

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní

Roman Mihulka

SESTAVA A ULOŽENÍ SMĚROVÉHO ŘÍZENÍ

Bakalářská práce

1999

Technická univerzita Liberec

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Strojírenství

Zaměření: Výrobní systémy

SESTAVA A ULOŽENÍ SMĚROVÉHO ŘÍZENÍ

KVS - VS - 24

Roman Mihulka

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Hájek

Katedra výrobních systémů

Konzultant: Ing. Radek Kratochvíl

Počet stran: 31

Počet příloh: 13

Počet obrázků: 16

Počet tabulek: 1

Datum: 21.5. 1999



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Studijní rok: 1998/99

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Roman Mihulka**

obor **23 - 81 - 7 Strojírenství**

zaměření **výrobní systémy**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Sestava a uložení směrového řízení

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Úvod, specifikace zadání
2. Výkres konstrukčního řešení sestavy a výkresy součástí.
3. Statický a pevnostní výpočet dle zadání.
4. Technologický postup, výběr nástrojů a řezných podmínek pro zadanou součást sestavy.
5. CNC program pro výrobu součástí.

KVS/VS

30.1.1 samost. příl. - 13 s.

V 14.4.99 Sb + PRV

Forma zpracování bakalářské práce:

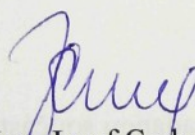
- průvodní zpráva cca 20 stran
- grafické práce dle potřeby

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

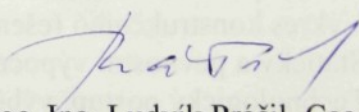
Vytlačil, M.: Technologie automatizovaných výrob
Vališ, L.: Návod na programování CNC soustruhu E 120 / E 120 P- EMCO
Dráb, V. a kol.: Technologie I, 1. vyd. Liberec 1979

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Hájek

Konzultant bakalářské práce: Ing. Radek Kratochvíl


Doc. Ing. Josef Cerha, Csc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík Prášil, Csc.
děkan

V Liberci dne 31. 10. 1998

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

ANOTACE

Označení BP: 24

Řešitel: Roman Mihulka

TÉMA: SESTAVA A ULOŽENÍ SMĚROVÉHO ŘÍZENÍ

ANOTACE: Obsahem této práce je návrh konstrukce sestavy a uložení zdvojeného směrového řízení ultralehkého letounu metodou CAD, pevnostní výpočet dle zadání, technologický postup a CNC program pro výrobu zvolené součásti na CNC soustruhu E 120P s řídicím systémem EMCOTRONIC TM02. Tvorba CNC programu je ruční.

THEME: THE COMPOSITION AND PUTTING OF DIRECTION CONTROL

ANNOTATION: The subject of this work is desing of construction and putting of double direction control of ultralight plane by method CAD, calculation of strength according to assigment, technology method and CNC programme for production of chosen part on the CNC lathe E 120 P with control system EMCOTRONIC TM02. The work of CMC programme is manual.

Klíčová slova: SMĚROVÉ ŘÍZENÍ, LETADLO

Zpracovatel: TU v Liberci - KVS

Dokončeno: 1999

Archivační označ. zprávy:

Počet stran: 31

Počet příloh: 13

Počet obrázků: 16

Počet tabulek: 1

Obsah

strana

Seznam použitých zdrojů a literatury

1. Úvod - hlavní část práce

2. Teorie řízení

2.1 Rozdělení řízení

2.2 Nároky na konstatování řízení

2.3 Zřízení soustavy řízení

2.3.1 Teorie soustavy řízení

2.4 Písemné řízení

2.5 Konstrukce počítačového řízení

2.5.1 Písemné řízení

2.5.2 Počítačové řízení

2.5.3 Dvojitý počítačový řízení

2.5.4 Dvojitý počítačový řízení

Mistopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci 21.5. 1999

Roman Václavík

Obsah:

strana

Seznam použitých zkratk a symbolů	7
1. Úvod - hlavní části letounu	8
2. Teorie řízení	9
2.1 Rozdělení řízení	9
2.2 Nároky na soustavu řízení	10
2.3 Zatížení soustavy řízení	10
2.3.1 Tuhost soustavy řízení	11
2.4 Přímé řízení	11
2.5 Konstrukce nožního řízení	12
2.5.1 Pákové řízení	13
2.5.2 Pedálové řízení	14
2.5.3 Dvojitě pákové řízení	15
2.5.4 Dvojitě pedálové řízení	16
2.6 Konstrukce převodů přímého řízení	16
2.6.1 Ohebné převody	16
2.6.2 Tuhé převody	17
2.6.3 Smíšené převody	17
3. Požadavky na konstrukční řešení sestavy a uložení směrového řízení	17
3.1 Návrh řešení	18
3.2 Pevnostní výpočet	18
4. Výkresová dokumentace	20
5. Technologický postup	20
5.1 Řezné podmínky	20
5.1.1 Stanovení řezných podmínek	21
5.2 Výrobní postup součástí	21
5.3 Uspořádání nožů v nástrojové hlavě	23
6. CNC program	24
6.1 Popis stroje	24
6.1.1 Základní technické údaje stroje	24
6.1.2 Základní osový systém stroje	25
6.2 Počáteční stav řídicího systému EMCOTRONIC TM02	25

6.3 Stavba CNC programu	26
6.3.1 Členění programu	26
6.3.2 Složení programu	26
6.4 Vztažné body CNC stroje	26
6.5 Výpis CNC programu	27
6.5.1 Program pro obrábění pravé strany součásti	28
6.5.2 Program pro obrábění levé strany součásti	29
6.6 Kontrola CNC programu v simulačním programu EMCOTRONIC TM02	29
7. Závěr	30
Seznam použité literatury	31
Seznam příloh	31

Seznam použitých zkratek a symbolů:

CAD - Computer Aided Desing

CNC - Computer Numeric Control

F - síla [N]

h - hloubka řezu [mm]

H-M-H - energetická teorie smykových napětí (Huber, Mises, Hencky)

k - bezpečnost

Mk - kroutící moment [Nmm]

Mo - ohybový moment [Nmm]

n - řezné otáčky [1/min.]

s - řezný posuv [mm/ot.]

v - řezná rychlost [m/min.]

Wk - průřezový modul v krutu [mm³]

Wo - průřezový modul v ohybu [mm³]

σ_{ekv} - ekvivalentní napětí [MPa]

σ_{ekvD} - dovolené ekvivalentní napětí [MPa]

σ_o - napětí v ohybu [MPa]

σ_p - mez pevnosti [MPa]

τ_{ds} - dovolené smykové napětí [MPa]

τ_s - smykové napětí [MPa]

1. Úvod - hlavní části letounu

Každý letoun má dvě části: drak letounu a hnací skupinu. K těmto dvěma hlavním částem se řadí ještě výstroj a výzbroj letounu.

Drak letounu

Drak letounu se u klasických letounů skládá z nosné soustavy, trupu, ocasních ploch, řízení letounu a přistávacího zařízení.

