řídicí program, který byl již dříve zpracován a využit. Číslicové řízení daleko překračuje funkce jednoho stroje, ale umožňuje návaznost na ostatní prvky celých obráběcích systémů. S velkou výhodou využívá všech předností a možností výpočetní techniky a zasahuje do struktury a organizace výroby v nejširším slova smyslu. Vlastní řezný proces probíhá analogicky, jako při práci na standardním obráběcím stroji, avšak technologické postupy při aplikaci číslicově řízených obráběcích strojů vykazují řadu specifických složek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA NC STOJE

Číslicově řízené stroje (NC i CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání všech funkcí stroje je prováděno výhradně řídicím systémem stroje pomocí programu. Všechny údaje potřebné k obrobení součásti na požadovaný tvar a s požadovanou přesností jsou při číslicovém řízení předem připraveny ve formě řady čísel. Tato čísla v určitém kódu, srozumitelné pro řídicí program stroje, jsou pak zaznamenány na nosiči informací, který řídí silové a ovládací prvky stroje. Následně probíhá výroba součásti.

Informace používané v oblasti CNC obráběcích strojů lze rozdělit na:

- **Geometrické** (o geometrii obrábění) – určují rozměry součásti nebo vzdálenosti otvorů, tj. popisují dráhu nástroje vzhledem k obrobku.
- **Technologické** (o technologii obrábění) – charakterizují řídicí funkce, které musí obráběcí stroj vykonávat v jednotlivých fázích obrábění (např. velikost posuvu, otáčky vřetena apod.)
- **Pomocné** – jsou to informace o určitých pomocných funkcích (např. zapínání a vypínání chladicí kapaliny) [2]

1.1 Historický vývoj NC strojů

1.1.1 Vývojové stupně NC strojů

Z minulých let lze rozeznat určité etapy vývoje NC strojů, které můžeme označit za vývojové stupně, nebo vývojové generace. V podstatě lze vývoj NC strojů rozdělit do čtyř vývojových stupňů.

NC stroje 1. generace

To jsou stroje s nejjednodušší koncepcí, která je založena na konstrukci konvekčních strojů. Tyto stroje jsou upraveny a je k nim přiřazen číslicově řízený systém. Tyto stroje umožňovaly řízení v pravoúhlých cyklech a dnes již nevyhovují s ohledem na přesnost výroby, spolehlivost a technologické možnosti.

NC stroje 2. generace

Tyto stroje již byly přizpůsobeny požadavkům číslicového řízení. Byly vybaveny servosystémy a revolverovými hlavami pro nástroje. To umožňovalo použití více nástrojů.

NC stroje 3. generace

Konstrukce strojů je podřízena použití ve výrobních soustavách. U těchto strojů jsou řízené funkce od vstupů výrobků a nástrojů až po jejich výstup z výrobní soustavy. Jednotlivé operace jsou rozděleny mezi technologická pracoviště.

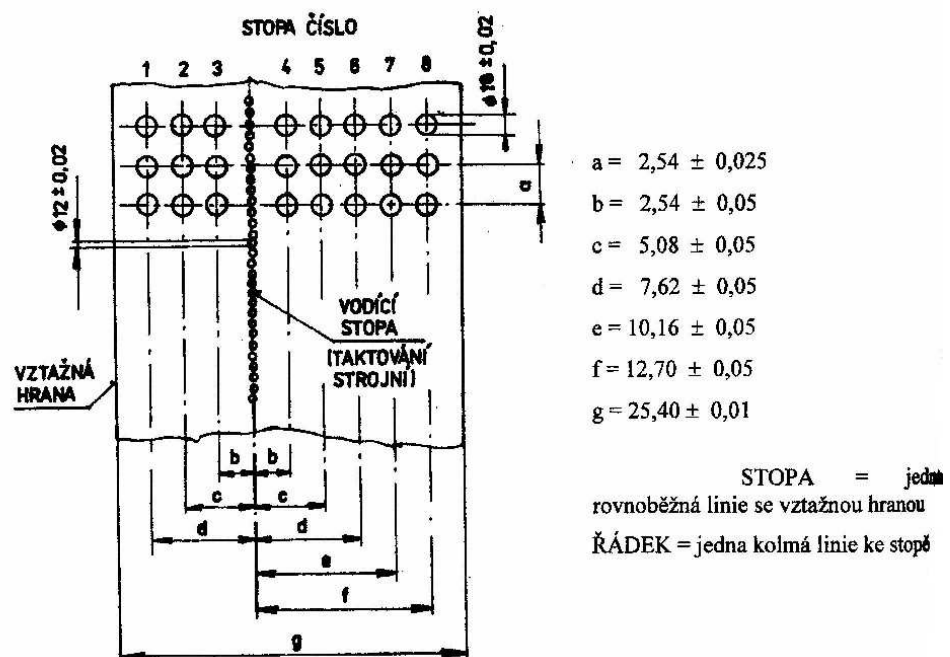
NC stroje 4. generace

Tyto stroje se vyznačují vlastní realizací vědeckých poznatků. Jde zejména o stroje u kterých se používají progresivnější metody v konstrukci a využití, například využití laserových paprsků. [4]

1.1.2 Řídící média

V průběhu doby byla postupně používána následující řídicí média:

Děrné pásky – jsou stále používaným řídicím médiem dodávaným z různých materiálů, barev a rozměrů. Pro archivování programů nebo pro výrobu menších dávek jsou k použití děrné pásky ze speciálního papíru, které patří k nejlevnějším. Nejdražší pásky jsou z plastických hmot, někdy pokryté tenkou vrstvou hliníku. Jsou tužší a vhodné pro dílenské použití. Jejich nevýhodou je, že jsou choulostivé na teplo. Předností je pak jejich tuhost, možnost přímého čtení a určitá odolnost vůči nečistotám a prachu.



Obr. 1. Osmistopá děrná páska

Magnetofonová páska – umožňuje nahrání informace a její předání elektronickému zařízení přes magnetofon. Toto zařízení se jeví jako technicky nejlepší; je zde možnost rychlého předávání značného počtu údajů, přenos z pásky je spolehlivý, principiálně dobře vyřešený a snímací zařízení je relativně jednoduché a levné. Nevýhodou je, že čtecí zařízení pro magnetické pásky musí být umístěno mimo technický provoz, v čistém a neprašném prostředí, není zde možnost přímého čtení a pásky musí být pečlivě chráněny před nečistotami.

Magnetická disková paměť – má své opodstatnění tehdy, kdy je nutné snímat velký počet dat v relativně krátkém čase. Snímací zařízení musí být umístěno mimo výrobní dílnu ve zvláštní místnosti. Požadavky na čistotu a stálost teploty jsou zde vysoké. [1]

1.2 Vysvětlení některých pojmů a zkratek

NC (Numerical Control) – číslicově řízené stroje (v praxi je to označení pro stroje, které ke svému řízení požívaly děrnou pásku či děrný štítek).

CNC (Computerized Numerical Control) – počítačem (číslicově) řízené stroje (stroj je řízen a ovládán počítačem, do kterého mohou být též zaváděny již hotové programy např. pomocí diskety nebo přenosem dat po lince).

DNC (Direct Numerical Control) – direktivně řízené stroje, tj. stroje řízené z centrálního počítače (může řídit i více strojů současně).

CAD (Computer Aided Design) – počítačová podpora konstrukčního procesu.

CAM (Computer Aided Manufacturing) – počítačová podpora pro návrh drah nástrojů při obrábění a vytváření CNC programů pro automatizované řízení strojů.

CAE (Computer Aided Engineering) – počítačová podpora inženýrských, projekčních činností.

CAP (Computer Aided Production) – počítačová podpora technologické přípravy výroby.

CAPP (Computer Aided Process Planning) – počítačová podpora pro funkce plánování v oblasti operativního řízení výroby.

CAT (Computer Aided Trstiny) – ve spojení s CAM je to počítačová podpora a kontrola.

CAD/CAM – propojení systémů CAD a CAM zasahující od CAE (např. Profi nástavba Autocadu) přes CAD, CAP, případně CAPP až po výrobu CAM. V tomto procesu mohou být zařazeny prvky CAT (mezioperační kontrola), dále prvky pro plánování a řízení dílny (programové vybavení umožňuje např. zjištění času výroby součásti, zjištění času opotřebení nástroje apod.). V běžném výkladu se často pojem CAD/CAM zužuje na vygenerování výkresu součásti (data rozměrů součásti jsou uložena v digitalizované formě výkresu) v CNC programu včetně přiřazení určitých technologií (např. upínání, rozměr polotovaru, řezné podmínky atd.). Jedná se tedy o propojení práce konstruktéra a technologa. [2]

2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Programování CNC strojů je možné provádět zpravidla dvěma způsoby:

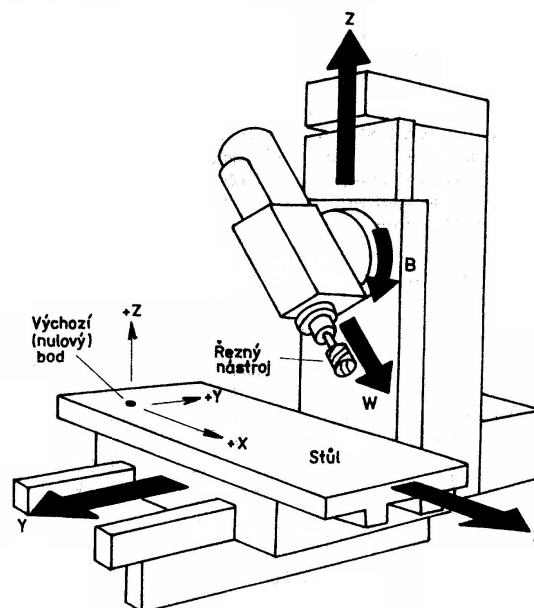
- Systém online, přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP - Shop Floor Programming)
- Offline programování – tvorba part programu mimo řídicí systém, nejčastěji pomocí CAM systému, je možné ale i ručně

2.1 Souřadný systém

Souřadnicová soustava směrů pohybů pracovních orgánů daného NC stroje vychází od osy Z, která je rovnoběžná s osou hlavního vřetene, případně kolmá k pracovní ploše stolu.

Osa X je orientovaná vodorovně a rovnoběžně s plochou upnutí obrobku, osa Y doplňuje osy X a Z na pravoúhlou souřadnicovou soustavu. Kladný smysl pohybu musí odpovídat směru vzdalování nástroje od obrobku. Kladný smysl rotačních pohybů A, B, C se musí shodovat se smyslem posuvu pravotočivých šroubů v kladných osách X, Y, Z.

Poloha počátku souřadnicové soustavy je libovolná a definuje se v rámci řídicího programu.

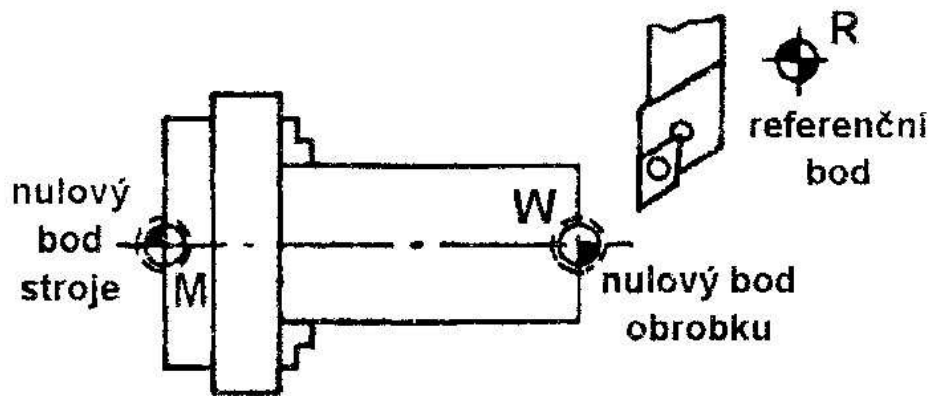


Obr. 2. Označování souřadnic a směrů pohybů pracovních orgánů NC frézky [1]

2.2 Pracovní prostor CNC stroje

V pracovním prostoru CNC obráběcího stroje jsou určeny některé základní vztažené body, jejichž znalost je důležitá i pro vlastní programování. Jsou to zejména:

- **Referenční bod stroje R** – je přesně stanoven výrobcem a jeho aktivací dochází k sjednocení mechanické a výpočetní části stroje. Slouží k přesnému nastavení odměřovacího systému po zapnutí stroje a zařazení referenčního bodu do CNC programu také vede k odstranění chyb, které mohou vznikat interpolací (pokud stroj nemá zpětnou vazbu). Je realizován mechanickým způsobem, tj. pomocí koncových spínačů.
- **Nulový bod stroje M** – je druhý pevný bod v systému, a je tudíž stanoven výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažené body na stroji. Ve většině případů výrobci řídicích systémů používají variantu, kdy spojnice nulového bodu M a referenčního bodu stroje R je úhlopříčkou pracovního prostoru stroje (např. frézky, vrtačky). U soustruhů je nulový bod stroje umístěn v ose rotace obrobku v místě zakončení vřeteníku přírubou. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem přesně odměřeny a vloženy do paměti řídicího systému jako strojní konstanty.
- **Nulový bod obrobku W** – lze nastavit pomocí speciálních funkcí řídicích systémů v libovolném místě pracovního prostoru stroje – to znamená, že si ho určuje programátor sám. Tento nulový bod obrobku W se s výhodou umísťuje do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušil výpočet přechodových míst jednotlivých konstrukčně technologických prvků, a do těch míst na obrobku, od kterých např. začíná kótování na výkrese, a tím je umožněno zjednodušení práce programátora – nemusí dopočítávat kóty a rozměry obrobku [2]



Obr. 3. Základní body stroje a obrobku [2]

2.3 Stavba CNC kódu

Řídicí program NC/CNC obráběcího stroje je soubor číselně vyjádřených informací o činnosti NC/CNC obráběcího stroje uložených na nositeli informací, ze kterého jsou postupně tyto informace předávány stroji v průběhu operace. K zápisu programu se volí znaky srozumitelné člověku a tyto se řadí do jednotlivých slov; ucelené informace o jedné požadované činnosti tvoří blok a posloupnost bloků tvoří řídicí program.

Jednotný způsob uspořádání řídicích programů pro CNC stroje se nazývá struktura programu a určuje ji mezinárodní norma ISO 1058.

Hlavní výhody dodržování programové struktury:

- dodržení tvaru a posloupnosti instrukcí a dodržení pravidel syntaxe umožňuje kontrolnímu systému nalézt a oznámit případnou formální chybu;
- přehledná struktura programu umožňuje snadnější orientaci v programu;
- přehledná struktura programu usnadňuje lepší provedení změn.

Program pro CNC stroje se skládá z bloků (vět), které jsou sestaveny z jednotlivých příkazů (slov).

Každé slovo se skládá ze dvou částí:

1. Adresy (písmeno) – určuje, kam bude instrukce směřována.
2. Významové části (číslice) – udává konkrétní hodnotu.



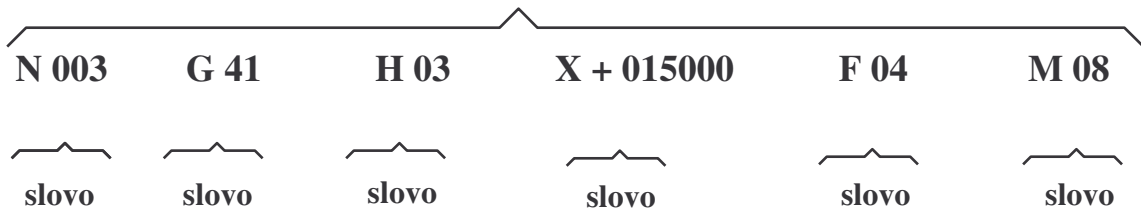
Obr. 4. Složení slova

Blok se skládá zpravidla z těchto znaků a slov:

- **N – číslo bloku** – každý blok musí začínat číslem, aby ho bylo možné vyvolat z paměti řídicího systému. Číslo bloku je umístěno vždy na začátku každého bloku programu a skládá se z adresy N a z čísla, které odpovídá poloze bloku v programu. Je výhodné tyto věty číslovat např. po desítkách (10, 20, 30, atd.), aby bylo možné dodatečně vložení dalších bloků (např. N021).
- **G – přípravná funkce** – jsou to instrukce ke zpracování geometrických informací pod adresou G a dvoumístným kódovým číslem (viz příloha)
- **X, Y, Z – rozměrové funkce** – určují polohu cílového bodu pohybu
- **F – posuvová funkce** – číselný údaj mívá rozsah 4 až 6 desítkových míst. Má význam rychlosti pracovního posuvu. Může udávat posuv v mm/min nebo v mm/otáčku.
- **S – funkce ovládající rychlost otáčení vřetena** – číselný údaj mívá 4 až 6 desítkových číslic. Obvykle přímo určuje otáčky vřetena v otáčkách za minutu.
- **T – funkce nástroje** – číselný údaj určuje nástroj, kterým má být obráběno. (Obvykle určuje číslo a polohu nástrojové hlavy, pozici zásobníku nástrojů nebo přímo identifikační kód nástroje.)

