

Vysoká škola: Univerzita textilní Fakultu: Textilní

Katedra: optická kontrola Školní rok: 1982/83

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Paola J. L. L. L.
obor 13 - 07 - 01 - optická kontrola

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Pol optická kontrola obrázků pomocí počítačové
kontroly dle normy ČSN 13000-01

Zásady pro vypracování:

1. Princip počítačové optické kontroly
2. Návrh algoritmu počítačové kontroly
3. Seznam použité literatury
4. Grafické programy

VYSOKÁ ŠKOLA TEXTILNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC

Autorské právo se řídí podmínkami
MŠV pro státní záv. zkoušky č. j. 31
727/1982 ze dne 6. července
1982 Věstník MŠV č. 115/58 Sb.
dne 31.8.1982 č. j. 115/58 Sb.

strojn $\acute{\text{a}}$ a textiln $\acute{\text{ı}}$
Vysok $\acute{\text{a}}$ škola: v Liberci Fakulta: strojn $\acute{\text{ı}}$
Katedra: obr $\acute{\text{a}}$ b $\acute{\text{e}}$ n $\acute{\text{ı}}$ a mont $\acute{\text{a}}$ že Školn $\acute{\text{ı}}$ rok: 1981/82

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Petra J $\acute{\text{a}}$ l $\acute{\text{a}}$ k $\acute{\text{a}}$
obor 23 - 07 - 8 stroj $\acute{\text{ı}}$ rensk $\acute{\text{a}}$ technologie

Vedoucí katedry V $\acute{\text{a}}$ m ve smyslu nař $\acute{\text{ı}}$ zen $\acute{\text{ı}}$ vl $\acute{\text{a}}$ dy ČSSR č. 90/1980 Sb., o st $\acute{\text{a}}$ tn $\acute{\text{ı}}$ ch z $\acute{\text{a}}$ v $\acute{\text{e}}$ re $\acute{\text{c}}$ n $\acute{\text{y}}$ ch zkoušk $\acute{\text{a}}$ ch a st $\acute{\text{a}}$ tn $\acute{\text{ı}}$ ch rigorozn $\acute{\text{ı}}$ ch zkoušk $\acute{\text{a}}$ ch, ur $\acute{\text{c}}$ uje tuto diplomovou pr $\acute{\text{a}}$ ci:

N $\acute{\text{a}}$ zev t $\acute{\text{e}}$ matu: Polyoptimalizace obr $\acute{\text{a}}$ b $\acute{\text{e}}$ c $\acute{\text{ı}}$ ch proces $\acute{\text{u}}$ s konstatn $\acute{\text{ı}}$ m sou $\acute{\text{c}}$ tem $\acute{\text{c}}$ as $\acute{\text{u}}$ pomoc $\acute{\text{ı}}$ $\acute{\text{c}}$ islicov $\acute{\text{e}}$ ho po $\acute{\text{c}}$ ít $\acute{\text{a}}$ če

Z $\acute{\text{a}}$ sady pro vypracov $\acute{\text{a}}$ n $\acute{\text{ı}}$:

1. Princip polyoptimalizace pracovn $\acute{\text{ı}}$ ch proces $\acute{\text{u}}$
2. N $\acute{\text{a}}$ vrh algoritmu polyoptimalizace
3. Sestaven $\acute{\text{ı}}$ programu pro BC 1033
4. Odlad $\acute{\text{e}}$ n $\acute{\text{ı}}$ programu

VYSOK $\acute{\text{A}}$ ŠKOLA STROJN $\acute{\text{A}}$ A TEXTILN $\acute{\text{A}}$
Ústředn $\acute{\text{ı}}$ knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSK $\acute{\text{A}}$ 6
702 03, 17

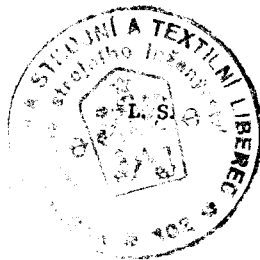
Autorsk $\acute{\text{e}}$ pr $\acute{\text{a}}$ vo se ř $\acute{\text{ı}}$ d $\acute{\text{ı}}$ sm $\acute{\text{e}}$ rn $\acute{\text{ı}}$ c $\acute{\text{ı}}$ mi
M $\acute{\text{E}}$ K pro st $\acute{\text{a}}$ tn $\acute{\text{ı}}$ z $\acute{\text{a}}$ v. zkoušk $\acute{\text{y}}$ č. j. 31
727/62-III/2 ze dne 18. $\acute{\text{c}}$ er $\acute{\text{v}}$ ence
1962-V $\acute{\text{e}}$ stn $\acute{\text{ı}}$ k M $\acute{\text{E}}$ K XVIII, seš $\acute{\text{ı}}$ t 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah průvodní zprávy: oca 40 stran
Seznam odborné literatury: Informationen der TU Dresden
OS/EC. FOWTRAN II. Příručka programátora