Nosná soustava je nejdůležitější částí letounu. Slouží k vytvoření potřebné vztahové síly pro všechny druhy letu. Do nosné soustavy se kromě křídel počítají i zařízení, která s funkcí úzce souvisí, nebo jsou jeho neoddělitelnou součástí (kormidla příčného řízení, zařízení pro zvýšení vztlaku atd.). Často se v ní umísťují palivové nádrže, pohonné jednotky, hlavní podvozek apod.

Trup slouží pro spojení hlavních částí draku v jeden celek, především pak nosné soustavy s ocasními plochami. Někdy je v něm uložena i hnací skupina. Kromě toho slouží trup k umístění osádky, cestujících, nákladu, výstroje a výzbroje. Snaha po odstranění odporu trupu za letu vede někdy ke stavbě letounu bez trupu, naopak pro zvláštní účely jsou stavěny i letouny dvoutrupé.

Ocasní plochy jsou řídicími a stabilizačními orgány letounu. Stabilizují letoun podélně a směrově a umožňují jeho podélné a směrové ovládání. K tomuto účelu slouží kormidla, která jsou součástí ocasních ploch. Ocasní plochy dělíme na vodorovné a svislé.

Řízení letounu slouží ke změně polohy kolem jeho os. Toto zajišťují kormidla příčného, výškového a směrového řízení. Do řízení bývají někdy zahrnována i zařízení, která usnadňují ovládání letounu (tzv. pomocné řízení). Patří sem ovládání prostředků vyvážení letounu, ovládání zařízení pro zvýšení vztlaku, ovládání aerodynamických brzd, řízení předního podvozku nebo ostruhy při pojíždění apod.

Přistávací zařízení umožňuje vzlet, přistání a pojíždění letounu po zemi nebo po hladině. Dělí se podle účelu, použití a druhu letounu.

Hnací skupina

Hnací skupina slouží k vytvoření potřebného tahu k uskutečnění letu. Může být tvořena pístovým motorem s vrtulí, turbovrtulovým motorem, motorem proudovým, raketovým nebo jejich kombinací. Do hnací skupiny patří motor, vrtule, palivová, olejová a chladicí soustava motoru, řízení motoru, případně vrtule, a další příslušenství.

Výstroj a výzbroj letounu

Výstroj a výzbroj letounu zahrnuje zařízení pro zajištění bezpečnosti letu. Patří sem elektrické a speciální vybavení, přístroje pro kontrolu letu a pro navigaci, přístroje pro kontrolu chodu motoru a další zařízení, zvyšující bezpečnost osádky i cestujících.

2. Teorie řízení

Řízení letounu umožňuje jeho ovládání ve vzduchu. Toto se děje pomocí pohyblivých částí draku letounu, které může pilot ovládat z kabiny letounu.

2.1 Rozdělení řízení

Všechna zařízení, která slouží k ovládání letounu, se dělí na:

- vlastní řízení - slouží přímo k ovládání letounu kolem jeho os pomocí kormidel
- vedlejší řízení - slouží k ovládání vyvažovacích plošek, zařízení pro zvýšení vztlaku nebo zvýšení odporu apod.

Existují různé typy soustav řízení. Každou soustavu lze rozdělit na jednotlivé články, které mají určitou funkci. Z tohoto hlediska každá soustava řízení obecně obsahuje:

- a) základní článek - nazývaný ovladač, u vlastního řízení je to orgán řízení umístěný v kabině (řídící páka, nožní pedály), u pomocného řízení je to prvek, kterým se ovládá orgán pomocného řízení
- b) spojovací článek - zajišťuje propojení od ovladače k výkonnému orgánu řízení (táhla, lana, páky atd.)
- c) výkonný článek - to je přímo orgán řízení (kormidla, vztlakové klapky atd.)
- d) kontrolní článek - signalizuje správnou polohu výkonného orgánu řízení v kabině

Kromě těchto základních článků obsahují jednotlivé typy řízení další doplňující články, podle druhů a složitosti řízení (např. články zesilující sílu pilota na ovládací orgán, články upravující výchylky kormidel).

Podle ovládací síly, která působí na základní článek (ovladač), je možné soustavy řízení dělit na dvě skupiny:

1. Soustavy řízení letadel ovládaných člověkem
2. Soustavy řízení letadel bezpilotních

Soustavy řízení letadel ovládaných člověkem lze rozdělit na dvě podskupiny:

- a) přímé řízení - člověk působí silou na ovladač (řídící orgán v kabině) a prostřednictvím spojovacího článku ovládá přímo výkonný článek (kormidlo)
- b) nepřímé řízení - lidská síla od řídícího orgánu v kabině je zesilována a touto silou je pak ovládáno kormidlo

Řízení se z hlediska ovládání dělí na:

- a) ruční řízení - pohybem řídící páky v kabině jsou vychylována kormidla příčného řízení (balanční křídélka) nebo kormidla podélného řízení (výškové kormidlo)
- b) nožní řízení - vychylováním nožní řídící páky je ovládán letoun kolem svislé osy pomocí směrového řízení (směrovým kormidlem)

2.2 Nároky na soustavu řízení

- stálost funkce jednotlivých článků při možných deformacích konstrukce draku
- minimální vůle ve spojích jednotlivých článků (velké vůle mohou být příčinou kmitání celé soustavy řízení)
- minimální tření ve spojích a vedeních od základního článku až k orgánu řízení (velké tření může nepříznivě ovlivnit velikost sil na řídící orgány v kabině)
- zajištění potřebných vychylek kormidel řízení
- možnost nastavení ovládacích orgánů podle vůle pilota

2.3 Zatížení soustavy řízení

Síly, kterými musí pilot působit na orgány řízení v kabině, nesmí být příliš velké vzhledem k únavě pilota, ale ani příliš malé z hlediska možnosti ztráty citu

v řízení. Podle zkušeností a požadavků pilotů mají mít největší síly působící na řídicí orgány v kabině zpravidla tuto velikost:

- pro ovládání balančních křidélek pákou na jednu ruku90 N
- pro ovládání balančních křidélek volantovým řízením 130 N
- pro ovládání výškového kormidla jednou rukou130 N
- pro ovládání výškového kormidla oběma rukama180 N
- pro ovládání směrového kormidla270 N

Podle těchto sil se pak stanoví nutná velikost aerodynamického odlehčení. Velikost řídicích sil pro pevnostní výpočet jednotlivých částí soustavy řízení je stanovena v pevnostních předpisech s ohledem na síly, které může pilot vyvinout v havarijní situaci.

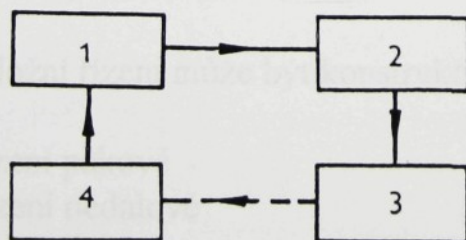
2.3.1 Tuhost soustavy řízení

Tuhost jednotlivých článků v soustavě řízení je důležitá, protože ovlivňuje charakteristiky možného kmitání soustavy a velikost mrtvých chodů v člancích soustavy. Měřítkem tuhosti jednotlivých prvků jsou jejich deformace při zatížení. Tuhost soustavy závisí na vůlích ve spojích jednotlivých článků, na tuhosti jednotlivých prvků řízení a na tuhosti příslušných částí draku, k nimž jsou uchyceny. Malá tuhost může způsobit velké mrtvé chody a tím rozdíly mezi výchylkami orgánů řízení v kabině a předpokládanými výchylkami kormidel. Celkový mrtvý chod má v předpisech předepsanou velikost, která nesmí být překročena.