- **M – pomocné funkce** – zadávají se jimi technologické příkazy pod adresou M a dvoumístným kódovým číslem (viz příloha)

BLOK



Obr. 5. Struktura programovaného bloku

I když doporučené pořadí adres jednotlivých slov v bloku je N G X Y Z F S T M, moderní řídicí systémy CNC strojů nemají přesně stanovené pořadí slov v blocích. Příkazy jsou zpracovávány podle logických souvislostí, tj. nezávisle na jejich pořadí v bloku (přesto je lépe pořadí v bloku dodržovat pro přehlednost a jednoduchost programu). [1], [2]

2.4 Programování CNC kódu

Podle způsobu zadávání rozměrových slov můžeme programovat v jednotlivých souřadných osách:

- v absolutních hodnotách, kde souřadnice jednotlivých bodů dráhy nástroje jsou udávány k počátku souřadného systému, který je definován na NC stroji
- v přírůstkových hodnotách (inkrementálně), kdy výchozí poloha nástroje před obráběním je přesně definována výchozím bodem a ve vlastním programu se stanoví diference pohybu v jednotlivých souřadných osách v kladném nebo záporném smyslu
- v absolutních i přírůstkových hodnotách, kdy v průběhu programu lze oba způsoby podle potřeby kombinovat [1]

3 CAM SYSTÉMY

Prostorové modely vytvářené v CAD aplikacích představují pouhou základnu pro navazující strojírenskou výrobu. Aby si s těmito informacemi konkrétní výrobní zařízení bez problémů porozumělo, k tomu máme CAM systémy, jež se postarají o vhodný „překlad“ 3D dat do strojům srozumitelné podoby.

3.1 Význam CAM systémů

Návrh požadovaného výrobku může být proveden v sebelepším 3D CAD systému, ovšem pokud je výsledný NC kód pro obráběcí stroje generován ručně, jak se často děje, trochu se tím degraduje přínos počítačové podpory k celému návrhově-výrobnímu procesu. Při ručním vytváření NC kódů se vždy projevuje vliv lidského faktoru, tedy zanášení chyb do kódu, dlouhá doba nutná pro jeho vytvoření, či dokonce neschopnost příslušného programátora vytvořit kód pro tvarově složitější výrobek. S CAM systémy se uživatelé mohou setkat v několika variantách. Jedná se především o samostatné CAM aplikace, které pro svoji funkčnost nepotřebují žádný další software, dále CAM aplikace ve formě zásuvného modulu pro CAD (jako plug-in nebo nadstavba) a nakonec jako velké modulární CAx systémy, kde je CAM jedním z mnoha modulů a pořídí si jej jen ti uživatelé, kteří ho potřebují.

3.2 Přehled CAM systémů na českém trhu

3.2.1 AlphaCAM

AlphaCAM je postaven modulárně od provedení pro jednodušší stroje a nároky ke složitějším. Podporuje přípravu technologie pro obrábění kovu, plastu, skla, kamene nebo dřeva. Na úrovni 2D se může jednat o prosté obrábění 2D kontur, na nejvyšší úrovni od programování strojů s více vřeteny a více osami. Program je rozlišen podle užitých technologií na frézování, soustružení, drátořez, laser (užívá se i pro plamen, plazmu a vodní paprsek). Pro komunikaci s externími konstrukčními systémy slouží různá rozhraní, která jsou

buď standardní součástí AlphaCAMu (např. SolidEdge, SolidWorks, Inventor, AutoCAD), nebo jsou zásuvnými moduly za příplatek (např. Catia, Pro Engineer).

3.2.2 ArtCAM

Tento mladý software pro gravitování a programování tvarově zajímavých modelů, jako například podrážek bot, ornamentů atd., má v současnosti tři modifikace. Řazeno od nejjednodušší a zároveň nejlevnější varianty:

ArtCAM Insignia E – bývá součástí dodávek strojů, jelikož jde o nejlevnější variantu, má určitá omezení.

ArtCAM Insignia – plnohodnotná verze vycházející z 2D reliéfů pro obrobky ze dřeva a ozdobné tabule.

ArtCAM PRO – pracuje ve 2D a ve 3D, jedná se o software vyšší cenové kategorie.

3.2.3 Catia V5

Obrábění v produktu Catia V5 nabízí řešení umožňující výrobním podnikům plánovat, simulovat, a optimalizovat jejich obráběcí procesy. Zařazené NC moduly nabízejí celou řadu flexibilních operací pro vysokorychlostní obrábění (např. soustředné hrubování, frézování v Z-hladinách, pětioké frézování kontur). Vzhledem k vysoké integraci mezi definicí a výpočtem dráhy nástroje, jejím ověřením a vygenerováním může uživatel zvýšit kvalitu své práce vytvořením správného obrobku na první pokus. Catia V5 umožňuje vytvořit vysoký stupeň asociativity mezi geometrií obrobku, obráběcím procesem a zdroji (PPR).

3.2.4 EdgeCAM

Kompletní softwarové CAM řešení jak pro produkční obrábění, tak i pro výrobu tvarových forem a zápustek. EdgeCAM integruje čtyř- a pětiosé plynulé obrábění s tříosým frézovacím prostředím, což umožňuje kombinovat požadované víceosé a tříosé obráběcí strategie. Typickým příkladem je tříosé hrubování a „předdokončení“ následované pěti-

osým obrobením načisto. V nejnovější verzi se objevily funkce automatického rozpoznání otevřených kapes a radiálních otvorů na kuželových nebo válcových stěnách. EdgeCAM rovněž nabízí spolehlivé operace zabraňující kolizím s automatickou kontrolou kolizí.

3.2.5 Pro/Engineer

Modulární konstrukční systém Rpo/Engineer disponuje také několika moduly pro podporu NC obrábění:

Expert Machinist Option – 2,5osé frézování prizmatických součástí a tříosé plošné i objemové frézování. Zahrnuje moduly Vericut a Pro/NC G-Post.

Production Machinist Option – zahrnuje Expert Machinist Option a rozšiřuje jej o podporu HSC do 3,5 os, dvou a čtyřoké soustružení a dvou a čtyřoké řezání drátem. Obsahuje také plošný modelář Při/Surfaře.

Complete Machining Option – rozšiřuje funkcionalitu Production Machinist Option na pětioké frézování a podporuje řízení obráběcích kombinovaných center.

NC Verification Option – simulace NC kódu, umožňuje export do formátu STL, porovnávání modelů s množinou bodů (CMM) a základní měřicí techniky.

NC Optimization Option – zahrnuje NC Verification Option, podporuje obrábění speciálními nástroji, optimalizuje posuvy a otáčky podle řezných podmínek a možností nástroje.

NC Simulation Option – rozšiřuje funkcionalitu NC Optimization Option o reálné kinematické simulace pracovního prostoru obráběcího stroje, kontrolu kolizí atd.

3.2.6 SolidCAM

Obráběcí 2D/3D CAM systém pro programování CNC strojů SolidCAM pracuje jako přídatný modul pro CAD systémy Autodesk Inventor a SolidWorks. Nabízí úplné řešení pro souvislé řízení dvouosých až pětiosých obráběcích strojů a je určen především pro třískové obrábění a elektroerozivní drátové řezání. Modulární architektura programu vede k následujícímu funkčnímu rozdělení:

Frézování – 2D (2,5osé) obrábění a 3D (tříosé) obrábění.

Soustružení – běžné dvouosé soustružení anebo soustružnicko-frézovací operace.

Drátové řezání – dvouosé i čtyřoké operace s vedením drátku podél dvou rozdílných profilů.

Automatizace – automatická detekce geometrie a generování drah nástrojů.

3.2.7 SurfCAM

SurfCAM umožňuje obrábění 2D/3D CAD modelů od hrubovacích operací přes dokončovací operace až po zbytkové obrábění, ověření dráhy nástroje v SurfCAM Verify a následné přeložení dráhy nástroje pro daný stroj (drátořez; soustruh; 2,5 až pětioká frézka s různými řídicími systémy). Kromě technologické části CAM nabízí možnosti přímého modelování a následné úpravy modelů (vytvořených i převzatých z jiných CAD systémů). V produktu SurfCaM Velocity a vyšších verzích je k dispozici technologie TrueMill od americké firmy SurfWare, která přináší vylepšení v oblasti třískového obrábění, takže je možné efektivně řídit překrytí nástroje s dodržением konstantního úhlu jeho styku s odebíraným materiálem, s čímž nedochází k přetěžování nástroje.

3.2.8 Kovoprogram

Český CAM systém Kovoprogram slouží k přípravě programů pro obrábění na NC a CNC obráběcích strojích a v současné době je dostupný ve třech základních modulech:

Třískové obrábění – soustružení s vodorovnou i svislou osou včetně naháněných nástrojů.

Třískové obrábění – 2,5D frézování a vrtání.

Drátové řezání – obrábění na elektroerozivních vyřezávacích strojích.

Možnosti CAM systému jsou vzhledem k jejich velké modularitě skutečně široké. Každá firma proto musí vždy pečlivě zvážit, který obor je pro ni nejdůležitější, a podle toho konfiguraci budoucího řešení vhodně zvolit. Stejně tak je nezbytně nutné nechat si od prodejce předvést, jak jednotlivé hlavní funkce CAM systému fungují, přičemž důležitou roli bude při výběru nakonec zcela jistě hrát také pořizovací cena. [3]

4 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE

Frézy jsou několikařbité nástroje, jejichž řbity jsou uspořádaný na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše, u řelních řéz také na řelní ploše.

4.1 Dělení řézovacích nástrojů

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění řézování ve strojírenství, a k velkému rozsahu technologie řézování, se v současné době používá mnoho typů řéz. Frézy můžeme rozdělit do jednotlivých skupin podle těchto hledisek:

Podle nástrojového materiálu řbitů:

- frézy z rychlořezných ocelí

Nejčastěji používají oceli 19 802, 19 824, 19 830, 19 856. Výhodou řéz z RO je jejich poměrně snadná výroba a to, že se snadno ostří a mají i celkem nízké pořizovací náklady. Jejich hlavní nevýhodou je menší produktivita řézování a potřeba použití řezné kapaliny.

- frézy s řbitem ze slinutých karbidů

Postupně nahrazují jednotlivé druhy řéz z rychlořezných ocelí. Pro velké úběry třísek se téměř výhradně používají nástroje se slinutým karbidem. Pro řézování ocelí se nejvíce používají SK P 20, P 30, P 40, pro materiály s vyšší houževnatostí a pevností M 10, M 20, M 30. Pro řézování litiny a neřezných kovů se používá SK K 10. U říslicově řízených strojů se uplatňují povlakované destičky a SK na bázi TiC, Ni, Mo.

- frézy s řbitem z řezné keramiky
- frézy s řbitem z kubického nitridu bóru
- frézy s řbitem z diamantu

Podle tvaru zubů:

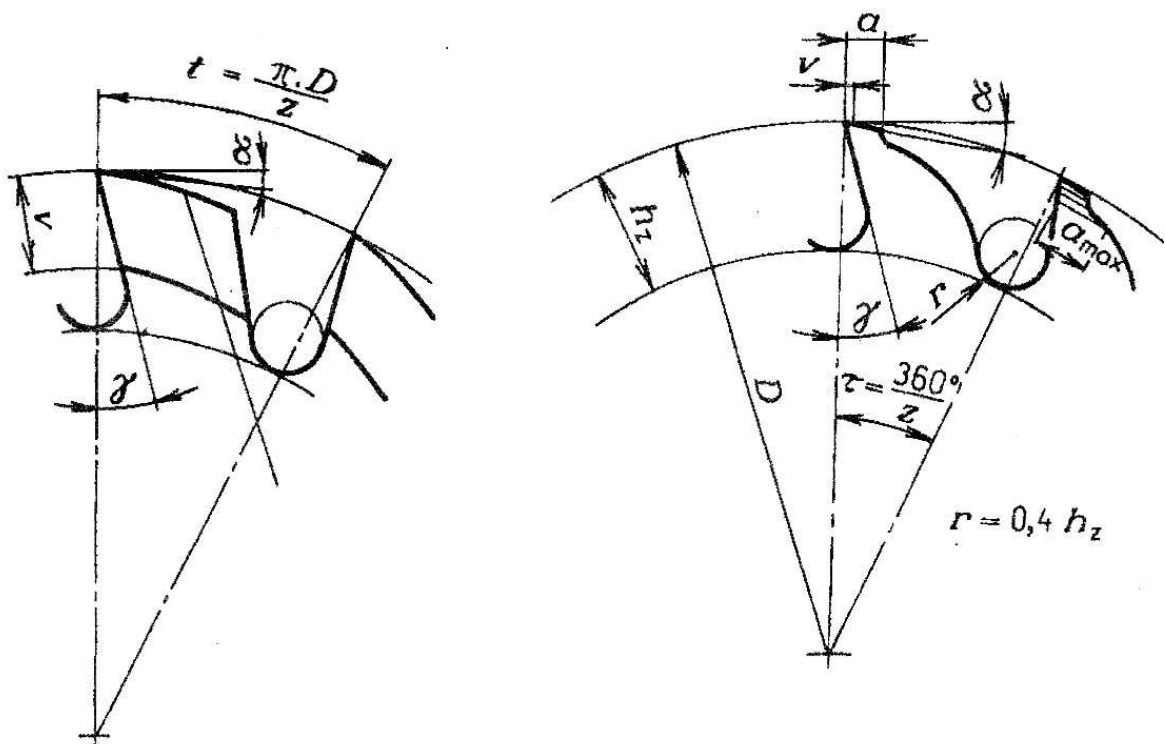
- frézy se zuby řézovanými.

Frézy se zuby frézovanými mají vyfrézované tvary zubových mezer. Čelo i hřbet zubů tvoří rovinné plochy. Úzká fazetka na hřbetě o šířce 0,5 až 2 mm zpevňuje břit.

Frézy s frézovanými zuby se ostří na hřbetě, čímž se mění profil zubu.

- frézy se zuby podsoustružovanými

Mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimédovy spirály, čelo zubu je tvořeno rovinnou. Předností fréz s podsoustružovanými zuby je, že se jejich profil při ostření na čele mění nepatrně, takže lze využít značnou část tloušťky zubu. Toto se využívá zvláště u tvarových fréz, které jsou výrobně nákladné.



Obr. 6. Zuby fréz podsoustružované, frézované

Podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy:

- se zuby přímými
- se zuby ve šroubovice levé nebo pravé.

Výhodou uspořádání zubů ve šroubovici je plynulost záběru v důsledku většího počtu zubů v záběru a postupného vnikání zubu do záběru podél řezné délce nástroje. Sklon šroubovice se volí 10 až 45°, někdy i více.

Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy:

- jemnozubé
- polohrubozubé
- hrubozubé

Pro klidný chod frézy má být počet zubů takový, aby současně řezaly minimálně dva zuby. Jemnozubé frézy mají počet zubů větší a slouží pro obrábění načisto. Polohrubozubé se používají pro středně velké úběry, hrubozubé frézy pro velké úběry při hrubování.

Podle konstrukčního uspořádání se rozlišují frézy:

- celistvé, které mají těleso a zuby z jednoho kusu rychlořezné oceli, popř. u malých nástrojů ze slinutého karbidu
- s vkládanými řeznými destičkami z RO nebo SK
- dělené a soustružené, složené ze sady fréz upnutých na frézovacím trnu k obrábění členitých povrchů jedním záběrem
- s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou mechanicky připevňovány k tělesu frézy (v současné době nejvíce používané)

Podle geometrického tvaru se dělí na:

- válcové nebo nástrčné frézy nebo na frézy se stopkou, u nichž jsou zuby pouze na válcové ploše
- čelní válcové frézy nástrčné nebo se stopkou, které mají navíc zuby na čelní ploše
- kotoučové frézy s přímými zuby nebo zuby ve šroubovici, střídavě levé a pravé, se zuby pouze na válcové ploše nebo na jedné, popř. obou čelních plochách
- úhlové frézy jednostranné nebo dvoustranné
- tvarové frézy

Z technologického hlediska se frézy dělí na:

- frézy pro frézování rovinných ploch

Nejčastěji se používají válcové frézy, čelní frézy a frézovací hlavy.

- frézy pro frézování tvarových ploch

Frézy na T-drážky, kopírovací frézy, na drážky pro pera.

