



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

VÝROBA VRTULE MODELU RC LETADLA POMOCÍ MECHANICKÉHO KOPÍROVACÍHO ZAŘÍZENÍ

PRODUCTION OF RC AIRPLANE MODEL PROPELLER BY A MECHANICAL COPYING
MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROMANA KRÁTKÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Romana Krátká

Ekonomika a procesní management (6208R161)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských, magisterských a doktorských studijních programů zadává bakalářskou práci s názvem:

Výroba vrtule modelu RC letadla pomocí mechanického kopírovacího zařízení

v anglickém jazyce:

Production of RC Airplane Model Propeller by a Mechanical Copying Machine

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Teoretická východiska práce

Analýza problému a současné situace

Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Seznam příloh

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.

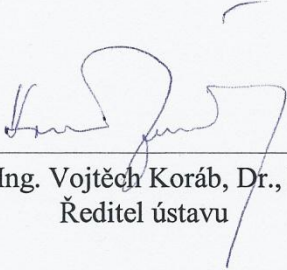
HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Září 2004. s. 12-15. ISSN 1212-2572.

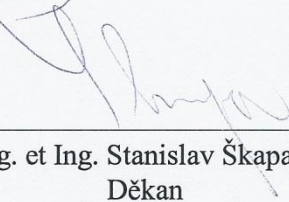
KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.




prof. Ing. Vojtěch Koráb, Dr., MBA
Ředitel ústavu


doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
Děkan

V Brně, dne 25.3.2013

Abstrakt

Tato bakalářská práce je vypracována v rámci studijního oboru Ekonomika a procesní management, program Ekonomika a management na Fakultě podnikatelské VUT v Brně. První část práce je zaměřena na teoretická východiska obecné problematiky RC modelaření, frézování a vybraných ekonomických ukazatelů. Obsahem další části je průzkum tuzemského trhu v oblasti prodeje leteckých vrtulí RC modelů, zhodnocení a návrh ekonomicky výhodnější varianty řešení výroby těchto vrtulí (materiál dřevo) pomocí navrženého a vymodelovaného 3D kopírovacího zařízení.

Abstract

This bachelor's thesis was written as part of study branch Economics and Process management on the Faculty of Business and Management in Brno. The first part is focused on the theoretical foundations of RC moulding, milling and chosen economic indices. The second part contains an inland market survey concerning selling of propellers of RC models. Then it is focused on an evaluation and project of a money saving alternative of manufacturing of these propellers (material: wood) using designed and modelled 3D copying machine.

Klíčová slova

RC modely, frézování, 3D kopírovací zařízení, výroba vrtule.

Keywords

RC models, milling, 3D copying machine, manufacturing of propeller.

Bibliografická citace mé práce:

KRÁTKÁ, R. *Výroba vrtule modelu RC letadla pomocí mechanického kopírovacího zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2013. 64 s, 6 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 31. května 2013

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za trpělivost, ochotu, věcné rady a vstřícný přístup při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat Karlu Holíkovi za osvětlení problematiky týkající se geometrie letadel a praktické znázornění výroby vrtule pro RC model letadla.

Obsah

Úvod	11
Vymezení problému a cíle práce	12
1 Teoretická východiska práce	14
1.1 RC modely	14
1.1.1 Předpoklady pro stavbu RC modelů letadel	14
1.1.2 Hlavní části modelů letadel	15
1.1.3 Druhy RC modelů letadel	15
1.1.4 Konstrukční materiály	16
1.1.5 Letecké RC vrtule	20
1.2 Technologický proces frézování	27
1.2.1 Technologická charakteristika	27
1.2.2 Kinematika obráběcího procesu	27
1.2.3 Frézovací nástroje	30
1.2.4 Nástrojové materiály	32
1.3 Vybrané ekonomické aspekty	37
1.3.1 Porterova analýza pěti sil	37
1.3.2 SWOT analýza	39
1.3.3 Bod zvratu	40
2 Analýza problému a současné situace	41
2.1 Porterova analýza pěti sil	41
2.1.1 Největší stávající prodejci dřevěných vrtulí	41
2.1.2 Potenciální konkurence	43
2.1.3 Zákazníci	43
2.1.4 Dodavatelé	43
2.1.5 Substituční výrobky	44
3 Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení	46
3.1 3D kopírovací zařízení	46
3.1.1 Detailní popis konstrukce 3D kopírovacího zařízení	46
3.1.2 Náklady na pořízení 3D kopírovacího zařízení.	51
3.2 Výroba vrtule	52
3.2.1 Popis výroby vrtule	52

3.2.2	Náklady na výrobu vrtulí	53
3.3	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	54
3.3.1	SWOT analýza výroby vrtulí na 3D kopírovacím zařízení	54
3.3.2	Bod zvratu	56
	Závěr.....	58
	Seznam použitých zdrojů	59
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek.....	61
	Seznam použitých zkratk a symbolů	62
	Seznam příloh.....	64

Úvod

V dnešní době plně rozvíjející se techniky stále sílí poptávka po zájmových aktivitách rozšiřujících technické dovednosti provozovatele. Jednou z takových činností je sestavování a provoz rádiem řízených modelů dopravních prostředků. RC modelů je nepřeberné množství a mohou se pohybovat ve vodě, na souši i ve vzduchu. Také jejich dostupnost zákazníkovi je mnohem vyšší. Není už potřeba si celý model sestavit sám a strávit tak dlouhé měsíce, případně i roky, vývojem a výrobou vybraného modelu. Nabízí se možnosti koupi připravené stavebnice, nebo už zcela hotového modelu připraveného k použití.

Tématem mojí bakalářské práce je vymodelování a sestavení jednoduchého 3D kopírovacího zařízení. Toto zařízení bude následně použito pro výrobu vrtule RC modelu letadla se snahou o úsporu nákladů na pořízení vrtule. Analýzou cen běžně dostupných vrtulí na tuzemském trhu a porovnáním těchto cen s náklady na výrobu vrtulí pomocí navrženého zařízení bude v závěru práce stanoveno, zda jsou výhodnější dosavadní technologie nebo navrhovaná varianta.

V rámci práce budou současně analyzovány další pozitivní, případně negativní aspekty provozu navrhovaného zařízení. Zohledněna bude mj. náročnost na údržbu, provozní podmínky, míra všestrannosti přístroje a další nezanedbatelné faktory. Jejich dopad na výrobu bude samozřejmě zohledněn v celkovém hodnocení.

Vymezení problému a cíle práce

Touha létat se s člověkem nese už odnepaměti. Nejdříve to začalo pozorováním ptáků a sestavováním jednoduchých draků sloužících pro zkoumání povětrnostních podmínek. Kolem roku 1480 sepsal známý vynálezce Leonardo da Vinci první studii o teorii létání. Dalším zlomem bylo zjištění, že horký vzduch stoupá vzhůru a studený vzduch klesá. Díky tomu, dva bratři Joseph Michel a Jacques Etienne Montgolfierové vynalezli první horkovzdušný balón, který vystoupal do výšky 600 stop a uletěl přibližně 1 míli (RC bazar, 2011).

První kluzák překonávající delší vzdálenosti sestrojil Otto Lilienthal, německý inženýr, který se celý život zajímal o aerodynamiku a způsob letu ptáků. První model letadla s vlastním pohonem (parní motor) zkonstruoval astronom Samuel Langley, který tento model nazval „aerodrome“ (RC bazar, 2011).

Stavba modelů letadel je minimálně stejně stará, možná i starší, než stavba skutečných letadel. Už první úspěšně létající modely vyvolávaly u svých konstruktérů myšlenku na možnost jejich dálkového ovládání. Tyto myšlenky však umožnil realizovat až prudký vývoj techniky bezdrátových přenosů pomocí rádiových elektromagnetických vln. První rádiem řízené modely se objevují již před Druhou světovou válkou (Blabol, 2011).



Obr. 1: Start rádiem řízeného modelu "BIG GUFF" v roce 1947.

Průkopníkem v oblasti provozu rádiem řízených modelů letadel byl australan Ross Hull, který jako první v roce 1927 použil systém rádiového řízení pro ovládání svých větroňů za letu. Elektronky přijímače jeho modelů byly v porovnání s dnešním zařízením modelů obrovské. Kolem roku 1937 začínali s RC modelářstvím pan Dr.W.Good (Obr. 1) s bratrem. Jejich přijímače byly osazeny elektronkou o průměru 33 mm a výšce 100 mm, odlehčenou odstraněním masivní bakelitové patice a celý přijímač měl maximální hmotnost do 170 g (Letadla.org, 2006).

V současné době je stavba RC modelů velice oblíbeným koníčkem. Má však celou řadu úskalí, je náročná na čas, zručnost a finance provozovatele. Proto je cílem této práce návrh 3D modelu kopírovacího zařízení v grafickém programu Catia, které bude následně sestaveno a využito pro výrobu vrtule letadla.

1 Teoretická východiska práce

První část práce je zaměřena na teoretická východiska obecné problematiky RC modelaření, frézování a vybraných ekonomických ukazatelů.

1.1 RC modely

RC (z anglického „Radio Control“ = rádiem řízený) model umožňuje svému modeláři, pomocí řídicích prvků, aktivně ovlivňovat let modelu a tím se co nejlépe přiblížit skutečnému vzoru. Rozvoji rádiem řízených modelů brání jeho vysoké náklady na pořízení a časté opravy, ale i přes to dnes existuje velké množství více či méně složitých RC souprav a ještě větší počet zájemců, kteří by se chtěli této modelářské činnosti věnovat (Blabol, 2011).

1.1.1 Předpoklady pro stavbu RC modelů letadel

Záliba v RC modelaření se ve člověku může probudit v každém věku, jedná se však o velice náročný koníček a to hned z několika hledisek (Blabol, 2011).

Jedno z nejdůležitějších je hledisko ekonomické, cena soupravy není zanedbatelná a pohybuje se podle složitosti soupravy řádově od 2 000,- do 65 000,- Kč a v žádném případě to není cena konečná, vzniknou i náklady na materiál, motor a další komponenty. Dále je velice důležité mít dostatek volného času, osobní předpoklady (určitou rukodílnou zručnost) a vhodný prostor s vhodným vybavením. Volbu vhodného modelu také ovlivňují podmínky v okolí místa bydliště, což zahrnuje druh krajiny a vzdálenost od nejbližšího letiště. Protože modelářství je záležitostí většinou kolektivní, je potřeba se porozhlédnout po zájmových skupinách nebo klubech, které dávají možnost vzájemné výměny zkušeností, plánů, materiálu i vzájemného srovnávání výsledků práce (Blabol, 2011).

1.1.2 Hlavní části modelů letadel

Základní části modelu letadla tvoří trup, křídla, ocasní plochy, motor a podvozek (Obr. 1.1), (Kostěnků a Mikirtumov, 1954).



Obr. 1.1: Hlavní části modelu letadla 1 – vrtule; 2 – křídlo; 3 – motor; 4 – kabina; 5 – podvozek; 6 – trup; 7 – stabilizátor.
(Zdroj: Hlinica, 2012)

1.1.3 Druhy RC modelů letadel

RC modely se liší od běžných modelů především tím, že je lze díky řídicí soupravě ovládat a dělí se hned podle několika různých hledisek:

- podle počtu řízených prvků – jednobáňové nebo vícebáňové,
- podle způsobu použití – modely pro zábavu, pro sportovní modelářské soutěže, propagační, určené pro výzkum konstrukcí skutečných letadel a modely speciální,
- obecné rozdělení podle soutěžních kategorií – volné modely, upoutané modely, rádiem řízené modely, makety, rádiem řízené modely s elektrickým pohonem,

- podle konstrukce – větroně (termické, svahové, elektrovětroně, s pomocným motorem), motorové modely (školní, park fleyery, akrobatické, účelové), vrtulníky, speciální modely (Blabol, 2011).

Větroně (kluzáky) se využívají pro let vzestupných termických proudů nebo vhodného svahového proudění. Starty se provádí buď vzletem z ruky, nebo pomocí vlečného zařízení, případně se k vzletu používá pomocný motor (spalovací, elektromotor). Podle rozměrů křídel se mohou dělit na relativně malé (s rychlostí 100 km/h) a s větším rozpětím nad 3,5 m, které létají mnohem pomaleji, podmínkou je klidné počasí (Blabol, 2011).

Motorové modely mají na rozdíl od větroňů spalovací nebo elektrický motor. Konstrukce těchto letadel je robustnější. Starty těchto modelů jsou prováděny zejména na zpevněné startovací ploše. Jejich samotné ovládání je oproti větroňům složitější a náročnější (ovládání více prvků – výkon motoru, atd.), (Blabol, 2011).

Mezi motorové modely patří především: vrtulníky, park fleyery a speciální modely.

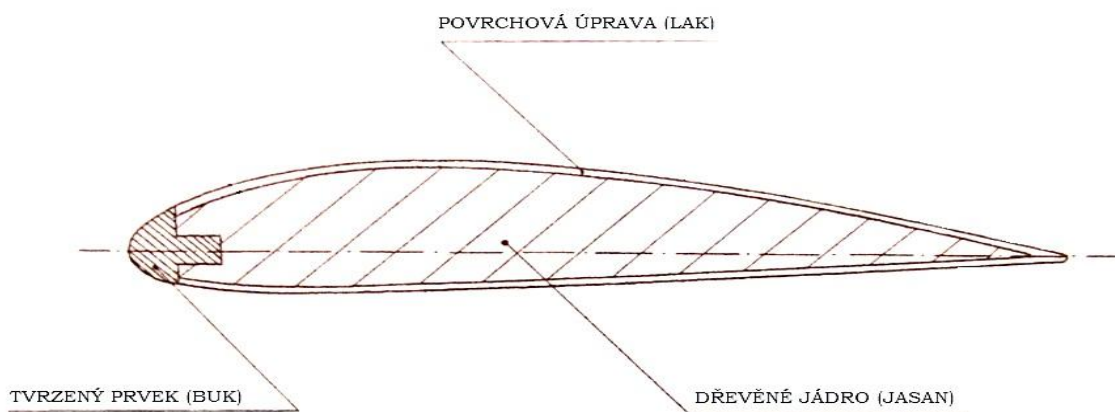
- vrtulníky – hlavní rozdíl je především v tom, že motor pohání pohyblivé nosné plochy (rotor vrtulníku),
- park fleyery – relativně malé modely poháněné elektromotory, jejich konstrukce je založená na dobré obratnosti a menších rychlostech (létání v halách),
- speciální – např. raketoplány (Blabol, 2011).

