

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**



# **BAKALÁŘSKÝ PROJEKT**

## **Konstrukce odpojitelného uzlu křidélek**

**1996**

**Hana Mařasová**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra: výrobních systémů

Školní rok: 1995/96

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉHO PROJEKTU

pro Hanu M A Ř A S O V O U

obor: 23 - 81 - 7 Strojírenství

zaměření: výrobní stroje

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č.172/1990 Sb. o vysokých školách a ve smyslu studijních předpisů pro bakalářské studium určuje toto zadání bakalářského projektu :

Název tématu : Konstrukce odpojitelného uzlu křidélek

Zásady pro vypracování: Projekt musí obsahovat:

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

Rozsah průvodní zprávy: cca 20 stran

Seznam odborné literatury :

Vytlačil,M.: Technologie automatizovaných výrob

Vališ,L.: Návod na programování CNC soustruhu E 120/E120P-EMCO

KCS: Přednášky a cvičení - AutoCAD

Konzultant: Ing. Miroslav Hájek

Termín odevzdání bakalářského projektu : 24.5.1996

Doc.Ing.Přemysl Pokorný,CSc.

.....

Vedoucí katedry

L.S.

Prof.Ing.Jaroslav Exner,CSc.

.....

Děkan

V Liberci dne 31.10.1995

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Univerzitní knihovna

Voronežská 1329, Liberec 1

KVS/VS

34s, 4 rob. přel.

1/27/94 Q.

## OBSAH:

# MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

1. SEZNAM UŽITÉ LITERATURY

2. SEZNAM UŽITÝCH VELIČIN A JEDNOTEK

3. SEZNAM UŽITÝCH ZKRATEK

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tento projekt vypracovala samostatně, pouze s použitím uvedené literatury a pod vedením odborného konzultanta.

5. ÚVOD

5.1. Ovládání a řízení letounu

5.1.1. Tuhost soustavy řízení

5.1.2. Přímé řízení letounu

5.1.3. Převody přímého řízení - konstrukce

5.1.4. Kombinované převody

5.1.5. Stabilita řídicího systému - nežádoucí účinky křídelsk

6. ROZBOR KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

7. ROZBOR VÝPOČTOVÉ ZPRÁVY

7.1. Výpočtová zpráva

7.1.1. Kontrola těhla na TAH - TLAK

7.1.2. Kontrola těhla na VZPĚR

7.1.3. Kontrola žlobů

7.1.4. Kontrola ODTLAČENÍ v trubce

8. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

8.1. Technologický postup výroby středového čepu

8.2. Technická příprava výroby

8.2.1. Volba polotovaru

8.2.2. Upnutí polotovaru

8.2.3. Řezné podmínky

8.2.4. Stanovení řezných podmínek

V Liberci 24. 5. 1996 v revoluřtové hlavě

9. VYHOTOVENÍ CNC PROGRAMU

.....ná programování metodou CAD/CAM

Hana Mařasová

9.2. Technický postup výroby CNC programu



## **OBSAH :**

1. SEZNAM UŽITÉ LITERATURY
2. SEZNAM UŽITÝCH VELIČIN A JEDNOTEK
3. SEZNAM UŽITÝCH ZKRATEK
4. ANOTACE
5. ÚVOD
  - 5.1. Ovládání a řízení letounu
    - 5.1.1. Tuhost soustavy řízení
    - 5.1.2. Přímé řízení letounu
    - 5.1.3. Převody přímého řízení - konstrukce
    - 5.1.4. Kombinované převody
    - 5.1.5. Stabilita řídicího systému - nežádoucí účinky křidélek
6. ROZBOR KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ
7. ROZBOR VÝPOČTOVÉ ZPRÁVY
  - 7.1. Výpočtová zpráva
    - 7.1.1. Kontrola táhla na TAH - TLAK
    - 7.1.2. Kontrola táhla na VZPĚR
    - 7.1.3. Kontrola šroubů
    - 7.1.4. Kontrola ODTLAČENÍ v trubce
8. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY
  - 8.1. Technologický postup výroby středového čepu
  - 8.2. Technická příprava výroby
    - 8.2.1. Volba polotovaru
    - 8.2.2. Upnutí polotovaru
    - 8.2.3. Řezné podmínky
    - 8.2.4. Stanovení řezných podmínek
    - 8.2.5. Uspořádání nožů v revolverové hlavě
9. VYHOTOVENÍ CNC PROGRAMU
  - 9.1. Automatizované programování metodou CAD/CAM
  - 9.2. Teoretický popis tvorby CNC programu



## 1. SEZNAM UŽITÉ LITERATURY

9.3. Složení CNC programu

9.4. Tvorba CNC programu

9.5. Zadávání polotovaru

9.5.1. Program pro vytvoření polotovaru

9.6. Ověření funkčnosti programu

9.7. CNC program

10. ZÁVĚR

- Technologie automatizovaných výroba

- Technologie CNC soustruhu

- CNC F 3

- Technologie I (VŠST Liberec)

- Sborník technické příručky - 13

(upravené vydání - SNTL Praha 1977)

- Strojnické tabulky I, II (SNTL Praha 1973)

- ZSI (VŠST Liberec)

- Přednášky a cvičení CS

- Přednášky a cvičení CAD/CAM

- Konstrukce ložiska (VŠST Liberec)

# 1. SEZNAM UŽITÉ LITERATURY

- Vytlačil, M. a kol.* - Technologie automatizovaných výrob
- Vališ, L.* - Návod na programování CNC soustruhu  
E 120/120 P S
- Dráb, V. a kol.* - Technologie I. ( VŠST Liberec )
- Černoch, S.* - Strojně technická příručka - 13  
( upravené vydání - SNTL Praha 1977 )
- Vrzal, B. a kol.* - Strojnické tabulky I.,II. ( SNTL Praha 1972 )
- Pustka, Z.* - ZSI ( VŠST Liberec )
- KCS* - Přednášky a cvičení CS
- KVS* - Přednášky a cvičení CAD/CAM
- Pícha, P.* - Konstrukce letounu ( VŠST Liberec )

## 2. SEZNAM UŽITÝCH VELIČIN A JEDNOTEK

|                  |                                      |                 |
|------------------|--------------------------------------|-----------------|
| E                | - modul pružnosti v tahu             | MPa             |
| F                | - síla působící v táhle              | N               |
| F <sub>x</sub>   | - složka síly působící v ose x       | N               |
| F <sub>y</sub>   | - složka síly působící v ose y       | N               |
| J                | - kvadratický moment plochy          | mm <sup>4</sup> |
| M <sub>k</sub>   | - krouticí moment                    | Nmm             |
| R <sub>a</sub>   | - drsnost povrchu                    | μm              |
| R <sub>e</sub>   | - výrazná mez kluzu                  | MPa             |
| R <sub>m</sub>   | - mez pevnosti v tahu                | MPa             |
| R <sub>p</sub>   | - smluvní mez kluzu                  | MPa             |
| S                | - plocha průřezu                     | mm <sup>2</sup> |
| S <sub>s</sub>   | - jmenovitý výpočtový průřez         | mm <sup>2</sup> |
| T                | - trvanlivost břitu                  | min             |
| VB               | - otupení břitu                      | mm              |
| d                | - průměr                             | mm              |
| h                | - tloušťka stěny                     | mm              |
| n                | - počet šroubů, nýtů                 | 1               |
| k                | - míra bezpečnosti                   | 1               |
| k <sub>vt</sub>  | - opravný koeficient řezné rychlosti | 1               |
| l                | - délka táhla                        | mm              |
| m                | - hmotnost nosiče                    | kg              |
| n                | - otáčky                             | ot./min         |
| p                | - měrný tlak ( odtačení )            | MPa             |
| p <sub>d</sub>   | - dovolený měrný tlak                | MPa             |
| r                | - poloměr                            | mm              |
| s                | - tloušťka                           | mm              |
| t                | - teplota                            | °C              |
| α                | - součinitel délkové roztažnosti     | 1/°C            |
| μ                | - Poissonova konstanta               | 1               |
| δ <sub>t</sub>   | - normální napětí v tahu             | MPa             |
| δ <sub>tD</sub>  | - dovolené normální napětí v tahu    | MPa             |
| δ <sub>red</sub> | - redukované normální napětí         | MPa             |
| τ <sub>s</sub>   | - tečné napětí                       | MPa             |
| τ <sub>sD</sub>  | - dovolené napětí ve smyku           | MPa             |
| λ                | - štíhlostní poměr                   | 1               |
| λ <sub>m</sub>   | - mezní štíhlostní poměr             | 1               |



### 3. SEZNAM UŽITÝCH ZKRATEK

- CAD** - Computer Aided Design  
-systém sloužící ke grafickému návrhu tvaru budoucího výrobku
- CNC** - Computer Numeric Control - pružný programovatelný stroj
- CL** - Cutter Location - poloha nástrojů  
-obecný soubor dat, je standardizován pro všechny programy, ve kterých jsou zahrnuty parametry nástrojů, řezné podmínky a pohyby nástrojů.
- PP** - Post Processing - následné zpracování

## 4. ANOTACE

OZNAČENÍ BP :

VYPRACOVALA : Hana Mařasová

V této práci se zabývám konstrukčním a technologickým návrhem odpojitelného uzlu křidélek.