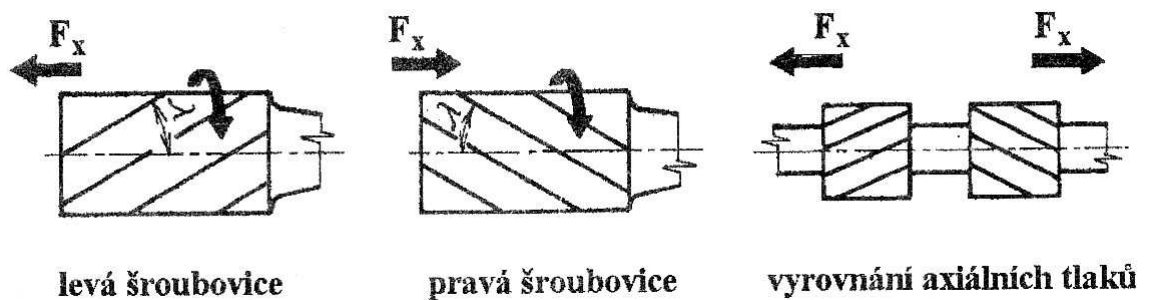
Podle způsobu upnutí rozlišujeme:

- nástrčné frézy
- frézy s válcovou stopkou
- frézy s kuželovou stopkou

Podle smyslu otáčení:

- pravořezné
- levořezné

Pravořezná fréza se otáčí ve směru hodinových ručiček při pohledu od vřetene. Aby axiální řezný tlak směřoval od vřetene, řezná hrana pravořezných fréz má obvykle levou šroubovici a naopak. U složených fréz má jedna fréza pravou, druhá levou šroubovici, axiální síly se tedy vyruší. [1], [2]



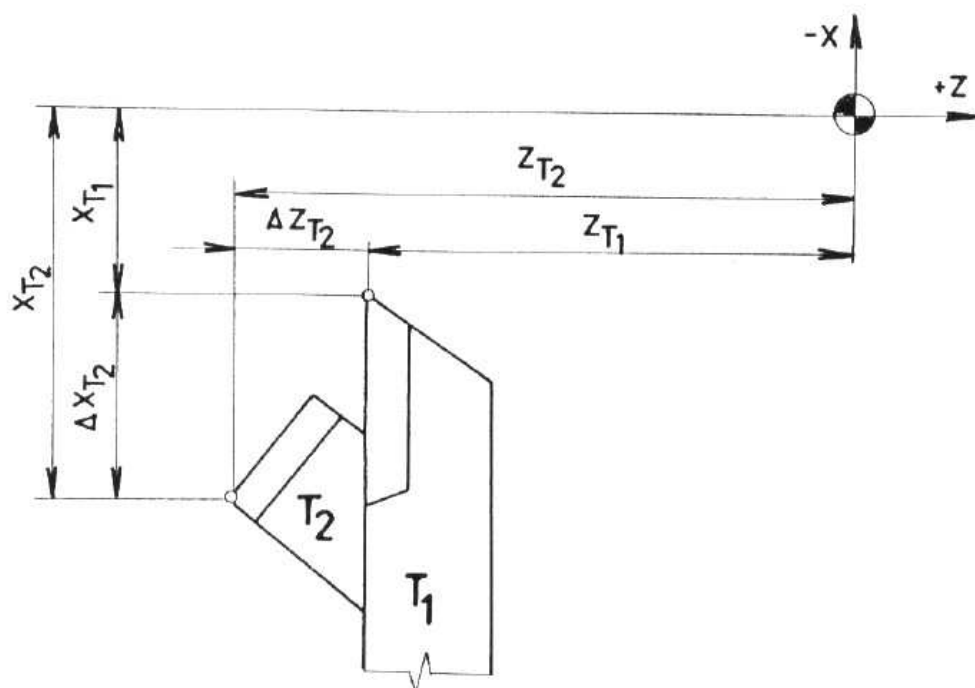
Obr. 7. Frézy rozdělené podle smyslu otáčení

4.2 Korekce

Vždy když jsme nuceni během obrábění vyměnit nástroj, musíme také provést korekci nového nástroje. Korekce se vztahuje k prvnímu nástroji, který byl použit a slouží ke kompenzaci poloměru špičky soustružnického nože, nebo průměru frézy. U všech nástrojů je nutno zjistit rozdíly vůči základnímu nástroji. Vztahy pro výpočet korekcí:

$$\begin{aligned}\Delta X_{T_n} &= X_{T_1} - X_{T_n} \\ \Delta Z_{T_n} &= Z_{T_1} - Z_{T_n}\end{aligned}\quad (1)$$

Rozdíly korekcí se zapisují pomocí funkce M6 vždy k příslušnému nástroji. Po obrobení prvního kusu se zjistí rozdíly mezi rozměry požadovanými a skutečnými a přičtou se s ohledem na znaménka k původním hodnotám korekcí použitých nástrojů. [1]



Obr. 8. Korekce nástroje [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘÍPRAVA VZORKU

K hodnocení drsnosti obrobené plochy jsem si vybral nejjednodušší možnou metodu, která spočívá v obrobení zkušební vzorku. Následným měřením drsnosti obrobené plochy se zjistí nejvhodnější technologické podmínky, v závislosti na použitém nástroji, pro výrobu součástí ze zkoušeného materiálu.

5.1 Konstrukční materiály

Konstrukční materiály jsou materiály, ze kterých jsou vyrobeny jednotlivé části konstrukce modelu letadla. Balsa na žebra křídla, smrkové dřevo na nosníky křídla, ocel na spojovací dráty křídla a na podvozek, polyetylén použitý na kabinu. Pro výrobu zkušební vzorku byla použita balsa, a to z důvodu, že vyráběné modely letadel jsou převážně celobalsové konstrukce. Pevnější a zároveň těžší materiály se používají jen na zvlášť namáhané díly.

5.1.1 Balsa

Balsa je v modelářství nejvíce používaným materiálem. Ke stavbě modelů se začala používat kolem roku 1920. Používá se i při stavbě velkých letadel.

Vědecký název je ochroma lagopus. Přírodní výskyt je v deštných pralesech střední a jižní Ameriky (Guatemala, Bolívie, Ecuador). Balsové stromy rostou v přírodě v malých skupinkách daleko od sebe. V Equadoru je známa pod jménem boya. Roste velmi rychle. Za 6 měsíců po vyklíčení má kmen průměr kolem 3 cm a je vysoký asi 30 cm. Kácí se po 6 - 10 letech, to má 18 - 25 m a kmen má průměr 30 - 110 cm. Pokud roste volně, dosahuje průměr kmene až 2 m. Existují ještě lehčí dřeva, ale ta nemají vlastnosti vhodné ke zpracování. Obchod s balsou začal za I.světové války, kdy bylo třeba nahradit korek.

Tab. 1. Srovnání balsy s jinými dřevy

materiál	hustota [kg/m ³]	pevnost ve vzpěru [%]	pevnost v ohybu [%]	pevnost v tlaku [%]
balsa	130	72	70	75
balsa	160	100	100	100
balsa	225	156	161	149
lípa	420	261	288	288
smrk	450	230	260	289
borovice	450	222	277	288
Douglaska	480	241	291	341
ořech	590	301	506	512
dub	770	295	430	366
bílý ořech	800	379	638	514

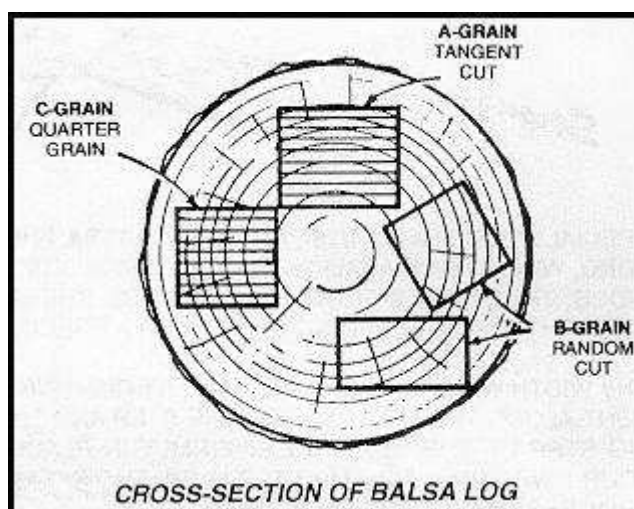
Údaje jsou vztaženy k hodnotám zjištěným u balsy střední hustoty 160 kg/m³.

Druhy prkének

Prkénka balsy se vyrábí ve standardním rozměru 1000 x 100 mm nebo 1500 x 100 mm a tloušťkách 0,6, 0,8, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20 a 30 mm.

Při výběru prkének je stejně důležitá jak hustota let a hmotnost, tak i směr let. Směr let ovlivňuje tuhost nebo ohebnost prkénka více než hustota let.

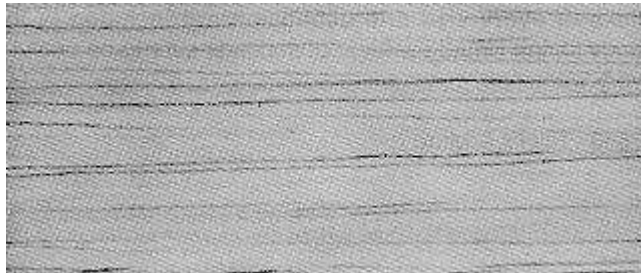
Například, když je prkénko řízáno tak, že léta prochází šířkou prkénka (tangenciální řez A), bude prkénko v příčném směru dobře ohebné. Takové prkénko bude možno po namočení stočit do ruličky aniž by prasklo. Naopak radiální řez (C) dává prkénka tuhá, která se při ohybu zlomí. Řezy B dávají prkénka s kombinací vlastností řezu A a C. Příčný řez (B) je nejčastější.



Obr. 9. Řez kmenem

Tangenciální řez

Prkénko se snadno ohýbá - je málo tuhé. Používá se na potah zakulacených trupů, potah náběžných hran křídla, plaňkované trupy, tvarování trubek. Nepoužívá se pro rovné povrchy. Nepoužívá se pro rovné ocasní plochy, ploché trupy atp. Poznává se podle toho, že léta vystupující na povrch tvoří dlouhé nepřerušované linie.



Obr. 10. A-grain - tangenciální řez

Radiální řez

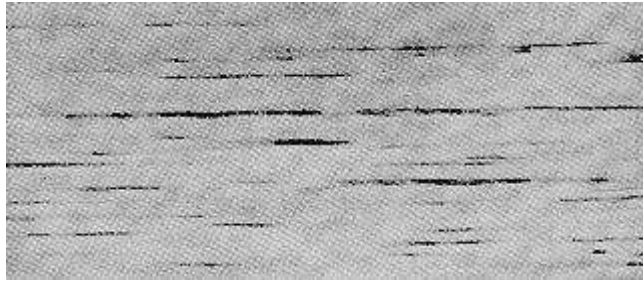
Jeví se jako nejstrakatější (C). Je tuhá a použitá na správném místě umožňuje postavit lehký pevný model. Nehodí se pro zaoblené tvary.



Obr. 11. C-grain - radiální řez

Ostatní

Ostatní řezy (B) mají něco z vlastností tangenciálního řezu, něco z řezu radiálního. Linie let je kratší než u tangenciálního řezu (A). Používá se na ploché trupy, odtokové a náběžné hrany, koncové oblouky křidel atp.



Obr. 12. B-grain

Přehled balsy

- **Balsa lehká 70 - 120 kg/m³**
popis: Balsové dřevo nižší hustoty.
použití: Používá se v leteckém modelářství.
- **Balsa střední 120 - 200 kg/m³**
popis: Balsové dřevo střední hustoty.
použití: Používá se v leteckém modelářství.

Vlastnosti materiálu:

pevnost v tahu: od 8 do 20 MPa

pevnost v tlaku: od 8 do 18 MPa

pevnost v ohybu: od 16 do 22 MPa

pevnost ve smyku: od 15 do 25 MPa

modul pružnosti v tahu: od 1000 do 1700 MPa

5.1.2 Překližka

Překližka se používá u více namáhaných dílů nebo u dílů, u nichž se vyžaduje tuhost. Také v místech, kde je třeba rozvést do konstrukce nějakou sílu - ukotvení podvozku, vzpěry atp. V zásadě se rozlišují běžné třívrstvé překližky a překližka letecká. Překližky se

vyrábějí v plátech rozměrů 2500 x 1200, 2500 x 1700 mm a podobných. V modelářských prodejnách můžeme koupit menší desky. Podle dřeva, ze kterého je překližka vyrobena, se rozlišují překližky: březové, topolové. Vyrábí se v tloušťkách 0,4 - 8 mm. [6]



Obr. 13. Balsa standard, finská březová překližka

5.2 Frézka HWT C-442 CNC Profi

Frézka HWT je CNC frézka pro frézování měkkých materiálů jako je dřevo, plasty, neželezné kovy. Obráběcí proces je řízen počítačem podle NC programu.

Frézka disponuje obráběcím prostorem v ose A 400 mm, v ose Y 400 mm a v ose Z 200 mm. Rychlost posuvu je max. 3000 mm/min, programovatelný skok je 0,00625 mm, celková přesnost udávaná výrobcem je $\pm 0,02$ mm. Otáčky vřetene frézky se pohybují v rozmezí 2000 – 25000 ot/min. Výkon elektromotoru je 1000 W. Maximální zatížení stolu může být 20 kg. Pojezdy jsou poháněny krokovými motory s kuličkovými šrouby. Na všech osách jsou krokové kalibry pro definování referenčních bodů. Pro upnutí nástroje jsou zde kleštiny RE-16 které umožňují upnout průměr od 1 do 10 mm.



Obr. 14. Frézka HWT C-442 CNC Profí

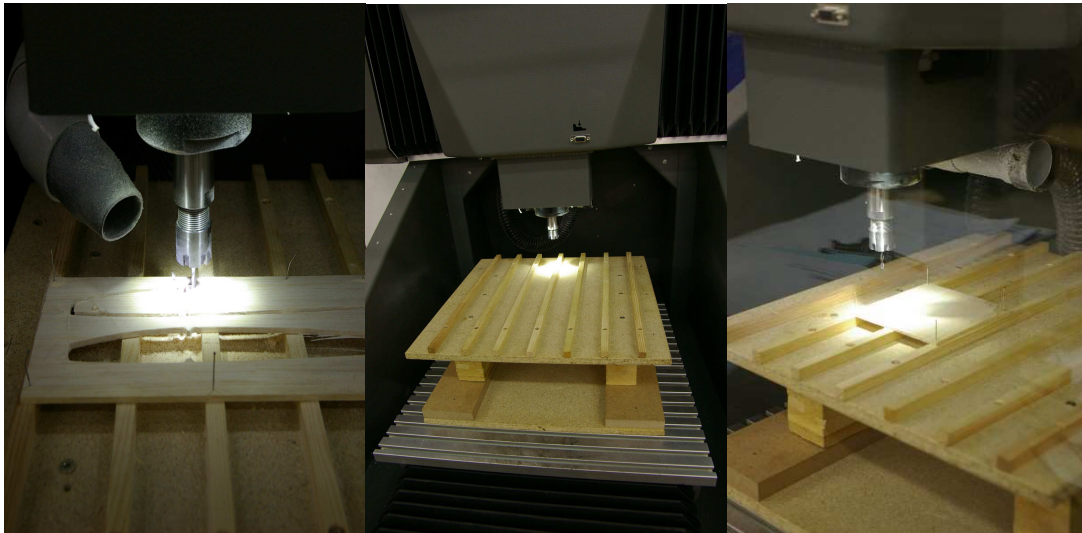
5.3 Upínací přípravek

Při frézování profilů z balzových nebo překližkových prkének je zapotřebí dostatečné upínací síly, ale je třeba také zajistit, aby bylo prkénko prořezáno v celé své tloušťce a zároveň aby došlo k minimálnímu poškození povrchu upínky.

5.3.1 Výroba přípravku

Rozměry přípravku jsem volil co možná největší k možnostem a velikosti upínacího lože frézky, které má rozměry 400 x 400 mm. Přípravek je složen ze dvou desek z dřevotřísky o rozměrech 380 x 380 x 10 mm, jejichž vzdálenost od sebe je vymezena dvěma hranoly ze smrkového dřeva o rozměrech 150 x 60 x 120 mm. Tyto hranoly jsou k oběma deskám přišroubovány vruty, což zaručuje dostatečnou tuhou konstrukci. Spodní deska je upnuta k loži frézky dvěma šrouby. Minimální vzdálenost mezi vřetenem frézky a ložem frézky je 120 mm, proto je výška smrkových hranolů zvolena tak, aby vřeteno stroje v ose Z bez problému dosáhlo na vrchní upínací desku. Z důvodu snahy o co nejmenší poškození upínací desky při frézování jsem na povrch vrchní desky přišrouboval rošt tvořený

z pravidelně rozmístěných smrkových nosníků o rozměrech 10 x 10 x 380 mm. Ty vyvozu-
jí i dostatečné podepření prkének a při frézování nedochází k jejich prohýbání. V případě
jejich opotřebení je výměna velice snadná, není nutno přípravek ani demontovat z lože
stroje. Obráběné prkénka jsou potom k těmto nosníkům připevněny pomocí špendlíků, které
zaručují dostatečnou upínací sílu vzhledem k posuvu stroje.