1.1.4 Konstrukční materiály

Dříve se využívaly především konstrukční prvky na bázi dřeva. Dnes z důvodu cenové nedostupnosti tohoto druhu materiálu se s úspěchem využívají alternativní materiály jako kompozity, polymerní hmoty, kovy a různé druhy barevných kovů (Blabol, 2011).

Dřevo se využívá na výrobu vrtulí (Obr. 1.2) pro svoji pevnost, tvarovou stálost a snadnou obrobitelnost. Dřevo musí být kvalitní a dokonale vyschlé. Dělí se na tvrdé a měkké:

- Tvrdé (buk, habr, javor): toto dřevo je tvrdé a houževnaté. Kvůli jeho vysoké specifické hmotnosti jsou vhodná pouze na silně namáhaná místa modelů. Používá se na motorová lože, vrtule, závěsy křídel v trupu atd. Díky své nenáročné obrobitelnosti a stálosti rozměrů se využívá především na vrtule, které lze pak dokonale vyvážit. Tyto vrtule se pak využívají především na velkých modelech. Do této skupiny tvrdých dřev lze vyříznout závit přímo (odpadá používání samosvorných matic).
- Měkká (lípa, topol, limba, olše): využívá se u RC modelů zřídka, slouží k výrobě forem laminátových dílů. Tvoří se z nich sendvičové konstrukce.
- Na konstrukční nosníky (smrk, borovice): zásada u těchto nosníků je, aby léta dřeva nebyla narušena, protože v takovémto místě je pevnost nosníku mnohonásobně snížena. Při konstruování symetrických dílů letadla (trup, křídla) se používá vždy stejný materiál, z důvodu specifické hmotnosti a hustoty let (Blabol, 2011).



Obr. 1.2: Řez skládaného dřevěného listu.
(Zdroj: Huječek, 2004)

Polymerní materiály jsou nejvíce rozšířené, nejčastěji používané, z důvodů svých výborných technologických vlastností a vysoké dostupnosti. Do této skupiny materiálů se řadí pěnový polystyren a polyuretan, celuloid, organické sklo, lisované tvrzené tkaniny, alkalické polyamidy a teflon (Blabol, 2011).

- Pěnový polystyren se používá všude tam, kde je kladen důraz na nízkou hmotnost, nevýhodou je nízká pevnost a malá odolnost povrchu proti mechanickému opotřebení. Nejčastěji se využívá jako výplň vnitřního jádra sendvičových konstrukcí křídel a výškovek. Pro kvalitní a přesné opracování polystyrenu se používá metoda řezání horkým odporovým drátem, která nenarušuje jeho strukturu.
- Celuloid a podobné polymerní materiály se snadno mechanicky opracovávají i tepelně tvarují, což se využívá pro výrobu pilotních kabin nebo jiných průhledných dílů. Nehodí se na silně namáhané části modelů.
- Organické sklo (plexi) má podobné vlastnosti a způsob využití jako celuloid, je sice mnohem tvrdší, ale zároveň i křehčí a velmi obtížně se lepí k jiným materiálům.
- Lisované tvrzené tkaniny (texgumoid nebo textit) jsou pevné, mechanicky odolné a běžnými metodami snadno obrobitelné. Vhodné pro výrobu nejrůznějších převáděcích mechanismů, podložek a ozubených kol. V dnešní době jsou nahrazovány sklotextitem, který má menší hmotnost a větší pevnost.
- Alkalické polyamidy (silon, nylon) jsou v modelářské praxi velmi oblíbené a to pro svoji vysokou pevnost, pružnost a relativně nízkou specifickou hmotnost. Materiály, do kterých se při lisování přidává ještě vhodné plnidlo (např. sekaná skleněná vlákna) se používají pro výrobu vrtulí, ozubených kol, pouzder čepů, kormidel a dalších dílů (Blabol, 2011).

Kompozity (lamináty) se začaly prudce rozvíjet v posledních desetiletích minulého století, což způsobilo radikální změnu v konstrukci a výrobě vrtulových listů. Výrobky z kompozitních materiálů vznikají prosycením skelných nebo karbonových vláken polystyrenovými případně epoxidovými pryskyřicemi a vynikají velkou pevností při nízké měrné hmotnosti. Používají se pro výrobu tvarových dílů vyráběných laminováním (trupy, křídla, klapky, ochranné kryty), rovněž se vyskytují ve formě desek, trubek nebo tyčí. Tento materiál lze dobře opracovávat, lepit i povrchově upravovat (Blabol, 2011 a Huječek, 2004).

Kovy se při konstrukci rádiem řízených modelů letadel používají jen na extrémně namáhané díly z důvodů jejich vysoké specifické hmotnosti. Hlavním zástupcem kovu v modelářské praxi je ocel a to ve formě ocelových strun a plechů. Ocelové struny se používají na táhla ovládacích mechanismů nebo na výrobu podvozků. Plechy se používají hlavně na spojovací nosníky letadel (Blabol, 2011).

Barevné kovy také hrají ve výrobě RC modelů významnou roli. Např. hliník, měď, mosaz a bronz. Nejvíce používaný je hliník, ostatní barevné kovy se postupně nahrazují polymerními látkami (Blabol, 2011).

Hliníkové slitiny jsou základním materiálem modelářských motorů. Dále se hliník používá ve formě válcovaných plechů a jeho využití se dělí podle obsahu legujících příměsí. S malým množstvím příměsí je materiál poměrně měkký, snadno se ohýbá, je dobře tvařitelný a vyrábí se z něho např. vrtulové kužely a tlumiče. S větším množstvím legujících prvků a tepelným zpracováním se materiál stává velmi pevným, pružným a poměrně tvrdým (Blabol, 2011).

1.1.5 Letecké RC vrtule

Vrtule se obvykle skládají ze dvou až osmi vrtulových listů spojených pomocí náboje s vrtulovou hřídelí motoru. Tento konstrukční prvek mění mechanickou energii motoru v kinetickou energii za účelem vytvoření tahu nutného k pohybu letadla.

Tah vrtule je síla, která vzniká činností vrtule v zemské atmosféře. Urychluje vzduch procházející diskem vrtule. Lze říci, že tah vrtule je dán rozdílem tlaků před a za diskem vrtule nebo součtem aerodynamických sil, které působí ve směru osy vrtule a to na každý samostatný list. Listy vrtulí vycházejí principiálně z geometrie křídel letadel a to i v jednotlivých řezech kolmých na osu listu vrtule (křídla), (Huječek, 2004).

Podle smyslu otáčení jsou vrtule pravotočivé a levotočivé, podle umístění vzhledem ke směru letu se vrtule dělí na tažné a tlačné (Huječek, 2004).

Konstrukční typy vrtulí

Z konstrukčního hlediska se podle uchycení listů v náboji vrtule dělí na:

pevné (úhel nastavení v průběhu letu nelze změnit),

stavitelné (dovolují možnost pootočení kolem vlastních os, tak lze měnit úhel nastavení χ v průběhu letu).

- Pevné vrtule: v dnešní době nacházejí uplatnění především u malých letadel s nízkým rozsahem rychlostí letu a u pístových motorů. Tyto vrtule mají dva základní typy provedení:

celistvé - (vytvořeny z jednoho kusu bez možnosti dalších úprav - monoblok),

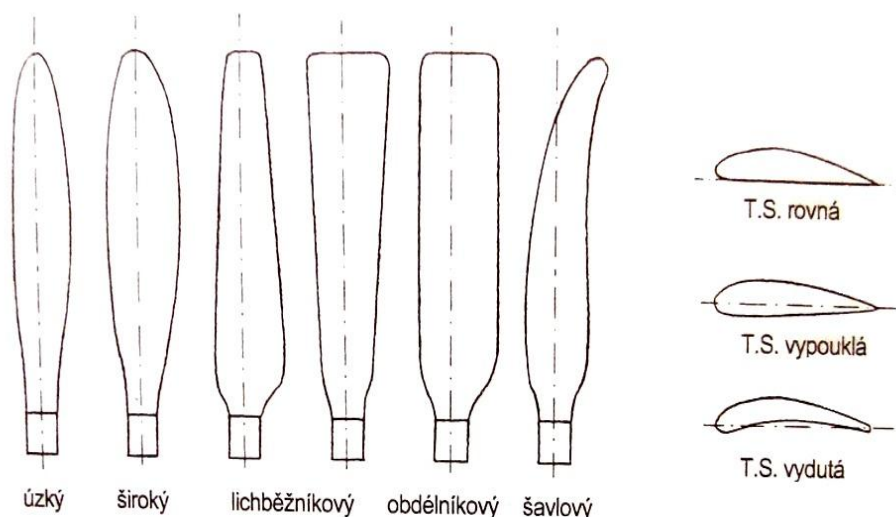
přestavitelné - (vrtule je sestavena z jednotlivých listů vložených do náboje, ve kterém jsou sevřeny šrouby nebo objímkami), jejich výhodou je rychlé přizpůsobení geometrického stoupání listu.

- Stavitelné vrtule: od pevných vrtulí se odlišují konstrukcí samotného náboje, ve kterém jsou listy vrtule uloženy valivě a pomocí přídatného zařízení (stavěcí mechanismus) je umožněno natáčet listy v úhlu χ i během letu (Huječek, 2004).

Hlavní částí vrtule je vrtulový list, který je enormně namáhán. Jeho konstrukce musí zabezpečovat stálost tvaru k dosažení požadovaného tahu a to při co nejnížší hmotnosti (Huječek, 2004).

Rozměry a tvary vrtulového listu jsou dány aerodynamickými, pevnostními a dynamickými výpočty, proto při každé úpravě tvaru listu musí dojít k přepočtu celé vrtule. Podkladem pro konstrukční výpočty je geometrická charakteristika listu (závislost tloušťky, šířky, úhlu nastavení na poloměru vrtule a tabulky souřadnic řezů listů), (Huječek, 2004).

Základní charakteristické tvary listů jsou úzký, široký, lichoběžníkový, obdélníkový a šavlový (Obr. 1.3).



Obr. 1.3: Charakteristické tvary vrtulových listů a profilů řezů listu.
(Zdroj: Huječek, 2004)

Lichoběžníkový tvar listu se používá při velkém výkonu motoru a relativně malém průměru vrtule. Šavlovitý tvar listu snižuje relativní tloušťku řezu u špičky listu a jejich maximální propulzní účinnost lze udržet při vyšších rychlostech ofukování špiček listů (Huječek, 2004).

Základní tvar dřevěné vrtule se dnes vyrábí obráběním na číslicově řízených strojích, postupným frézováním řezů při vhodném krokovém posuvu po délce listu.

Při hromadné výrobě se uplatňují kopírovací zařízení, která zároveň mechanicky snímají základní tvar vrtule a následně opracovávají povrch dřevěného monobloku do požadovaného tvaru (Huječek, 2004).

Listy se konstruuji tak, že spojnice těžišť jednotlivých řezů je přímková a totožná s osou listu kolmou k ose rotace vrtule, nebo je vhodně vyosená tak, aby list měl plynulý povrch. Vyosení ve směru tahu se z pravidla volí z důvodu odlehčení namáhání listu (Huječek, 2004).

Pro akrobatické RC modely letadel se především používají kompozitní materiály, a to z důvodu vysoké pevnosti při nízkých hmotnostech, nebo polymerní materiály. U RC modelů, které mají být přesnou replikou historických letadel, se používají vrtule dřevěné (Huječek, 2004).

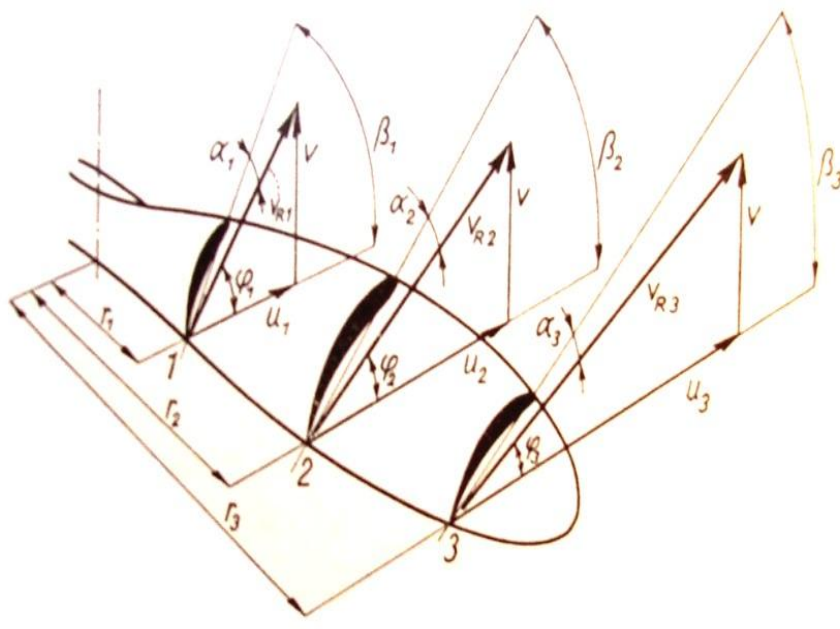
Geometrická analýza vrtule

Profil listu má v každém místě jiný úhel nastavení β (Obr. 1.6). Úhel nastavení je na profilu ve středu vrtule větší, než na profilu blíže konci listu vrtule. Úhel β_1 (úhel blíže k náboji) je větší, než $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ (úhel nastavení na konci listu, Obr. 1.4). Úhel nastavení profilu β je součtem úhlů postupu φ a úhlu náběhu profilu α . Obvodové rychlosti profilů listu jsou různé a rostou s poloměrem otáčení, zatím co výsledné rychlosti proudu listu (W), dána rychlostí letu (V), je pro každý profil stejná. Proto se mění úhel postupu φ a tím i nastavení β profilu listu (Hořejší, 1957).

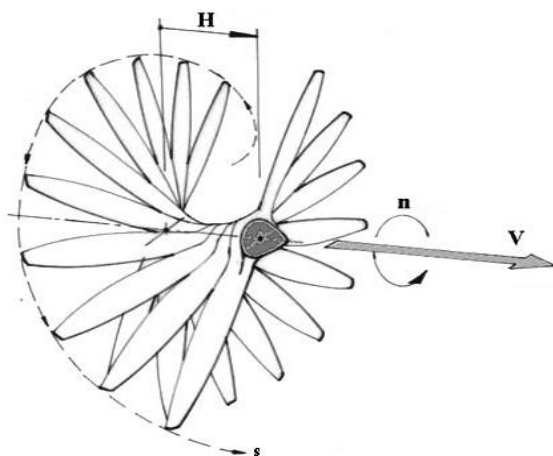
Šířka vrtulového listu není zpravidla stejná a mění se po délce listu, z toho vyplývá, že hloubka profilu se mění v různých místech listu. Unášivá rychlost (U) je v každém místě profilu listu též různá a roste směrem ke špičce listu. Výsledná rychlost (W) obtékání profilu listu závisí na poloměru (r), (Hořejší, 1957).