V první části jsou uvedeny návrhy, odůvodnění řešení a výběr materiálu. Dále je zde vypracován pevnostní výpočet dle specifikací.

Obsahem druhé části je postup přípravy výroby součásti pro CNC soustruh *E 120 P* s řídicím systémem *EMCOTRONIC TM 02*.

Jedná se o ruční způsob zadávání programu do CNC soustruhu a tvorbu programu přímo z výkresu pomocí programu *EMCOdraft*.

Datum : 20. 5. 1996

Počet stran : 34

Počet výkresových  
dokumentací : 3



## 5. ÚVOD

Cílem této práce bylo navrhnout odpojitelný uzel křidélek pro ultralehký letoun a vypracovat technologický postup pro výrobu středového čepu.

Na začátek uvedme některé základní technické údaje ultralehkého letounu :

|                                                 |                     |
|-------------------------------------------------|---------------------|
| Maximální hmotnost .....                        | 450 kg              |
| Minimální rychlost .....                        | 65 km/h             |
| Maximální rychlost<br>vodotovného letu .....    | 200 km/h            |
| Rychlost při plně<br>vychýlených klapkách ..... | 150 km/h            |
| Nosná plocha .....                              | 13,5 m <sup>2</sup> |
| Rozpětí .....                                   | 7,6 m               |
| Počet sedadel .....                             | 2                   |
| Průměrná spotřeba<br>paliva .....               | 8-12 l/h            |

Typ motoru je pístový letadlový dvouválec chlazený vzduchem. Každý válec má samostatný karburátor. Výfukový systém je opatřen tlumičem hluku. Motor je dále vybaven elektromagnetickým zapalováním kondenzátorového typu.

Celý letoun je kapotovaný. Uvnitř je užita klasická trubková konstrukce.

Každá konstrukce letounu musí být tuhá, aby zachovala vnější tvary, charakteristiku stability a ovladatelnosti a musí vyhovovat svou odolností proti vibracím.

Normy předepisují velikosti zatížení, v jejichž rozmezí nesmí dojít ke ztrátě stability a výskytu trvalých deformací. Předepisuje se například účinnost ocasních ploch a velikost průhybu nosných ploch.

Pevnost a tuhost konstrukce se prověřuje při statických, dynamických a únavových zkouškách. Tyto zkoušky se provádějí za účelem prověření součinitele bezpečnosti ( v našem případě je součinitel bezpečnosti  $k$  roven 2,5 ).



## 5.1. Ovládání a řízení letounu

Řízení a ovládání letounu ve vzduchu umožňují pohyblivé části draku letounu, které ovládá pilot z kabiny.

Tato zařízení slouží k ovládání letounu a dělí se do dvou skupin :

**Vlastní zařízení** - určené přímo k ovládání letounu okolo jeho os pomocí kormidel.

**Pomocné zařízení** - určené k ovládání vyvažovacích plošek zařízení pro zvýšení tlaku či odporu.

Každá soustava řízení se skládá z jednotlivých článků majících určitou funkci :

**základní článek** - je orgán vlastního řízení, umístěný v kabině, tj. řídicí páka, pedály.  
- u pomocného zařízení je element, kterým je toto pomocné zařízení ovládáno.

**výkonný článek** - je samotný orgán řízení, tomuto náleží kormidla, interceptory, vztlakové klapky aj.

**spojovací článek** - zajišťuje propojení od ovladače k výkonnému orgánu zařízení.

**kontrolní článek** - značí správnou polohu výkonného orgánu řízení v kabině.

Mimo základních článků obsahují jednotlivé typy řízení další doplňující části jakými jsou např. zesilovače síly pilota na ovládací orgán, části upravující výchylky kormidel a klapek.

Dle síly, která působí při ovládání na základní článek, tj. ovladač, dělíme dále soustavy řízení na:

- Soustavy řízení letadel bezpilotních
- Soustavy řízení letadel ovládaných člověkem

Tyto soustavy řízení letadel ovládané člověkem dále dělíme na tyto dvě podskupiny:

- **Soustavy s přímým řízením** - silou, kterou působí pilot na řídicí orgán v kabině, se prostřednictvím převodu řízení ovládá přímo výkonný článek, např. kormidlo.
- **Soustavy s nepřímým řízením** - síla, kterou pilot vyvozuje z řídicího orgánu v kabině je zesilována a poté je touto silou ovládáno kormidlo.



Ovládání řízení dělíme na :

***Ruční ovládání řízení*** - vychýlením řídicí páky v kabině jsou vychylována kormidla příčného řízení, tj. interceptory; balanční křídélka a kormidla podélného řízení, tj. výškové kormidlo atd.

***Nožní řízení*** - pohybem nožní řídicí páky je letoun ovládán kolem svislé osy pomocí směrového řízení, tj. plovoucí kýlovou plochou či směrovým kormidlem.

### **5.1.1. Tuhost soustavy řízení**

Tuhost soustavy jednotlivých elementů řízení má vliv na stabilitu, tj. vznik možného kmitání soustavy. Dále ovlivňuje velikost mrtvých chodů v jednotlivých částech soustavy.

Tuhost soustavy je závislá na tuhosti jednotlivých elementů řízení, na vůlích ve spojích a především na velikosti tuhosti částí draku.

Nedostatečná tuhost způsobuje velké mrtvé chody, z tohoto pak plynou rozdíly mezi výchyly orgánů řízení v kabině a předpokládanými výchyly kormidel.

Velikost mrtvého chodu je dána maximálními výchyly kormidel, výsledný mrtvý chod má předepsanou velikost, která nesmí být překročena.

#### **Požadavky na soustavu řízení**

- stabilita funkce jednotlivých částí při možných deformacích konstrukce letounu
- snaha o co nejmenší vůle ve spojích jednotlivých článků
- minimální tření ve vedeních a spojích od základního článku až k orgánu řízení
- minimalizovat vůle ve spojích jednotlivých článků
- nastavení potřebných výchylek kormidel řízení
- zabránit působení velkých sil napříč táhel, které způsobují ohyb
- zajistit stavitelnost délky jednotlivých částí v převodech
- požadovat, aby síly, které působí ve spojích jednotlivých elementů, neměnily za letu směr v důsledku deformace konstrukce draku letounu.

## 5.1.2. Přímé řízení letounu

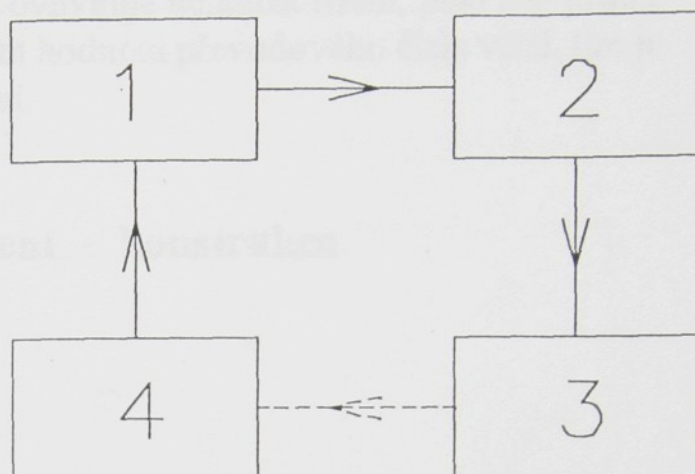
schema přímého řízení letounu

1. orgán řízení v kabině  
- základní článek

2. mechanický převod  
řízení  
- spojovací článek

3. kormidlo  
- výkonný článek

4. ukazatel v kabině  
letounu  
- kontrolní článek



Při tomto řízení působí pilot vlastní silou na řídicí orgány v kabině letounu a přes mechanické převody ovládá přímo kormidla. Úhel vychýlení kormidla je volen dle potřebných hodnot momentů vzhledem k ose letounu.