Obr. 15. upínací přípravek

5.4 Postup výroby a popis vzorku

Zkušební vzorek je čtverec o rozměrech 20 x 20 mm a tloušťkách 5 mm a 6 mm. Tvar vzorku a rozmístění vzorků vedle sebe jsem nakreslil v programu AutoCAD 2002 a poté přenesl do programu SurfCAM který už na základě našich požadavků (např. typ nástroje, rychlost posuvu, hloubku třísky apod.) vygeneruje dráhu nástroje. Tuto dráhu potom využívá řídicí systém frézky. Výhodou tohoto postupu je možnost doladění řídicího programu pomocí simulace obrábění, kdy na obrazovce vidíme pohyb nástroje. Díky této simulaci můžeme zabránit případnému koliznímu stavu a tím zabráníme poškození nástroje nebo upínky.



Obr. 16. Zkušební vzorek

5.4.1 Měření drsnosti obrobené plochy

Povrch obrobené plochy lze identifikovat celou řadou charakteristik, z nichž pro praxi mají rozhodující význam parametry drsnosti povrchu. Výsledná drsnost na obrobené ploše závisí na mnoha technologických faktorech jako jsou řezné podmínky, geometrie břitu, vlastnosti obráběného materiálu, stabilita řezného procesu apod.

Drsnost povrchu jsou rozměrově nepatrné nepravidelnosti povrchu (vyvýšeniny, prohlubně, důlky, rýhy apod.). Drsnost posuzujeme podle druhu, vzhladu a hloubky stop, které zůstanou na povrchu součásti po nástroji při obrábění. Hodnotí se v řezech kolmých a podélných vzhledem k pohybu nástroje.

5.4.2 Charakteristiky drsnosti povrchu a tvaru profilu (ČSN EN ISO 4287)

- **Ra - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu:**

aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. U povrchů členitých, porušených póry selhává a vede k omylům. Měřítkem platnosti charakteristiky Ra bývá hodnota šikmosti posuzovaného profilu Rsk . Charakteristika Ra neumožňuje představu o tvaru profilu povrchu, přesto je široce používána.

Lze totiž dokázat, že povrchy se stejnou hodnotou R_a se mohou při funkčním zatížení chovat zcela rozdílně.

- **Rz - největší výška profilu:**

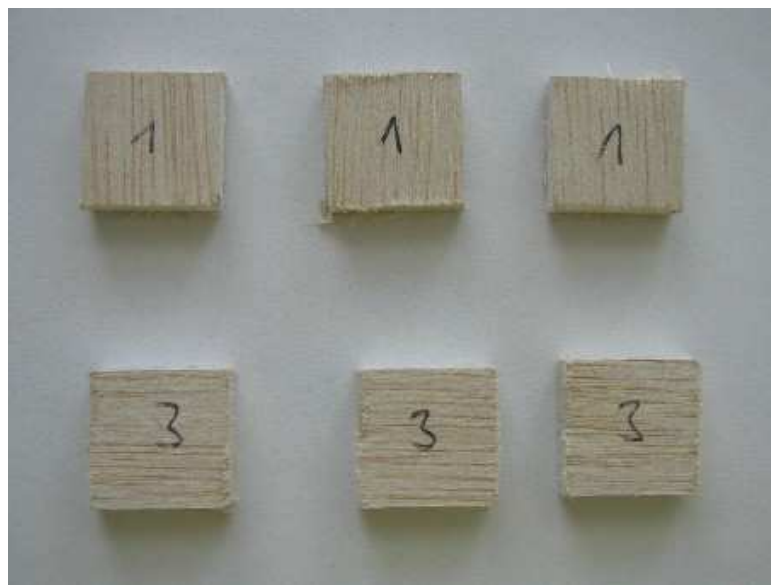
součet výšky Z_p největšího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. V některých případech skýtá zkreslenou informaci o profilu povrchu a může být ovlivněna subjektivní chybou. Je vhodná pro hodnocení hrubých profilů. [4]

5.4.3 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu získané frézováním

Drsnost povrchu obrobené plochy byla měřena přístrojem Mitutoyo SJ-301. Měření bylo provedeno na dráze 0,8 mm rychlostí 0,5 mm/s. Přístroj vždy provedl 3 měření z nichž každé na dráze 0,8 mm a výsledné hodnoty R_a a R_z jsou průměrné hodnoty z těchto měření. Při měření jsem také získal křivku profilu.

Zkušební vzorek jsem měřil po celém obvodu, tedy dvakrát ve směru vláken a dvakrát ve směru kolmém na vlákna. Pokaždé kolmo na pohyb nástroje. Vždy byly vyrobeny 3 zkušební vzorky za stejných technologických podmínek.

Podmínky měření: $\lambda_c = 0,8$ mm, $N = 3$, rychlost měření 0,5 mm/s



Obr. 17. Zkušební vzorky

Tab. 2. Technologické podmínky při obrábění

číslo vzorku	tloušťka mat.	otáčky [1/min]	posuv [mm/min]	průměr frézy [mm]	počet břitů frézy	hloubka třísky [mm]
1	6	20000	400	3	2	3
2	6	20000	800	3	2	3
3	6	15000	800	3	2	3
4	5	20000	400	3	2	5
5	5	20000	400	3	2	2,5
6	5	20000	800	3	2	2,5
7	5	20000	400	3	1	2,5
8	5	20000	800	3	1	2,5
9	6	20000	400	3	1	3
10	6	20000	800	3	1	3
11	6	20000	400	2	3	3
12	6	20000	800	2	3	3
13	5	20000	400	2	3	2,5
14	5	20000	800	2	3	2,5

Drsnost povrchu v závislosti na typu nástroje a posuvu***1. rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno po směru vláken***

použité vzorky: 1, 2, 9, 10, 11, 12

nástroj typ1: fréza průměr 3 mm, počet břitů 1

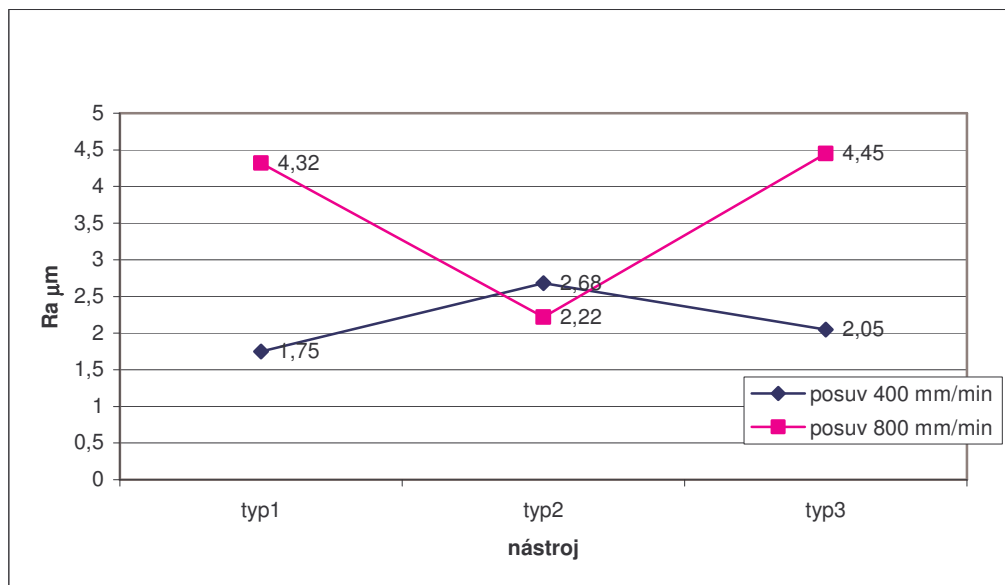
nástroj typ2: fréza průměr 3 mm, počet břitů 2

nástroj typ3: fréza průměr 2 mm, počet břitů 3

hloubka třísky: 3 mm

Tab. 3. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno po směru vláken

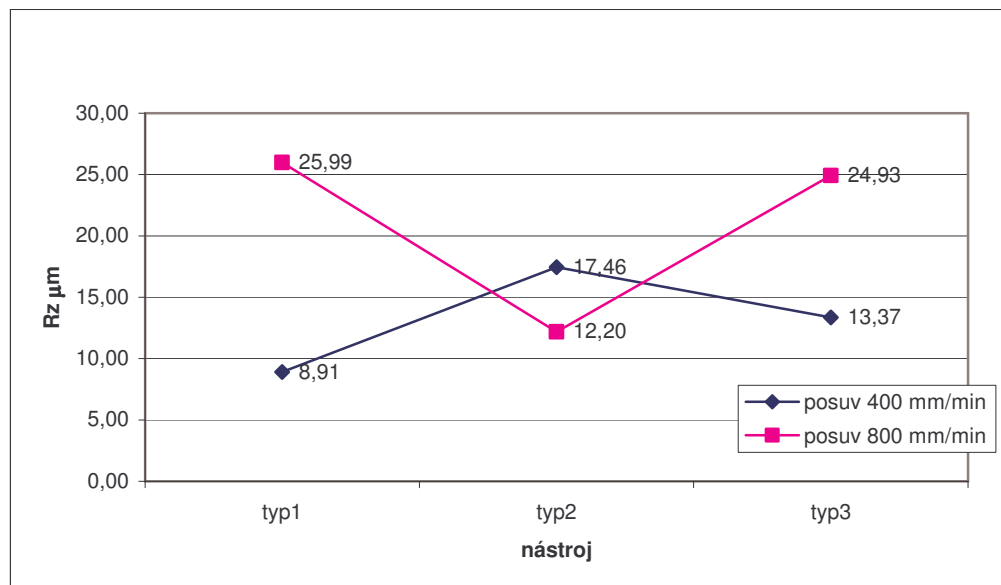
posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	1,75	2,68	2,05
posuv 800 mm/min	4,32	2,22	4,45



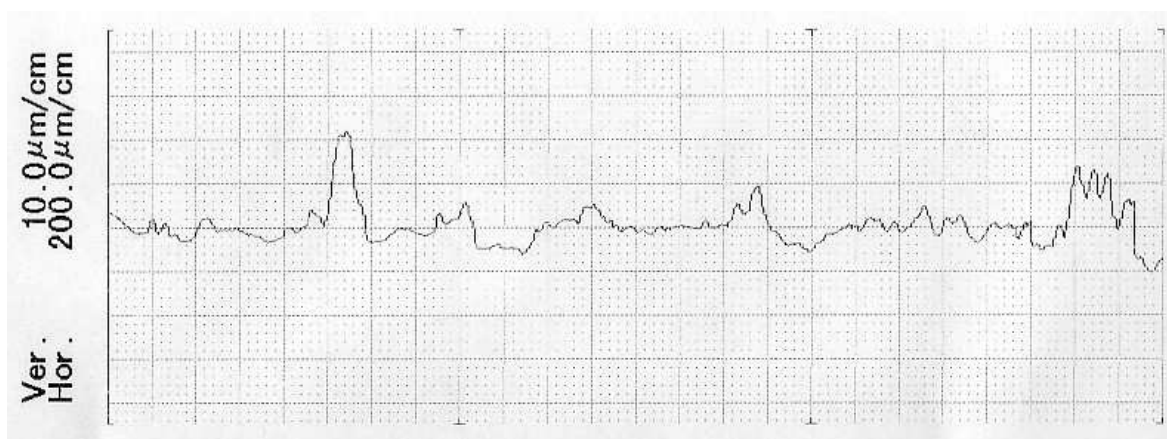
Obr. 18. Graf záv. drsnosti R_a na typu nástroje a posuvu k tab. 3.

Tab. 4. Průměrná drsnost R_z vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno po směru vláken

posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	8,91	17,46	13,37
posuv 800 mm/min	25,99	12,20	24,93



Obr. 19. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 4.



Obr. 20. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 12

2. rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno po směru vláken

použité vzorky: 5, 6, 7, 8, 13, 14

nástroj typ1: fréza průměr 3 mm, počet břitů 1

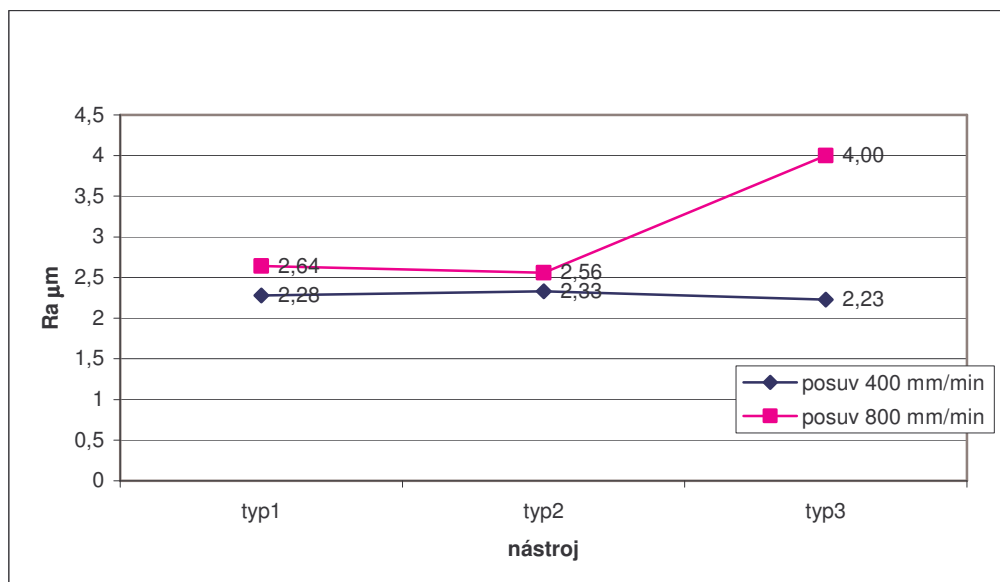
nástroj typ2: fréza průměr 3 mm, počet břitů 2

nástroj typ3: fréza průměr 2 mm, počet břitů 3

hloubka třísky: 2,5 mm

Tab. 5. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno po směru vláken

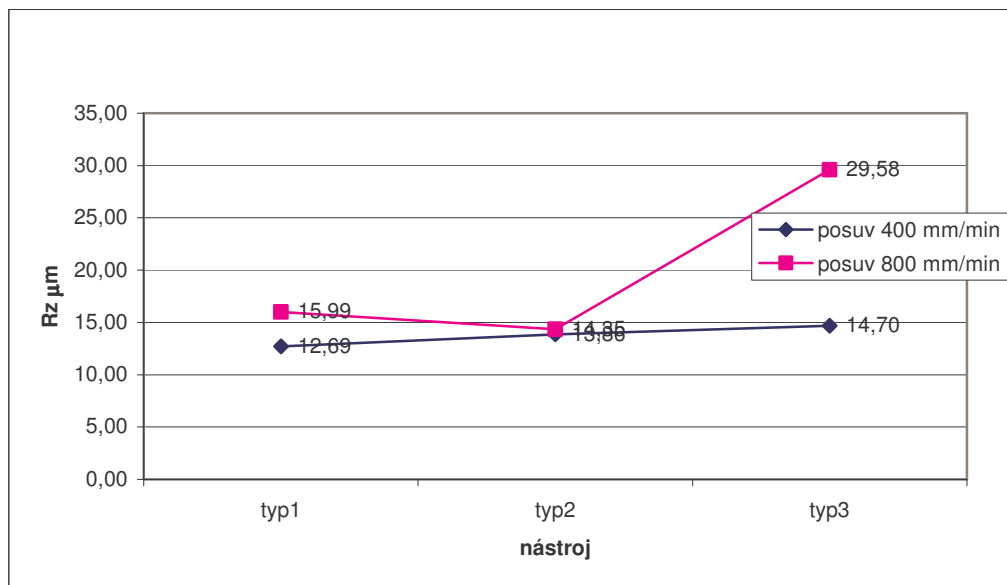
posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	2,28	2,33	2,23
posuv 800 mm/min	2,64	2,56	4,00



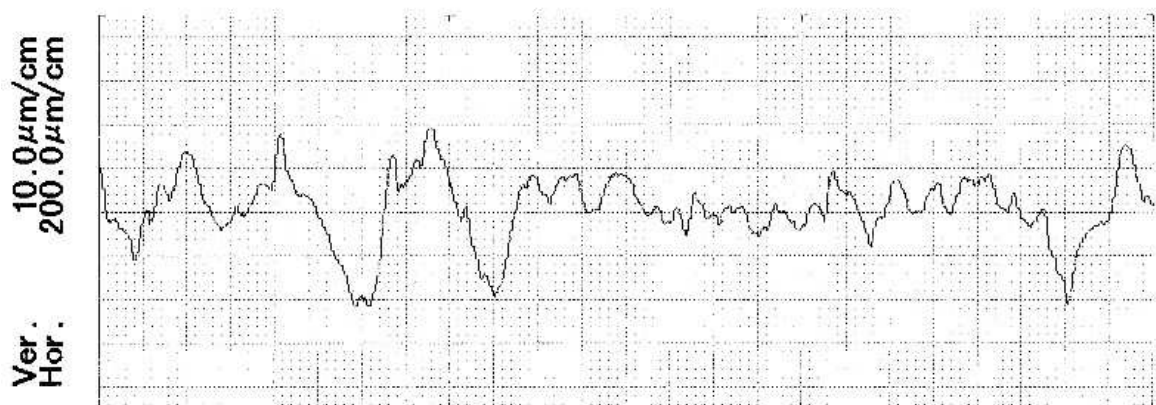
Obr. 21. Graf záv. drsnosti Ra na typu nástroje a posuvu k tab. 5.