Vrtule se otáčí kolem své vlastní osy a zároveň postupuje vpřed. Dráha vrtule (s) za jednu otáčku se nazývá geometrické stoupání (Obr. 1.5 a Obr. 1.7). Každý bod vrtule vykonává pohyb po šroubovici (Hořejší, 1957).

Při určování úhlu nastavení β profilů navrhované vrtule je nutné dbát, správného úhlu náběhu, správného úhlu postupu φ vyplývajících z otáček vrtule a dopředné rychlosti letu modelu. Úhel nastavení β je dán stoupáním (H), úhel postupu φ určují obvodová a dopředná rychlost profilu. Proto úhel nastavení β profilu musí být vždy větší než úhel postupu φ . Úhel náběhu α se pohybuje v rozmezích 1° - 5° . Tyto úhly však nelze libovolně přičítat k úhlům postupu φ , neboť by pak v každém zvoleném řezu vrtulového listu vycházelo různé stoupání (H), proto se tento způsob provádí pouze pro jedno místo, a to nejčastěji pro řez ve vzdálenosti $0,75 \cdot r$ od středu vrtule (Hořejší, 1957).

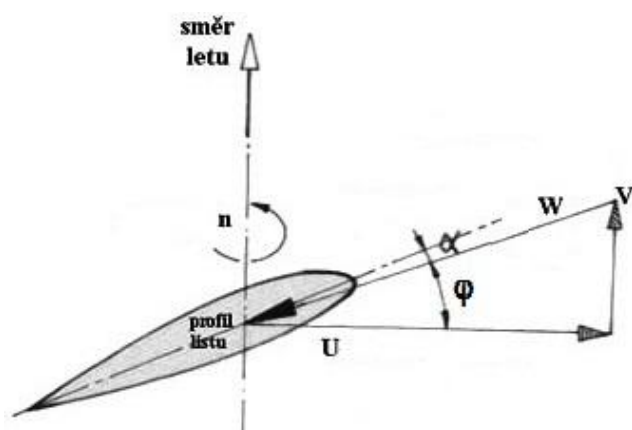


Obr. 1.4: Zkroucení vrtulového listu.
(Zdroj: Hořejší, 1957)



H – stoupání vrtule (dráha za jednu otáčku),
 n – otáčky,
 V – rychlost letu,
 D – průměr vrtule,
 s – šroubovice vytvářená špičkami listů během letu.

Obr. 1.5: Schéma vrtule za chodu.
 (Zdroj: vlastní podle Lněnička, 2011)



α – úhel náběhu listu vrtule,
 φ - úhel postupu listu vrtule,
 n – otáčky,
 U – unášivá rychlost,
 V – rychlost letu,
 W – výsledná rychlost proudu k listu.

Obr. 1.6: Řez listem vrtule.
 (Zdroj: vlastní podle Lněnička, 2011)

Vzorec pro výpočet unášivé rychlosti je dán součinem průměru vrtule (D), otáčkami vrtule (n) a konstantou π .

$$U = \pi \cdot D \cdot n \quad [\text{m/s}] \quad (1.1)$$



φ – úhel postupu listu vrtule,
H – stoupání listu.

Obr. 1.7: Stoupání listu za jednu otáčku.
(Zdroj: vlastní podle Lněnička, 2011)

Vzorec pro výpočet rychlosti letu je dán součinem stoupání listu, během jedné otáčky, (H) a počtem otáček (n).

$$V = H \cdot n \quad [\text{m/s}] \quad (1.2)$$

Druhá mocnina výsledné rychlosti proudu listu (W) je dána součtem druhých mocnin rychlosti letu (V) a unášivé rychlosti (U).

$$W^2 = V^2 + U^2 \quad [\text{m/s}] \quad (1.3)$$

Při příliš velkém stoupání (H) má profil vrtulového listu velký úhel náběhu, takže může nastat i odtržení proudu. To vede ke snížení tahu vrtule a k velkému potřebnému krouticímu momentu. Naopak při menším stoupání, než je žádoucí pro nejmenší výkon vrtule může mít profil příliš malý nebo dokonce i záporný úhel náběhu. Vrtule má malý tah, avšak díky malému součiniteli odporu profilu, postačuje malý krouticí moment a dosahuje vyšších otáček (Hořejší, 1957).

Vliv Reynoldsova čísla na výkon vrtule

Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina zohledňující setrvačnou sílu a viskozitu působící na těleso vystavené proudění tekutin. Udává, zda obtékání tělesa zůstane laminární nebo nastane přechod do turbulence. Platí, že čím je obtékané těleso štíhlejší, tím nižší je Reynoldsovo číslo, při čemž v mezní vrstvě nastává přechod z proudění laminárního do proudění turbulentního (Hořejší, 1957 a Lněnička, 2008).

„Vrtulový list je v podstatě zkroucené křídlo, a proto se na profilech listů projevuje vliv Reynoldsova čísla právě tak, jako na profilech křídla. Při otáčení vrtule proud obtéká profil rychlostí, která je výsledná z obvodové rychlosti a z postupné rychlosti totožné s rychlostí letu modelu. Podél listu roste Re s obvodovou rychlostí – v ose vrtule je nejmenší a poblíž špičky listu největší.“ (Hořejší, 1957, s. 262)

Reynoldsovo číslo z trojúhelníku rychlostí (Re) je součin sedmdesáti, hloubky profilu v milimetrech (l) a druhé odmocniny druhých mocnin obvodové rychlosti profilu (u) a postupové rychlosti vrtule (v).

$$Re = 70 \cdot l \cdot \sqrt{u^2 + v^2} \quad [-] \quad (1.4)$$

1.2 Technologický proces frézování

První známky obrábění se objevují již ve středověku, ve čtrnáctém století, kde díky objevení střelného prachu se tehdejšími slevačům zvonů podařilo vyrobit první děla. Obrobení jejich vnitřních ploch však vyžadovalo složitější nástroje a způsoby obrábění než ty, které byly dosud známy. K tomuto účelu byly nejprve vynalezeny vrtačky a soustruhy. V pozdějším vývoji (koncem 18. stol.) se k nim připojily i frézky se svými nástroji frézami (TumliKovo, 2010).

1.2.1 Technologická charakteristika

Frézování je jedna z nejrozšířenějších moderních metod obrábění rovinných a tvarových ploch. Při tomto typu obrábění je materiál obrobku odebírán břity rotujícího nástroje. Posuv nejčastěji koná obráběná součást a to převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se uskutečnit ve všech směrech (obráběcí centra, vícesé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají krátké třísky proměnné tloušťky (Mádl, 2005 a Prokop, 2005).

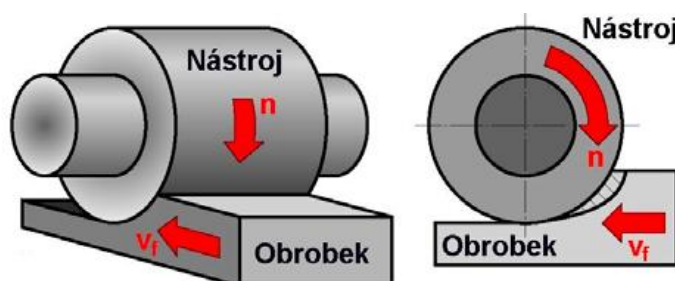
Z technologického hlediska se v závislosti na použitém nástroji rozlišuje frézování *válcové* (frézování obvodem nástroje) a frézování *čelní* (frézování čelem nástroje). Od těchto základních způsobů frézování se odvozují některé další způsoby, jako je frézování *okružní*, *planetové*, *frézování děr* a *rotační frézování* (Prokop, 2005).

1.2.2 Kinematika obráběcího procesu

Válcové frézování se používá při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou pouze po obvodu nástroje. Hloubka třísky se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou rotace nástroje. V závislosti na orientaci osy rotace se frézování dělí na *sousledné* – souměrné a *nesousledné* – protisměrné, nesousměrné (Prokop, 2005).

- **frézování sousledné** (Obr. 1.8). Definice:

„Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů. Sousměrné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejnoměrný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje.“ (Kocman, 2011, s. 122)



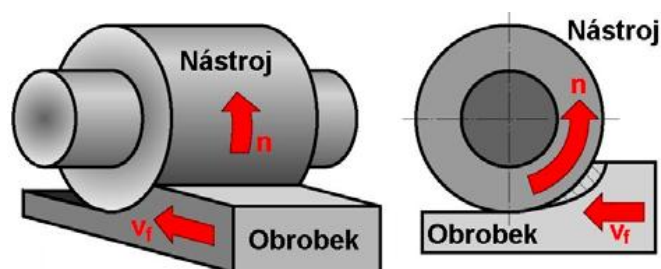
Obr. 1.8: Válcové frézování sousledné.
(Zdroj: Humár, 2003)

Hlavní výhody sousledného frézování:

- „vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků,
- menší sklon ke kmitání,
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku,
- menší drsnost obrobeného povrchu.“ (Kocman, 2011, s. 122)

- **frézování nesousledné** (Obr. 1.9). Definice:

„Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu.“ (Kocman, 2011, s. 122)

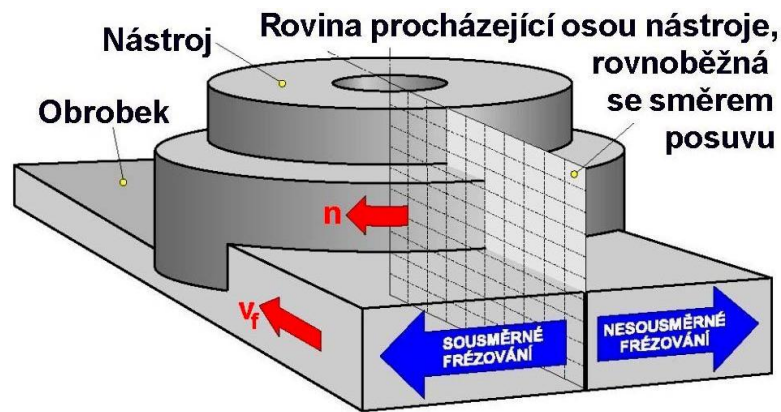


Obr. 1.9: Válcové frézování nesousledné.
(Zdroj: Humár, 2003)

Hlavní výhody nesousledného frézování:

- „trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod.,
 - není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
 - menší opotřebení šroubu a matice,
 - záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu.“
- (Kocman, 2011, s. 122)

Při čelním frézování se pracuje s čelními frézami, které mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Osa rotace nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Vzhledem k poloze osy frézy k frézované ploše se rozlišuje čelní frézování symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy) a nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy). U čelního frézování pracuje fréza současně sousměrně i nesousměrně (Obr. 1.10). (Kocman, 2011).



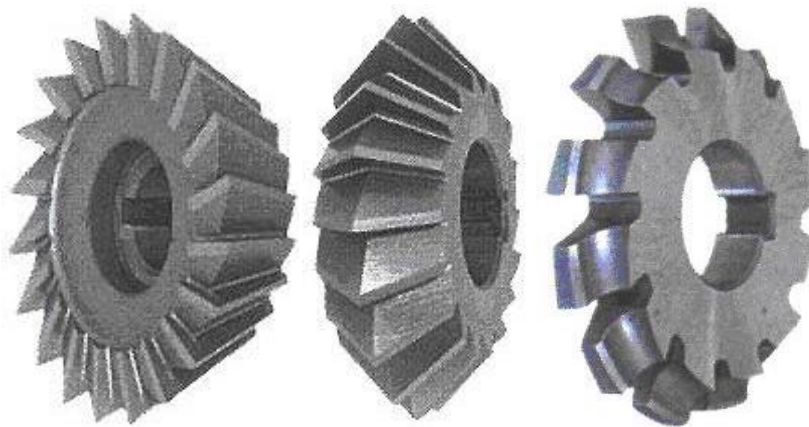
Obr. 1.10: Čelní frézování.
(Zdroj: Humár, 2003)

1.2.3 Frézovací nástroje

Fréza je několikabřítý nástroj, jehož břity jsou uspořádány na povrchu válcové, kuželové nebo jiné rotační ploše. V současné době se vzhledem k rozsáhlému uplatnění frézování používá mnoho typů fréz, které lze rozřadit podle několika různých hledisek:

- podle funkce
 - frézování rovinných ploch (válcové, čelní válcové),
 - frézování drážek (drážkovací, kotoučové),
 - frézování tvarových ploch (tvarové úhlové, kuželové, rádiusové, na ozubení, závitové),
- podle nástrojového materiálu břitů
 - z rychlořezné oceli,
 - slinutých karbidů,
 - řezné keramiky,
 - kubického nitridu bóru,
 - diamantu,
- podle tvaru zubů
 - frézované,
 - podsoustružené,
 - podbrušované,

- podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy
 - s přímými zuby,
 - se zuby do šroubovice (pravotočivé, levotočivé),
- podle konstrukce
 - celistvé,
 - s vyměnitelnými břitovými destičkami,
 - skládané (dělené a sdružené),
- podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy
 - jednozubé,
 - polohrubozubé,
 - hrubozubé,
- podle způsobu upínání
 - nástrčné,
 - s válcovou nebo kuželovou stopkou,
- podle technologie výroby
 - odlévané,
 - svařované,
 - tvářené,
 - broušené (Prokop, 2003).