### úhly vychýlení kormidla

- jsou voleny u současných letounů v intervalu těchto hodnot:

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| balanční křídélka .....     | 15° - 20° na obě strany |
| výškové kormidlo .....      | směr nahoru 26° - 32°   |
|                             | směr dolů 15° - 20°     |
| směrové kormidlo .....      | 25° - 30° na obě strany |
| plovoucí stabilizátor ..... | směr nahoru 7° - 13°    |
|                             | směr dolů 15° - 28°     |

### úhly vychýlení řídicí páky

- jsou omezeny prostorem kabiny, jsou voleny tak, aby pilot mohl řídicími pákami neomezeně pohybovat a jsou voleny v rozmezí těchto hodnot:

|                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| ruční řídicí páka ..... | směrem k sobě 18° - 26°               |
|                         | směrem od sebe 12° - 16°              |
|                         | do stran 14° - 17° - od kolmé roviny  |
| nožní řídicí páka ..... | 70 - 100 mm chodu dopředu a dozadu od |
|                         | neutrální polohy                      |



***převodové číslo***

- udává charakteristiku převodu řízení od řídicí páky.
- lze jej definovat jako poměr změny úhlu odklonění ***kormidel*** k úhlu odklonění ***řídící páky***, hodnota bývá v rozmezí  $0,5^\circ - 2^\circ$ .
- jeho hodnota ovlivňuje účinnost řízení, platí zde přímá úměrnost - čím hodnota převodového čísla větší, tím je účinnější řízení.

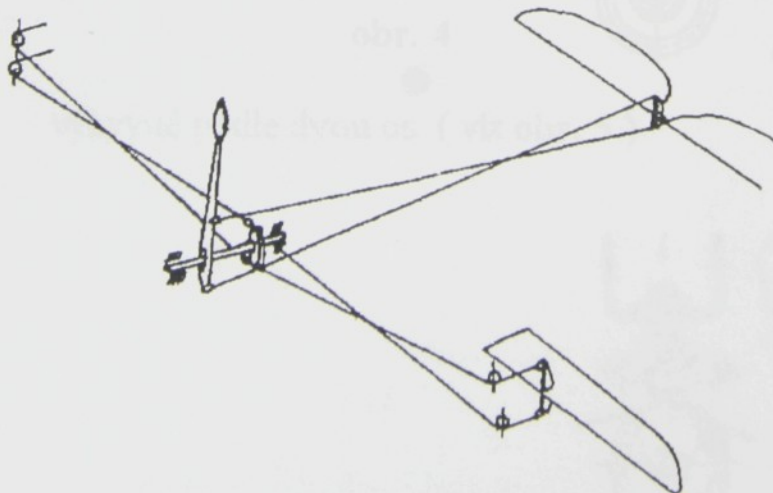
### **5.1.3. Převody přímého řízení - konstrukce**

1. Převody ohebné
2. Převody tuhé
3. Převody kombinované

Převody řízení jsou určeny k přenosu sil a výchylek od řídicích pák na kormidla a jsou to spojovací články mezi orgány řízení v kabině letounu a kormidly.

**Převody ohebné**

- jsou složeny z :
  - ocelových lan se speciálně upravenými koncovkami
  - vodítek
  - napínáků
  - vodících kladek
  - pák



obr. 1 - převod výškového a příčného vedení

Ocelová lana, jejich koncovky a napínáky jsou normalizovány. Lana jsou spojena pomocí ok přes páky.

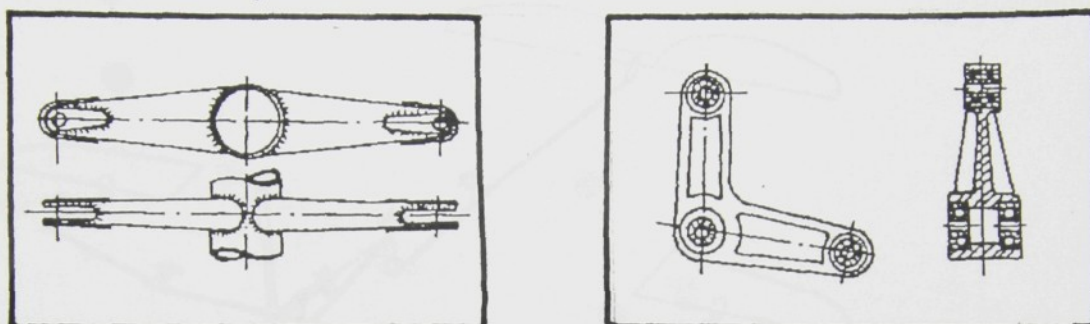
**páky** - jednoramenné

- dvouramenné

- přímé

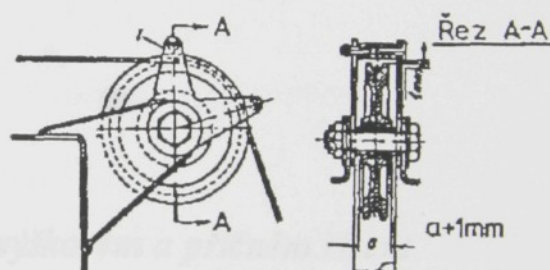
- úhlové

Výroba páky závisí na úvaze konstruktéra; může být lisovaná, svařovaná z ocelového plechu, či odlitá z lehkých slitin.



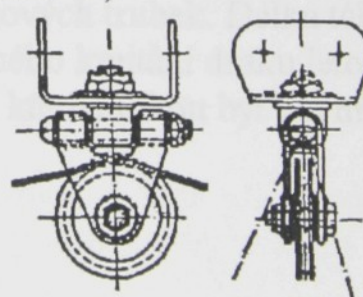
obr. 2 - páky lomené

**kladky** - nevýkyvné ( viz obr. 3 )



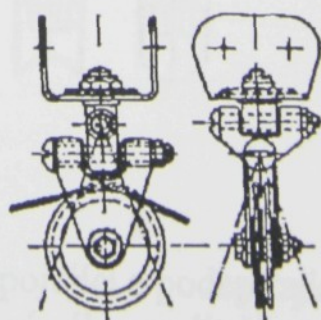
obr. 3

- výkyvné podle jedné osy ( viz obr. 4 )



obr. 4

- výkyvné podle dvou os ( viz obr. 5 )

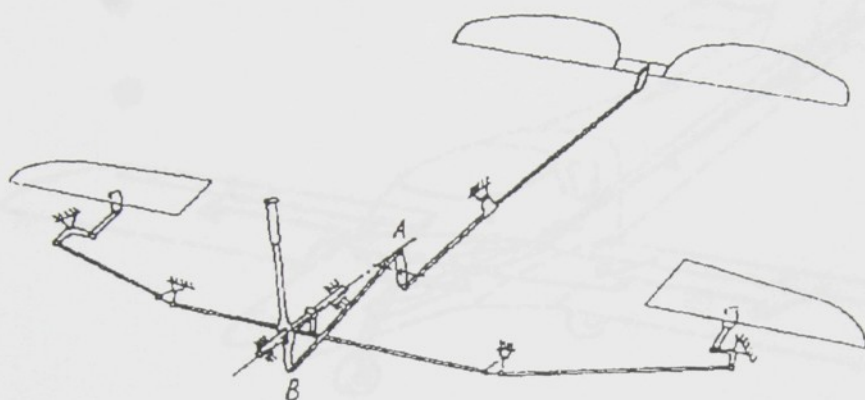


obr. 5



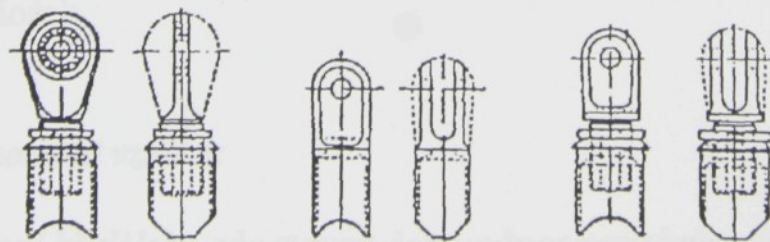
### Převody tuhé

- jsou tvořeny :
  - táhly
  - pákami
  - hřídely
  - vodítky
  - vahadly



obr. 6 - Tuhý převod ve výškovém a příčném řízení

**táhla** - jsou zhotovena z tenkostěnných duralových trubek. Délka táhla je omezena maximálně na 2 metry z důvodu možného kmitání draku letounu. Spojení táhel je umožněno pomocí koncovek, které mohou být pevné či stavitelné ( obr. 7 )