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Vladimír Váchet, CSc

Datum zadání diplomové práce: 15.9.1981 - konečné zadání

Termín odevzdání diplomové práce: 4.5.1982



Jaromír Gazda
Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc

.....
Vedoucí katedry

Bohuslav Stráž
Doc. RNDr. Bohuslav Stráž, CSc

.....
Děkan

v Liberci dne 15.9. 81
..... 10

MÍSTOPÍSEBNÉ PROHLÁŠENÍ :

„ Místopísebně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne 4. 6. 1982

cuor

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nesitelka Řádu práce

fakulta strojní

obor : 23 - 07 - 08

strojírenská technologie

zaměření :

obrábění a montáže

katedra : OBRAŠŤENÍ A MONTÁŽE

Název diplomové práce : POLYOPTIMALIZACE OBRAŠŤEČNÍCH PROCESŮ
S KONSTANTNÍM SOUČTEM ČASŮ PONDĚÍ ČÍSLICOVÉHO POČÍTAČE

Petr GULEK

KOM - OM - 005

Vedoucí diplomové práce : Doc. Ing. Vladimír Věchet, CSc

Počet stran : 55

Počet příloh a tabulek : 6

Počet obrázků : 17

Počet výkresů : 0

Počet příloh : 2

OBSAH	str.
Seznam použitých zkratk a symbolů	4
Hospodářský a politický význam zedění	6
8. Optimalizační metody	7
1. 1. Všeobecný postup optimalizace	8
1. 2. Modely pro optimalizaci parametrů obrábění	8
1. 2. 1. Vymezení oblasti přípustných řešení	8
1. 2. 1. 1. Přípustné posuvy	8
1. 2. 1. 2. Přípustné rychlosti	10
1. 2. 2. Cílové funkce	10
1. 3. Metody řešení optimalizačních modelů	14
1. 3. 1. Analytické metody	14
1. 3. 1. 1. Absolutní extrém funkce ve stanoveném intervalu	14
1. 3. 1. 2. Lagrangeova metoda vázaných extrémů	15
1. 3. 2. Numerické metody	15
1. 3. 2. 1. Výběr ze všech variant daných kartézským součinem množin optimalizovaných parametrů	15
1. 3. 2. 2. Výběr z omezeného počtu variant	15
1. 3. 3. Kombinované metody	17
2. Princip polyoptimalizace	17
2. 1. Sestavení cílové funkce	18
2. 2. Aplikace Lagrangeovy metody neurčitých multiplikátorů	22
3. Návrh algoritmu	27
3. 1. Závislost $M(t)$	28
3. 1. 1. Řídící veličina otáčky	28
3. 1. 2. Řídící veličina posuv	30
3. 2. Matematické vztahy pro různé druhy obrábění	33
3. 3. Hrubý vývojový diagram (příloha I)	55
4. Popis programu	34
4. 1. Kontrolní výpočet	39
5. Příklady (2 soustružení, frézování + vrtání)	43
6. Závěr	52
7. Seznam použité literatury	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$	- konstanty trvanlivostní funkce	
B	- šířka obrobku	/ mm /
C_B	- redukovaná konstanta pro výpočet momentu	
C_0	- cena 1 min. práce dělníka a stroje	/ Kčs /
C_P	- cena 1 min. práce dělníka a stroje při přeostřování nástroje	/ Kčs /
C_{MN}	- cena nástroje	/ Kčs /
C_{MP}	- náklady na přeostření	/ Kčs /
C_{MS}	- spotřeba nástrojů	/ Kčs /
C_{MV}	- náklady na výměnu nástroje	/ Kčs /
D	- průměr nástroje, obrobku	/ m /
E	- šířka záběru nástroje	/ mm /
F	- řezná síla	/ N /
F_x, F_y, F_z	- složky řezné síly ve směrech jednotlivých souřadných os	/ N /
H	- hloubka řezu	/ mm /
L	- délka obráběné plochy	/ mm /
n	- otáčky nástroje, obrobku	/ min ⁻¹ /
N	- nákladovostní funkce	
P	- výkon stroje	/ kW /
s	- posuv	/ mm /
s_z	p posuv na zub	/ mm /
SPID	- soustava stroj-přípravek-nástroj-obrobek	
t	- obecně čas	/ min /
t_D	- celkový čas obrábění obrobku	/ min /
t_K	- kusový čas	/ min /
t_P	- čas potřebný na přeostření nástroje	/ min /