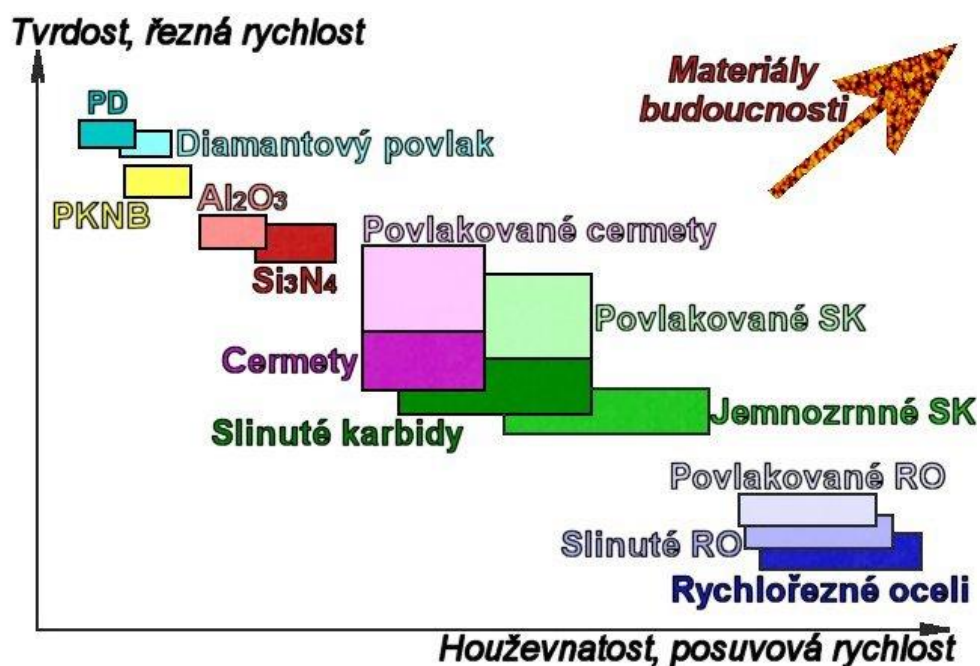


Obr. 1.11: Příklady frézovacích nástrojů.
(Zdroj: Humár, 2003)

1.2.4 Nástrojové materiály

Při obrábění je důležité před začátkem řezného procesu dobře zvolit nejen způsob samotného obrábění, ale i vlastnosti obráběcího nástroje podle druhu a vlastností obráběného materiálu. Vlastnosti obráběcího nástroje závisí zejména na vlastnostech řezné části nástroje, která je zhotovena z příslušného nástrojového materiálu (Obr. 1.12 a Obr. 1.13). Do základních požadavků na nástrojový materiál se řadí:

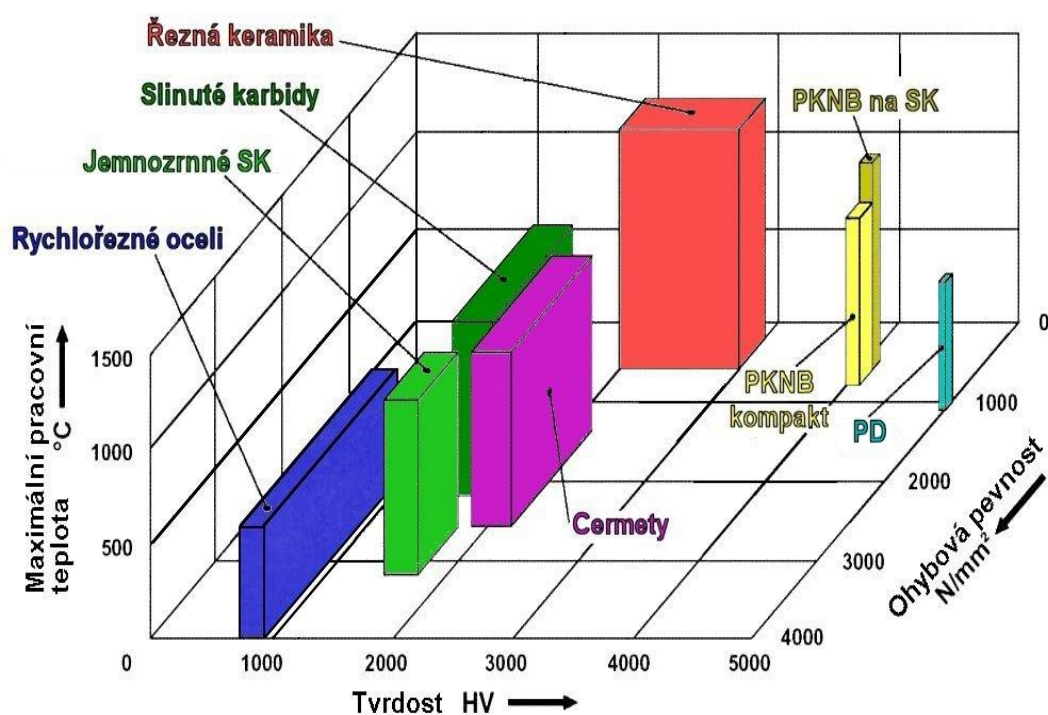
- tvrdost,
- odolnost proti opotřebení,
- tepelná vodivost,
- pevnost v ohybu,
- houževnatost (Kocman, 2011).



Obr. 1.12: Oblasti použití nástrojových materiálů.
(Zdroj: Humár, 2003)

Do základních nástrojových řezných materiálů patří:

- nástrojové oceli (nelegované, legované, vysokolegované – rychlořezné),
- stellite,
- slinuté karbidy (povlakované, nepovlakované),
- cermety,
- keramické nástrojové materiály,
- polykrystalický kubický nitrid bóru,
- polykrystalický diamant,
- přírodní diamant (Kocman, 2011 a Prokop, 2003).



Obr. 1.13: Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů.
(Zdroj: Humár, 2003)

Nástrojové oceli

Platí, že na nástrojové oceli jsou kladeny nejrůznější požadavky, často protichůdného charakteru. Jejich rozdělení podle základních hledisek je uvedeno v tabulce (Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Rozdělení, značení, vlastnosti a užití nástrojových ocelí.

Oceli	Nelegované	Legované	Vysokolegované (rychlořezné)
Označování	19 0xx ÷ 19 2xx	19 3xx ÷ 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku [%]	0,5 ÷ 1,5	0,8 ÷ 1,2	0,7 ÷ 1,3
Obsah legujících prvků [%]	< 1,0	10 ÷ 15	> 30
	desetiny	jednotky	až desítky
Legující prvky	Mn, Si, Cr	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V, Co
Kalící prostředí	voda	olej	vzduch
Tvrдость po kalení [HRC]	62 ÷ 64	66	64 ÷ 68
Užití	ruční nástroje a nářadí (nůžky, sekáče, pilníky, pilky na kov)	strojní nástroje pro nižší hodnoty řezné rychlosti (např. protahovací trny)	strojní nástroje (nože, frézy, vrtáky, výstružníky, atd.)

(Zdroj: Humár, 2003)

Slinuté karbidy

„Vyrábějí se metodou práškové metalurgie spékáním karbidů wolframu (WC), titanu (TiC), Ta, Cr a dalších kovů. Jako pojivo karbidů se při spékání (slinování) používá Co. Tvrдость slinutých karbidů je stejně jako tvrдость stelitů dána samotnou povahou materiálu. Proto se ani u slinutých karbidů neprovádí tepelné zpracování ke zvýšení tvrlosti. Slinuté karbidy snášejí zahřátí břitů až na asi 900 °C.“ (Kocman, 2011, s. 73)

Slinuté karbidy jsou velice křehké, mají sklony k vydrolování, jsou špatně obrobitelné, ale jsou více otěruvzdorné a tvrdé než rychlořezná ocel.

Dělí se na šest základních skupin z hlediska řezného procesu:

- P – dávající plynulou třísku a jsou označovány modrou barvou,
- M – dávající plynulou i krátkou třísku, označovány žlutou barvou,
- K – krátkou třísku, označovány červenou barvou
- N – označovány zelenou barvou,
- S – označovány hnědou barvou,
- H – označovány tmavošedou barvou (Kocman, 2011).

Nepovlakované slinuté karbidy:

- Slinuté karbidy typu P – WC, TiC, Co – slouží na obrábění ocelí, oceli na odlitky, temperované litiny,
- Slinuté karbidy typu M – WC, TiC, TaC, Co – používají se pro obrábění železných a neželezných kovů, jako jsou např. oceli manganové, austenitické a oceli na odlitky,
- Slinuté karbidy typu K – WC, Co – jsou určeny pro obrábění např. šedé litiny, mědi, bronzů, hliníku a nekovových materiálů (Prokop, 2003).

Povlakované slinuté karbidy:

Povlakování zajišťuje VBD ze slinutého karbidu tvrdý otěruvzdorný povrch současně se zachováním houževnatého jádra. Povlaky mohou být jednovrstvé (TiC, TiCN, TiN) i vícevrstvé (TiC + TiCN + TiN). Vícevrstvé povlakování se skládá ze dvou, tří i více vrstev. Nejdříve se nanáší vrstva s dobrou přilnavostí k podkladu VBD a jako poslední vrstva se nanáší vrstva s vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení (Prokop, 2003).

Cermety

„Cermet je řezný materiál obsahující tvrdé částice (TiC, TiN, TiCN, TaN) v kovovém pojivu (Ni, Mo, Co), který je vyráběn práškovou metalurgií. Název je tvořen počátečními písmeny slovního spojení CERamic/METal a vyjadřuje označení keramických částic v kovovém pojivu.“ (Prokop, 2003, s. 65)

Cermety jsou řezné materiály s vysokou tvrdostí a mohou pracovat při vyšších řezných rychlostech, než slinuté karbidy, ale jejich houževnatost oproti slinutým karbidům je nižší. Tento nástrojový materiál je vhodný pro obrábění ocelí, litin, neželezných kovů a snadno obrobitelných slitin.

Keramické řezné materiály

Řezná keramika se vyznačuje vysokou křehkostí, tvrdostí a trvanlivostí bříty za tepla. Její nespornou výhodou je, že chemicky nereaguje s materiálem obrobku. Dělí se na tři základní skupiny dle chemického složení a to na:

- keramiku čistou – obsahuje až 99,9 % kysličníku hlinitého a používá se zejména pro dokončovací operace šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí,
- směsnou (černou) – obsahuje korund a 20-40 % přísadu karbidu titanu, je doporučována pro frézování šedé litiny a oceli,
- na bázi nitridu křemíku – vysoká odolnost proti mechanickému porušení břitu, je vhodná pro dokončování i hrubování šedé litiny (Kocman, 2011 a Prokop, 2003).

Supertvrdé řezné materiály

Do skupiny supertvrdých materiálů se v současné době řadí dva druhy syntetických materiálů:

- PD – polykrystalický diamant,
- PKNB – polykrystalický kubický nitrid bóru (Kocman, 2011).

Vyznačují se vysokou tvrdostí a nelze je nahradit keramickými řeznými materiály ani VBD. Nevýhodou oproti výborným technologickým vlastnostem jsou dosud jejich vysoké pořizovací náklady. Vlastnosti supertvrdých řezných materiálů jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1.2).

Tabulka 1.2: Vlastnosti supertvrdých materiálů.

Vlastnost	Diamant		PKNB
	monokrystal	polykrystal	
Měrná hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	3,52	3,6 - 4,1	3,4 ÷ 4,3
Délka strany kubické mřížky [nm]	-	0,3567	0,3616
Pevnost v tlaku [GPa]	-	4,7	3,8
Mikrotvrdost [HV]	12000	7000 ÷ 10000	5000 ÷ 8000
Modul pružnosti v tahu [GPa]	-	925	680
Modul pružnosti ve smyku [GPa]	-	430	280
Poissonova konstanta [-]	-	0,09	0,22
Koeficient délkové roztažnosti při 200 °C [$10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$]	2,5	4	4,9
Měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	-	120	100 ÷ 600
Teplotní stálost [°C]	-	700 ÷ 800	1500 ÷ 1600

(Zdroj: Humár, 2003)

1.3 Vybrané ekonomické aspekty

Součástí práce je i ekonomické zhodnocení níže popsaného a vymodelovaného 3D kopírovacího zařízení. Toto zhodnocení se skládá ze tří hlavních částí:

- *Porterova analýza pěti sil* – slouží k analýze vnějšího prostředí a konkurence schopnosti projektu,
- *SWOT analýza* – představuje přehled příležitostí, hrozeb, silných a slabých stránek projektu,
- *Bod zvratu* – slouží k výpočtu bodu, kde se celkové náklady i výnosy sobě navzájem rovnají.

1.3.1 Porterova analýza pěti sil

Pro zabezpečení úspěšnosti projektu je důležité analyzovat vše, co může mít vliv na výrobek, nebo celou firmu. Jedním z nejdůležitějších faktorů je vnější prostředí, zahrnující všechny aspekty ovlivňující projekt zvenčí (který nelze ovlivnit vůbec, nebo jen částečně).

Michael Eugene Porter sestavil jeden ze základních modelů pro analýzu konkurenčního prostředí. Tento ekonomický nástroj vymezuje základní vlivy trhu, ovlivňující ziskovost podniku. Analýza se zabývá vlivem současné i nové konkurence, substitutů, zákazníků a dodavatelů (RIVATICS, 2012).

Stávající konkurence

Mimo několika málo monopolních a oligopolních podniků má každá organizace jednoho nebo více konkurentů. Stávající konkurence jsou podniky, které už působí na trhu a zabývají se stejným nebo podobným produktem. Podniky se v této rovině snaží různými způsoby odlišit od svých konkurentů a tím posílit svoje postavení na trhu (Robbins, 2004 a RIVATICS, 2012).

Při analýze stávající konkurence se sleduje zejména množství firem na trhu, dynamiku růstu trhu, rozsah služeb konkurentů (např. dotace a reklamační podmínky), (RIVATICS, 2012).

Nová konkurence

Potenciální konkurence jsou podniky, které zatím nepodnikají ve stejném odvětví, ale jejich obor působení je velmi podobný. Tyto podniky by mohly rozšířit svoji nabídku a zasáhnout tak stejné odvětví (RIVATICS, 2012).

Zákazníci

Zákazníci představují pro podnik potencionální nejistotu a s tím spojená rizika. Jejich vliv se odvíjí od druhu podniku a podnikání. V odvětvích, kde většinu poptávky tvoří malé množství odběratelů, působí velký tlak na udržení každého zákazníka. U podniků zabývajících se např. produkty každodenní potřeby s velkým rozptylem poptávky je vliv zákazníků minimální (Robbins, 2004 a RIVATICS, 2012).

Dodavatelé

Dodavatelé představují organizace, které podniku zajišťují vstupy podnikání, zejména pak materiál a zařízení firmy. Patří sem však i financování cizím kapitálem, kvalifikované pracovní síly a doprovodné služby (např. doprava produktu k zákazníkům externím dodavatelem). U dodavatelů je stejně jako u zákazníků největším rizikem jejich monopol (Robbins, 2004 a RIVATICS, 2012).

Substituční výrobky

Substituční výrobky jsou produkty na trhu, které mají stejnou nebo podobnou funkci a mohly by tak nabízející výrobek nahradit. U substitučních produktů se sleduje jejich cena, dostupnost a případně i přidaná hodnota (např. image, dostupnost náhradních dílů), (RIVATICS, 2012).