Tab. 6. Průměrná drsnost Rz vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno po směru vláken

posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	12,69	13,86	14,70
posuv 800 mm/min	15,99	14,35	29,58



Obr. 22. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 6.



Obr. 23. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 13

3. rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno kolmo na směr vláken

použité vzorky: 1, 2, 9, 10, 11, 12

nástroj typ1: fréza průměr 3 mm, počet břitů 1

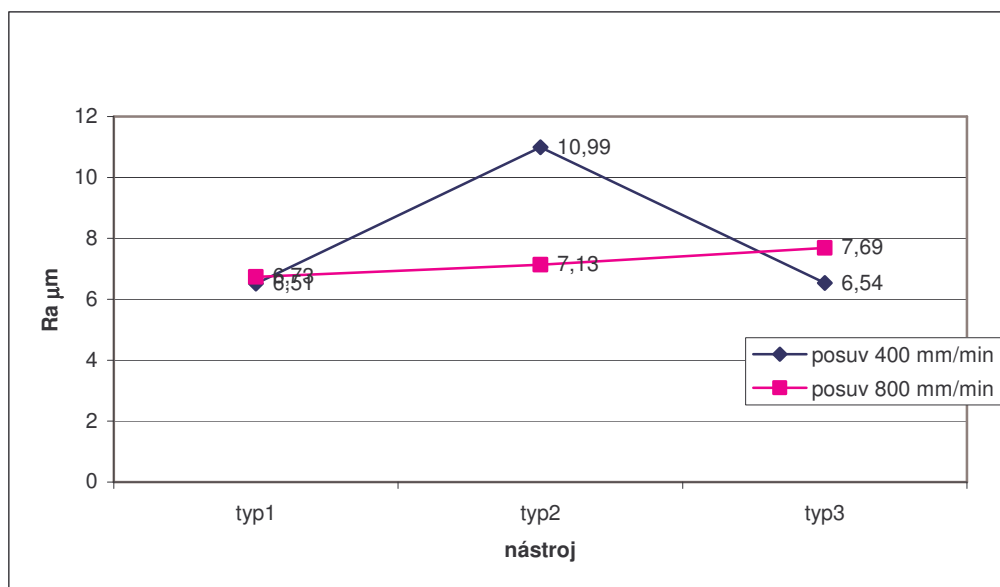
nástroj typ2: fréza průměr 3 mm, počet břitů 2

nástroj typ3: fréza průměr 2 mm, počet břitů 3

hloubka třísky: 3 mm

Tab. 7. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno kolmo na směr vláken

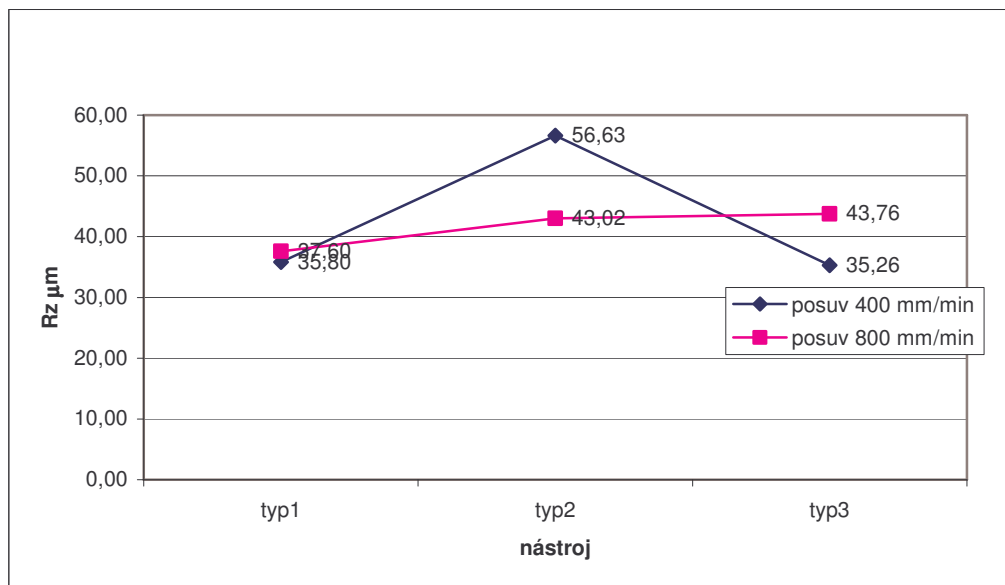
posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	6,51	10,99	6,54
posuv 800 mm/min	6,73	7,13	7,69



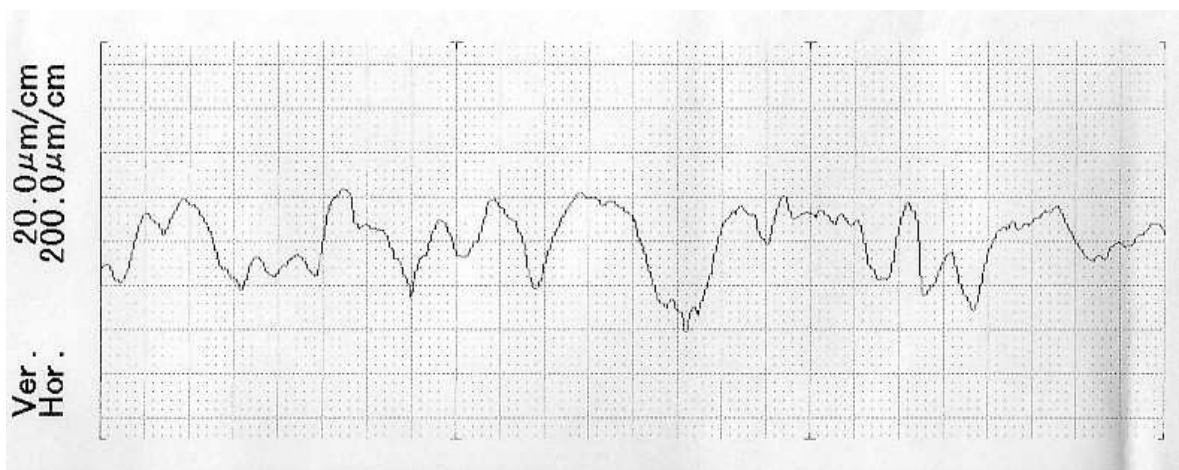
Obr. 24. Graf záv. drsnosti Ra na typu nástroje a posuvu k tab. 7.

Tab. 8. Průměrná drsnost Rz vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno kolmo na směr vláken

posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	35,80	56,63	35,26
posuv 800 mm/min	37,60	43,02	43,76



Obr. 25. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 8.



Obr. 26. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 9

4. rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno kolmo na směr vláken

použité vzorky: 5, 6, 7, 8, 13, 14

nástroj typ1: fréza průměr 3 mm, počet břitů 1

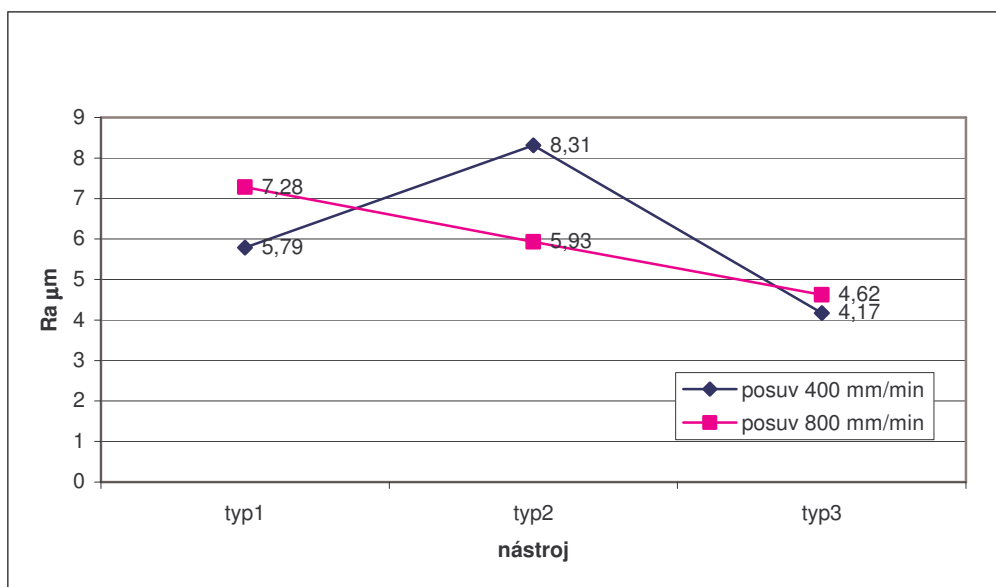
nástroj typ2: fréza průměr 3 mm, počet břitů 2

nástroj typ3: fréza průměr 2 mm, počet břitů 3

hloubka třísky: 2,5 mm

Tab. 9. Průměrná drsnost R_a vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno kolmo na směr vláken

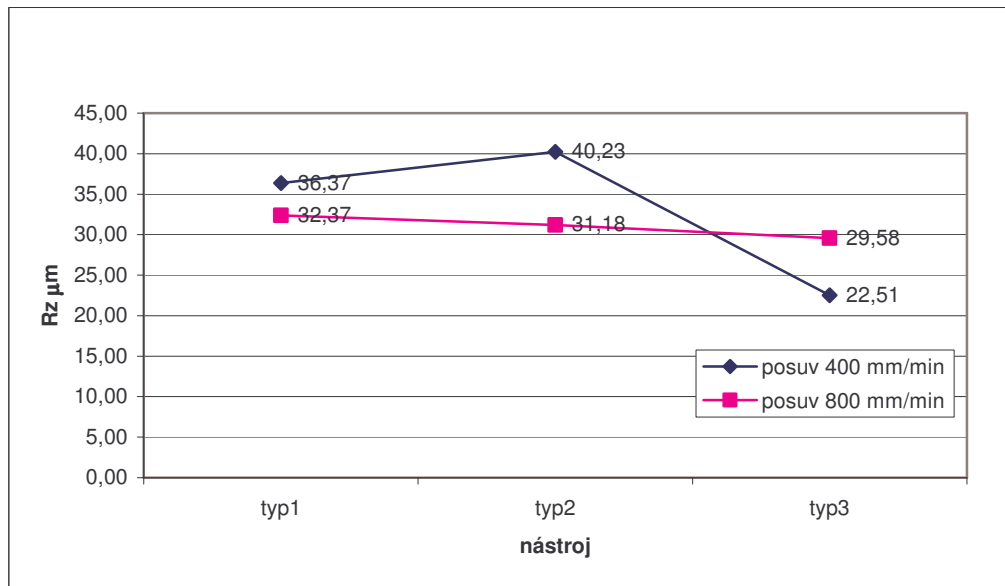
posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	5,79	8,31	4,17
posuv 800 mm/min	7,28	5,93	4,62



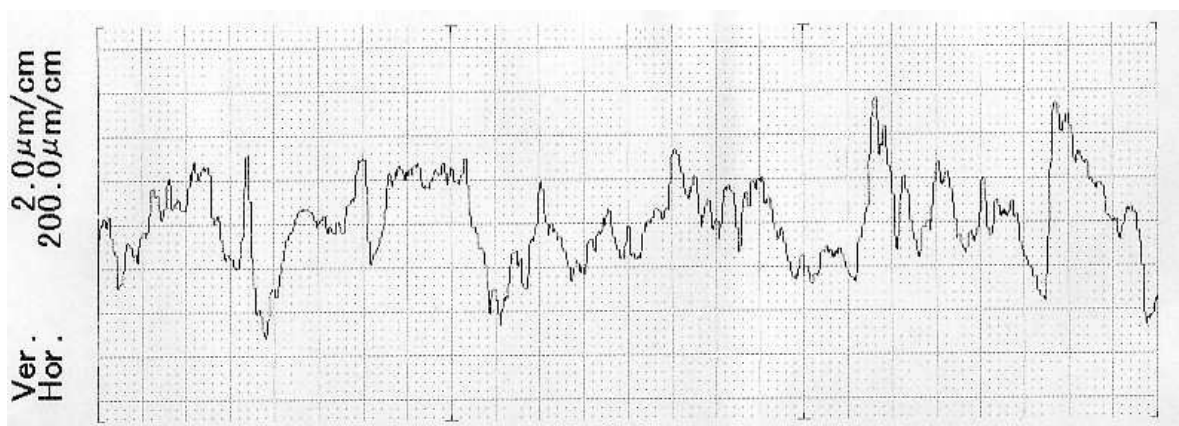
Obr. 27. Graf záv. drsnosti R_a na typu nástroje a posuvu k tab. 9.

Tab. 10. Průměrná drsnost R_z vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno kolmo na směr vláken

posuv	drsnost μm		
	typ1	typ2	typ3
posuv 400 mm/min	36,37	40,23	22,51
posuv 800 mm/min	32,37	31,18	29,58



Obr. 28. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 10.



Obr. 29. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 5

5.5 Laser LS700 30W

Je to kompaktní stroj pro značení, gravitování a řezání nekovových materiálů jako jsou: plasty, dřevo, akryláty, lakované kovy, sklo, kůži apod. Stroj s CO₂ laserovou gravírkou o vlnové délce 10,6 μm a výkonem 30W je schopen značit upomínkové předměty, orientační štítky, poháry, trofeje, vyrábět dřevěné a papírové ozdoby, vyrobí také štítky z plastů a eloxovaného hliníku, je vhodný také pro značení láhví a sklenic. Stroj má rozměry 760 x 440 x 725 mm a hmotnost 43 kg. Velikost pracovní plochy je 460 x 305 mm, ma-

ximální výška značeného předmětu je 147 mm. Snadná je také příprava grafiky na PC v rastrovém nebo vektorovém režimu. Podporující software se jmenuje GravoStyle G5, CorelDRAW a další grafické programy.



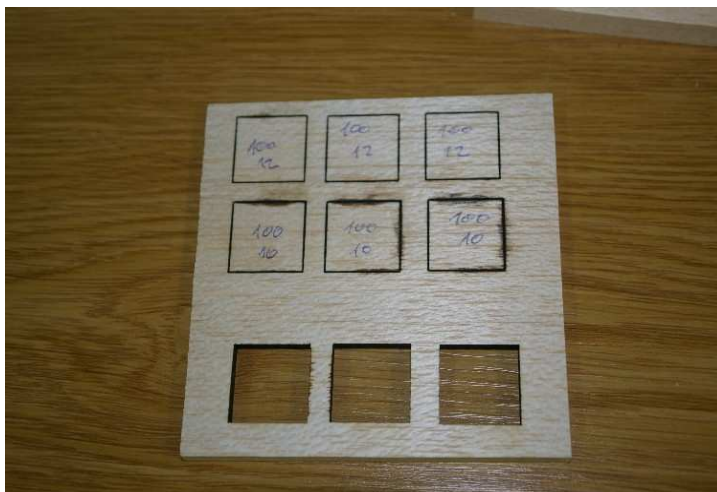
Obr. 30. Gravírovací laser LS700

5.6 Postup výroby vzorku za pomoci laseru

Vzorek ze stejného materiálu a stejných rozměrů jako při frézování jsem nakreslil v programu GravoStyle G5, nastavil intenzitu laseru a rychlost posuvu a následně přenesl do stroje. Opět jako u frézky lze nejprve výrobek nakreslit na jiném PC a pak ho na paměťovém médiu přenést do PC řídicího stroje, nebo jej lze nakreslit přímo na řídicím PC což byl i můj případ. Na pracovní plochu stroje jsem položil jehlany vysoustružené z oceli, které slouží k podepření prkénka aby nedošlo k opotřebení pracovní plochy stroje. Na ně jsem teprve položil balsové prkénko. Laserová hlava nejprve dojde nad povrch materiálu a tím dojde k zaostření, poté se vrátí do nulového bodu a čeká na ruční spuštění programu.