t_s	- strojní čas	/ min /
t_w	- čas nutný na výměnu nástroje	/ min /
t_v	- vedlejší čas	/ min /
T	- trvanlivost řezného nástroje	/ min /
T_k	- trvanlivost v inflexním bodě křivky závislosti $M-t$	/ min /
T_m	- trvanlivost v minimu křivky závislosti $M-t$	/ min /
v	- řezná rychlost	/ m min ⁻¹ /
x_{pz}	- exponent posuvu v rovnici pro výpočet momentu	
y_{pz}	- exponent hloubky řezu v rovnici pro výpočet momentu	
z	- počet zubů nástroje	
z_s	- množina přípustných posuvů	
λ	- Lagrangeova funkce	
π	- Ludolfovo číslo	
ε	- vyosení nástroje	/ mm /
η	- účinnost převodových mechanismů stroje	
ψ	- časový součinitel obrábění	

Pro výstavbu rozvinuté socialistické společnosti, pro růst její ekonomické základny a životní úroveň lidí, má rozhodující význam hospodářská politika státu. XVI. sjezd KSČ orientoval pozornost celé společnosti na rozvoj a využívání vědeckotechnického pokroku v zájmu zvyšování efektivnosti celé naší ekonomiky.

V současné době jsme vstoupili do etapy, kdy se naše ekonomika musí rozvíjet za náročných vnitřních a vnějších hospodářských podmínek. Extenzivní zdroje růstu jsou prakticky vyčerpány, a protože XVI. sjezd KSČ uložil zvýšit výrobu ve strojírenství a elektrotechnice o 33-35 % při růstu produktivity práce o 30-32 %, je nutné se ve výrobě zaměřit na intenzivní zdroje růstu. Nesmíme též zapomínat na růst světových cen surovin, paliv a energie, na rostoucí požadavky na kvalitu a technickou úroveň výrobků.

Strojírenství má v našem průmyslu klíčové postavení, a proto je jeho povinností na kvalitativně vyšší úrovni zabezpečovat výstavbu, obnovu a modernizaci výroby - technické základny našeho průmyslu, a tím výrazně přispět k rychlému růstu produktivity práce. Proto musí strojírenství přizpůsobit strukturu a proporce výroby novým požadavkům. Nutnou podmínkou je modernizace stávajícího fondu strojů a dokonalé využívání stávajícího výrobního zařízení.

V dnešní době, kdy se do popředí dostává využívání moderní výpočetní techniky a vytváření automatizovaných systémů řízení na všech úrovních národního hospodářství, je kladen požadavek na zavádění výpočetní techniky i do strojírenství. Výpočetní technika při správném zapojení do výrobního procesu umožňuje zajistit nejen optimální využití zdrojů a surovin, a konkrétně v případě obrábění zajistit optimální stanovení řezných podmínek a materiálů, ale navrhuje i jejich zdlouhavé vyhledávání z normativů a tabulek nebo diagramů, jak tomu bylo dosud. Tyto údaje jsou potom uloženy v počítači způsobem databanky.

Tato práce řeší problém stanovení optimálních řezných podmínek z nákladovostní funkce. V důsledku rozvoje výpočetní techniky lze optimalizovat technologické procesy jako celky, vázané vzájemně vedlejšími podmínkami, což dříve nebylo možné z důvodu přílišného rozsahu matematických úkonů a z toho vyplývající časové náročnosti a nepřesnosti.