1.3.2 SWOT analýza

Cílem SWOT analýzy je identifikace silných a slabých stránek podniku, které ovlivňují způsob vypořádání se s příležitostmi a hrozbami ve vnějším prostředí. Název SWOT se skládá z počátečních písmen čtyř anglických slov:

- *strenghts* – výhody, silné stránky společnosti,
- *weaknesses* – nevýhody, slabé stránky organizace,
- *oprortunities* – příležitosti ve vnějším prostředí,
- *threats* – hrozby ve vnějším prostředí (Bělohlávek, 2001).

Silné stránky

Silné stránky jsou vnitřní pozitivní podmínky podniku, umožňující získat konkurenční výhodu (např. přístup ke kvalitnějším materiálům, distribuční kanály, vyspělá technologie), (Bělohlávek, 2001).

Slabé stránky

Slabé stránky jsou vnitřní nedostatky, které mohou vést k nižší výkonnosti podniku. Slabou stránkou může být absence vhodných zdrojů, chyba v rozvoji, neadekvátní vedení společnosti (Bělohlávek, 2001).

Příležitosti

Příležitosti jsou současné nebo budoucí faktory vyskytující se v prostředí společnosti, které mohou příznivě ovlivnit výstupy podniku. Do příznivých podmínek mohou patřit změny v zákonech, rostoucí počet zákazníků, uvedení nových technologií (Bělohlávek, 2001).

Hrozby

Hrozby jsou současné nebo budoucí faktory vyskytující se v prostředí společnosti, které mohou nepříznivě ovlivnit výstupy podniku (jedná se o opak příležitostí). Mohou být např. v podobě vstupu silného konkurenta na trh, legislativní změny nebo pokles v počtu zákazníků.

1.3.3 Bod zvratu

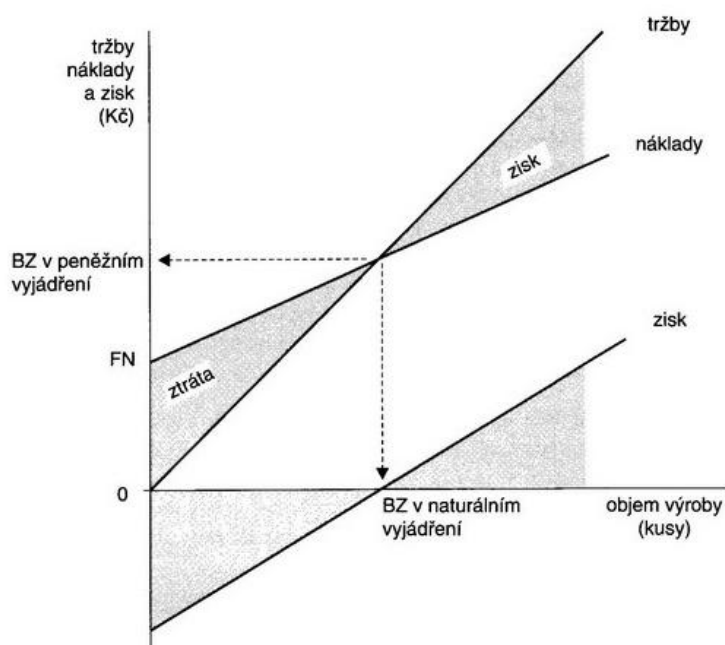
Analýza bodu zvratu představuje ekonomický nástroj pro alokaci zdrojů. Jedná se o jednoduchý výpočet ukazující vztahy mezi náklady, výnosy a ziskem. Pro výpočet bodu zvratu (BZ) je nutno znát jednotkovou cenu výrobku (P), variabilní náklady na jednotku (VC) a celkové fixní náklady (TFC),(Robbins, 2004).

Vztah pro výpočet bodu zvratu:

$$BZ = \frac{TFC}{P-VC} \quad [-] \quad (1.5)$$

O bod zvratu se jedná v okamžiku, kdy se celkové výnosy rovnají celkovým nákladům. Celkové náklady se skládají z nákladů fixních a variabilních (Obr. 1.14). Fixní náklady jsou výdaje, jejichž hodnota se v závislosti na množství produkce výrobků nemění. Variabilní náklady jsou s množstvím produkce výrobků přímo úměrné (Robbins, 2004).

Z výše uvedené rovnice (1.5) vyplývá, že celkové výnosy se budou rovnat celkovým nákladům, pokud se prodá dostatečné množství jednotek za cenu pokrývající jednotkové variabilní náklady i měrnou část nákladů fixních (Robbins, 2004).



Obr. 1.14: Analýza bodu zvratu.
(Zdroj: Benešová, 2010)

2 Analýza problému a současné situace

Počet zájemců o RC modely pozvolna roste, zejména z důvodů dostupnosti stavebnic nebo už sestavených modelů připravených k použití. Na rostoucí poptávku reaguje i zvyšující se nabídka potřebných komponentů a náhradních dílů jako např. nabídka vrtulí. Dnes se vyskytuje na trhu celá řada výrobců a distributorů zabývajících se výrobou a prodejem vrtulí pro RC modely. Vrtule mohou být buď dřevěné, nebo vyrobené z kompozitních materiálů a existuje celá řada jejich typů a rozměrů pro spalovací i elektrické motory.

2.1 Porterova analýza pěti sil

Pro analýzu vnějšího prostředí v oblasti prodeje dřevěných vrtulí RC modelů letadel byla zvolena Porterova analýza pěti konkurenčních sil (viz výše teoretická východiska práce). Analýza je zaměřena na výrobce, dovozce a poskytovatele tohoto druhu výrobků na tuzemském trhu.

2.1.1 Největší stávající prodejci dřevěných vrtulí

Dřevěnou RC vrtuli si lze pořídit třemi způsoby, a to: výběrem a objednáním na internetových stránkách (nejčastější způsob), zakoupením ve specializované prodejně, nebo zadáním výroby na zakázku (nejnákladnější způsob).

Na stávajícím tuzemském trhu se vyskytují tři hlavní výrobci dřevěných vrtulí a to: Dast velkoobchod s.r.o., Bambula s.r.o., XOAR International LLC.

Fiala propellers

Firma Fiala propellers (divize Dast velkoobchod s.r.o) se zabývá vývojem a výrobou vrtulí z bukového dřeva pro modelářské použití (spalovací i benzínové motory). Společnost nabízí své výrobky pro maloobchody i pro koncové zákazníky ve svých

internetových obchodech. Škála výrobků je široká, v současné době nabízí rozměrovou řadu od 16 do 40 palců s různými průběhy stoupání (standardně 8-22 palců). Pro zákazníky se speciálními požadavky společnost poskytuje zakázkovou výrobu (Riedel, 2009).

Identifikační údaje:

obchodní jméno – DAST VELKOOBCHOD s.r.o.,
sídlo – Valašské Meziříčí, Uhelná 13, PSČ 757 01,
rok vzniku společnosti – 2002,
jednatel – Stanislav Fiala (Justice.cz, 2013).

Bambula

Původně truhlářská firma se zabývá výrobou dřevěných vrtulí z kvalitního bukového dřeva pro modelářské spalovací motory. Výrobky jsou určené přímo spotřebiteli. Nabídka vrtulí je v rozsahu 14-34 palců, pro zákazníky s požadavky na jiné stoupání, než je v nabídce, lze vrtuli vyrobit na objednávku s možností kombinace bukového dřeva s Americkou třešní (dýha). Způsob poptávky je objednávka přes internet (Bambula).

Identifikační údaje:

obchodní jméno – BAMBULA s.r.o.,
sídlo – Praha 10, Hostivař, U Hostivařského nádraží 12/556, PSČ 102 00,
rok vzniku společnosti – 2003,
jednatel – Yuriy Semenyuk (Justice.cz, 2013).

XOAR

Firma s obchodním názvem XOAR International LLC sídlící v Kalifornii vyrábí dřevěné vrtule z bukového dřeva a vyváží je do USA, Kanady, Anglie, Malajsie, Singapuru, Japonska, Yamenu, Brazílie, Číny, Kypru, Austrálie, Spojených arabských emirátů, Pákistánu, České republiky, Německa a Belgie. Hlavním dovozcem do České republiky je obchodní společnost RCM PELIKÁN – Daniel Pelikán se sídlem v Pardubicích (Xoar Props, 2011).

2.1.2 Potenciální konkurence

Potenciální konkurenci představují výrobci pracující s potřebným vybavením (např. CNC stroje) vhodným pro přesnou práci se dřevem. Nezbytností je informativní podpora pro návrh a vypracování postupu výroby vrtulí. Jsou zde kladeny vysoké nároky na přesnost výroby a dlouholeté zkušenosti.

2.1.3 Zákazníci

Nejdůležitější zákazníky v tomto oboru tvoří výrobci RC modelů letadel, jelikož je jejich odběr výrobků relativně vysoký a stálý. Dodávky se opakují a jsou tvořeny větším množstvím vrtulí na jednu objednávku. Tento druh odběratele je pro výrobce vrtulí prioritní a je zde kladen důraz na udržení zákazníka pomocí nejrůznějších nástrojů: komunikace, benefity (např. množstevní sleva, doprava zdarma), přizpůsobení se jeho potřebám (např. časté či méně časté dodávky). Snaha o uzavírání dlouhodobých smluv.

Zbytek zákazníků tvoří jednotlivé zájmové organizace (skupiny RC modelářů) a jednotlivci. Jejich poptávka tvoří dvě třetiny produkce dřevěných vrtulí. Zde nejsou kladeny tak vysoké nároky na udržení zákazníka, jelikož jich je velké množství a jednotlivé objednávky jsou malé a nepravidelné. Stálost zákazníků je zajišťována výhodnými dodacími podmínkami a zákaznickým servisem (např. poradenství).

2.1.4 Dodavatelé

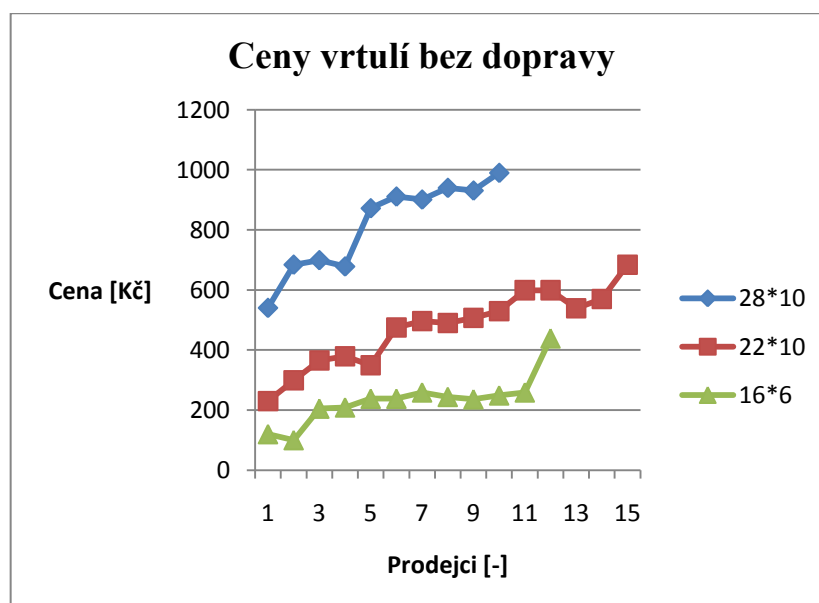
Největší a nejdůležitější materiálovou položkou je kvalitní bukové dřevo. Základním měřítkem pro výběr dodavatele je kontrola výběru dřeva, jeho zpracování a způsob sušení. Dřevo musí být vysoké kvality, profesionálně vysušené a bez kazů. Při výběru a po osvědčení dodavatele vyhovujícímu stanoveným požadavkům je snaha o uzavírání dlouhodobých smluv a zajištění pravidelných dodávek.

2.1.5 Substituční výrobky

Na trhu je dostupná celá řada dřevěných vrtulí od různých výrobců. Pro porovnání nákladů na jejich pořízení při koupi od dodavatele a výrobou na 3D kopírovacím zařízení jsou zvoleny tři typy velikosti vrtulí:

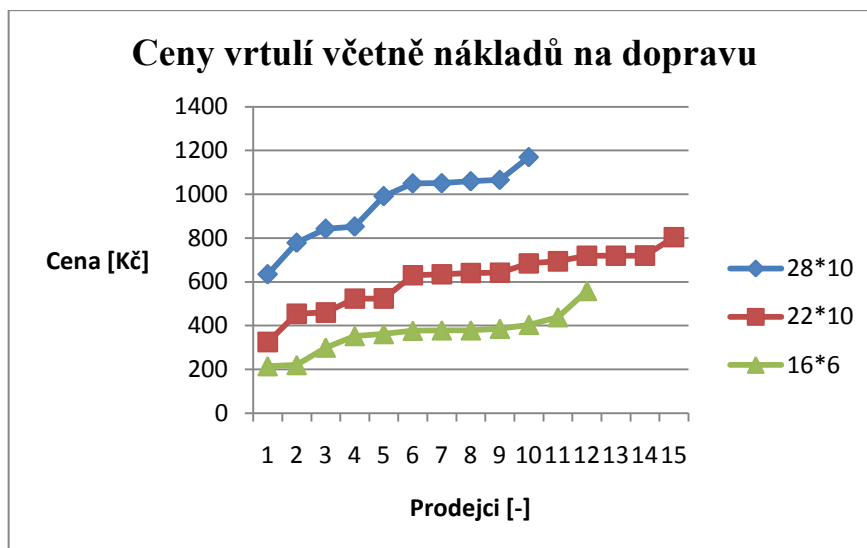
- *vrtule 28*10* – vhodná pro velká akrobatická letadla s vysokým zdvihovým objemem motoru (např. MVVS 116 Boxer, ZDZ 120 Boxer),
- *vrtule 22*10* – vhodná pro středně velká akrobatická letadla (typ motoru např. Čemech 45 Benzin, ZDZ 50, MVVS 58 a Titan 62),
- *vrtule 16*6* – vhodná pro malá letadla s nízkým zdvihovým objemem motoru (např. MVVS 20 Benzin).

Ceny vrtulí od jednotlivých prodejců jsou znázorněny v grafech (Obr. 2.1 a Obr. 2.2), ceny samotných vrtulí a se zohledněním nákladů na dopravu.



Obr. 2.1: Porovnání cen vrtulí od jednotlivých výrobců.

Pro stanovení nákladů na dopravu byly stanoveny jednotné podmínky v podobě dodání vrtule až domů max. do pěti pracovních dnů s platbou na dobírku.



Obr. 2.2: Porovnání cen vrtulí od jednotlivých výrobců včetně nákladů na dopravu.

Tabulky s přehledným výpisem výrobců a jejich cen, na jejichž základě byly sestaveny grafy (viz. výše) a průměrné ceny vrtulí tvoří Přílohu č. II., III. a IV.