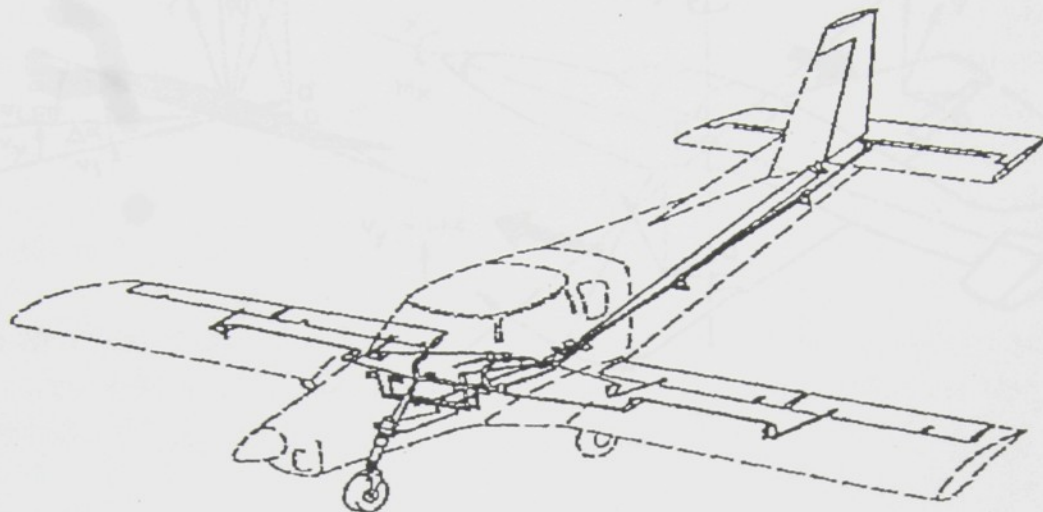


obr. 7

Další částí konstrukce jsou vahadla a vodítka spojující a podepírající táhla a jejich vedení. Tyto zmíněné spoje táhel, otočných uložení pák a vodítek musí být z důvodu požadované nízké hodnoty tření při pohybu opatřeny ložisky.

#### 5.1.4. Kombinované převody

Představují kombinaci tuhého a ohebného převodu. Tuhý převod řízení vychází z kabiny pilota nebo bývá v závěrečné části, tj. kormidlo. Dlouhé úseky jsou řešeny pomocí lan, táhel, řetízků, nebo jejich kombinací.



obr. 8 - Kombinovaný převod

#### 5.1.5. Stabilita řídicího systému - nežádoucí účinky křidélek

Kormidla - křídélka příčného řízení sice nejlépe plní požadavky, které jsou kladeny na části příčného řízení, ale mají tu nevýhodu, že při vychýlení způsobují kromě požadovaných klonivých momentů také nežádoucí **zátáčivé momenty**. Působením tohoto momentu má letoun tendenci nežádoucího zatačení, smysl tohoto momentu je nežádoucí pro zahájení zatačky.

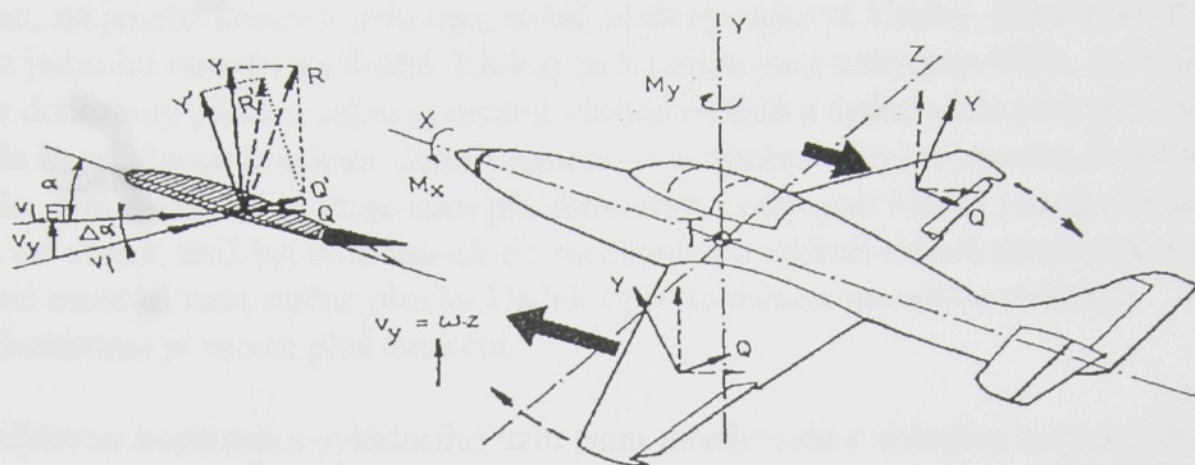
Zatáčivý moment je tvořen těmito složkami, které vznikají při klonění samotného křídla a při vychýlení křidélek. Celkový zatačivý moment  $M_y$  získáme součtem zmíněných složek.

*zatáčivý moment vzniká:*

1. *od vychýlení křidélek* - zde stoupá čelní odpor nestejným vzrůstem na obou polovinách křídla při vychýlení. Z tohoto důvodu křídélko vychýlené dolů má větší čelní přírůstek než křídélko vychýlené nahoru.



2. při klonění křídla - zde působí změna místních směrů nabíhajícího proudu o úhel  $\Delta\alpha$  ( obr. 9 ) na profil křídla proti směru rychlosti letu letounu.



obr. 9

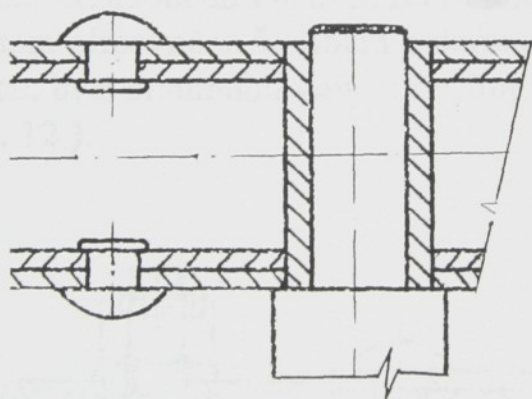
Při natočení vztlakového vektoru a odporu dojde ke změně síly působící ve směru letu -  $v_{Let}$ , tak, že křídlo, které jde při klonění dolů, je urychlováno nepříznivě do zatáčky a naopak křídlo, které se kloní nahoru, je shodným způsobem zpomalováno.

## 6. ROZBOR KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Volila jsem ovládání a přenos síly pohybů pilota pomocí dvou otočně uložených ramen, na jejichž koncích jsou opět točně uloženy stykové kladky, které přenášejí sílu z jednoho ramene na druhé. Na koncích ramen jsou uchycena táhla, z nichž jedno vede do kabiny pilota a celou soustavu vlastně ovládá a druhé vede přes převody do křídla k ovládacím klapkám. Jedno rameno je umístěno v trupu letounu a druhé v křídle. Tím dosáhneme, že se nám při demontáži ( odpojení křídla ) uvolní jedna část uzlu od druhé, aniž bychom museli do mechanismu jakkoli složitě zasahovat a při zpětné montáži nám styčné plochy kladek opět dosednou na sebe a ovládací mechanismus je znovu plně funkční.

Celkovou konstrukci ovládacího uzlu jsem navrhovala s ohledem na jednoduchost výroby a montáže všech částí, a také z hlediska spotřeby materiálu a pevnostní únosnosti celé konstrukce.

Nejdůležitější součástí celé soustavy je středový nosný čep ( obr. 10 ), na kterém je nesena celá konstrukce, a na kterém se zároveň i otáčí.



obr. 10

Pro úsporu prostoru jsem volila řešení otáčení pomocí " kluzného ložiska ", které se skládá ze středového čepu a kluzného pouzdra ( viz obr. 10 ).

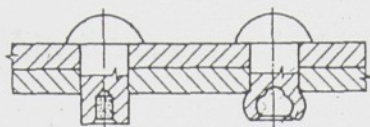
Čep je z důvodu ochrany proti otěru vyroben z kalitelné cementační oceli 14 220, jeho povrch je cementován a čep je zakalen na tvrdost 60 HRC. Kluzné pouzdro je z bronzu 42 3045, který má vynikající třecí (*kluzné*) vlastnosti.

Tímto jednoduchým řešením dosáhneme snadnosti výroby a hlavně velké úspory prostoru, která je zde namístě.



Pouzro je nalisováno v otočném rameni, jenž je vyrobeno z normalizovaného polotovaru ( trubka D 16 T 424203.69 ).

Z důvodu odstranění nežádoucích deformací je rameno v prostoru umístění pouzdra vyztuženo trubkou ze stejného materiálu ( viz obr. 10 ), což nám zlepší pevnost nalisovaného spoje a sníží velikost odtlačení. Výztuhová trubka je k rameni připevněna speciálními tzv. **výbušnými nýty** ( obr. 11 ). Tyto nýty mají normu ČSN 32 23 87.