Škodlivé vůle v soustavě řízení lze odstranit pečlivou výrobou a montáží i správnou údržbou v provozu.

2.4 Přímé řízení

Přímé řízení je takový druh řízení, kde pilot působí vlastní silou na řídicí orgány v kabině a přes mechanické převody ovládá přímo kormidla.



- 1 - základní článek (orgán řízení v kabině)
- 2 - spojovací článek (mech. převod řízení)
- 3 - výkonový článek (kormidlo)
- 4 - kontrolní článek (ukazatel v kabině)

Obr.1 - Blokové schéma přímého řízení

U přímého řízení se ovládají kormidla pomocí ručního a nožního řízení, umístěného v kabině letounu. Úhel vychýlení kormidel je volen podle potřebné hodnoty momentu vzhledem k ose letounu.

U současných letounů se volí úhly vychýlení zpravidla v rozmezí těchto hodnot:

- balanční křídélka: 15° - 20° na obě strany
- výškové kormidlo: nahoru 26° - 32° , dolů 15° - 20°
- směrové kormidlo: 25° - 30° na obě strany

Úhel vychýlení řídicí páky je omezen prostorem kabiny a volí se tak, aby pilot mohl řídicími pákami dobře pohybovat a aby na ně ve všech polohách dosáhl. Úhly vychýlení se pak volí v rozmezí těchto hodnot:

- ruční řídicí páka - k sobě 18° - 26° , od sebe 12° - 16°
 - do stran 14° - 17° (od kolmé roviny)
- nožní řídicí páka - 70 - 100 mm chodu dopředu a dozadu (od neutrální osy)

Charakteristiku převodu řízení od řídicí páky ke kormidlu pak udává hodnota převodového čísla. Toto číslo udává poměr změny úhlu odklonění kormidel k úhlu odklonění řídicí páky. Obvykle se pohybuje v rozmezí hodnot 0,5 - 2.

Velikost převodového čísla má vliv na účinnost řízení (čím větší je převodové číslo, tím účinnější je řízení) a na síly, působící do řízení.

2.5 Konstrukce nožního řízení

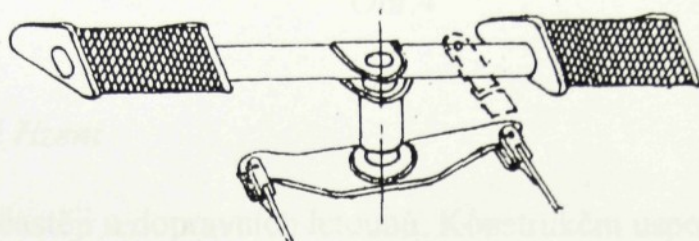
Nožní řízení se také nazývá řízení směrové, neboť ovládá směrové kormidlo. Často je s ním spojeno i ovládání brzd hlavních podvozkových kol a někdy i ovládání natáčení kola předového podvozku nebo zadního pomocného podvozku. Pilot ovládá směrové řízení nohama přibližně tak, že jedna noha se pohybuje dopředu a druhá dozadu, přičemž společně otáčejí pákou nožního řízení nebo vychylují pedály.

Nožní řízení může být konstrukčně řešeno jako:

- a) řízení pákové
- b) řízení pedálové

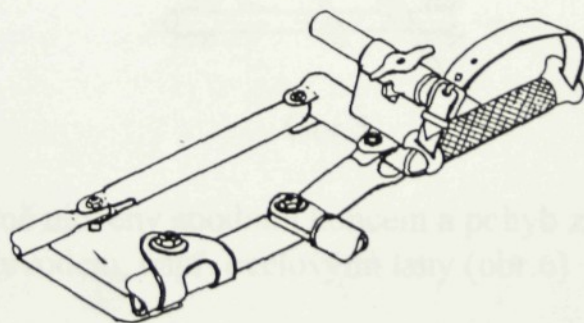
2.5.1 Pákové řízení

Páka má na koncích šlapky pro nohy a je otočná kolem svislé osy (obr.2). Pohyb z ní je odveden ke kormidlu pomocí lanového nebo tuhého převodu. Nevýhodou tohoto jednoduchého uspořádání je nutnost pohybu nohou po kružnici, přičemž mohou nohy klouzat ze šlapek.



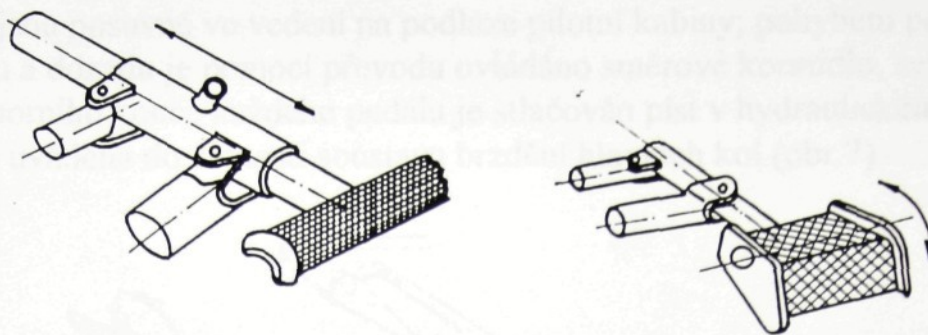
Obr.2

Tuto nevýhodu odstraňuje uspořádání na obr.3. Zde je použito dvou pák, spojených táhly v kloubový čtyřúhelník, na který jsou stavitelně přichyceny šlapky. Šlapky při otáčení zůstávají rovnoběžně s neutrální polohou (pohybují se v rovnoběžné rovině). Poloha nohy ve šlapce bývá navíc zajištěna bočními opěrkami, nebo třmenem.



Obr.3

Aby mohli piloti různého vzrůstu pohodlně ovládat letoun, bývá nožní řízení stavitelné. Příklady konstrukčního provedení stavění pákového řízení jsou na obr.4.