Obr. 31. Uložení balsového prkénka



Obr. 32. Již vyřezání vzorky

5.6.1 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu získané laserovým řezáním



Obr. 33. Zkušební vzorek

*Drsnost povrchu v závislosti na intenzitě a rychlosti posuvu laseru***1. Měření R_a , rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 mm, měřeno po směru vláken**

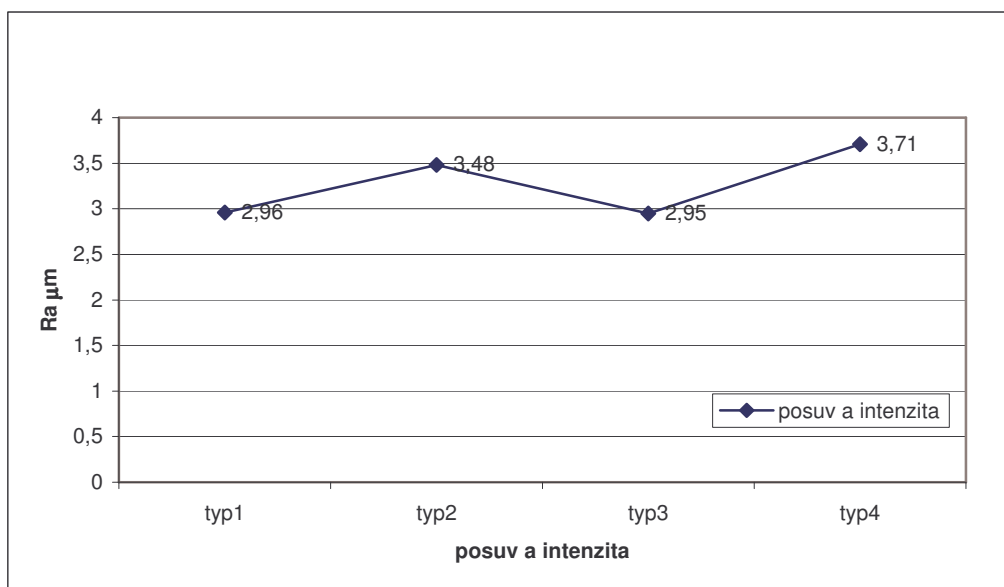
tloušťky použitých vzorků: 5 a 6 mm

typ1: intenzita laseru 90; rychlost posuvu 12 mm/s

typ2: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 9 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 12 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 15 mm/s



Obr. 34. Graf záv. drsnosti R_a na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno po směru vláken

2. Měření R_z , rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 mm, měřeno po směru vláken

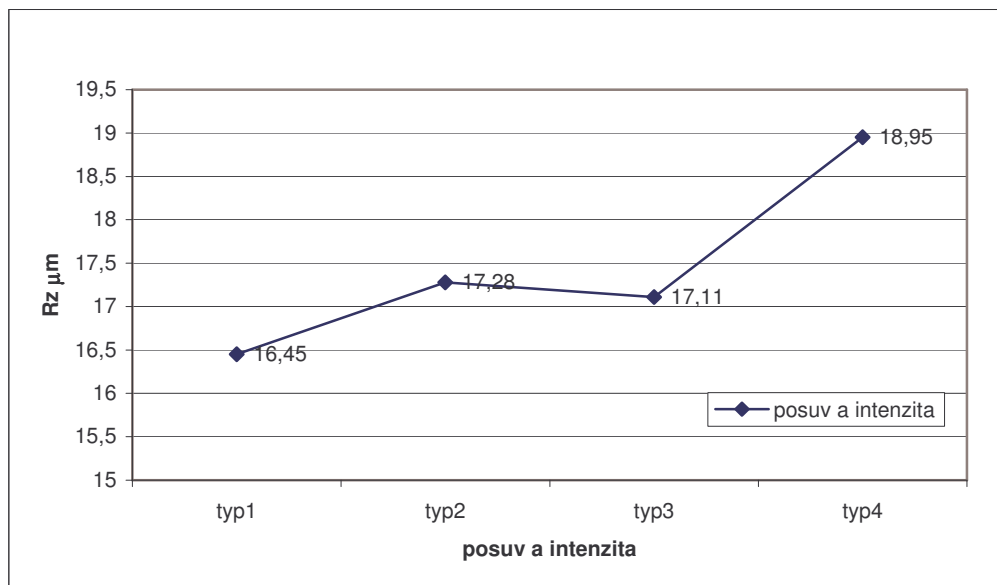
tloušťky použitých vzorků: 5 a 6 mm

typ1: intenzita laseru 90; rychlost posuvu 12 mm/s

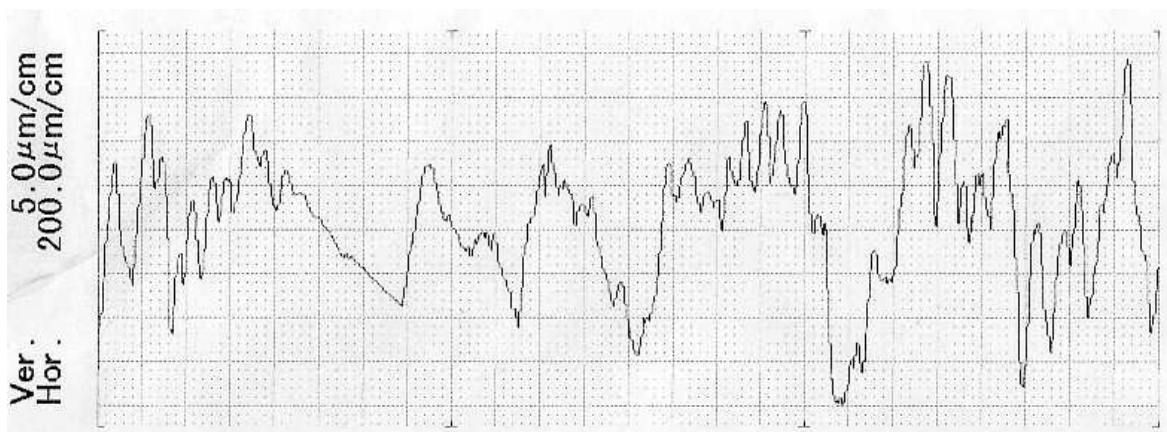
typ2: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 9 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 12 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 15 mm/s



Obr. 35. Graf záv. drsnosti R_z na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno po směru vláken



Obr. 36. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 3

3. Měření R_a , rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 mm, měřeno kolmo na směr vláken

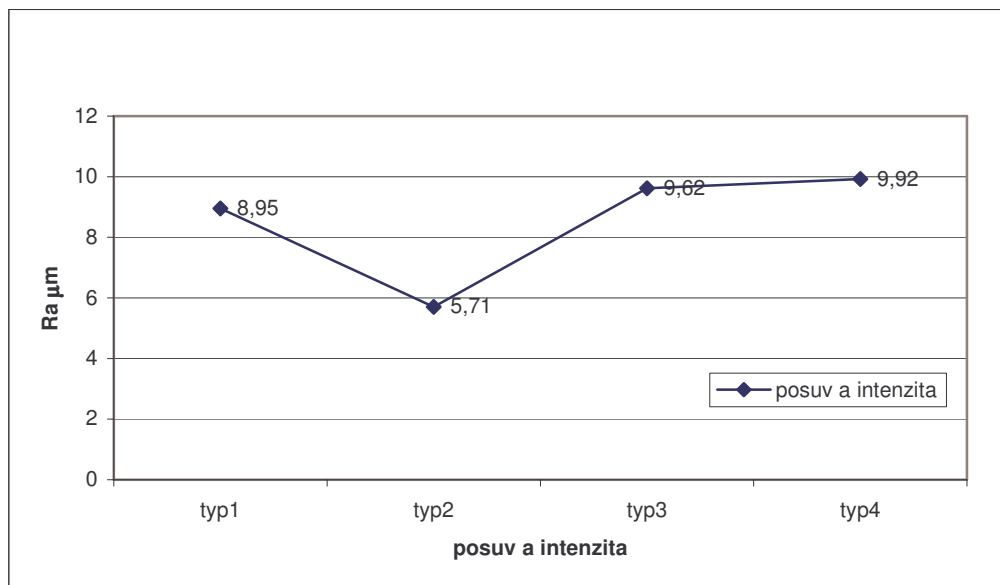
tloušťky použitých vzorků: 5 a 6 mm

typ1: intenzita laseru 90; rychlost posuvu 12 mm/s

typ2: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 9 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 12 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 15 mm/s



Obr. 37. Graf záv. drsnosti Ra na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno kolmo na směr vláken

4. Měření Rz, rozměry zkušebního vzorku 20 x 20 mm, měřeno kolmo na směry vláken

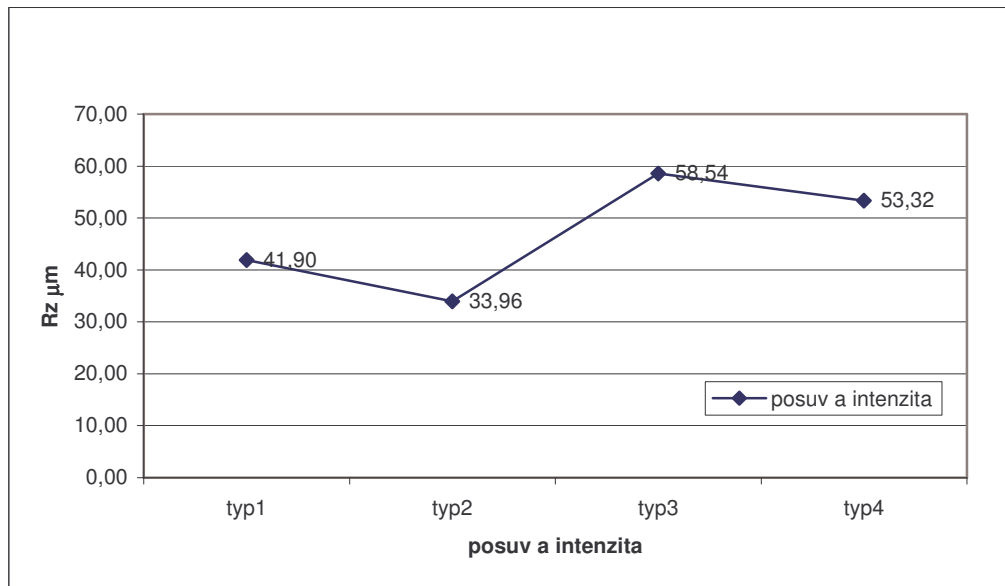
tloušťky použitých vzorků: 5 a 6 mm

typ1: intenzita laseru 90; rychlost posuvu 12 mm/s

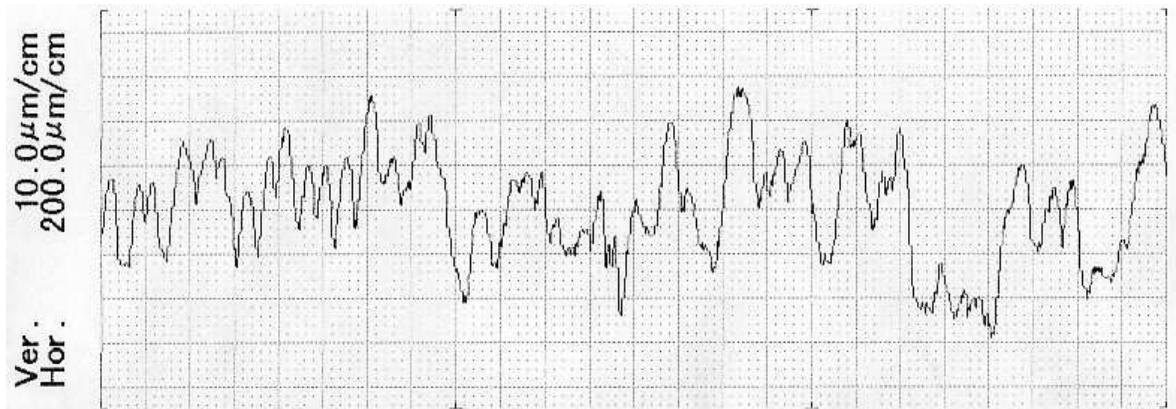
typ2: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 9 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 12 mm/s

typ3: intenzita laseru 100; rychlost posuvu 15 mm/s



Obr. 38. Graf záv. drsnosti Rz na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno kolmo na směr vláken



Obr. 39. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 2

5.7 Optické hodnocení vzorků

Pod mikroskopem jsem pozoroval vzhled povrchu jak ve směru kolmém na vlákna, tak ve směru rovnoběžném s vlákny.

Vzorky vyrobené NC frézováním mají vždy ve směru vláken roztržené okrajové hrany vzniklé vytrháváním materiálu při řezání. Proto je nutno tyto otřepty před dalším

zpracováním (např. lepením, potahováním) odstranit jemným přebroušením za pomoci brusného papíru.

Vzorky vyrobené laserovým řezáním tento problém nemají, jejich rovina řezu je hladká bez otřepů, avšak opálená od laserového paprsku do hnědé až černé barvy. Pod mikroskopem jsou dobře viditelné cévy, do kterých při lepení může lepidlo zatéct a zvyšuje tím soudržnost lepeného spoje.