1. OPTIMALIZAČNÍ METODY

Při optimalizaci parametrů obrábění využíváme poznatky, které jsme získali analyzováním obráběcího procesu. Výhodiskem optimalizace jsou statistické modely (empirické rovnice) charakteristik procesu obrábění, a proto je nutné mít k dispozici prostředky pro kvantitativní porovnávání různých postupů. Ukázalo se, že k tomu je nejvýhodnější použít matematicky formulované kritérium, a potom optimum daného jevu je dáno hodnotou jeho extrému. Kritérium se formuluje většinou ve tvaru účelové funkce nebo ve tvaru funkcionálu, které pro obrábění jsou totéž se stanovenou cílovou funkcí. U účelové funkce je hodnota kritéria závislá na parametrech, které představují body v daném prostoru. Hodnota kritéria u funkcionálu závisí na průběhu veličin, které se dají zobrazit jako čáry či plochy prostoru.

V obou případech nám kritériální hodnota stanovuje míru využití nákladů všeho druhu (materiálových, energetických, mzdových atd.), vzhledem k dosažení jakostního výrobku nebo procesu. To znamená, že úkolem optimalizace je určit hodnoty jednotlivých parametrů obrábění na daném výrobním zařízení tak, aby vyráběné plochy měly předepsanou jakost a kvalitu a současně byly v maximální míře splněny globální cíle výroby (na př. minimální náklady na nástroje, minimální náklady na výrobu, maximální zisk) .

Pod pojmem parametry obrábění rozumíme :

- 1) prvky systému obrábění SPID (stroje, přípravy, nástroje, obrobky)
- 2) parametry těchto prvků (výkon, rozměry, stupeň, mechanizace a automatizace, geometrii a rozměry nástrojů, druh obráběného materiálu, druh pracovního prostředí)
- 3) parametry vlastního procesu obrábění (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu) .

1. 1. Všeobecný postup optimalizace

- 1/ Definice základní množiny optimalizovaných parametrů
- 2/ Definice množiny dostupných kombinací hledaných parametrů (X)
- 3/ Definice vyhovujících kombinací hledaných parametrů (Y)
- 4/ Nalazení množiny přípustných řešení úlohy jako průniku množin X, Y
- 5/ Stanovení počtu prvků množiny přípustných řešení (Z)
- 6/ Rozhodnutí o dalším postupu řešení
 - a) když počet prvků množiny Z je $n(Z) \leq 1$, úloha nemá řešení nebo má řešení právě jedno. Výpočet ukončíme.
 - b) je-li počet prvků množiny Z, $n(Z) > 1$, potom máme alespoň dvě přípustná řešení a pokračujeme ve výpočtu
- 7/ Váha cílové funkce a stanovení jejího požadovaného extrému. Máme - li více cílových funkcí, je třeba stanovit i jejich váhu nebo prioritu
- 8/ Určení optimálního řešení , tj. takové kombinace přípustných parametrů, která zabezpečí požadovaný extrém cílové funkce

1. 2. Modely pro optimalizaci parametrů obrábění

Modely pro optimalizaci parametrů obrábění se skládají z oblasti přípustných řešení, cílové funkce a označení jejího požadovaného extrému.

1. 2. 1. Vymezení oblasti přípustných řešení

1. 2. 1. 1. Přípustné posuvy

Optimalizovaným parametrem je posuv (s). Ostatní parametry považujeme za konstantní. Základní množina optimalizovaného parametru je dána posuvy většími než 0 .

Posuvy jež máme k dispozici jsou omezeny následujícími hledisky :

- 1/ posuvy nastavitelné na daném stroji jsou dány relací

$$s_{min} \leq s \leq s_{max}$$

kde s_{min} , s_{max} jsou minimální a maximální posuvy daného stroje.

- 2/ maximální složka řezné síly F_x , F_y , F_z z hlediska konstrukce

stroje. Protože obráběcí stroje jsou konstruovány většinou pro poměr těchto složek $1 : 0,4 : 0,2$, můžeme složky F_x , F_y zanedbat a stanovit pouze přípustný posuv z hlediska hlavní složky řezné síly F_z . Pro konkrétní podmínky dané hodnotou $F_{z,dev}$, hloubkou řezu H a konstanty empirické rovnice řezné síly C_R , x_{pz} , y_{pz} dostaneme vztah

$$s \leq \left(\frac{F_{z,dev}}{C_R \cdot H^x} \right)^{1/y_{pz}} \quad \dots(3.2.)$$