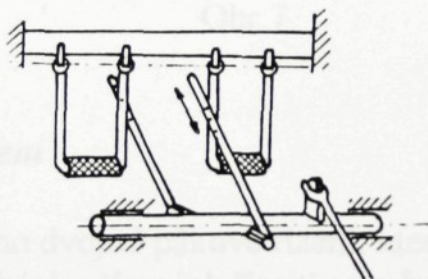


Obr.4

2.5.2 Pedálové řízení

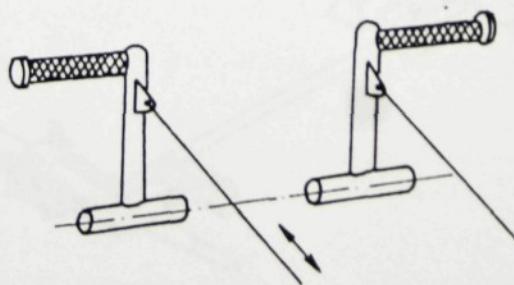
Používá se častěji u dopravních letounů. Konstrukční uspořádání pedálového řízení je trojího druhu:

- a) pedály jsou otočně zavěšeny na horním konci a pohybují se při působení síly od nohou dopředu a dozadu (obr.5)



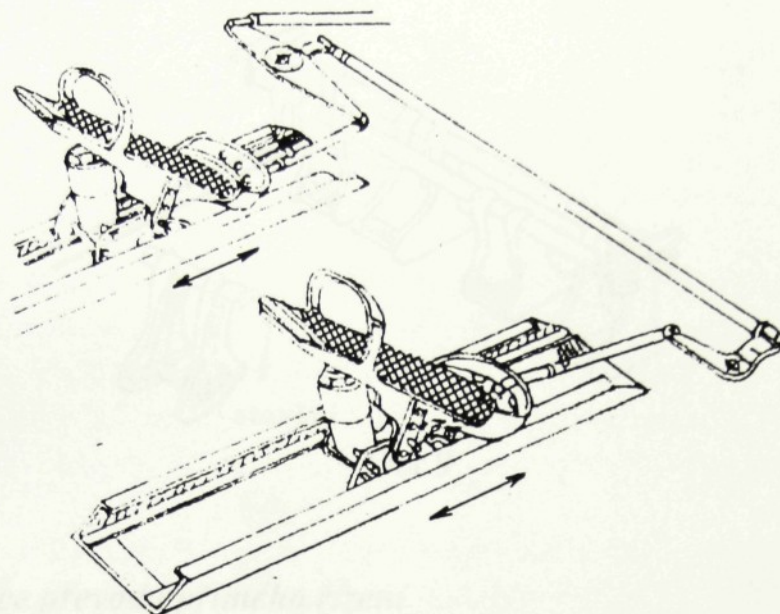
Obr.5

- b) pedály jsou otočně uloženy spodním koncem a pohyb z nich je zprostředkován ohebným převodem, např. ocelovými lany (obr.6)



Obr.6

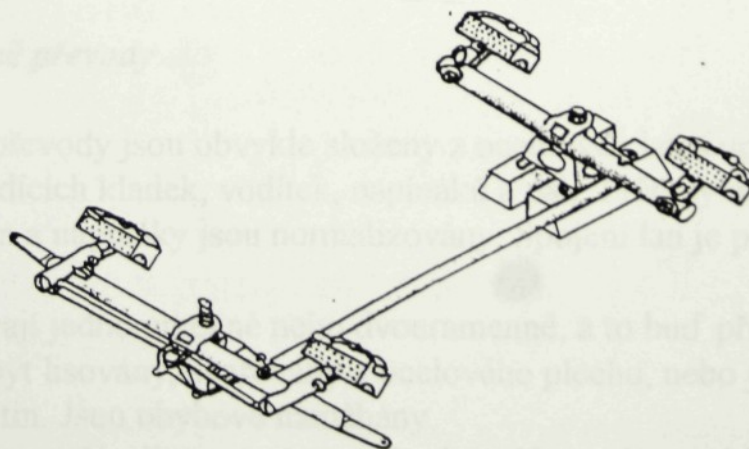
c) pedály jsou posuvné ve vedení na podlaze pilotní kabiny; pohybem pedálů dopředu a dozadu je pomocí převodu ovládáno směrové kormidlo, sešlapáním horního konce každého pedálu je stlačován píst v hydraulickém válci a tím je uváděna do činnosti soustava brzdění hlavních kol (obr.7)



Obr.7

2.5.3 Dvojité pákové řízení

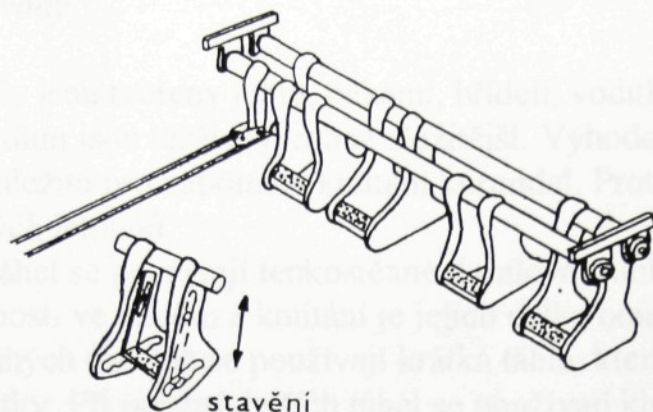
Na obr.8 je znázorněno dvojité pákové řízení, které je vytvořeno vhodným spojením dvou jednoduchých pákových řízení za sebou. Toto konstrukční uspořádání je vhodné např. pro cvičný letoun.



Obr.8

2.5.4 Dvojité pedálové řízení

Na obr.9 je znázorněno dvojité pedálové řízení, které je opět vytvořeno vhodným spojením dvou jednoduchých pedálových řízení uspořádaných vedle sebe. Pedály jsou otočně zavěšeny na horním konci.



Obr.9

2.6 Konstrukce převodů přímého řízení

Převody řízení jsou spojovací články mezi orgány řízení v kabině a kormidly. Slouží k přenosu sil a výchylek od řídicích pák na kormidla. Podle použitých prvků mohou být převody:

- a) ohebné
- b) tuhé
- c) smíšené

2.6.1 Ohebné převody

Ohebné převody jsou obvykle složeny z ocelových lan s upravenými koncovkami, vodících kladek, vodítek, napínáků a pák. Průřezy ocelových lan, koncovky lan a napínáky jsou normalizovány. Spojení lan je pomocí ok přes páky.

Páky bývají jednoramenné nebo dvouramenné, a to buď přímé nebo úhlové. Mohou být lisovány, svařovány z ocelového plechu, nebo jsou odlévány z lehkých slitin. Jsou ohybově namáhány.

Kladky se používají pro změnu směru lan. Aby se lano z kladky nevysmekávalo, mívají kladky chránítka. Pro menší změnu směru lan se používají segmenty. To jsou částečné kladky.

Výhodou ohebného převodu je jeho menší hmotnost a poměrně snadná změna směru lan pomocí kladek. Nevýhodou je menší tuhost, která omezuje jeho použití na rychlých letounech.

2.6.2 Tuhé převody

Tuhé převody jsou tvořeny táhly, pákami, hřídeli, vodítky a vahadly. Oproti ohebným převodům jsou těžší a výrobně složitější. Výhodou je, že mají větší tuhost, která je důležitá pro zabránění kmitání kormidel. Proto jsou používány především u rychlých letounů.

Na výrobu táhel se používají tenkostěnné duralové trubky, zřídka ocelové. Z hlediska pevnosti ve vzpěru a kmitání je jejich délka omezena (max. 2 m). V přímých dlouhých úsecích se používají krátká táhla, která jsou propojena pákami nebo vodítky. Při použití delších táhel se používají kluzná vodítka. Spojení jednotlivých táhel je pomocí koncovek, které mohou být pevné, nebo stavitelné.

Páky jsou obdobné konstrukce jako u řízení ohebného.