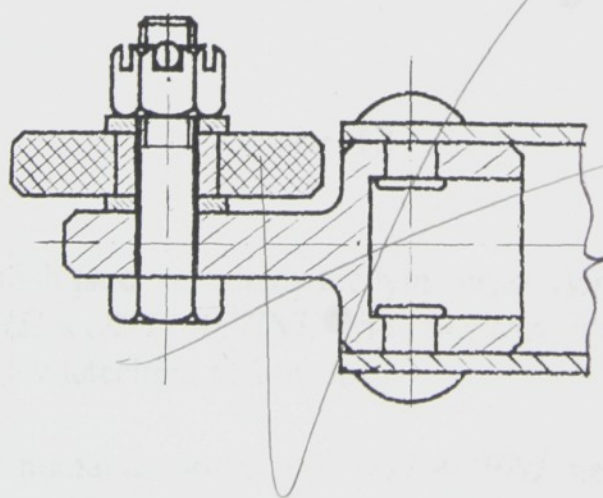


obr. 11

Na koncích otočného ramene jsou umístěny nosiče stykových kladek, na nichž jsou připevněny teflonové stykové kladky, které umožňují přenos síly a točivého momentu z jednoho ramene na druhé a naopak.

Ve středu kladky je z důvodu možného tření šroubu o tělo kladky nalisováno ocelové pouzdro, jež tomuto nežádoucímu účinku zabráňuje.

Kladka je k rameni připevněna šroubem a ztažena korunovou maticí tak, aby mezi kladkou a ramenem byla minimální vůle, umožňující rotaci kladky. Matice je zajištěna závlačkou ( obr. 12 ).



obr. 12

Na jednom konci ramene je pod hlavou šroubu uchyceno ovládací táhlo, které celou soustavou otáčí. Táhlo je přes převody ovládáno pilotem přímo z kabiny letounu.

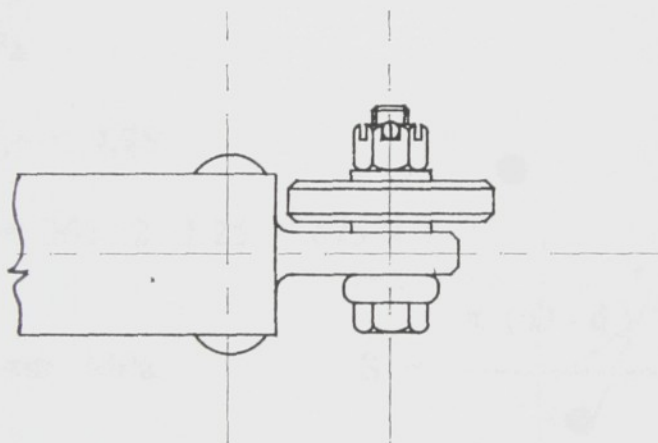
## 7. ROZBOR VÝPOČTOVÉ ZPRÁVY

Při výpočtu je rozhodující veličinou síla  $F$ , kterou vyvozuje pilot přes ovládací táhlo.

Síla  $F$  vyvolává v táhle normální tahové a tlakové napětí. Z tohoto důvodu kontrolujeme táhlo na **TAH - TLAK** a výsledné hodnoty porovnáváme s hodnotami dovoleného tahu a tlaku příslušného materiálu ( v tomto případě je  $\sigma_{dov} = 490 \text{ MPa}$  ).

Dále je z důvodu délky táhla nutná kontrola na **VZPĚR**.

Síla  $F$  vyvolává na kraji trubky tlakové namáhání. Proto je nutné v tomto místě překontrolovat **ODTLAČENÍ** mezi trubkou a nosičem kladky ( obr. 13 ).



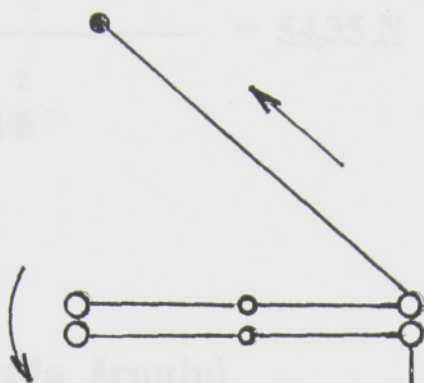
obr. 13

Šrouby v kladkách jsou namáhány tečným smykovým napětím. Zde provedeme kontrolu na **STŘIH** a **ODTLAČENÍ**. Třída pevnosti šroubu je 8E a ČSN 02 10 10.4 ( šroub používaný v leteckém průmyslu ).

Středový čep je namáhán pouze na **ODTLAČENÍ**, neboť je spolu s kluzným pouzdem konstruován jako kluzné ložisko, a tak zde nedochází ke tvorbě kroutícího momentu, a tudíž není nutná kontrola čepu na krut.



## 7.1. Výpočtová zpráva



### 7.1.1. Kontrola táhla na TAH - TLAK

materiál : D 16 T

polotovár : trubka  $\varnothing 20 \times 1,5 - 650$  ČSN 42 42 03.69

$$R_e = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tD} = 490 \text{ MPa}$$

$$F = 300 \text{ N}$$

$$k = 0,75 \cdot 1,5 = 1,25$$

$$F_r = F \cdot 2k = 300 \cdot 2 \cdot 1,25 = 675 \text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{F_r}{S} < \sigma_{tD} \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\pi (D - d)^2}{4} = 87,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\sigma_t = \frac{675}{87,5 \cdot 10^{-6}} = 7,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t < \sigma_{tD} \rightarrow \text{VYHOVUJE!}$$

### 7.1.2. Kontrola táhla na VZPĚR

$$n = 1$$

$$l = 650 \text{ mm}$$

$$E = 7,5 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$F_{kr} = \frac{n \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot J_{min}}{l^2} = \underline{54,35 \text{ N}} \quad J_{min} = \frac{\pi}{64} (D - d)^4 \text{ mm}^4$$

**VYHOVUJE!**

### **7.1.3. Kontrola šroubů**

šroub M5 x 20 ČSN 02 10 10.4  
značka šroubu 8E

$R_e = 650 \text{ MPa}$

$l^* = 5 \text{ MPa}$  - délka ve stykové ploše

$d_s = 4,019 \text{ MPa}$  - střední průměr šroubu

$$\text{kontrola napětí ve smyku : } \tau_s = \frac{F_r}{\pi / 4 d_s} = \underline{53,2 \text{ MPa}}$$

$\tau_D$  volíme podle tabulek  $\tau_D = 0,4 R_e = 260 \text{ MPa}$

$$\text{tlak ve stykových plochách } p = \frac{F_r}{d \cdot l^*} < p_D \quad p_D = 150 \text{ MPa}$$

$$p = \underline{27 \text{ MPa}}$$

$p < p_D \rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE!}}$

### **7.1.4. Kontrola ODTLAČENÍ v trubce**

trubka  $\varnothing 20 \times 1,5$

$l^* = 5 \text{ mm}$  - délka odtlačované plochy

$d = 17 \text{ mm}$  - vnitřní průměr trubky

$$p = \frac{F_r}{d \cdot l^*} = \underline{7,94 \text{ MPa}}$$

$p < p_D \rightarrow \underline{\text{VYHOVUJE!}}$



## 8. TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup jsem navrhla tak, aby co nejvíce vyhovoval typu výroby součásti na CNC soustruhu s členěním dle užití nástrojů a popisem jednotlivých operací.

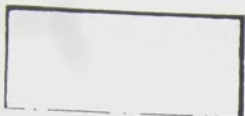
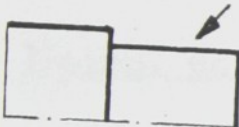
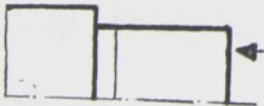
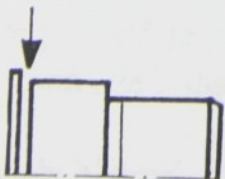
Mým úkolem v této části bylo zhotovit výrobní postup pro výrobu středového čepu.

Při tvorbě technologického postupu vycházíme z výkresové dokumentace, posuzujeme tvar a velikost součásti. Dále je nutné všimnout si materiálu součásti a jejího tepelného zpracování. Na tom závisí nejenom volba polotovaru, ale také obrobitelnost materiálu, správná volba nástrojů, řezných podmínek a stroje, na kterém bude součást vyráběna. V tomto případě se jedná o CNC soustruh *E 120 P* s řídicím systémem *EMCOTRONIC TM 02* s následujícími parametry :

|                                      |       |                    |
|--------------------------------------|-------|--------------------|
| výkon                                | ..... | 4 kW               |
| max. $M_k$                           | ..... | 23 Nm              |
| rychloposuv                          | ..... | 3 m/min            |
| posuvná síla                         | ..... | 2000 N             |
| rozsah otáček                        | ..... | 150 - 4000 ot./min |
| největší možný<br>obrobitelný průměr | ..... | 90 mm              |
| největší soustružitelná<br>délka     | ..... | 160 mm             |
| počet míst v<br>revolverové hlavě    | ..... | 8                  |

Jak jsem již uvedla, důležitým faktorem je také rozměr a správná volba polotovaru. Ten musí být volen tak, aby se jeho tvar a rozměry co nejvíce podobaly součásti, kterou budeme vyrábět. Z toho vyplývá, že správná volba polotovaru snižuje náklady při výrobě, výrobní časy a množství odpadu.