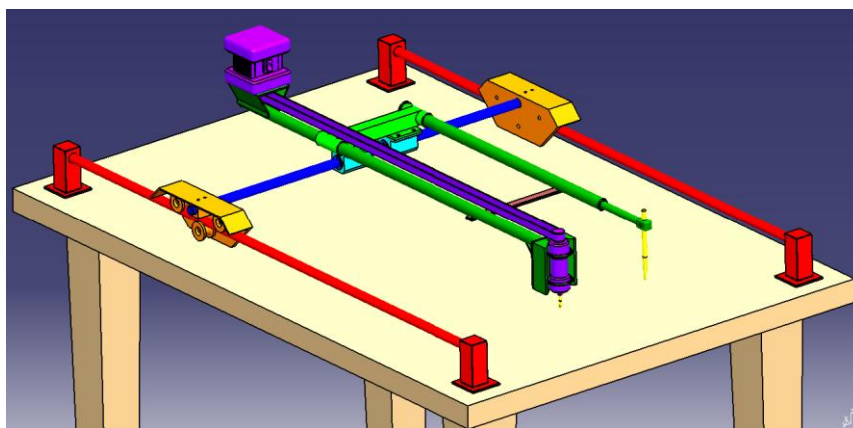
Průměrné ceny vrtulí včetně dopravy zaokrouhlené na desetiny koruny matematicky (výpočet průměrné ceny viz Příloha č. II., III. a IV):

- *vrtule 28*10 = 949,90 Kč,*
- *vrtule 22*10 = 611,50 Kč,*
- *vrtule 16*6 = 364,40 Kč.*

3 Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Při požadavku na rozšíření služeb např. místní truhlářské dílny nebo úspory nákladů zájmových organizací RC modelářů se nabízí možnost sestavení vlastního kopírovacího zařízení. Zařízení pracuje ve třech osách (x, y, z – 3D), což vytváří možnost kopírování různorodých tvarů a rozměrů součástek (omezených velikostí pracovní plochy stroje). Na 3D kopírovací frézce lze vyrábět nejenom vrtule, ale i další komponenty a výrobky z měkkého materiálu (dřevo).

3.1 3D kopírovací zařízení



Obr. 3.1: Model 3D kopírovacího zařízení.

Toto zařízení pracuje na principu frézky, pohon je zabezpečen samostatným motorem na ramenu frézky a přes řemen je přenášen výkon motoru na frézu. Kopírovací trn snímá povrch předlohy a fréza tak, díky pevnému propojení obou ramen mezi sebou, dokáže obrobit polotovár do stejného stavu jako je originál.

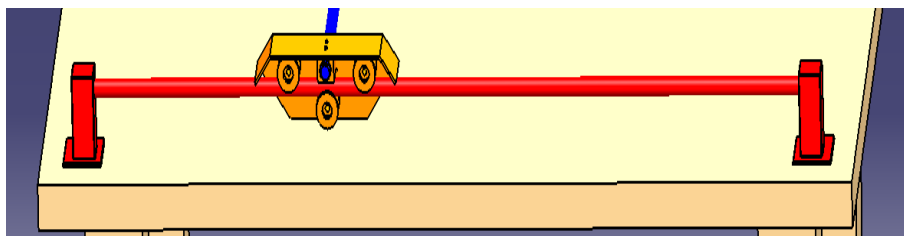
3.1.1 Detailní popis konstrukce 3D kopírovacího zařízení

Celé zařízení (Obr. 3.1) je umístěno na pevném a tuhém podkladu (v tomto případě na dubovém montážním stole – béžová barva). Zařízení se skládá z podélného posuvu (červená + oranžová barva), příčného posuvu (modrá + světle modrá + tyrkysová barva)

a úhlového přísuvu (tmavě zelená +světle zelená barva). Pohybové ústrojí se skládá z motoru, řemene a těla frézy (fialová barva). Hlavními nástroji zařízení jsou kopírovací jehla a fréza (žlutá barva).

Podélný posuv:

Podélný posuv (Obr. 3.2) je zajištěn dvojicí vodicích tyčí (červená barva). Tyče jsou nalisovány do kotvících kostek, které jsou pevně propojeny s deskou montážního stolu (pomocí šroubů M10). Součástí podélného posuvu je pojezd (oranžová barva). Pojezd se skládá z upínacího plechu, na kterém jsou upevněny tři rolly umožňující samotný podélný posuv. Tento pojezd je současně nosným prvkem příčného posuvu.

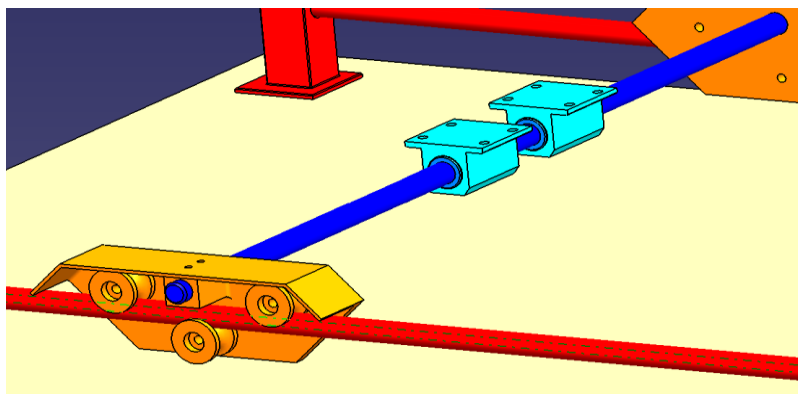


Obr. 3.2: Podélný posuv.

Příčný posuv:

Příčný posuv (Obr. 3.3) umožňuje vodicí tyč (modrá barva), která je uložena v domku navařeném na upínacím plechu podélného pojezdu a zajištěna proti pohybu kolíky. Hlavním konstrukčním prvkem, který zabezpečuje příčný posuv je dvojice domků (tyrkysová barva) s nalisovanými samomaznými kluznými ložisky s teflonovou výstelkou (světle modrá barva). Tato ložiska byla zvolena ze tří důvodů, a to z důvodu životnosti, dostatečné tuhosti a značného tlumení vibrací vznikajících od samotného obrábění.

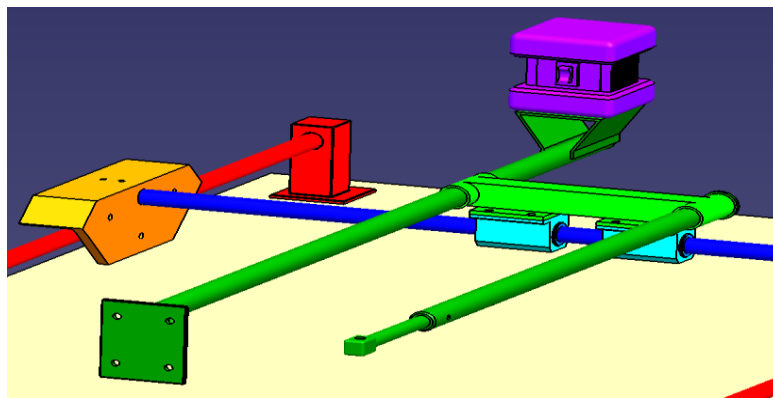
Dvojice domků zabezpečující příčný posuv je současně hlavním prvkem umožňující úhlový přísuv.



Obr. 3.3: Příčný posuv.

Úhlový přísuv:

Dvojice domků (Obr. 3.4) je mezi sebou pevně propojena pomocí ustavovací konstrukce (světle zelená barva). Tato konstrukce je nosným prvkem pro rameno kopírovací jehly (tmavě zelená barva) a rameno frézovacího zařízení (tmavě zelená barva), na kterém je zároveň upevněn motor (fialová barva). Ramena jsou zajištěna proti pohybu tlakem pomocí šroubů.



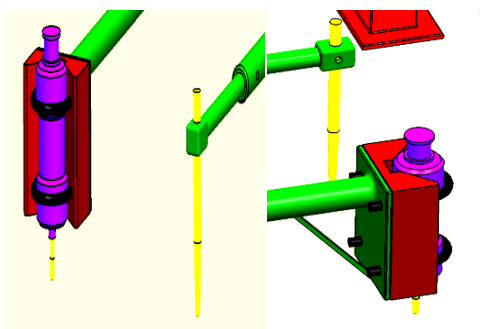
Obr. 3.4: Úhlový přísuv.

Umístění motoru je záměrné, mohlo být použito menších motorů s porovnatelnými výkony přímo integrovaných na frézce, avšak zde je využito samotné váhy motoru jako protizávaží. Tento systém funguje zároveň jako bezpečnostní prvek k ochraně vyráběného dílu (fréza obrábí pouze tehdy, když uživatel ovládá rameno kopírovací jehly).

Fréza a kopírovací jehla:

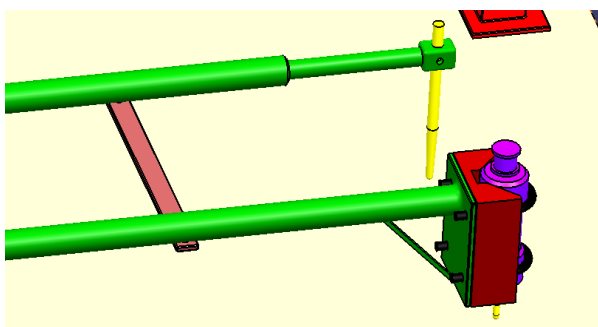
Rameno kopírovací jehly je trubka (cca 30 mm od konce trubky je menší otvor se závitem), do které je vsazena tyč a zajištěna proti posuvu šroubem. Na konci tyče je navařeno těleso tvaru krychle s otvorem pro kopírovací jehlu (žlutá barva), na tento otvor je kolmý menší otvor se závitem pro ustavovací šroub (Obr. 3.5).

Nosné rameno pro frézu je trubka o stejném průměru jako rameno kopírovací jehly (Obr. 3.5). Na konci tohoto ramena je navařen plech s připravenými otvory pro upnutí frézy. Na tento plech je připevněna spolu s tělem frézy (fialová barva) pomocí svorek (černá barva) ustavovací kostka (hnědá barva) z tvrdšího dřeva (buk) s vyfrézovanou drážkou.



Obr. 3.5: Fréza a kopírovací jehla.

Pro zajištění dostatečné tuhosti je navařena vzpěra mezi ramenem a samotným plechem (Obr. 3.6). Z důvodu zvýšení tuhosti celé konstrukce ramen (křížení) byla přidána výztuha (světle hnědá barva) mezi rameny, kvůli váze bylo zvoleno tvrdší dřevo (buk).



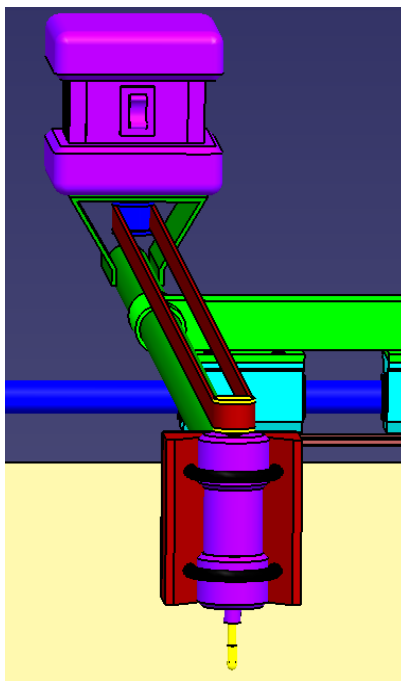
Obr. 3.6: Vzpěra pro zajištění tuhosti a přesnosti obrábění.

Ustavení nástrojů vůči sobě navzájem:

Seřízení kopírovací jehly vůči fréze se provádí upevněním jehly v přípravku. Délková korekce byla zajištěna pohybem tyče v trubce a zafixována proti pohybu šroubem. Rovnoběžnost ramen je zabezpečena vzpěrou, která sekundárně slouží ke zvýšení tuhosti soustavy. Výšková korekce nástroje se provádí na kopírovací jehle. Fréza a jehla se opřou svým čelem o etalon a následně se jehla zajistí šroubem. Toto seřízení se provádí vždy při výměně nástroje (mění se i kopírovací jehla, z důvodu geometrických vlastností a rozměrů nástroje).

Pohon frézky:

Mezi hnacím kolem motoru (modrá barva) a hnaným kolem frézy (žlutá barva) je napnut pásový řemen (hnědá barva). Napnutí řemene je uskutečněno pomocí napínacího šroubu, který pohybuje s celým motorem (motor se pohybuje v drážkách pro šrouby), (Obr. 3.7).



Obr. 3.7: Pohon frézky.

3.1.2 Náklady na pořízení 3D kopírovacího zařízení.

Náklady na pořízení tohoto zařízení se skládají ze součtu čtyř základních položek (Tab. 3.1):

- *přímý materiál* představuje souhrn ceny všech materiálových komponentů potřebných k sestavení kopírovací frézky od tuzemských dodavatelů, včetně nástrojů na obrábění (viz. Kusovník Příloha č. V.), cena byla zaokrouhlena na celé koruny matematicky,
- *přímé mzdy* tvoří náklady na odborného pracovníka se sazbou 200 Kč/hod,
- *ostatní přímé náklady* se skládají z nákladů na využití drobného dílenského vybavení, spotřeba elektrod na svařování, atd., cena byla zaokrouhlena na celé desetikoruny nahoru,
- *výrobní režie* zahrnují spotřebovanou energii, opotřebení použitých strojů i nástrojů, přípravky na zabezpečení rozměrů a vlastností stroje, byly zhodnoceny jako 30 % sazba z přímých mezd.

Tab. 3.1: Kalkulace nákladů na pořízení 3D Kopírovacího zařízení.

PŘÍMÝ MATERIÁL [Kč]		8240
PŘÍMÉ MZDY *[Kč]		2400
OSTATNÍ PŘÍMÉ NÁKLADY [Kč]		240
VÝROBNÍ REŽIE [Kč]	*30%	720
VLASTNÍ NÁKLADY VÝROBY [Kč]		11600

3.2 Výroba vrtule

Na sestaveném 3D kopírovací zařízení se vyrobí z předem připraveného materiálu (vysušený buk) kopii tvaru i rozměrů (Obr. 3.8) zakoupené originální vrtule.



Obr. 3.8: Vrtule typu 22*8 vyrobená na 3D kopírovacím zařízení.