Vahadla a vodítka slouží ke spojení a podepření táhel a k jejich vedení v konstrukci letounu. Vahadla jako spoj nemění v podstatě síly ve dvou navzájem spojených táhlech. Všechny spoje táhel a otočná uložení pák a vodítek musí být opatřeny valivými ložisky, aby tření při pohybu táhel bylo co nejmenší.

2.6.3 Smíšené převody

Tento typ převodů je kombinací tuhého a ohebného převodu. Tuhý převod vychází zpravidla z kabiny, někdy bývá také v posledním úseku, tj. u kormidla. Dlouhé úseky jsou pak provedeny pomocí lan. Používá se také kombinace táhel a lan nebo kombinace táhel a řetízků. Přechod z jednoho převodu na druhý je celkem jednoduchý. Pro provedení jednotlivých úseků platí vše, co bylo již výše uvedeno.

3. Požadavky na konstrukční řešení sestavy a uložení směrového řízení

Úkolem této práce je navrhnout sestavu a uložení zdvojeného směrového řízení k ovládání letounu kolem jeho svislé osy. Jedná se o cvičný ultralehký letoun dvoumístný s posazením vedle sebe.

Požadavky na konstrukci jsou následující:

- malá hmotnost
- spolehlivost
- dostatečná pevnost
- snadná montáž atd.

3.1 Návrh řešení

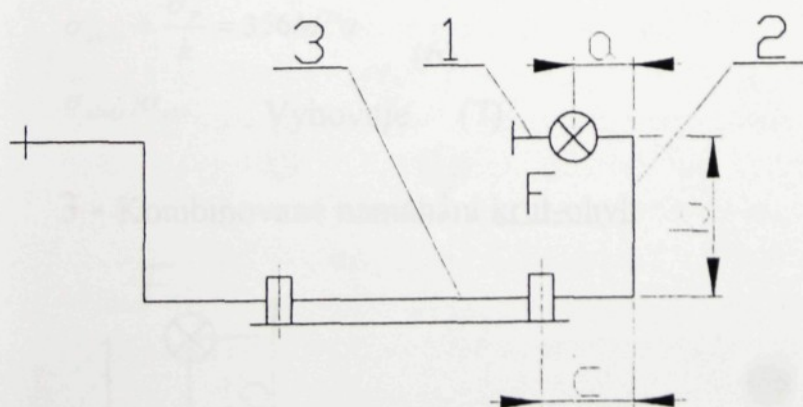
Pedály jsou otočně uloženy spodním koncem a pohyb na směrové kormidlo je z nich zprostředkován pomocí ohebného převodu. Při vychýlení levého pedálu pilotem dopředu se pohybuje pravý pedál dozadu a převodovou soustavou se vychýlí směrovka doleva (při pohledu zezadu) a naopak.

Pro přizpůsobení nožního řízení velikosti postavy pilota je pilotní sedačka přestavitelná. Pedály jsou opatřeny bočními opěrkami zabráňujícími sklouznutí nohy pilota.

Vzhledem k požadavku na malou hmotnost, jsou pedály navrženy z tenkostěnných trubek (polotovar ČSN 42 6712-83) a dimenzovány na únosnost meze pevnosti tak, aby byly funkční i v kritických situacích letu. V běžném provozu tyto situace nastávají velmi zřídka.

3.2 Pevnostní výpočet

Kontrola pedálu:



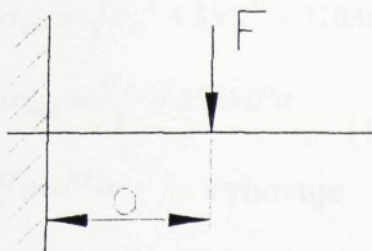
maximální předpokládaná
síla od pilota $F = 450 \text{ N}$
 $a = 0,075 \text{ m}$
 $b = 0,24 \text{ m}$
 $c = 0,095 \text{ m}$
vnější průměr trubky
 $D = 0,022 \text{ m}$
vnitřní průměr trubky
 $d = 0,02 \text{ m}$
bezpečnost $k = 1,8$

Obr.10 - Schéma pedálu

Materiál pedálu navržen 11 523, polotovar ČSN 42 6712-83.

Obr.13 - Schéma části pedálu

1 - Namáhání ohybem



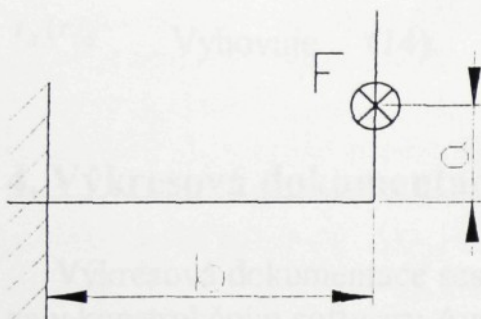
$$\sigma_o = \frac{M'_o}{W_o} = \frac{F \cdot a}{\frac{\pi \cdot D^3}{32} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)} = 102 \text{ MPa} \quad (1)$$

Obr.11 - Schéma části pedálu

$$\sigma_o < \sigma_{Do} \dots \text{Vyhovuje} \quad (2)$$

$$\sigma_{Do} = 210 \text{ MPa}$$

2 - Kombinované namáhání krut-ohyb



$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot b}{W_o} = 326 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F \cdot a}{\frac{\pi \cdot D^3}{16} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)} = 51 \text{ MPa} \quad (4)$$

Obr.12 - Schéma části pedálu

H - M - H

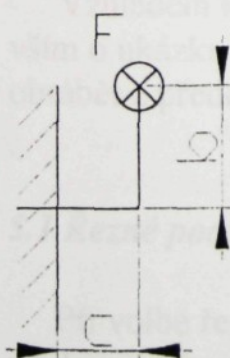
$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = 338 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$\sigma_{ekvl} = \frac{\sigma_p}{k} = 356 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$\sigma_p = 640 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekvl} > \sigma_{ekv} \dots \text{Vyhovuje} \quad (7)$$

3 - Kombinované namáhání krut-ohyb



$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot c}{W_o} = 129 \text{ MPa} \quad (8)$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F \cdot b}{W_k} = 163 \text{ MPa} \quad (9)$$

Obr.13 - Schéma části pedálu

H - M - H

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = 310 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$\sigma_{ekvD} = \frac{\sigma_p}{k} = 356 \text{ MPa} \quad (11)$$

$$\sigma_p = 640 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ekvD} > \sigma_{ekv} \dots \text{Vyhovuje} \quad (12)$$

Kontrola čepu:

průměr čepu $d = 0,006 \text{ m}$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = 15,9 \text{ MPa} \quad (13)$$

$$\tau_s < \tau_{DS} \dots \text{Vyhovuje} \quad (14)$$

$$\tau_{DS} = 65 \text{ MPa}$$

4. Výkresová dokumentace

Výkresová dokumentace sestavy a uložení směrového řízení byla zpracována v konstrukčním softwaru AutoCAD Release 14 a je přiložena k práci formou příloh (příloha I. - XIII.).

5. Technologický postup

Při tvorbě výrobního postupu zásadně vycházíme z kompletní výkresové dokumentace součásti (4-KVS-VS-24-01-03), která nám poskytne nezbytně nutné informace týkající se tvaru, rozměrů, drsnosti součásti apod., a typu výroby (kusová, seriová atd.). Výrobní postup vybrané součásti je rozdělen na dvě části - na obrábění pravé strany součásti a na obrábění levé strany součásti.

Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o školní příklad, ve kterém jde především o ukázkou ručního programování CNC soustruhu, budeme vybranou součást obrábět z předem připraveného polotovaru o rozměrech $\varnothing 22 - 37 \text{ [mm]}$.

5.1 Řezné podmínky

Při volbě řezných podmínek je třeba postupovat tak, aby určené řezné podmínky zaručovaly, že výrobek bude vyroben v požadované jakosti a co nejhospodárněji.

posuv $s = 0,08 \text{ mm/ot.}$

řezná rychlost $v = 128 \text{ m/min.}$

hloubka řezu $h = 0,5 \text{ mm}$

2) zarovnání čela

1) upnutí polotovaru

(pro obrábění pravé strany součásti)

5.2 Výrobní postup součásti

Rezné podmínky jsou určeny na základě závislosti z normativu pro automatické soustruhy a pro programově řízené revolvery soustruhy. Materiál břitových destiček všech řezných nástrojů je slitný karbid P20.

5.1.1 Stanovení řezných podmínek

Pouze požadovanou drsnost povrchu.

a je dána přídávkem na obrábění, který zůstal po hrubování. Posuv je omezen nost obrobku a drsnost obrobene plochy. Hloubka odřezávané vrstvy je známa a tuhost stroje. Průřez třísky je malý. Kritériem volby řezných podmínek je přes- Při obrábění nacistu většímu není třeba brát v úvahu výkon elektromotoru co největší, ale takový, jaký dovoluje tuhost soustavy a výkon stroje. soustavy dostatečná nebo nestací-li výkon pohonu stroje. Stejně volíme posuv lení přídávku na obrábění na více třísek přikročíme pouze tehdy, není-li tuhost hloubku odřezávané vrstvy. Většinou je dána přídávkem na obrábění. K rozdě- Při hrubování, kdy odebíráme tlisku větších průřezů, volíme v první řadě o operace hrubování nebo o obrábění nacistu.

Postup volby optimálních řezných podmínek se liší podle toho, zda se jedná

- řezné podmínky musí zodpovídat tuhosti soustavy
- maximální úběr materiálu musí být dosažen co nejehospodárněji
- (vřetené, posuvy)
- řezné podmínky musí zodpovídat technickým parametřům stroje (otáčky uvedeny na výrobním výkrese (rozměrová přesnost, drsnost povrchu)
- řezné podmínky musí zaručit dodržení požadavků na výrobek, které jsou

Tyto řezné podmínky se nazývají "optimální řezné podmínky". Optimální řezné podmínky volíme podle těchto zásad:

otáčky $n = 2\,778$ /min.

nástroj: čelní nůž pravý ČSN 22 3714

3) soustružení na průměr 20 mm, ve vzdálenosti 20 mm

hloubka řezu $h = 1$ mm

řezná rychlost $v = 112$ m/min.

posuv $s = 0,125$ mm/ot.

otáčky $n = 1\,782$ /min.

nástroj: ubírací nůž stranový levý ČSN 22 3525

4) sražení hrany

hloubka řezu $h = 1$ mm

řezná rychlost $v = 140$ m/min.

posuv $s = 0,125$ mm/ot.

otáčky $n = 2\,228$ /min.

nástroj: hladicí nůž levý ČSN 22 3720

5) navrtání středícího důlku

řezná rychlost $v = 31$ m/min.

posuv $s = 0,08$ mm/ot.

otáčky $n = 1\,980$ /min.

nástroj: středící vrták $\varnothing 4$ ČSN 22 1110

6) předvrtání

řezná rychlost $v = 52$ m/min.

posuv $s = 0,159$ mm/ot.

otáčky $n = 2\,428$ /min.

nástroj: vrták $\varnothing 8$ ČSN 22 1140

7) vrtání

řezná rychlost $v = 48$ m/min.

posuv $s = 0,225$ mm/ot.

otáčky $n = 1\,512$ /min.

nástroj: vrták $\varnothing 12$ ČSN 22 1140

(pro obrábění levé strany součásti)

1) upnutí polotovaru

2) zarovnání čela

hloubka řezu $h = 0,5$ mm

řezná rychlost $v = 128$ m/min.

posuv $s = 0,08$ mm/ot.

otáčky $n = 2\,778$ /min.

nástroj: čelní nůž pravý ČSN 22 3714

3) soustružení na průměr 14 mm, ve vzdálenosti 15 mm

hloubka řezu $h = 1$ mm

řezná rychlost $v = 112 \text{ m/min.}$

posuv $s = 0,125 \text{ mm/ot.}$

otáčky $n = 2\,546 \text{ /min.}$

nástroj: ubírací nůž stranový levý ČSN 22 3525

4) soustružení na průměr 6,5 mm, ve vzdálenosti 12,5 mm

hloubka řezu $h = 1 \text{ mm}$

řezná rychlost $v = 112 \text{ m/min.}$

posuv $s = 0,125 \text{ mm/ot.}$

otáčky $n = 3\,500 \text{ /min.}$

nástroj: ubírací nůž stranový levý ČSN 22 3525

5) soustružení na čisto na průměr 6 mm, ve vzdálenosti 13 mm

hloubka řezu $h = 0,5 \text{ mm}$

řezná rychlost $v = 152 \text{ m/min.}$

posuv $s = 0,08 \text{ mm/ot.}$

otáčky $n = 3\,900 \text{ /min.}$

nástroj: hladicí nůž levý ČSN 22 3720

6) sražení hrany

hloubka řezu $h = 1 \text{ mm}$

řezná rychlost $v = 152 \text{ m/min.}$

posuv $s = 0,08 \text{ mm/ot.}$

otáčky $n = 3\,900 \text{ /min.}$

nástroj: hladicí nůž levý ČSN 22 3720

5.3 Uspořádání nožů v nástrojové hlavě

Uspořádání nožů v nástrojové hlavě musí být takové, aby bylo možno provést jejich výměnu v co nejkratším čase, a tak lépe využít kapacitu stroje. Lepší využití stroje by se pak projevilo hlavně v seriové výrobě.

Pozice v držáku	Číslo nástroje	Nástroj	ČSN
1	T0121	čelní nůž pravý	22 3714
2	T0241	ubírací nůž stran.	22 3525
3	T0302	hladící nůž levý	22 3720
4	T0450	středící vrták	22 1110
5	T0514	vrták $\varnothing 8\text{mm}$	22 1140
6	T0616	vrták $\varnothing 12\text{mm}$	22 1140

Tab.1 - Obsazení nástrojové hlavy

6. CNC program

Vybraná součást, jejíž výrobní výkres má číslo 4-KVS-VS-24-01-03 , bude obráběna na CNC soustruhu E 120P s řídicím systémem EMCOTRONIC TM02.

6.1 Popis stroje

Stroj má souvislé řízení dráhy nástroje ve dvou souřadných osách se stálou polohovou zpětnou vazbou a synchronizaci posuvových pohonů. Řízení dráhy nástroje se uskutečňuje prostřednictvím krokového motoru a posuvového kuličkového šroubu s předepnutou kuličkovou maticí. Vyznačuje se vysokou přesností, spolehlivostí a jednoduchostí obsluhy.