3/ výkon elektromotoru stroje při ostatních konstantních podmínkách, včetně řezné rychlosti, též omezuje složku řezné síly F_z . Protože $P = F_z \cdot v$, dovolená složka hlavní řezné síly z hlediska výkonu stroje bude

$$F_{z,dev} = \frac{P \cdot \eta}{v} \quad \dots(3.3.)$$

4/ trvanlivost řezné hrany nástroje při konstantní řezné rychlosti též omezuje použitelnou hodnotu posuvu, kdy pro konkrétní podmínky a trvanlivost T dostaneme

$$s \leq \left(\frac{T}{A_1 \cdot v^{A_2} \cdot H^{A_3}} \right)^{1/A_4} \quad \dots(3.4.)$$

Podmínkami jedna až čtyři jsme definovali množinu posuvů, které jsou k dispozici, to znamená množinu X . Měli bychom najít ještě další omezující podmínky, např. z hlediska tvarování třísky, vzniku chvění atd. Počet omezujících podmínek ale není účelné příliš rozšiřovat, neboť tím roste složitost matematického modelu a z toho vyplývající náročnost a čas na jeho řešení.

Množina vyhovujících posuvů Y je vymezena posuvy, při nichž dosahujeme žádanou jakost obráběné plochy.

Tyto posuvy jsou omezeny :

5/ předepsanou dráhou povrchu

6/ tvarevou nepřesností plechy

7/ nepřesností rozměrů obráběné plechy

Podmínky 6 až 7 nám vymezily množinu vyhovujících posuvů. Všechny podmínky 1 - 7 vymezují množinu přípustných posuvů Z_s , která je definovaná

$$Z_s = \{ s \in E : s \leq s_{\max} \wedge s \geq s_{\min} \} \quad \dots(3.5.)$$

kde s_{\max} je horní hranice a s_{\min} je dolní hranice. Tato množina může být prázdná, když $s_{\max} = s_{\min}$. Na stroji s posuvovými stupni je tato množina konečná, na stroji s plynulou změnou otáček je nekonečná. Jestliže množina Z_s není prázdná, nazýváme největší vhodný posuv technologicky dovoleným (optimálním) posuvem.

1. 2. 1. 2. Přípustné řezné rychlosti

Oblast přípustných řezných rychlostí vymezíme analogicky jako oblast přípustných posuvů. Z hlediska vlastností prvků systému SPID můžeme najít hraniční hodnoty řezných rychlostí (nebo otáček včetně), které je možné v konkrétních podmínkách použít. Oblast vyhovujících řezných rychlostí najdeme opět z hlediska jakosti obráběných ploch. V dalším postupu předpokládáme, že optimalizujeme nejenom řeznou rychlost, ale i posuv.

1. 2. 2. Cílové funkce

Nejčastěji používanými cílovými funkcemi při optimalizaci řezných podmínek jsou náklady na nástroje, náklady na proces obrábění a produktivita obrábění.

Složkami všech těchto cílových funkcí jsou jednodušší ukazatele, jako např. strojní čas, náklady na minutu práce dělníka a stroje, čas výměny nástrojů a vedlejší časy, které zahrnují čas výměny obrobku, časy na nastavení nástroje na požadovaný rozměr, podíl času přípravy a zakončení na dávce.

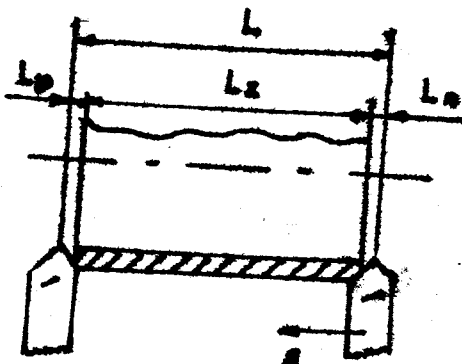
Strojní čas vypočteme jako podíl dráhy a rychlosti posuvu

$$t_s = \frac{L}{n \cdot s} \quad \dots(3.6.)$$

Čas obrábění (nástroje v záběru) vypočteme analogicky, pouze místo dráhy strojního posuvu L použijeme pouze její část, kdy je nástroj v řezu.