3.2.1 Popis výroby vrtule

Originál vrtule je upnut na pracovní desku stolu, pomocí středového šroubu, který zajistí střed vrtule. Aby nedošlo k prohnutí vrtule na jejím konci při dotyku s kopírovací jehlou je vrtule podepřena na koncích listů ustavovacím přípravkem. Totéž se provede se základním materiálem na výrobu kopie vrtule (již je předvrtán střed vrtule, který slouží taktéž pro upnutí k pracovní desce stolu).

Hrubování vrtule:

Pro hrubování byla zvolena čelní válcová fréza o $\varnothing$ 30 mm, tomu odpovídal i výběr kopírovací jehly, která měla tvar a geometrické parametry jako samotný nástroj. Následně byly seřízeny korekce. Tento nástroj měl za úkol odebrat co nejvíce materiálu a tím umožnit použití vhodnějších nástrojů pro mezioperace a dokončovací frézování (nástroje o menších průměrech a kulové frézy).

Mezioperace:

V této sekci obrábění dochází ke zlepšení povrchu vrtule po předešlém hrubování (vrtule nabývá již konečného vzhledu a tvaru, dráhy po válcové fréze byly odstraněny toroidní frézou o $\varnothing$ 12 mm a $R = 0,5$ mm). Tento nástroj slouží pro finální tvar vrtule, kde povrch není tak náročný na úpravu (rovinost a vlnitost), tzn.: obrobil zbytky materiálu, ke kterému se válcová fréza nedostala (geometrické parametry).

Dokončování:

Pro dokončovací frézování slouží kulová fréza o Ø 8 mm. Celá vrtule je obrobena tímto nástrojem, pro zajištění dokonalého povrchu byl boční krok frézy dostatečně malý, aby drsnost povrchu byla na stejné úrovni jako geometrické parametry a jakost frézy (po zanedbání pórovitosti materiálu).

Broušení zhotovené vrtule:

Tato operace je finálním krokem pro zhotovení plnohodnotné vrtule. Slouží pro snížení drsnosti po předešlých obráběcích operacích. Použité brusné plátno o velikosti zrna 150 a následně 220 (vhodné pro dřevo – umělý diamant nebo korund).

Následné kroky pro uvedení vrtule do provozu:

1. vyvážení vrtule v magnetickém poli,
2. barvení + nápisy,
3. lakování (1 – 3 vrstvy),
4. vyvážení vrtule v magnetickém poli.

3.2.2 Náklady na výrobu vrtulí

Kalkulace nákladů na výrobu jednoho kusu tří typů vrtulí jsou uvedeny v tabulkách (Příloha č. VI.). Jedná se pouze o výpočet variabilních nákladů na jeden kus výrobku, bez započtení nákladu na pořízení stroje.

Přímý materiál tvoří náklady na vysušené bukové dřevo třídy A na výrobní jednici, přímé mzdy práci odborného pracovníka se sazbou 150 Kč/hod. Ostatní přímý materiál zahrnuje použití drobného dílenského vybavení a přípravků na upnutí. Výrobní režii tvoří sazba nákladů na provoz zařízení 30 Kč/hod.

Variabilní náklady na výrobu vrtule 28*10 jsou **874 Kč**, 22*10 – **550 Kč**, 16*6 – **307 Kč** na výrobní jednici.

3.3 Technicko-ekonomické zhodnocení

3D kopírovací zařízení je relativně jednoduché frézovací zařízení umožňující kopírovat rovinné i tvarové plochy. Při volbě správného nástroje a jeho seřízení lze kopírovat výrobky s vysokou přesností, což zajišťuje pevná konstrukce mezi kopírovací jehlou a nástrojem. Rozměry kopírovaných součástí omezuje pouze velikost pracovní plochy.

Ochranné prvky tvoří plochý řemen a umístění motoru na druhém konci ramene frézky oproti nástroji. Řemen zajišťuje ochranu motoru před zadřením. Při zaseknutí nástroje v materiálu a jeho zastavení proklouzne řemen na hnaném kole převodu. Umístění motoru svou protiváhou vylučuje v případě přerušení kontaktu pracovníka se strojem znehodnocení výrobku.

Délka životnosti kopírovacího zařízení závisí na délce životnosti motoru. Výrobce deklaruje záruční lhůtu s dobou trvání dvou let ode dne zakoupení motoru. Skutečná životnost frézky se odvine od vytíženosti a namáhání zařízení.

3.3.1 SWOT analýza výroby vrtulí na 3D kopírovacím zařízení

Cílem SWOT analýzy je vypracování přehledného seznamu výhod, nevýhod, příležitostí a hrozeb pořízení a následné výroby na 3D kopírovacím zařízení pro usnadnění rozhodování a eliminaci případných úskalí projektu.

Z níže uvedeného přehledu je patrné, že výhody pořízení kopírovacího zařízení v podobě nízkých pořizovacích nákladů a širokých možnostech využití zcela převažují nad nevýhodami, které lze eliminovat vytvořením vhodných podmínek.

Vymezení a popis funkce SWOT analýzy se věnuje podkapitola 1.2.3 v teoretické části práce.

Příležitosti

- zvyšující se počet zájemců o létání s RC modely letadel,
- vyšší počet zákazníků v důsledku rozšíření služeb,
- zvýšení dostupnosti zákazníkům.

Hrozby

- nízké vytížení.

Výhody

- nízké pořizovací náklady,
- rychlá doba návratnosti investice z pořízení zařízení,
- multifunkčnost zařízení,
- nízké náklady na provoz zařízení,
- snadná ovladatelnost,
- vysoká přesnost obrábění,
- kusová i sériová výroba.

Nevýhody

- náročná výroba zařízení,
- nutné dostatečné odvětrání pracovního prostoru,
- potřeba určitých znalostí a zkušeností s tímto typem obrábění,
- údržba a kontrola funkčních částí frézky,
- nutnost seřízení nástroje a kopírovací jehly před začátkem obrábění,
- využitelnost pouze pro dřevěné materiály.

3.3.2 Bod zvratu

Obecný vzorec pro výpočet bodu zvratu slouží pro alokaci fixních nákladů. Fixní náklady jsou kryty z rozdílu mezi prodejní cenou a variabilními náklady. Výsledkem je bod, ve kterém projekt přestává být ztrátový a stává se výnosným.

Do vzorce se dosadí celkové pořizovací náklady 3D kopírovacího zařízení v podobě fixních nákladů, na místo vlastní prodejní ceny se dosadí průměrnou prodejní cenu jednotlivých typů vrtulí a variabilní náklady v podobě nákladů na výrobní jednotku vrtule.

Výsledkem je počet kusů jednotlivého výrobku, při němž se zcela pokryjí pořizovací náklady na zařízení, za předpokladu, že stejný počet vrtulí by byl pořízen na tuzemském trhu od jiného dodavatele. Do ceny pořízení vrtule od tuzemského dodavatele jsou zahrnuty i náklady na dopravu.

Bod zvratu vypočítaný pro tři rozměry vrtule:

Vrtule 28*10

$$BZ_1 = \frac{11600}{949,9-874} = 153 \text{ Ks} \quad (3.1)$$

Vrtule 22*10

$$BZ_2 = \frac{11600}{611,53-550} = 189 \text{ Ks} \quad (3.2)$$

Vrtule 16*6

$$BZ_3 = \frac{11600}{364,42-307} = 203 \text{ Ks} \quad (3.3)$$

Ceny jsou uvedeny v korunách. Výsledky jsou zaokrouhleny na celé kusy nahoru.

Doba návratnosti nelze předem přesně stanovit. Jedná se o kusovou případně malosériovou výrobu s širokým rozsahem využití. Na frézovacím zařízení se nebudou vyrábět pouze vrtule jednoho typu, ale umožňuje zhotovení různých druhů i rozměrů vrtulí.

Z výpočtů vyplývá, že při výrobě vrtulí velkých rozměrů, konkrétně vrtule při rozměrech 700 x 250 mm je bod zaplacení pořizovacích nákladů stroje 153 kusů vrtulí. Při výrobě středně velkých vrtulí o rozměrech 550 x 250 mm je bod zvratu 189 vyrobených kusů a při výrobě vrtulí malých rozměrů např. 400 x 150 mm se bod zvratu pohybuje okolo 203 kusů vrtulí.

Závěr

Cílem práce bylo sestavení (vymodelování) 3D kopírovacího zařízení, průzkum tuzemského trhu v oblasti prodeje dřevěných vrtulí, zhodnocení výhodnější varianty výroby vrtulí a technicko-ekonomické zhodnocení.

V průzkumu tuzemského trhu byli analyzováni tři hlavní výrobci dřevěných vrtulí a to Dast velkoobchod s.r.o, Bambula s.r.o., XOAR International LLC. Pomocí průzkumu cen od dodavatelů vrtulí těchto výrobců byly zjištěny průměrné ceny tří vybraných typů vrtulí.

Z ekonomického hlediska je mnou navržené zařízení výhodnější, než doposud používané technologie (CNC stroje, příp.: vstřikovací stroje), a to nejen z důvodu obsluhy zařízení, ale i z jeho pořizovacích a provozních nákladů, především snadné vyměnitelnosti opotřebovaných dílců (normalizované součásti).

Konstrukce mnou navrženého kopírovacího zařízení splnila požadavky, které na ni kladou geometrické parametry vrtule. Dalším stěžejním bodem byla snaha o úsporu nákladů (pořizovací náklady vrtule).

Úhrnem lze tedy konstatovat, že z hlediska jakosti odpovídají vyrobené vrtule požadavkům na přesnost rozměrů, drsnosti povrchu a vzhledu. Další předností navrhovaného řešení je multifunkčnost kopírovacího zařízení. Je vhodné pro výrobu více druhů vrtulí, např. pro letadla, vrtulníky apod. V neposlední řadě se mohou vyzdvihnout nízké náklady spojené s pořízením kopírovacího zařízení, které budou zaplacený nejpozději při výrobě 203 kusů vrtulí (toto číslo je orientační z důvodu možnosti výroby více druhů vrtulí).

Seznam použitých zdrojů

- [1] BAMBULA. *Výroba modelářských potřeb* [online]. 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.bambula.cz/>.
- [2] BENEŠOVÁ, Lenka. BENESLENKA. *Bod zvratu* [online]. 2010 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://beneslenka.webnode.cz/album/podnikova-ekonomika/bod-zvratu-001-jpg1/>.
- [3] BĚLOHLÁVEK, František. *Management*. 1. vyd. Olomouc: Rubico, 2001, 642 s. ISBN 80-858-3945-8.
- [4] BLABOL. *Manuál stavby RC modelů* [online]. RONY-SOFT, 2011, 79 s. Dostupné z: <http://rcmodell.ic.cz/manual00.html>.
- [5] HNILICA, Radim. Modelfun. Recenze RC letadla Art-Tech Piper J3 Cub. [online]. 2012 [cit. 2012-09-12]. Dostupné z: <http://www.modelfun.cz/rcmagazin/recenze-rc-letadla-art-tech-piper-j3/>.
- [6] HOŘEJŠÍ, Ivan. *Elektrolety a jak na to*. Plzeň: APEX-ART, 2008, 90 s. HOR-0904. Dostupné z: www.horejsi.cz.
- [7] HOŘEJŠÍ, Milan. *Aerodynamika létajících modelů: Profil, křídlo, vrtule*. Praha: Naše vojsko, 1957, 347 s. 56/III-12, D 576523.
- [8] HUJEČEK, Zdeněk. *Vrtule: studijní modul 17*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 95 s. Učební texty dle předpisu JAR-66. ISBN 80-720-4363-3.
- [9] HUMÁR, A., PÍŠKA, M. *Materiály pro řezné nástroje*. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Září 2004. s. 12-15. ISSN 1212-2572.
- [10] HUMÁR, A. *Technologie obrábění 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. FSI VUT v Brně, 2003. 138 s.
- [11] JUSTICE.CZ. *Obchodní rejstřík* [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://portal.justice.cz>.
- [12] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [13] KOSTĚNKO, MIKIRTUMOV. *Modely letadel*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství dětské knihy, 1954. 74 s.

- [14] LETADLA.org. *Historie létání* [online]. 2006 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.letadla.org/historie-letani/>.
- [15] LNĚNÍČKA, Jaroslav. Akademie letectví. *Podobnost v aerodynamice* [online]. 2008, č. 3 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.airspace.cz/akademie/rocnik/2008/03/podobnost.php>.
- [16] LNĚNÍČKA, Jaroslav. Akademie letectví. *Vrtule – uživatelské a bezpečnostní pokyny* [online]. 2011 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z: http://www.airspace.cz/akademie_letectvi/2011/08/vrtule-uzivatelske-a-bezpecnostni-pokyny/.
- [17] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 55 s. ISBN 80-010-2610-8.
- [18] PROKOP, Jaroslav a Karel KOČMAN. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [19] RC BAZAR. In: *Historie létání s RC modely letadel* [online]. 2011 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.rcbazar.cz/clanky/historie-171/>.
- [20] RIEDEL, Jiří. Fiala Propellers. *Vrtule Fiala* [online]. 2009 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.vrtule-fiala.cz/>.
- [21] RIVATICS, *Porterova analýza pěti sil* [online]. 2012 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://rivatics.cz/porterova-analyza-peti-sil/>.
- [22] ROBBINS, Stephen P. *Management*. 7. vyd. Praha: Grada, 2004, 600 s. ISBN 80-247-0495-1.
- [23] TUMLIKOVO; Metal Cutting Technologies. *Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování* [online]. 2010 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>.
- [24] XOAR PROPS. *Airplane Propeller Manufacturer* [online]. 2011 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.xoarintl.com/>.