Stroj je vybaven revolverovou hlavou pro osm nástrojů s řídicí logikou, chlazením nástrojů, šikmým ložem, které umožňuje snadný odvod třísek, a bohatým příslušenstvím. Dále je stroj vybaven pneumatickým koníkem a pneumatickým sklícidlem. Soustruh je ideálním zařízením pro obrábění menších členitých součástí z oceli, barevných kovů a plastů s mnoha různými operacemi, což odpovídá specifickým požadavkům v přesném strojírenství.

6.1.1 Základní technické údaje stroje

Pracovní rozsah:

Oběžný průměr nad ložem.....	180 mm
Oběžný průměr nad příčným suportem.....	75 mm
Největší soustružená délka.....	160 mm
Největší průměr obrobku.....	90 mm

Pracovní vřeteno:

Vrtání vřetene.....	20,7 mm
Rozsah otáček.....	150 - 4000 ot./min.

Hlavní pohon:

Výkon stejnosměrného motoru.....	2,2 - 4 kW
Maximální krouticí moment.....	23 Nm

Posuvové pohony:

Posuv v osách X a Z.....	1 - 2000 mm/min.
Rychloposuv.....	3 m/min.

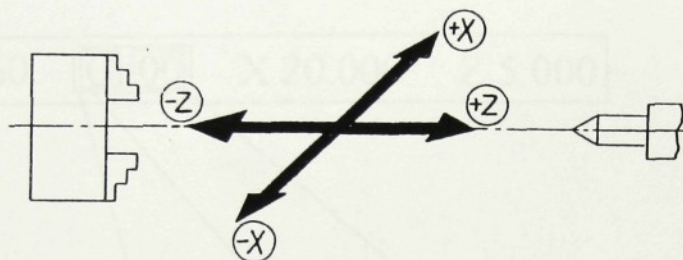
Posuvová síla.....2000 N

Revolverová hlava:

Počet míst v revolverové hlavě pro nástroje.....8 ks

Maximální průměr stopky spirálového vrtáku.....12 mm

6.1.2 Základní osový systém stroje



Obr.14 - Osový systém stroje

6.2 Počáteční stav řídicího systému EMCOTRONIC TM02

Počáteční stav řídicího systému nastavuje přímo výrobce zařízení. Uvedené funkce jsou při zapnutí účinné a nemusí být tedy programovány.

G - funkce:

G40 - zrušení korekce dráhy nástroje

G53, G56 - zrušení posunutí nulového bodu

G71 - rozměry v mm

G95 - posuv na otáčku

G97 - konstantní velikost otáček

M - funkce:

M05 - zastavení vřetena

M09 - chlazení vypnuto

M20 - pinola koníku zpět

M23 - zachycovací čelist zpět

M25 - sklíčidlo otevřít

M39 - přesné zastavení vypnuto

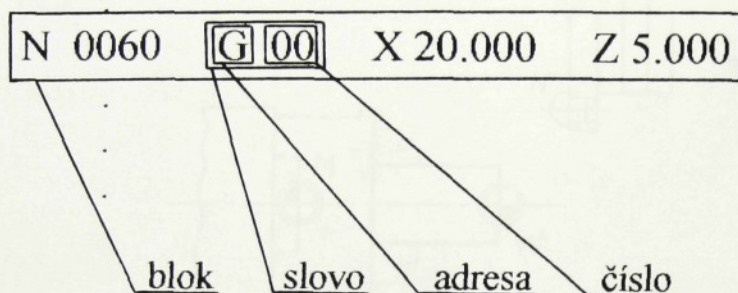
6.3 Stavba CNC programu

6.3.1 Členění programu

Program se skládá z Bloků (vět)

Blok se skládá ze Slov

Slovo se skládá z Adresy (adresná část) a Čísla (významová část)



Obr.15 - Struktura bloku

6.3.2 Složení programu

Celý CNC program se skládá z:

- čísla programu (velké písmeno a číselný údaj)
- přípravné části (stanovení posunu nulového bodu, technolog. údaje)
- obsahové části (údaje potřebné pro zhotovení obrobku)
- závěrečné části (zrušení posunu nul. bodů, konec programu M30)

6.4 Vztažné body CNC stroje

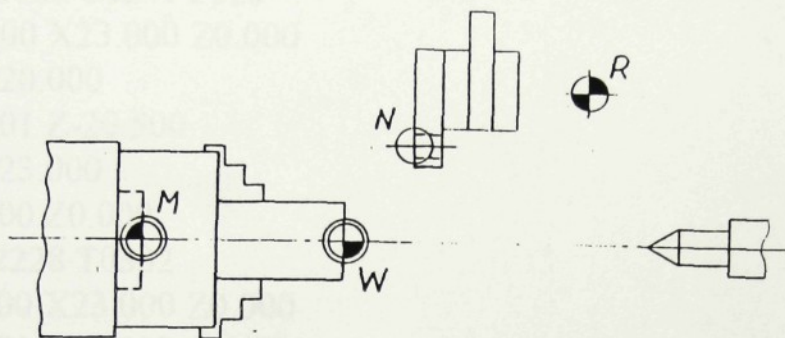
Při tvorbě CNC programu pracujeme se souřadným systémem stroje, ve kterém jsou rozmístěny tzv. vztažné body stroje (obr.16), ke kterým je vztaženo celé programování.

Konkrétně se jedná o tyto body:

- R - referenční bod - slouží k synchronizaci měřicího systému. Při zapnutí stroje je nutno nejdříve najet na referenční bod, neboť teprve po nastavení

tohoto bodu "řízení ví", kde se nachází nástroj.

- M - nulový bod stroje - je počátkem souřadného systému a je pevně stanoven od výrobce stroje. Leží v ose rotace na čelní straně příruby vřetene. Tento počátek souřadného systému můžeme posunout do námi zvolené polohy.
- W - nulový bod obrobku - určuje a programuje ho programátor.
- N - nulový bod nástroje - slouží jako počátek pro určování polohy ostří nástrojů. Leží na čelní straně revolverové hlavy v ose otvoru pro upínání nástrojů pro vnitřní soustružení. Referenční nástroj je součástí příslušenství stroje.



Obr. 16 - Rozmístění vztažných bodů na CNC stroji

6.5 Výpis CNC programu

V programu byly užity tyto funkce:

S - funkce otáček vřetena v ot./min.