## 8.1. Technologický postup výroby středového čepu

| Operace | Schema                                                                              | Nástroj                              | Otáčky<br>vřetene<br>ot./min | Posuv<br>m/min | Popis činnosti                                            |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------|
| 1       |    |                                      |                              |                | polotovar upnout<br>do sklíčidla                          |
| 2       |    | hrubovací<br>nůž levý<br>ČSN 22 3514 | 895                          | 350            | obrobek<br>soustružit na $\phi 14$<br>(načisto)           |
| 3       |   | hrubovací<br>nůž levý                | 2150                         | 220            | obrobek<br>soustružit na<br>$\phi 8 \text{ h6}$ (načisto) |
| 4       |  | zapichovací<br>nůž<br>ČSN 22 3550    | 1600                         | 125            | vytvořit zápich                                           |
| 5       |  | čelní nůž<br>ČSN 22 3714             | 2150                         | 120            | zarovnat čelo                                             |
| 6       |  | hrubovací<br>nůž<br>ČSN 22 3514      | 895                          | 350            | srazit hranu<br>$1 \times 45^\circ$                       |
| 7       |  | upichovací<br>nůž<br>ČSN 22 3554     | 910                          | 80             | upíchnout                                                 |



## 8.2. Technická příprava výroby

Technická příprava výroby nevychází pouze z výrobního výkresu součásti, ale i z výpočtových zpráv, kde je brána v potaz např. pevnost a houževnatost materiálu součásti. Dále vychází z drsností, tvarů a rozměrů jednotlivých ploch.

### 8.2.1. Volba polotovaru

Při volbě polotovaru je také nutno vycházet z vyráběného množství.

V mém případě se počítá s výrobou dvou kusů středových čepů. Volila jsem proto normalizovaný polotovar kruhového průřezu, a to :

tyč  $\varnothing$  16 - 83      mat. 14 220      ČSN

K výsledným rozměrům obrobku jsem připočetla 2 mm jako přídavek na obrábění a k délce 46 mm pro zarovnání čela a na upnutí.

### 8.2.2. Upnutí polotovaru

V tomto případě jsem shledala za nejvhodnější upnutí polotovaru do sklíčidla, neboť poměr průměru a délky polotovaru při letmém upnutí není větší než 1 : 2.

### 8.2.3. Řezné podmínky

Při volbě řezných podmínek musíme vycházet z druhu práce, rozměrové přesnosti a jakosti plochy obrobku. Dále je nutno brát v úvahu hospodárnou trvanlivost nástroje.

Na optimální řezné podmínky má z největší části vliv intenzita opotřebení nástroje. Tu ovlivňují především tyto parametry :

|                |            |
|----------------|------------|
| Hloubka řezu   | $h$ mm     |
| Řezná rychlost | $v$ m/min  |
| Posuv          | $s$ mm/ot. |

Vliv těchto parametrů je patrný především v působení na teplotu řezání. Pro hospodárné obrábění je proto nutné volit optimální řezné podmínky.

V mém případě je provedeno stanovení řezných podmínek způsobem "VOLBA", což znamená, že k danému obráběcímu stroji hledáme vhodné řezné podmínky.

Materiály břitových destiček jsou slinuté karbidy P20, pouze upichovací nůž je vyroben z rychlořezné oceli.

## 8.2.4. Stanovení řezných podmínek

Pro stanovení řezných podmínek jsem použila normativy pro obráběcí stroj SM 16 A s těmito parametry :

|                         |       |                     |
|-------------------------|-------|---------------------|
| Výkon elektromotoru     | ..... | 3 kW                |
| Otáčky motoru           | ..... | 3000 ot./min        |
| Oběžný průměr nad ložem | ..... | 160 mm              |
| Rozsah otáček vřetene   | ..... | 71 - 3150 ot./min   |
| Rozsah posuvů           | ..... | 0,02 - 0,315 mm/ot. |

### a) Vnější soustružení nahrubo - podélné

|                          |        |             |
|--------------------------|--------|-------------|
| Hloubka řezu             | $h =$  | 1,5 mm      |
| Řezná rychlost           | $v =$  | 45 m/min    |
| Posuv                    | $s =$  | 0,35 mm/ot. |
| Trvanlivost břitu        | $T =$  | 30 min      |
| Maximální otupení hřbetu | $VB =$ | 0,8 mm      |
| Oběžný průměr obrobku    | $D =$  | 16 mm       |

$$\text{Otáčky } n = \frac{v}{\pi \cdot D} = 895 \text{ ot./min}$$

### b) Vnější soustružení načisto - podélné

|                           |                       |             |
|---------------------------|-----------------------|-------------|
| Hloubka řezu              | $h =$                 | 0,5 mm      |
| Řezná rychlost            | $v = 80 \cdot kv_1 =$ | 101 m/min   |
| Koeficient                | $kv_1 =$              | 1,26        |
| Posuv ( pro $R_a = 3,2$ ) | $s =$                 | 0,22 mm/ot. |
| Trvanlivost břitu         | $T =$                 | 45 min      |
| Maximální otupení hřbetu  | $VB =$                | 0,4 mm      |
| ( pro IT 10 - 14 )        |                       |             |
| Oběžný průměr obrobku     | $D =$                 | 14 mm       |

$$\text{Otáčky } n = \frac{v}{\pi \cdot (D + 2h)} = 2150 \text{ ot./min}$$



c) Vnější soustružení načisto - čelní

|                                                |                       |      |        |
|------------------------------------------------|-----------------------|------|--------|
| Hloubka řezu                                   | $h =$                 | 1    | mm     |
| Řezná rychlost                                 | $v = 28 \cdot kv_1 =$ | 101  | m/min  |
| Koeficient                                     | $kv_1 =$              | 1,26 |        |
| Posuv ( pro $Ra = 3,2$ )                       | $s =$                 | 0,12 | mm/ot. |
| Trvanlivost břitu                              | $T =$                 | 45   | min    |
| Maximální otupení hřbetu<br>( pro IT 10 - 14 ) | $VB =$                | 0,4  | mm     |
| Oběžný průměr obrobku                          | $D =$                 | 8    | mm     |
| Průměr otvoru na čele                          | $d =$                 | 0    | mm     |

$$\text{Otáčky } n = \frac{v}{\pi \frac{2D + d}{3}} = 2150 \text{ ot./min}$$

d) Upichování

|                                                |                       |           |        |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------|--------|
| Šířka břitu nože                               | $\check{s} =$         | 3         | mm     |
| Řezná rychlost                                 | $v = 30 \cdot kv_1 =$ | 40        | m/min  |
| Koeficient                                     | $kv_1 =$              | 1,26      |        |
| Posuv ( pro $Ra = 3,2$ )                       | $s =$                 | 0,08      | mm/ot. |
| Trvanlivost břitu                              | $T =$                 | 30        | min    |
| Maximální otupení hřbetu<br>( pro IT 10 - 14 ) | $VB =$                | 0,4 - 0,6 | mm     |
| Oběžný průměr obrobku                          | $D =$                 | 14        | mm     |

$$\text{Otáčky } n = \frac{v}{\pi \cdot D} = 910 \text{ ot./min}$$

e) Zapichování

|                          |                       |       |        |
|--------------------------|-----------------------|-------|--------|
| Šířka břitu nože         | $\check{s} =$         | 2     | mm     |
| Řezná rychlost           | $v = 30 \cdot kv_1 =$ | 40    | m/min  |
| Koeficient               | $kv_1 =$              | 1,26  |        |
| Posuv ( pro $Ra = 3,2$ ) | $s =$                 | 0,125 | mm/ot. |
| Maximální otupení hřbetu | $VB =$                | 0,4   | mm     |
| Oběžný průměr obrobku    | $D =$                 | 8     | mm     |

$$\text{Otáčky } n = \frac{v}{\pi \cdot D} = 1600 \text{ ot./min}$$

### 8.2.5. Uspořádání nožů v revolverové hlavě

Musí být takové, aby doba výměny nástroje byla v co nejkratším intervalu. Toto je rozhodující v seriové výrobě, kde se zkrácením doby výměny nástroje značně sníží náklady.

Při návrhu uspořádání nožů jsem vycházela z technologického postupu, ve kterém je přesně vidět, v jakém sledu jdou jednotlivé nástroje.