Obr. 40. Vizuální srovnání vzorků



Obr. 41. Otřepy na hranách frézovaného vzorku



Obr. 42. Obrobená plocha rovnoběžná s vlákny



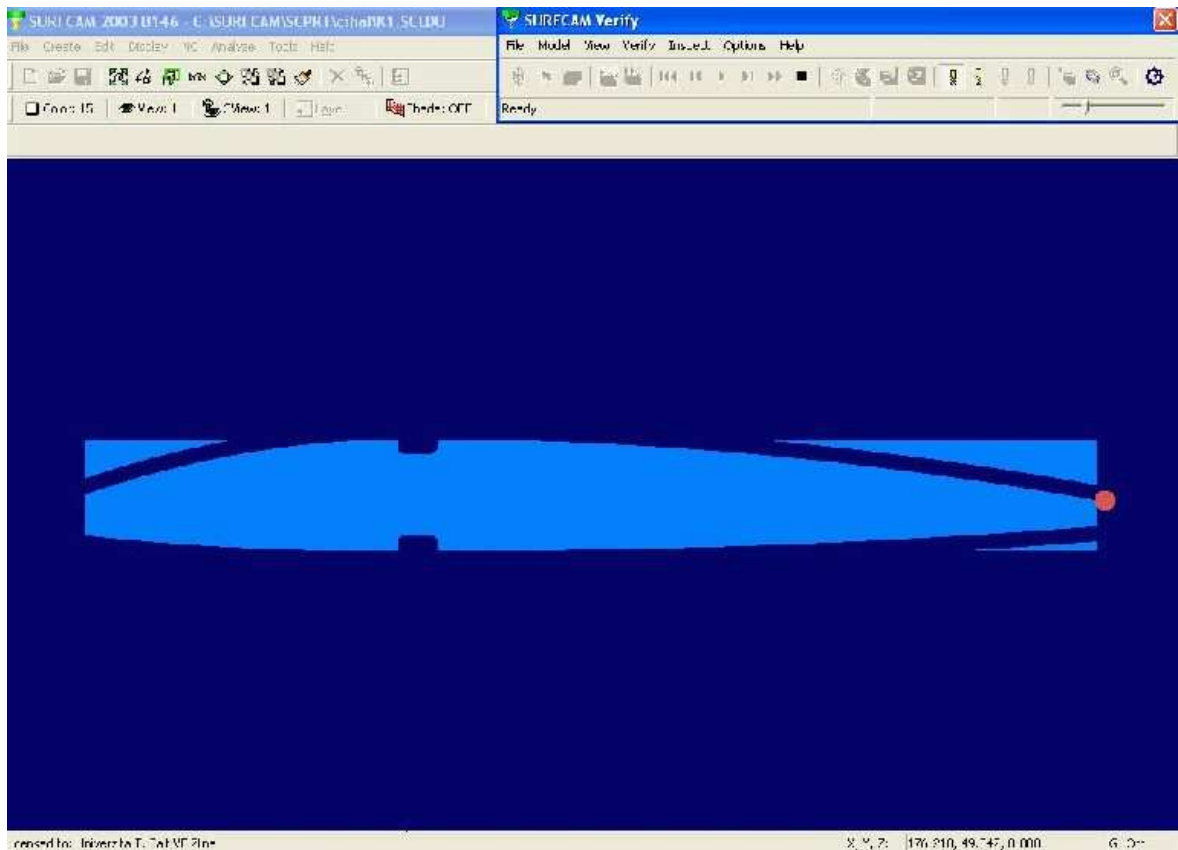
Obr. 43. Cévy

6 RC MODEL LETADLA FÉNIX

Model Fénix lze postavit v několika provedeních: Pro základní výcvik je poháněn běžným motorem o zdvihovém objemu $2,5 \text{ cm}^3$ (případně s ovládním otáček) a řízen směrovým kormidlem (případně i výškovým). Křídlo připoutané k trupu gumou má vzepětí 7° a profil s rovnou spodní stranou. Rychlost modelu není velká, odpovídá schopnostem a reakci pilota. Ovladatelnost a obratnost modelu je při letové hmotnosti asi 1500 g normální. Toto provedení je na výkrese uvedeno jen řezem křídla s částí trupu a je označeno jako verze A. Pro pokročilé je vhodné model pohánět výkonným motorem od $2,5 \text{ cm}^3$ až do zdvihového objemu 5 cm^3 vybaveným ovládním otáček. Řízena jsou kromě otáček motoru obě kormidla a křídélka. Křídlo má vzepětí $3,5^\circ$ a profil Eppler 374. Rychlost modelu je podstatně vyšší, ovladatelnost a obratnost je při letové hmotnosti asi 1700 g výborná. Toto provedení je na výkrese bez označení verze. Při použití motoru $2,5 \text{ cm}^3$ není při zvětšeném vzepětí na 6 až 7° nutné ovládní křídélek. Verze se souměrným profilem Eppler 474 nechce konkurovat speciálním akrobatickým modelům, je však vhodná pro ty, kdo musí model startovat z ruky, a přesto chtějí zkusit létat akrobacii. Pro pohon je ještě možno použít motor $2,5$ až $6,5 \text{ cm}^3$. Křídlo má úhel náběhu 0° a vzepětí 0° až 2° . Řízena jsou samozřejmě kromě otáček motoru obě kormidla a křídélka. Letová hmotnost modelu by měla být co nejmenší. Toto provedení je na výkrese uvedeno jen řezem křídla z části trupu a je označeno jako verze B. Vzhledem ke svému určení a pro snadnou obsluhu je model řešen robustně a jednoduše s ohledem na co nejmenší pracnost a dostupnost materiálu. Motor je montován v normální poloze, v níž se nejsnáze obsluhuje. Trup je dostatečně prostorný, aby bylo možné použít i starší rozměrnější přijímače a serva.

6.1 Výroba součástí pro stavbu

Veškeré součásti dle výkresu jsem nakreslil v programu AutoCAD, následně je převedl do programu SurfCAM, kde pomocí příkazu 2D Kontur byl program schopen vytvořit dráhu nástroje. Nakonec jsem už jen vygeneroval APT kód pro NC frézku. V příloze IV je uveden NC kód sloužící k výrobě tvarového profilu křídla. NC kódy pro zbývající komponenty letadla jsou uloženy na CD.



Obr. 44. SurfCAM - dráha nástroje

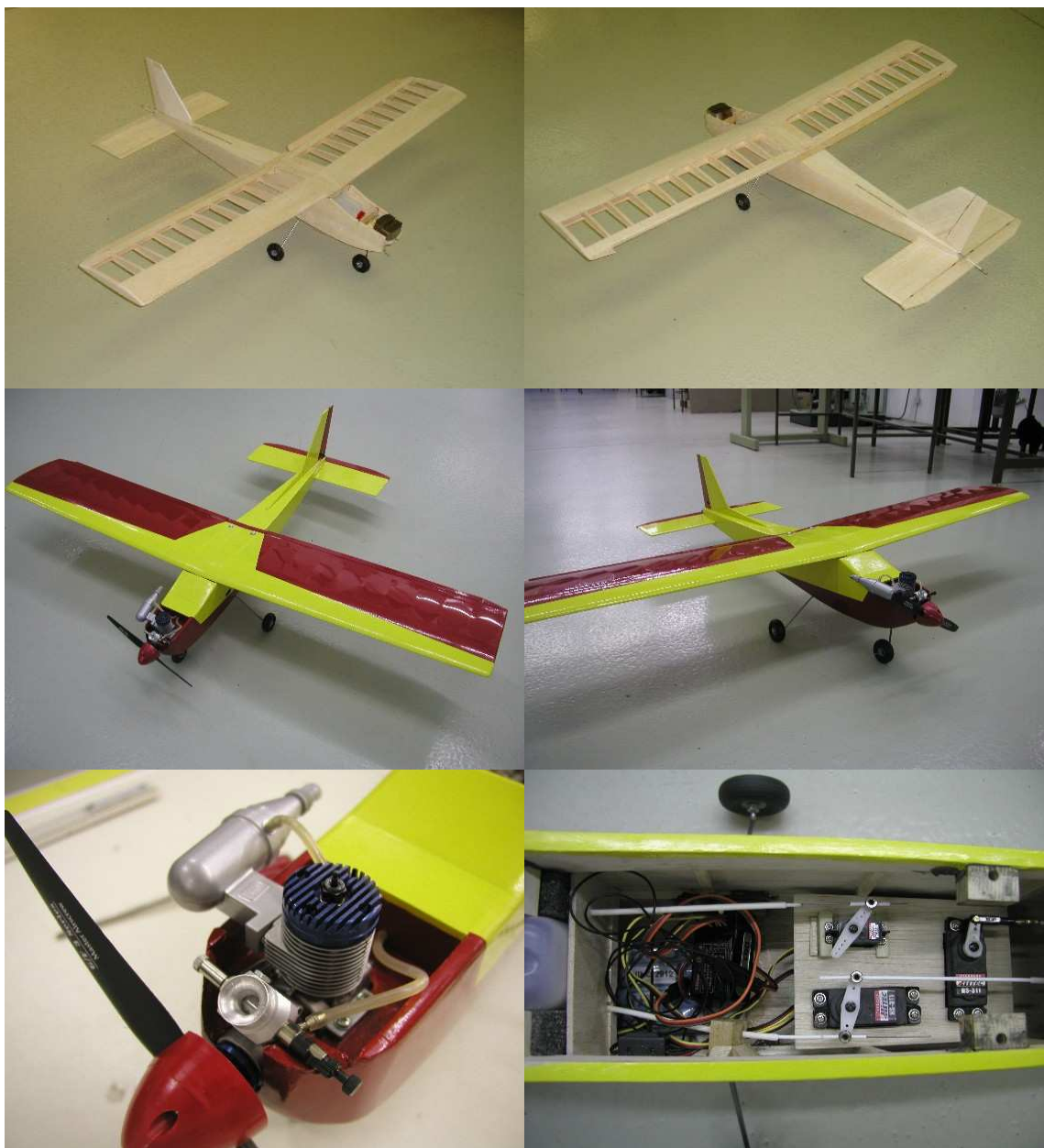


Obr. 45. Tvarový profil křídla

6.2 Stavba modelu

Model je převážně z balsy, jiný materiál je použit jen na zvlášť namáhané díly. K lepení jsem použil kyanoakrylátové lepidlo, na větší plochy Herkules, na zvlášť namáhané spoje epoxid. Křídlo je nedělené, ale každá polovina je stavěna samostatně. Obě poloviny spojíme stojinou vlepenu mezi lišty nosníku a spojkou na náběžné liště. K trupu se křídlo přichycuje kolíkem na náběžné hraně a dvěma plastovými šrouby. Trup byl sestaven obvyklým způsobem z bočnic spojených přepážkami. Ocasní plochy z plné balsy jsou pev-

ně zalepeny do trupu. VOP a SOP mají profil rovné desky, kormidla jsou sbrušena do symetrického profilu. Podvozek příďového typu je z ocelového drátu. Kola mají průměr 58 mm. Přední kolo je ovládáno společným servem se směřovkou. Model je celý potažen nážehovací fólií Solarfilm. Ocasní kormidla, křídélka a otáčky motoru jsou ovládána prostřednictvím táhel z ocelového drátu. K pohonu slouží dvoudobý spalovací motor se žhavicí svíčkou o objemu $4,6 \text{ cm}^3$ s výkonem 1,1 k při 17000 ot/min.



Obr. 46. FÉNIX

ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce jsem hledal vhodný nástroj pro obrábění balsových součástí pomocí NC frézky. Na základě měření drsnosti obrobené plochy na zkušebním vzorku a při následném vyhodnocení, jsem došel k těmto závěrům.

Podle výrobců fréz jsou pro obrábění měkkých materiálů vhodné jednobřité frézovací nástroje. Výsledky měření slova výrobců potvrdily. Při obrábění vzorku o tloušťce 6 mm jednobřitou frézou o průměru 3 mm za zvoleného posuvu 400 mm/min. byla výsledná drsnost R_a ve směru rovnoběžném s vlákny (dále jen ve směru vláken) $1,75 \pm 1,01 \mu\text{m}$, drsnost R_z jsem naměřil $8,91 \pm 5,46 \mu\text{m}$. Na ploše kolmé na směr vláken (dále jen kolmo na vlákna) byla drsnost $R_a = 6,51 \pm 1,88 \mu\text{m}$ a $R_z = 35,80 \pm 10,56 \mu\text{m}$. Při změně rychlosti posuvu na 800 mm/min. a nezměněné tloušťce vzorku se hodnoty drsnosti R_a ve směru vláken velmi liší, naměřil jsem až $4,32 \pm 1,56 \mu\text{m}$. Hodnota drsnosti R_z pak vyšla také velmi odlišná $25,99 \pm 11,61 \mu\text{m}$. Ovšem drsnost R_a měřená kolmo na vlákna je velmi podobná s předchozím měřením při pomalejším posuvu. V tomhle případě vyšla drsnost R_a $6,73 \pm 1,08 \mu\text{m}$. Z toho plyne že pro použití jednobřitého nástroje je vhodnější zvolit rychlejší posuv, jelikož vzhledem k soudržnosti lepidla je drsnost $4 \mu\text{m}$ výhodnější než drsnost kolem $2 \mu\text{m}$. Výroba je také mnohem produktivnější. Podrobíme-li stejné zkoušce vzorek o tloušťce 5 mm zjistíme, že drsnost R_a se zhoršila ve všech směrech v průměru o $1 \mu\text{m}$.

Po výměně nástroje za dvoubřitou frézu o průměru 3 mm a posuvu 400 mm/min. jsem na vzorku tloušťky 6 mm v podélném směru naměřil drsnost R_a $2,68 \pm 1,53 \mu\text{m}$ a v příčném $10,99 \pm 3,81 \mu\text{m}$. Při zvýšení posuvu na 800 mm/min je R_a v podélném směru $2,22 \pm 0,79 \mu\text{m}$ a v příčném $7,13 \pm 1,06 \mu\text{m}$. Zde je již velký rozdíl mezi příčnou a podélnou drsností. Mírné zlepšení bylo zjištěno u vzorku tloušťky 5 mm, ale hodnoty příčné a podélné drsnosti se v průměru lišily pořád o více jak $4,5 \mu\text{m}$.

Při použití třetího nástroje, tříbřité frézy o průměru 2 mm, byly zjištěny hodnoty velmi podobné hodnotám naměřeným při použití jednobřité frézy u vzorku tloušťky 6 mm. Drsnost způsobená tříbřítým nástrojem ve směru podélném jen o $0,13 \mu\text{m}$ horší. Ve směru příčném je drsnost R_a dokonce o $2,3 \mu\text{m}$ lepší. Ovšem musíme vzít v úvahu menší průměr frézy. Proto bych ji doporučil spíše pro obrábění balsy do tloušťky 3 mm.

Hodnoty drsností R_a v podélném směru vzorků vyrobených laserem se pohybují v intervalu od $2,96 \pm 0,59 \mu\text{m}$ do $3,71 \pm 0,74 \mu\text{m}$. V příčném směru potom od $5,71 \pm 1,04$

μm do $9,92 \pm 1,04 \mu\text{m}$. Tyhle hodnoty se přibližují hodnotám získaným při frézování jednobřitou frézou. Ovšem při srovnání rychlosti posuvů a čistotě obrobene plochy frézka zdaleka nedosahuje výhod laseru. Proto také v poslední době výrobci modelů letadel přecházejí na laserovou technologii.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOČMAN, Karel – PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. CERM, Brno, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [2] NEDBAL, Radomír. *Programování CNC strojů*. Zlín [b.j.], 2001.
- [3] *CHIP: COMPUTER DESIGN*. Č. 3 (červenec 2006). Brno: Computer Press, 2006. Vychází čtvrtletně. ISSN 1212-4389
- [4] NEDOMA, M. *Hodnocení výrobní přesnosti CNC strojů*. Zlín, 2005. Bakalářská práce na Technologické fakultě Univerzity Tomáše Bati. Vedoucí bakalářské práce Lukáš Sed'a.
- [5] HERIBAN, P. *Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně*. [online]. c2007, poslední aktualizace 3.1.2007 [cit. 2007-01-20]. Dostupné z WWW: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/Spectech.v.obr.pdf>
- [6] KOLMAN, L. *Letadla – létání – letecké modely*. [online]. c2007, poslední aktualizace 3.5.2007 [cit. 2007-05-12]. Dostupné z WWW: <http://www.kolmanl.info/>
- [7] ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila – GANDELOVÁ, Libuše. *Stavba dřeva*. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno, 1994. ISBN 80-7157-137-7.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC computer numerical kontrol (počítačem (číslicově) řízené stroje)

NC numerical kontrol (číslicově řízené stroje)

Ra průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm]

Rz největší výška profilu [μm]

N počet měření

λ_c filtr profilu

RC radio kontrol (rádiem řízené)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Osmistopá děrná páska</i>	11
<i>Obr. 2. Označování souřadnic a směrů pohybů pracovních orgánů NC frézky [1].....</i>	14
<i>Obr. 3. Základní body stroje a obrobku [2]</i>	16
<i>Obr. 4. Složení slova</i>	17
<i>Obr. 5. Struktura programovaného bloku</i>	18
<i>Obr. 6. Zuby fréz podsoustružované, frézované</i>	24
<i>Obr. 7. Frézy rozdělené podle smyslu otáčení.....</i>	26
<i>Obr. 8. Korekce nástroje [5]</i>	27
<i>Obr. 9. Řez kmenem</i>	30
<i>Obr. 10. A-grain - tangenciální řez</i>	31
<i>Obr. 11. C-grain - radiální řez</i>	31
<i>Obr. 12. B-grain.....</i>	32
<i>Obr. 13. Balsa standard, finská březová překližka.....</i>	33
<i>Obr. 14. Frézka HWT C-442 CNC Profi</i>	34
<i>Obr. 15. upínací přípravek</i>	35
<i>Obr. 16. Zkušební vzorek</i>	36
<i>Obr. 17. Zkušební vzorky</i>	37
<i>Obr. 18. Graf záv. drsnosti Ra na typu nástroje a posuvu k tab. 3.</i>	39
<i>Obr. 19. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 4.</i>	40
<i>Obr. 20. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 12</i>	40
<i>Obr. 21. Graf záv. drsnosti Ra na typu nástroje a posuvu k tab. 5.</i>	41
<i>Obr. 22. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 6.</i>	42
<i>Obr. 23. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 13</i>	42
<i>Obr. 24. Graf záv. drsnosti Ra na typu nástroje a posuvu k tab. 7.</i>	43
<i>Obr. 25. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 8.</i>	44
<i>Obr. 26. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 9</i>	44
<i>Obr. 27. Graf záv. drsnosti Ra na typu nástroje a posuvu k tab. 9.</i>	45
<i>Obr. 28. Graf záv. drsnosti Rz na typu nástroje a posuvu k tab. 10.</i>	46
<i>Obr. 29. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 5</i>	46
<i>Obr. 30. Gravírovací laser LS700</i>	47
<i>Obr. 31. Uložení balsaového prkénka</i>	48