T - funkce pro výměnu nástroje

F - posuvová funkce v $\mu\text{m}/\text{ot.}$

G 00 - rychloposuv

G 01 - lineární interpolace

G 02 - kruhová interpolace ve směru otáčení hodinových ručiček

G 53 - zrušeno posunutí provedené funkcemi G 54 a G 55

G 54 - vyvoláno posunutí nulového bodu pod registrem 1

G 56 - zrušeno posunutí provedené funkcemi G 57, G 58 a G 59

G 59 - vyvoláno posunutí nulového bodu pod registrem 5

G 84 - cyklus čelního a podélného soustružení

G 87 - cyklus vrtání hlubokých děr s lámáním třísek

G 99 - přípravné funkce

M 03 - roztočení vřetena ve směru otáčení hodinových ručiček

M 30 - konec programu s návratem na začátek

6.5.1 Program pro obrábění pravé strany součásti

N0000 G54 M03 S2778 T0121 F80
N0010 G99 X0.000 Z37.000
N0020 G59
N0030 G00 X30.000 Z0.000
N0040 X23.000 Z-0.500
N0050 G01 X0.000
N0060 G00 X23.000 Z0.000
N0070 S1782 T0241 F125
N0080 G00 X23.000 Z0.000
N0090 X20.000
N0100 G01 Z-20.500
N0110 X23.000
N0120 G00 Z0.000
N0130 S2228 T0302
N0140 G00 X23.000 Z0.000
N0150 G01 X18.000 Z-0.500
N0160 X20.000 Z-1.500
N0170 G00 X23.000 Z0.000
N0180 S1980 T0450 F80
N0190 G00 X23.000 Z0.000
N0200 X0.000
N0210 G01 Z-5.000
N0220 G00 Z0.000
N0230 X23.000
N0240 S2428 T0514 F159
N0250 G00 X23.000 Z0.000
N0260 X0.000
N0270 G87 Z-13.500 D3=6000 D4=10 D5=20 D6=1000
N0280 G00 X23.000
N0290 S1512 T0616 F225
N0300 G00 X23.000 Z0.000
N0310 X0.000
N0320 G87 Z-13.500 D3=6000 D4=10 D5=20 D6=1000
N0330 G00 X30.000
N0340 G53 G56
N0350 M30

6.5.2 Program pro obrábění levé strany součásti

```
N0000 G54 M03 S2778 T0121 F80
N0010 G99 X0.000 Z36.500
N0020 G59
N0030 G00 X30.000 Z0.000
N0040 X23.000 Z-0.500
N0050 G01 X0.000
N0060 G00 X23.000 Z0.000
N0070 S2546 T0241 F125
N0080 G00 X23.000 Z0.500
N0090 X22.000
N0100 G84 X14.000 Z-15.500 D0=0 D3=1000
N0110 G00 X14.000
N0120 S3500
N0130 G84 X6.000 Z-13.000 D0=500 D3=1000
N0140 G00 X23.000
N0150 S3900 T0302 F80
N0160 G00 X23.000 Z0.000
N0170 X6.000
N0180 G01 Z-13.000
N0190 G02 X6.500 Z-13.500 I0.500 K0.000
N0200 G01 X14.500
N0210 G00 X6.000 Z0.000
N0220 G01 X4.000 Z-0.500
N0230 X6.000 Z-1.500
N0240 G00 X30.000 Z0.000
N0250 G53 G56
N0260 M30
```

6.6 Kontrola CNC programu v simulačním programu EMCOTRONIC TM02

Správnost CNC programu si ověříme jeho spuštěním, při kterém máme možnost sledovat grafické znázornění celého procesu obrábění na monitoru. Po spuštění program simuluje veškeré pohyby nástrojů při jednotlivých operacích, takže můžeme zjistit případné kolize nástroje s obrobkem popřípadě se strojem. To nám umožňuje předejít poškození nástroje nebo obrobku. Pokud je s programem zadán a zároveň spuštěn i program s tvarem polotovaru je

možno sledovat nejen dráhu nástroje, ale i způsob odebrání materiálu.

Během simulace obrábění jsou na obrazovce znázorněny parametry o smyslu otáčení vřetena, rychlosti otáček a posuvu, chlazení, výměně nástroje, názvu právě použitého nástroje a bloku, který je právě prováděn.

7. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo navržení konstrukce a uložení zdvojeného směrového řízení, pevnostní výpočet, technologický postup a CNC program zvolené součásti.

V úvodní části se nachází popis a složení letounu jako celku. Obsahem následující teoretické části je rozdělení a stručný nástin problematiky řízení a možné varianty řešení. Dále pak vlastní návrh řešení, doplněný pevnostními výpočty a výkresovou dokumentací zpracovanou v konstrukčním softwaru AutoCAD Release 14. Při řešení zadání jsem v první řadě dbal na jednoduchost, funkčnost, nízkou hmotnost konstrukce při dodržení všech pevnostních podmínek a snadnou montáž. Podle mého názoru bude toto řešení v běžných provozních podmínkách bez problémů fungovat.

V poslední části je popsán technologický postup a tvorba programu pro obrábění dané součásti na CNC obráběcím stroji. Technologický postup byl vytvořen s ohledem na CNC program, který však s největší pravděpodobností z hlediska tohoto druhu výroby svoje uplatnění v praxi nenajde.

Obsahem této práce je tedy téměř kompletní výrobní dokumentace, při jejímž zpracovávání jsem využil poznatků získaných především v těchto předmětech: Části strojů, Pružnost a pevnost, AutoCAD a Technologie obrábění.

Seznam použité literatury:

- Agrozet Prostějov, k. p.: Jednotné normativy - NC soustruhy. Praha 1987.
Beňo, L.: Lietadlá. Bratislava 1988.
Dráb, V. a kol.: Technologie I. Liberec 1979.
Dráb, V. a kol.: Technologie I. - Návod ke cvičení. Liberec 1987.
Drastík, F.: Technické kreslení podle mezinárodních norem I. Pravidla pro tvorby výkresů ve strojírenství. Ostrava 1994.
Fendrich, J. - Pýcha, B.: Konstrukce letounů. Liberec 1986.
Kdér, F. a kol.: Učebnice sportovního letce. Praha 1980.
KCS: Přednášky a cvičení - Části strojů.
KMP: Přednášky a cvičení - Pružnost a pevnost.
KVS: Přednášky a cvičení - AutoCAD.
Vališ, L.: Návod na programování CNC soustruhu E 120/120P s řídicím systémem EMCOTRONIC TM02. Brno 1992.
Vávra, P. a kol.: Strojnické tabulky. Praha 1983.
Vytláčil, M. - Veverka, J.: Technologie automatických výrob. Liberec 1990.

Seznam příloh:

I.	Sestava směrového řízení	1-KVS-VS-24-01-00
II.	Levý pedál	1-KVS-VS-24-02-01
III.	Pravý pedál	1-KVS-VS-24-03-02
IV.	Čep	4-KVS-VS-24-01-03
V.	Kostka	3-KVS-VS-24-01-04
VI.	Kostka	3-KVS-VS-24-01-12
VII.	Doraz	4-KVS-VS-24-01-05
VIII.	Trubka	4-KVS-VS-24-02-06
IX.	Trubka	4-KVS-VS-24-02-07
X.	Trubka	4-KVS-VS-24-02-08
XI.	Trubka	4-KVS-VS-24-02-09
XII.	Kroužek	4-KVS-VS-24-02-10
XIII.	Kroužek	4-KVS-VS-24-02-11

Prohlášení k využívání výsledků DP:

Jsem si vědom(a) toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám (sama) bez svolení školy disponovat, a že diplomová práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.
Beru na vědomí, že po 5ti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TUL v Liberci, kde je uložena.

Jméno a příjmení (-rodné příjmení): ROMAN MIHULKA

Adresa: JUGOSLAVSKA 862, 517 54 VAMBEŘK

Podpis: 