Seznam obrázků

OBR. 1: START RÁDIEM ŘÍZENÉHO MODELU "BIG GUFF" V ROCE 1947.	12
OBR. 1.1: HLAVNÍ ČÁSTI MODELU LETADLA 1 – VRTULE; 2 – KŘÍDLO; 3 – MOTOR; 4 – KABINA; 5 – PODVOZEK; 6 – TRUP; 7 – STABILIZÁTOR.	15
OBR. 1.2: ŘEZ SKLÁDANÉHO DŘEVĚNÉHO LISTU.	17
OBR. 1.3: CHARAKTERISTICKÉ TVARY VRTULOVÝCH LISTŮ A PROFILŮ ŘEZŮ LISTU.	21
OBR. 1.4: ZKROUCENÍ VRTULOVÉHO LISTU.	23
OBR. 1.5: SCHÉMA VRTULE ZA CHODU.	24
OBR. 1.6: ŘEZ LISTEM VRTULE.	24
OBR. 1.7: STOUPÁNÍ LISTU ZA JEDNU OTÁČKU.	25
OBR. 1.8: VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ SOUSLEDNÉ.	28
OBR. 1.9: VÁLCOVÉ FRÉZOVÁNÍ NESOUSLEDNÉ.	29
OBR. 1.10: ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ.	30
OBR. 1.11: PŘÍKLADY FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ.	31
OBR. 1.12: OBLASTI POUŽITÍ NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ.	32
OBR. 1.13: HODNOTY VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ.	33
OBR. 1.14: ANALÝZA BODU ZVRATU.	40
OBR. 2.1: POROVNÁNÍ CEN VRTULÍ OD JEDNOTLIVÝCH VÝROBCŮ.	44
OBR. 2.2: POROVNÁNÍ CEN VRTULÍ OD JEDNOTLIVÝCH VÝROBCŮ VČETNĚ NÁKLADŮ NA DOPRAVU.	45
OBR. 3.1: MODEL 3D KOPÍROVACÍHO ZAŘÍZENÍ.	46
OBR. 3.2: PODÉLNÝ POSUV.	47
OBR. 3.3: PŘÍČNÝ POSUV.	48
OBR. 3.4: ÚHLOVÝ PŘÍSMUV.	48
OBR. 3.5: FRÉZA A KOPÍROVACÍ JEHLA.	49
OBR. 3.6: VZPĚRA PRO ZAJIŠTĚNÍ TUHOSTI A PŘESNOSTI OBRÁBĚNÍ.	49
OBR. 3.7: POHON FRÉZKY.	50
OBR. 3.8: VRTULE TYPU 22*8 VYROBENÁ NA 3D KOPÍROVACÍM ZAŘÍZENÍ.	52

Seznam tabulek

TAB. 1.1: ROZDĚLENÍ, ZNAČENÍ, VLASTNOSTI A UŽITÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ.	34
TABULKA 1.2: VLASTNOSTI SUPERTVRDÝCH MATERIÁLŮ.	36
TAB. 3.1: KALKULACE NÁKLADŮ NA POŘÍZENÍ 3D KOPÍROVACÍHO ZAŘÍZENÍ (V KČ).	51

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Popis
např.	například
cca	přibližně
mj.	mimo jiné
Obr.	obrázek
Tab.	tabulka
stol.	století
atd.	a tak dále
popř.	popřípadě
tzn.	to znamená
č.	číslo
mm	milimetr
cm	centimetr
m	metr
nm	nanometr
GPa	gigapascal
g	gram
Kč	korun českých
Ks	kusy
km	kilometr
hod	hodina
CNC	Computer Numeric Control
RC	Radio Control
P, M, K, N, S, H	skupiny slinutých karbidů
PD	polykrystalický diamant
PKNB	polykrystalický kubický nitrid bóru
Mn	Mangan
Ni	Nikl
Si	Křemík
Cr	Chrom
Co	Kobalt
W	Wolfram
Mo	Molybden
V	Vanad
Ta	Tantal
N	Dusík
C	Uhlík
Ti	Titan

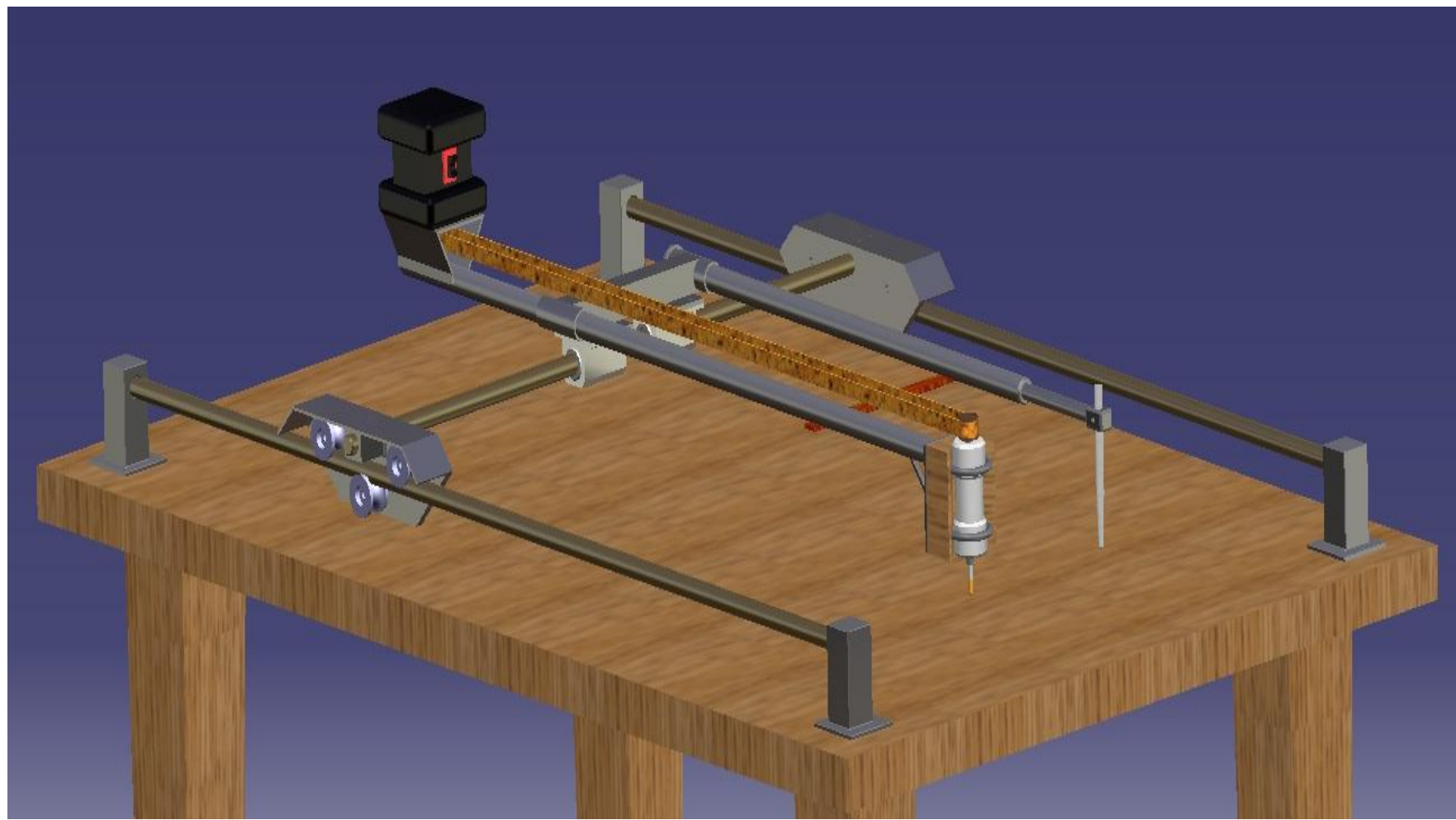
Zkratka	Jednotky	Popis
R	[mm]	rádus
W	[m/s]	rychlost proudu listu
V	[m/s]	rychlost letu
U	[m/s]	unášivá rychlost
H	[mm]	stoupání
D	[mm]	průměr
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
r	[mm]	poloměr
s	[mm]	dráha
u	[mm/s]	obvodová rychlost
v	[mm/s]	postupová rychlost
l	[mm]	hloubka profilu
n	[mm/s]	otáčky
BZ	[ks]	bod zvratu
TFC	[Kč]	celkové fixní náklady
P	[Kč]	cena
VC	[Kč]	variabilní náklady

Seznam příloh

Příloha č.	Název
I.	Model 3D kopírovacího zařízení (materiálové zobrazení)
II.	Přehled tržních cen vrtule 28*10
III.	Přehled tržních cen vrtule 22*10
IV.	Přehled tržních cen vrtule 16*6
V.	Kusovník použitého materiálu 3D kopírovacího zařízení
VI.	Kalkulace výrobních nákladů vrtulí 28*10, 22*10 a 16*6

PŘÍLOHY

Příloha č. I.



Příloha č. II.**Typ: 28/10; Rozměry: [700/250]**

	Prodejce	Označení výrobce	Druh materiálu	Cena [Kč]	Doprava [Kč]	Cena celkem [Kč]
1	Karel Bambula	BAMBULA 28x10	buk	540	95	635
2	PECKA MODELÁŘ s.r.o.	Fiala Natural 28x10	buk	684	95	779
3	Erlen, s.r.o.	Vrtule dřevěná 28*10	buk	699	144	843
4	ZDZ Modelmotor	Vrtule dvoulistá AAP 28x10	buk	678	175	853
5	HOBBYLINC	28x10 PJA Series	buk	872	120	992
6	RC MODEL Y MIPA	XOAR 28x10 dřevěná vrtule	buk	911	139	1050
7	KOSTKA MODELCENTRUM	XOAR 28x10 dřevěná vrtule	buk	901	150	1051
8	PARC Models s.r.o.	Dřevěná vrtule VOX 28x10	-	940	120	1060
9	HOBBY E-SHOP	XOAR 28x10 dřevěná vrtule	buk	931	135	1066
10	RC HOBBY - Fischer Miroslav	XOAR 28x10 dřevěná vrtule	buk	990	180	1170
	Průměrná hodnota			814,60	135,30	949,90

Příloha č. III.

Typ: 22/10; Rozměry: [550/250]

	Prodejce	Označení výrobce	Druh materiálu	Cena [Kč]	Doprava [Kč]	Cena celkem [Kč]
1	Karel Bambula	BAMBULA 22x10	buk	230	95	325
2	VR TECHNIK	BAMBULA 22x10	buk	299	155	454
3	PECKA MODELÁŘ s.r.o.	Fiala Natural 22x10	buk	365	95	460
4	Erlen, s.r.o.	Vrtule dřevěná 22x10	buk	379	144	523
5	ZDZ Modelmotor	Vrtule dvoulistá AAP 22x10	buk	349	175	524
6	VR TECHNIK	dřevěná vrtule Fiala 22x10	buk	475	155	630
7	RC MODELY MIPA	XOAR 22x10 dřevěná vrtule	buk	496	139	635
8	KOSTKA MODELCENTRUM	XOAR 22x10 dřevěná vrtule	buk	490	150	640
9	HOBBY E-SHOP	XOAR 22x10 dřevěná vrtule	buk	507	135	642
10	VR TECHNIK	XOAR 22x10	buk	529	155	684
11	PELIKAN DANIEL	XOAR 22x10	buk	599	95	694
12	PARC Models s.r.o.	Dřevěná vrtule VOX 22x10	-	599	120	719
13	RC HOBBY - Fischer Miroslav	XOAR 22x10 dřevěná vrtule	buk	539	180	719
14	Modelarina.cz	Vrtule XOAR 22x10	buk	570	150	720
15	HOBBYLINC	22x10 Wood Prop	-	684	120	804
	Průměrná hodnota			474,00	137,53	611,53

Příloha č. IV.

Typ: 16/6; Rozměry: [400/150]

	Prodejce	Označení výrobce	Druh materiálu	Cena [Kč]	Doprava [Kč]	Cena celkem [Kč]
1	Karel Bambula	BAMBULA 16x6	buk	120	95	215
2	Classic models	Vrtule 16"6	-	100	120	220
3	PECKA MODELÁŘ s.r.o.	Fiala Natural 16x6	buk	205	95	300
4	Erlen, s.r.o.	Vrtule dřevěná 16x6	buk	209	144	353
5	PELIKAN DANIEL	16x6 dřevěná vrtule	buk	238	124	362
6	RC MODELÝ MIPA	XOAR 16x6 dřevěná vrtule	buk	238	139	377
7	PARC Models s.r.o.	Dřevěná vrtule VOX 16x6	-	259	120	379
8	HOBBY E-SHOP	XOAR 16x6 dřevěná vrtule	buk	244	135	379
9	KOSTKA MODELCENTRUM	XOAR 16x6 dřevěná vrtule	buk	236	150	386
10	VR TECHNIK	XOAR 16x6	buk	249	155	404
11	RC HOBBY - Fischer Miroslav	XOAR 16x6 dřevěná vrtule	buk	259	180	439
12	HOBBYLINC	16x6 Power Point Propeller	-	439	120	559
	Průměrná hodnota			233,00	131,42	364,42

Příloha č. V.

Položka		Cena 1 MJ [Kč]	MJ	NSm	Cena [Kč]
1	TR 4HR 30x2 ČSN 42 5720.00	32,30	1 m	0,2 m	6,46
2	4HR 60 ČSN 45 5520.20	814,80	1 m	0,5 m	407,40
3	KR Ø 20 ČSN 42 5510.12	44,46	1 m	0,2 m	8,89
4	KR Ø 28 ČSN 42 5510.12	86,94	1 m	1,8 m	156,49
5	TR Ø 28,0x2,9 ČSN 42 5715.01	35,64	1 m	3,3 m	117,61
6	TR Ø 33,7x2,9 ČSN 42 5715.01	43,56	1 m	0,2 m	8,71
7	P6 ČSN 42 5310.11	607,60	1 m ²	1,2 m	729,12
8	POJEZDOVÉ ROLNY	95,00	1 ks	6 ks	570,00
9	KLIZNÉ LOŽISKO 2815KU	25,60	1 ks	2 ks	51,20
10	MOTOR	1585,00	1 ks	1 ks	1585,00
11	FRÉZA ČELNÍ VÁLCOVÁ ČSN 22 2130	1517,00	1 ks	1 ks	1517,00
12	FRÉZA TOROIDNÍ SRB1205	1735,00	1 ks	1 ks	1735,00
13	FRÉZA KULOVÁ ST UBT 0812-HSC	962,00	1 ks	1 ks	962,00
14	PLOCHÝ ŘEMEN 1000x25	235,00	1 ks	1 ks	235,00
15	SPOJOVACÍ MATERIÁL	-	-	-	150,00
CELKEM					8239,89

Příloha č. VI.

Vrtule 28/10

PŘÍMÝ MATERIÁL		416
PŘÍMÉ MZDY *		375
OSTATNÍ PŘÍMÉ NÁKLADY	*2%	8
VÝROBNÍ REŽIE		75
CELKOVÉ VARIABILNÍ NÁKLADY		874

Vrtule 22/10

PŘÍMÝ MATERIÁL		275
PŘÍMÉ MZDY *		225
OSTATNÍ PŘÍMÉ NÁKLADY	*2%	5
VÝROBNÍ REŽIE		45
CELKOVÉ VARIABILNÍ NÁKLADY		550

Vrtule 16/6

PŘÍMÝ MATERIÁL		124
PŘÍMÉ MZDY *		150
OSTATNÍ PŘÍMÉ NÁKLADY	*2%	3
VÝROBNÍ REŽIE		30
CELKOVÉ VARIABILNÍ NÁKLADY		307

Hodnoty nákladových položek jsou uvedeny v korunách.