<i>Obr. 32. Již vyřezání vzorky</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 33. Zkušební vzorek</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 34. Graf záv. drsnosti Ra na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno po směru vláken.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 35. Graf záv. drsnosti Rz na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno po směru vláken.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 36. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 3</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 37. Graf záv. drsnosti Ra na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno kolmo na směr vláken.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 38. Graf záv. drsnosti Rz na intenzitě a rychlosti posuvu laseru, měřeno kolmo na směr vláken.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 39. Profil drsnosti povrchu vzorku č. 2</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 40. Vizuelní srovnání vzorků</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 41. Otřepy na hranách frézovaného vzorku</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 42. Obrobená plocha rovnoběžná s vlákny</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 43. Cévy</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 44. SurfCAM - dráha nástroje</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 45. Tvarový profil křídla</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 46. FÉNIX.....</i>	<i>57</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Srovnání balsy s jinými dřevy	30
Tab. 2. Technologické podmínky při obrábění.....	38
Tab. 3. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno po směru vláken	38
Tab. 4. Průměrná drsnost Rz vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno po směru vláken.....	39
Tab. 5. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno po směru vláken	41
Tab. 6. Průměrná drsnost Rz vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno po směru vláken.....	41
Tab. 7. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno kolmo na směr vláken	43
Tab. 8. Průměrná drsnost Rz vzorku 20 x 20 x 6 mm, měřeno kolmo na směr vláken.....	43
Tab. 9. Průměrná drsnost Ra vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno kolmo na směr vláken	45
Tab. 10. Průměrná drsnost Rz vzorku 20 x 20 x 5 mm, měřeno kolmo na směr vláken.....	45

SEZNAM PŘÍLOH

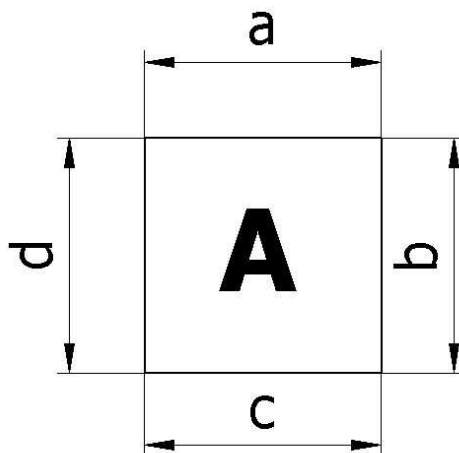
Příloha P I: hodnoty drsností získané frézováním

Příloha P II: hodnoty drsností získané laserovým řezáním

Příloha P III: technická dokumentace modelu

Příloha P IV: APT kód

PŘÍLOHA P I: HODNOTY DRSNOSTÍ ZÍSKANÉ FRÉZOVÁNÍM



Všechny uvedené hodnoty jsou v μm

Použité měřidlo: Mitutoyo Surftest SJ-301

VZOREK 1 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	5,90	32,69
Ba	3,53	29,54
Ca	1,54	10,36
Ac	1,14	6,58
Bc	1,64	9,58
Cc	2,32	15,98
průměr	2,68	17,46
odchylka	1,63	10,09

VZOREK 1 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	5,93	30,80
Bb	8,25	42,93
Cb	16,94	103,20
Ad	10,80	48,44
Bd	9,15	40,35
Cd	14,86	74,07
průměr	10,99	56,63
odchylka	3,81	24,70

VZOREK 2 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	3,65	18,79
Ba	2,14	10,12
Ca	2,54	13,76
Ac	2,25	13,43
Bc	1,14	6,97
Cc	1,57	10,10
průměr	2,22	12,20
odchylka	0,79	3,73

VZOREK 2 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	6,15	35,61
Bb	9,30	67,41
Cb	6,21	35,00
Ad	7,36	38,68
Bd	6,84	43,23
Cd	6,93	38,17
průměr	7,13	43,02
odchylka	1,06	11,23

VZOREK 3 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	3,44	18,37
Ba	2,12	12,14
Ca	2,20	16,95
Ac	1,44	8,45
Bc	1,56	8,64
Cc	2,85	10,12
průměr	2,27	12,45
odchylka	0,70	3,90

VZOREK 3 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	6,62	41,74
Bb	4,98	32,08
Cb	11,62	66,39
Ad	10,44	69,66
Bd	18,44	109,90
Cd	14,71	88,22
průměr	11,14	68,00
odchylka	4,57	26,30

VZOREK 4 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	3,17	22,12
Ba	5,77	30,26
Ca	4,16	22,22
Ac		
Bc		
Cc		
průměr	4,37	24,87
odchylka	1,07	3,81

VZOREK 4 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab		
Bb		
Cb		
Ad		
Bd		
Cd		
průměr	#DIV/0!	#DIV/0!
odchylka	#DIV/0!	#DIV/0!

VZOREK 5 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	1,93	13,04
Ba	0,78	4,46
Ca	2,59	12,72
Ac	3,75	23,97
Bc	2,27	13,91
Cc	2,66	15,07
průměr	2,33	13,86
odchylka	0,89	5,69

VZOREK 5 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	9,33	32,19
Bb	6,22	33,90
Cb	6,30	32,76
Ad	11,17	55,45
Bd	8,95	46,96
Cd	7,89	40,12
průměr	8,31	40,23
odchylka	1,74	8,54

VZOREK 6 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	2,88	18,66
Ba	1,59	7,09
Ca	1,84	10,28
Ac	4,76	22,80
Bc	1,71	11,30
Cc	2,57	15,97
průměr	2,56	14,35
odchylka	1,09	5,34

VZOREK 6 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	7,14	39,41
Bb	6,74	40,13
Cb	4,74	27,12
Ad	3,69	16,58
Bd	8,10	38,93
Cd	5,19	24,93
průměr	5,93	31,18
odchylka	1,52	8,91

VZOREK 7 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	1,46	8,46
Ba	2,67	14,54
Ca	6,00	31,88
Ac	1,15	6,40
Bc	1,37	8,64
Cc	1,00	6,24
průměr	2,28	12,69
odchylka	1,75	9,01

VZOREK 7 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	5,22	31,96
Bb	4,83	27,14
Cb	6,53	38,96
Ad	7,29	45,73
Bd	4,98	28,87
Cd	6,96	45,54
průměr	5,97	36,37
odchylka	0,99	7,52

VZOREK 8 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	4,37	24,73
Ba	4,08	24,31
Ca	3,19	19,41
Ac	1,79	11,94
Bc	1,47	8,45
Cc	0,96	7,07
průměr	2,64	15,99
odchylka	1,31	7,19

VZOREK 8 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	7,20	38,63
Bb	7,10	34,97
Cb	6,10	28,16
Ad	5,41	28,22
Bd	9,34	50,54
Cd	8,51	13,71
průměr	7,28	32,37
odchylka	1,33	11,25

VZOREK 9 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	2,21	6,43
Ba	1,18	6,71
Ca	0,95	5,47
Ac	1,14	7,31
Bc	1,23	6,50
Cc	3,81	21,06
průměr	1,75	8,91
odchylka	1,01	5,46

VZOREK 9 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	5,88	45,36
Bb	6,45	38,30
Cb	10,53	52,11
Ad	5,69	30,33
Bd	4,59	21,83
Cd	5,94	26,86
průměr	6,51	35,80
odchylka	1,88	10,56

VZOREK 10 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	3,15	18,70
Ba	6,63	28,96
Ca	2,62	13,12
Ac	4,14	23,44
Bc	6,22	49,64
Cc	3,16	22,07
průměr	4,32	25,99
odchylka	1,56	11,61

VZOREK 10 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	8,27	50,31
Bb	7,01	38,13
Cb	5,08	25,71
Ad	7,61	35,36
Bd	5,72	36,67
Cd	6,66	39,39
průměr	6,73	37,60
odchylka	1,08	7,21

VZOREK 11 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	2,39	18,09
Ba	4,14	27,50
Ca	1,38	8,79
Ac	1,57	9,28
Bc	1,17	7,79
Cc	1,67	8,78
průměr	2,05	13,37
odchylka	1,01	7,21

VZOREK 11 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	11,79	68,90
Bb	5,58	32,21
Cb	4,28	21,54
Ad	4,24	24,42
Bd	6,46	31,86
Cd	6,87	32,62
průměr	6,54	35,26
odchylka	2,55	15,63

VZOREK 12 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	2,20	13,44
Ba	2,64	18,70
Ca	5,65	29,08
Ac	7,71	36,38
Bc	7,07	41,20
Cc	1,42	10,80
průměr	4,45	24,93
odchylka	2,46	11,43

VZOREK 12 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	3,94	29,15
Bb	10,29	54,47
Cb	7,83	38,03
Ad	3,88	25,22
Bd	13,15	74,12
Cd	7,04	42,81
průměr	7,69	43,97
odchylka	3,31	16,47

VZOREK 13 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	2,41	15,35
Ba	3,79	26,43
Ca	1,43	8,65
Ac	1,83	10,56
Bc	2,19	13,51
Cc	1,73	13,70
průměr	2,23	14,70
odchylka	0,77	5,69

VZOREK 13 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	3,41	20,58
Bb	3,95	20,45
Cb	2,56	17,56
Ad	4,69	22,59
Bd	3,58	16,89
Cd	6,84	36,96
průměr	4,17	22,51
odchylka	1,35	6,74

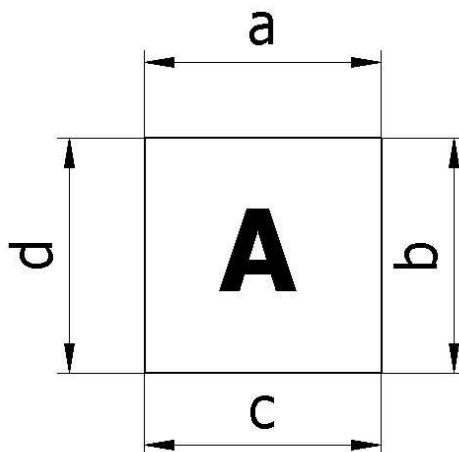
VZOREK 14 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN

vzorek	Ra	Rz
Aa	1,26	7,75
Ba	5,01	28,43
Ca	4,07	22,51
Ac	2,86	18,13
Bc	7,72	52,93
Cc	3,10	19,87
průměr	4,00	24,94
odchylka	2,02	13,96

VZOREK 14 - MĚŘENO KOLMO NA VLÁKNA

vzorek	Ra	Rz
Ab	6,53	39,71
Bb	3,89	22,84
Cb	5,65	46,49
Ad	3,70	19,56
Bd	3,72	23,97
Cd	4,25	24,89
průměr	4,62	29,58
odchylka	1,08	9,90

PŘÍLOHA P II: HODNOTY DRSNOSTÍ ZÍSKANÉ LASEROVÝM ŘEZÁNÍM



Všechny uvedené hodnoty jsou v μm

Použité měřidlo: Mitutoyo Surftest SJ-301

VZOREK 1 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN
(90/12)

vzorek	Ra	Rz
Aa	3,21	19,68
Ba	2,81	15,11
Ca	2,03	12,38
Ac	2,45	12,50
Bc	3,77	21,21
Cc	3,46	17,83
průměr	2,96	16,45
odchylka	0,59	3,39

VZOREK 1 - MĚŘENO KOLMO NA
VLÁKNA (90/12)

vzorek	Ra	Rz
Ab	6,61	34,70
Bb	10,33	57,60
Cb	6,74	35,10
Ad	9,72	16,33
Bd	13,65	74,62
Cd	6,62	33,02
průměr	8,95	41,90
odchylka	2,59	18,92

VZOREK 2 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN
(100/9)

vzorek	Ra	Rz
Aa	2,51	13,48
Ba	3,90	10,54
Ca	3,47	18,36
Ac	5,26	29,88
Bc	2,33	12,00
Cc	3,43	19,42
průměr	3,48	17,28
odchylka	0,97	6,48

VZOREK 2 - MĚŘENO KOLMO NA
VLÁKNA (100/9)

vzorek	Ra	Rz
Ab	5,76	34,84
Bb	5,27	36,82
Cb	4,85	24,28
Ad	4,81	25,81
Bd	5,64	34,20
Cd	7,90	47,79
průměr	5,71	33,96
odchylka	1,04	7,75

VZOREK 3 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN
(100/15)

vzorek	Ra	Rz
Aa	4,07	19,08
Ba	3,91	22,06
Ca	4,68	23,20
Ac	2,48	13,68
Bc	4,08	20,03
Cc	3,01	15,63
průměr	3,71	18,95
odchylka	0,74	3,36

VZOREK 3 - MĚŘENO KOLMO NA
VLÁKNA (100/15)

vzorek	Ra	Rz
Ab	9,77	51,20
Bb	8,41	45,26
Cb	9,44	13,58
Ad	11,90	81,56
Bd	9,81	62,18
Cd	10,18	66,15
průměr	9,92	53,32
odchylka	1,04	21,17

VZOREK 4 - MĚŘENO PODÉL VLÁKEN
(100/12)

vzorek	Ra	Rz
Aa	3,39	18,97
Ba	3,07	18,32
Ca	2,89	17,06
Ac	2,74	16,79
Bc	2,92	15,43
Cc	2,68	16,11
průměr	2,95	17,11
odchylka	0,23	1,21

VZOREK 4 - MĚŘENO KOLMO NA
VLÁKNA (100/12)

vzorek	Ra	Rz
Ab	8,84	48,45
Bb	11,46	76,80
Cb	12,92	97,29
Ad	7,57	40,56
Bd	8,14	45,29
Cd	8,79	42,83
průměr	9,62	58,54
odchylka	1,91	21,14

PŘÍLOHA P IV: APT KÓD

\$\$ SURFCAM INC to APT Translator \$Revision: 156 \$
PARTNO/0
UNITS/MM
MCS/\$
1.0000000000,0.0000000000,0.0000000000,\$
0.0000000000,1.0000000000,0.0000000000,\$
0.0000000000,0.0000000000,1.0000000000,\$
0.000,0.000,0.000
MULTAX/OFF
CUTTER/2.000,0.000
LOADTL/71,LENGTH,0.000,0SETNO,71
SPINDL/RPM,11937,CLW
COOLNT/FLOOD
SELECT/0
RAPID
GOTO/202.430,12.278,25.000
RAPID
GOTO/202.430,12.278,2.000
FEDRAT/MMPM,537.148
GOTO/202.430,12.278,-2.000
FEDRAT/MMPM,1074.296
CIRCLE/78.365,1608.464,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1601.000
GOTO/72.361,7.475,-2.000
CIRCLE/72.365,8.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/71.365,8.475,-2.000
GOTO/71.365,10.475,-2.000
GOTO/65.365,10.475,-2.000
GOTO/65.365,8.475,-2.000
CIRCLE/64.365,8.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/64.378,7.475,-2.000
CIRCLE/57.930,508.434,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
501.000
GOTO/2.755,10.481,-2.000
CIRCLE/2.865,11.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/1.865,11.475,-2.000
GOTO/1.865,19.475,-2.000
CIRCLE/2.865,19.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/2.537,20.420,-2.000
CIRCLE/68.396,-169.484,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
201.000
GOTO/64.345,31.475,-2.000
CIRCLE/64.365,30.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/65.365,30.475,-2.000
GOTO/65.365,28.475,-2.000
GOTO/71.365,28.475,-2.000
GOTO/71.365,30.475,-2.000
CIRCLE/72.365,30.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/72.374,31.475,-2.000
CIRCLE/65.467,-741.748,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
773.254
GOTO/202.542,19.260,-2.000
CIRCLE/202.365,18.275,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/203.365,18.273,-2.000
GOTO/203.352,13.273,-2.000
CIRCLE/202.352,13.275,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000

GOTO/202.430,12.278,-2.000
CIRCLE/78.365,1608.464,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1601.000
GOTO/72.361,7.475,-2.000
CIRCLE/72.365,8.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/71.365,8.475,-2.000
GOTO/71.365,10.475,-2.000
GOTO/65.365,10.475,-2.000
GOTO/65.365,8.475,-2.000
CIRCLE/64.365,8.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/64.378,7.475,-2.000
CIRCLE/57.930,508.434,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
501.000
GOTO/2.755,10.481,-2.000
CIRCLE/2.865,11.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/1.865,11.475,-2.000
GOTO/1.865,19.475,-2.000
CIRCLE/2.865,19.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,1.000
GOTO/2.537,20.420,-2.000
CIRCLE/68.396,-169.484,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
201.000
GOTO/64.345,31.475,-2.000
CIRCLE/64.365,30.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/65.365,30.475,-2.000
GOTO/65.365,28.475,-2.000
GOTO/71.365,28.475,-2.000
GOTO/71.365,30.475,-2.000
CIRCLE/72.365,30.475,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/72.374,31.475,-2.000
CIRCLE/65.467,-741.748,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
773.254
GOTO/202.542,19.260,-2.000
CIRCLE/202.365,18.275,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/203.365,18.273,-2.000
GOTO/203.352,13.273,-2.000
CIRCLE/202.352,13.275,-2.000,0.0000000000,0.0000000000,-1.0000000000,\$
1.000
GOTO/202.430,12.278,-2.000
RAPID
GOTO/202.430,12.278,25.000
END
FINI