#### Osazení nástrojové hlavy

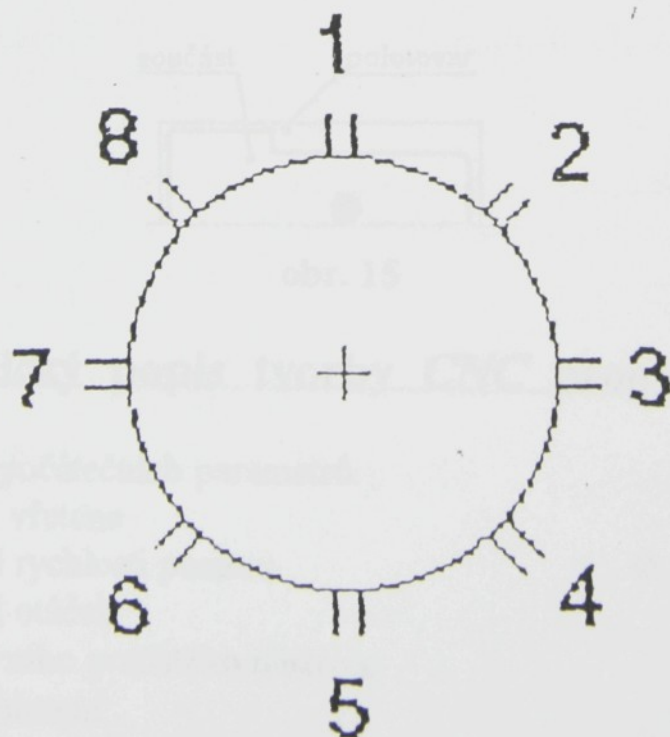
1 - zapichovací nůž ČSN 22 35 50

2 - hrubovací nůž ČSN 22 35 14

3 - čelní nůž ČSN 22 37 14

4 - upichovací nůž ČSN 22 35 54

5-8 - neobsazeno



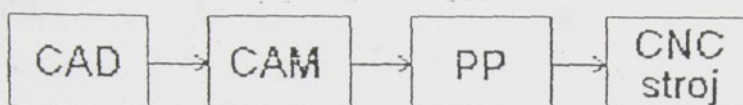


## 9. VYHOTOVENÍ CNC PROGRAMU

### 9.1. Automatizované programování metodou CAD/CAM

Jedná se vlastně o rychlý způsob tvorby programu pro CNC stroj. Vycházíme z výkresu, který je vytvořen v AUTOCADu, a právě jeho použitím se vytvoří CNC program, který musí být převeden pomocí *Postprocessoru* pro daný CNC stroj ( viz obr. 14 )

Je však nutno podotknout, že každý stroj má jiný způsob zapsání programu, a proto má i svůj vlastní Postprocessor.

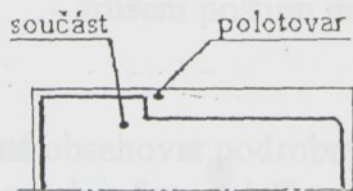


obr. 14

Výrobní výkres středového čepu jsem nakreslila v programu AUTOCAD R 11. se vstupním formátem *DWG.* . Ale náš CAD program EMCOdraft s verzí 7.32 přijímá pouze formát *DXF.* , takže bylo nutné součást z výrobního výkresu vyjmout a následně převést do formátu *DXF.* .

Při spuštění programu EMCOdraft je proveden poslední převod vloženého souboru na formát *SD.* , se kterým program pracuje. Dále se pak v grafickém editoru označí křivky, tvořící obrys součásti pouze v horní polovině, které se překopírují do jiné hladiny. Po přepnutí obrazovky do této hladiny je už vidět pouze překopírovaný obrys, a ten můžeme ještě poopravit, např. dokreslit a ořezat čáry atd. .

K této kontuře součásti dokreslíme tvar polotovaru ( obr. 15 ). Pro přehlednost lze využít i barev.



obr. 15

### 9.2. Teoretický popis tvorby CNC programu

- 1) Nastavení počátečních parametrů
  - roztočení vřetene
  - stanovení rychlosti posuvu
  - stanovení otáček
  - výběr prvního použitého nástroje
  - zapnutí chlazení
  - atd.

- 2) Stanovení referenčního bodu obrobku
- 3) Obrábění součásti
  - pohyby nástrojů budou prováděny nastavením kurzoru tam, kam se má nástroj posunout a z tohoto se určí způsob posuvu (pracovní posuv nebo rychloposuv) a obrobí se celá součást.
  - pro složitější tvary existují funkce, které umožňují přesné kopírování tvaru součásti.
- 4) Ukončení obrábění
  - zastavení vřetene
  - vypnutí chlazení
  - atd.

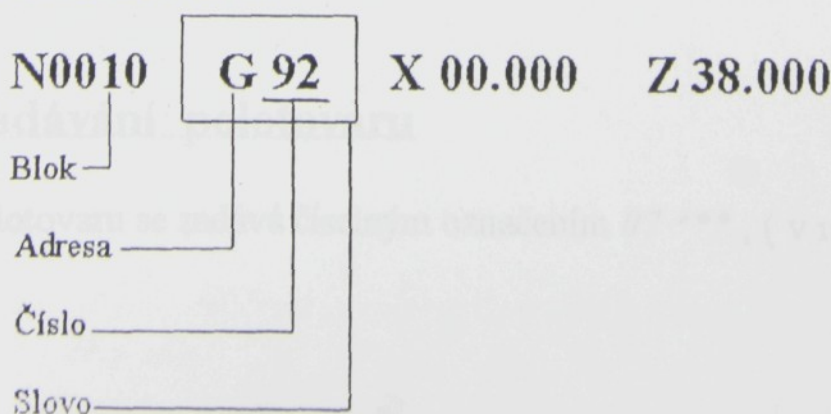
### 9.3. Složení CNC programu

CNC program je složen z těchto částí :

- 1) číselného označení programu - písmeno *O* + numerický údaj
- 2) přípravné části - zde se stanoví posun nulového bodu, roztočení vřetene, atd.
- 3) obsahové části - zde se stanoví údaje potřebné pro samotné zhotovení součásti
- 4) závěrečné části - zrušení posunu nulového bodu, zastavení vřetene, atd.

Celý CNC program musí obsahovat podrobný soubor všech geometrických, technologických a pomocných informací. Tyto informace vytvářejí řídicí program, jenž je složen z jednotlivých bloků.

#### Struktura CNC programu



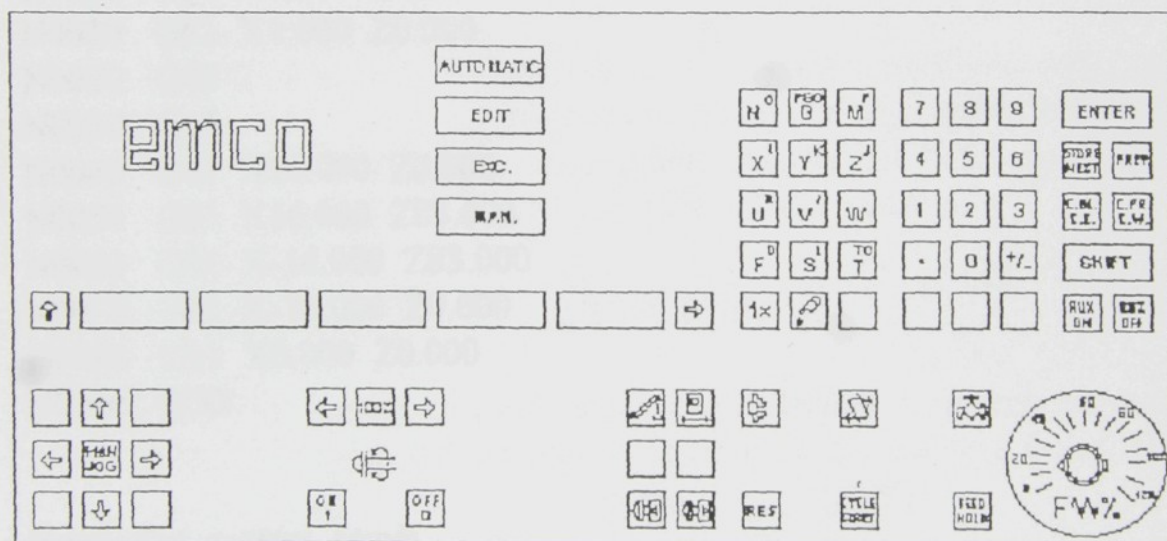


## 9.4. Tvorba CNC programu

Zadáání, postup a tvorba CNC programu v simulačním programu *EMCOTRONIC TM 02* je obdobná jako při zadávání CNC programu přímo do CNC stroje.

Zadáání je prováděno pomocí ovládacího panelu, ten je téměř stejný jako ovládací panel na CNC stroji ( obr. 16 ).

Jsou zde pouze dvě odlišnosti, ty se však samotného programu netýkají. Tou první je uspořádání nástrojů v revolverové nástrojové hlavě. K tomuto slouží program *TOOLS*, jež umožňuje tvorbu nástrojů a jejich libovolné uspořádání v nástrojové hlavě. Tvorbou nástrojů je myšleno pojmenování nástrojů, zadání základních parametrů nástrojů, a korekcí a tvorbou grafického znázornění. Takto vytvořené nástroje jsou uloženy v databázi, ze které jsou vybírány do nástrojové hlavy. V této nástrojové hlavě jsou nástroje zakódovány pod určitým číslem. Toto číslo je pak použito v CNC programu.



obr. 16

Druhá odlišnost spočívá v zadávání polotovaru, to při tvorbě skutečného programu na CNC stroji není nutné, protože na CNC stroji je polotovar skutečný.

## 9.5. Zadávání polotovaru

Tvar polotovaru se zadává číselným označením *07 \*\*\**, ( v mém případě *07008* ).

### Funkce použité v programu :

**G 64** - posunutí nulového bodu na monitoru ( nemá žádný vliv na tvar součásti )

**G 62** - položení pera

**G 68** - vykreslení nulového bodu

**G 65** - mezi těmito funkcemi se polotovary vybarví

**G 66**

**G 01** - kreslení

**M 30** - konec programu

### 9.5.1. Program pro vytvoření polotovaru

N0000 G64 X0.000 Z40.000

N0010 G62 X0.000 Z0.000

N0020 G68

N0030 G65

N0040 G01 X16.000 Z0.000

N0050 G01 X16.000 Z83.000

N0060 G01 X-16.000 Z83.000

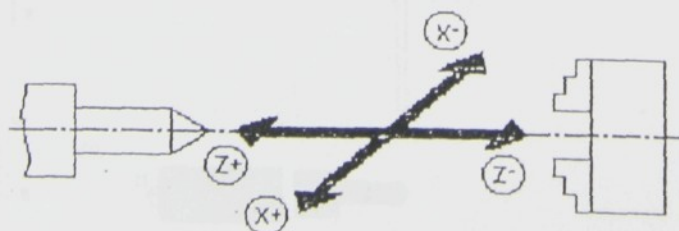
N0070 G01 X-16.000 Z0.000

N0080 G01 X0.000 Z0.000

N0090 M30

### Souřadný systém stroje

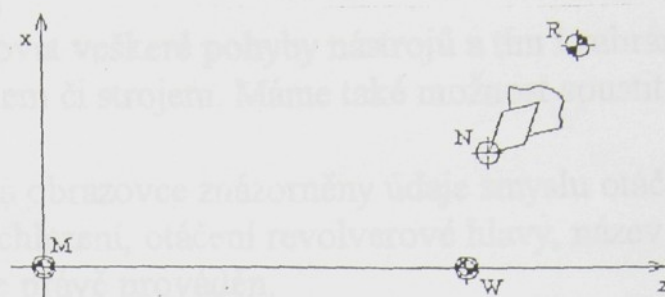
Souřadný systém, se kterým náš stroj pracuje, je znázorněn na obrázku.



V tomto souřadném systému jsou umístěny vztažné body. K těmto bodům je pak celé programování vztaženo.



## Rozmístění vztažných bodů



**Nulový bod stroje** - je počátkem souřadného systému. Leží v ose rotace na čelní straně příruby vřetene. Lze jej posunovat do námi zvolené polohy. Tento bod je pevně dán od výrobce.

**Nulový bod obrobku** - určuje a programuje ho sám programátor

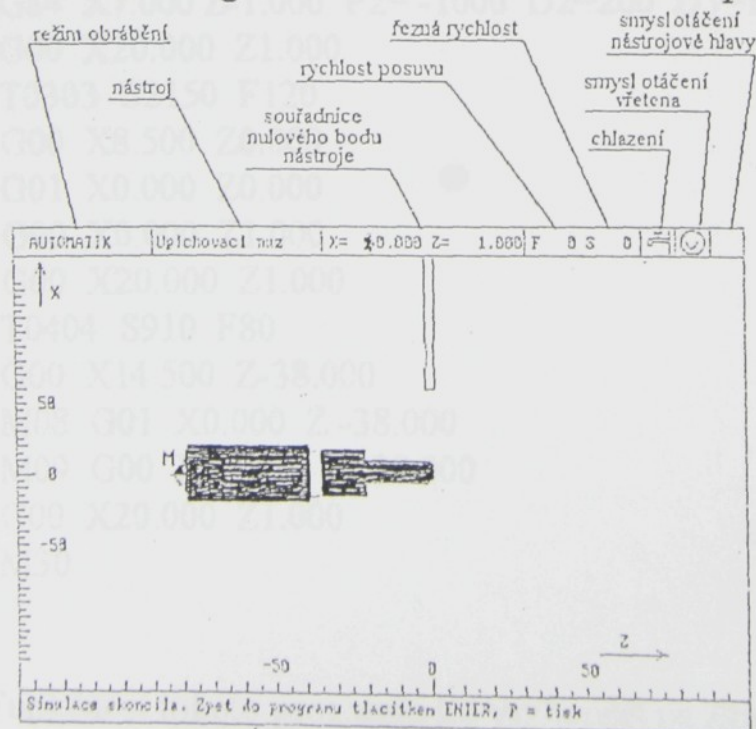
**Nulový bod nástroje**

- leží na čelní straně revolverové hlavy v ose otvoru pro upínání nástrojů, které jsou určeny k vnitřnímu soustružení
- určuje počátek ostří nástrojů

**Referenční bod** - je určen k synchronizaci měřicího systému. Při spuštění stroje musíme nejprve najet na tento bod, protože pouze po jeho nastavení je řídicí systém CNC stroje schopen určit polohu nástroje.

## 9.6. Ověření funkčnosti programu

Kontrolu CNC programu si ověříme spuštěním celého programu, na monitoru nám je umožněno sledovat celé grafické znázornění obráběcího procesu ( obr. 17 ).



obr. 17

Při simulaci máme možnost sledovat veškeré pohyby nástrojů a tím i zabránit možným kolizím nástroje s obrobkem či strojem. Máme také možnost spustit program s tvarem polotovaru.

Během simulace obrábění jsou na obrazovce znázorněny údaje smyslu otáčení vřetene, rychlosti otáček, posuvu, chlazení, otáčení revolverové hlavy, název užívaného nástroje a bloku programu, který je právě prováděn.

## 9.7. CNC program

```
N0000 G54 M04 S895 T0202 F350
N0010 G92 X0.000 Z38.000
N0020 G59
N0030 G00 X20.000 Z1.000
N0040 X16.000 Z3.000
N0050 X14.000 Z-38.000 D0=200 D2=200 D3=500
N0060 G00 X20.000 Z1.000
N0070 S2150 F220
N0080 G00 X14.000 Z1.000
N0090 G84 X8.023 Z-23.000 D0= 200 D2=200 D3=500
N0100 G00 X20.000 Z1.000
N0110 M51 T0101 S1600 F125
N0120 G00 X8.500 Z-23.000
N0130 M06 G86 X7.700 Z-23.000 D3=100 D4=5 D5=2000
N0140 G00 X20.000 Z1.000
N0150 T0202 S895 F350
N0160 G00 X8.500 Z1.000
N0170 G84 X7.000 Z-1.000 P2= -1000 D2=200 D3=1000
N0180 G00 X20.000 Z1.000
N0190 T0303 S2150 F120
N0200 G00 X8.500 Z0.000
N0210 G01 X0.000 Z0.000
N0220 G00 X0.000 Z1.000
N0230 G00 X20.000 Z1.000
N0240 T0404 S910 F80
N0250 G00 X14.500 Z-38.000
N0260 M08 G01 X0.000 Z -38.000
N0270 M09 G00 X15.000 Z -38.000
N0280 G00 X20.000 Z1.000
N0290 M30
```

Pozn. Funkčnost tohoto programu lze vyzkoušet na zkušebním stroji.



## 10. ZÁVĚR

Na závěr lze říci, že po pevnostní a funkční stránce navržený odpojitelný uzel křidélek vyhovuje všem požadavkům.

Také technologický postup pro zhotovení středového čepu včetně CNC programu je ve shodě se všemi platnými ustanoveními.

Na konci bych chtěla poděkovat především ing. Miroslavu Hájkovi za poskytnutí  
pomoci při vypracovávání tohoto projektu.

## Poděkování

Na konci bych chtěla poděkovat především ing. Miroslavu Hájkovi za laskavou pomoc při vypracovávání tohoto projektu.