Mezi dráhou strojního posuvu L , dráhou záběru nástroje L_z a dráhou náběhu nástroje L_n a dráhou přeběhu L_p platí vztah

$$L = L_z + L_n + L_p \quad \dots(3.7.)$$



Obr. 1

Náklady na jedno použití nástroje (na jednu trvanlivost řezné hrany) C_W jsou součtem tří složek

$$C_W = C_{WS} + C_{WP} + C_{WV} \quad \dots(3.8.)$$

kde C_{WS} je podíl ceny nástroje C_{MN} , počtu přestřehů n_p

$$C_{WS} = \frac{C_{MN}}{n_p} \quad \dots(3.9.)$$

C_{pp} jsou náklady na jedno přestřžení nástroje, jsou součinem času ostření t_p a mzdy ostřiče s režii ostřírny (cena jedné minuty práce dělníka a stroje při přestřžení) c_p ,

C_{vy} jsou náklady na výměnu nástroje, které jsou dány součinem nákladů na jednu minutu práce dělníka a stroje c_s a času výměny nástroje t_v .
Pomocí odvozených vztahů můžeme snadno sestavit cílové funkce.

Náklady na nástroj při obrábění jednoho obrobku vztahované na trvanlivost jsou

$$N_n = t \cdot \frac{C_p}{T} \quad \dots (3.10.)$$

Náklady vázané na strojní čas

$$N_s = t_s \cdot C_s \quad \dots (3.11.)$$

náklady vázané na vedlejší časy

$$N_v = t_v \cdot C_s \quad \dots (3.12.)$$

kde t_v je vedlejší čas, který dostaneme když z kusového času t_k odečteme čas strojní t_s a podíl času na výměnu nástroje t_p

$$t_v = t_k - (t_s + t_p) \quad \dots (3.13.)$$

Náklady na obrábění jednoho kusu jsou dány součtem nákladů na strojní čas, nákladů na nástroje a nákladů vázaných na vedlejší časy.

Po dosazení do vztahu pro jeden nástrojové obrábění dostaneme rovnici

$$N = C_s \cdot t_s + t \cdot \frac{C_p}{T} + C_s \cdot t_v \quad \dots (3.14.)$$

Analogicky lze i kusový čas psát jako součet časů

$$t_k = t_s + \frac{t_p}{T} + t_v \quad \dots (3.15.)$$

Převrácená hodnota kusového času je ukazatel produktivity práce stroje. Pro maximální produktivitu práce má být kusový čas minimální.

Pro více nástrojové obrábění do předchozích rovnic dosazujeme místo času strojního času cyklu t_c a součet nákladů na jednotlivé nástroje bude

$$N_n = \sum_{i=1}^n \left(t_{n,i} \frac{C_{W,i}}{T_i} \right) \quad \dots(3.16.)$$

respektive součet časů na výměnu nástroje

$$t_W = \sum_{i=1}^n t_{n,i} \frac{t_{W,i}}{T_i} \quad \dots(3.17.)$$

Přijetou cílovou funkcí vyjádříme optimalizovanými parametry, např. posuvem s a řeznou rychlostí v . Protože mezi otáčkami včetně n , obráběným průměrem D a řeznou rychlostí v platí vztah

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad \dots(3.18.)$$

můžeme cílovou funkci, při zanedbání nákladů na vedlejší časy a při uvažování konstantní hodnoty výrazu $0,001 \text{ LD}$, zjednodušit na tvar

$$N = \frac{k}{v \cdot s} \left(C_0 + \frac{C_W}{A_1 \cdot \sqrt{A_2 \cdot s \cdot A_3}} \right) \quad \dots(3.19.)$$

kde je časový součinitel obrábění, který je roven podílu L/L_z ,
 k je konstanta rovné součinu $0,001 \text{ LD}$.

Tuto cílovou funkci můžeme dále zjednodušit, předpokládáme-li, že budeme pracovat s konstantní trvanlivostí řezné hrany. Podm výraz uvedený ve vztahu (3.19.) v závorce bude konstantní a hledaného extrému dosáhneme v tom případě, že součin $v \cdot s \rightarrow \max$. Nákladevostní funkce (cílová funkce) bude mít potom tvar

$$N = v \cdot s(\max), \text{ při } T = \text{konst.} \quad \dots(3.20.)$$

Toto je nejjednodušší tvar cílové funkce z hlediska nákladů na obrábění.

Analogicky bychom mohli také zjednodušit rovnici (3.15.) pro kusevý čas a dospěli bychom ke stejnému výsledku.

Náklady na obrábění i produktivita práce závisí na volené hodnotě trvanlivosti řezné hrany. Pro dosažení minima nákladů má být trvanlivost rovna nebo větší než je trvanlivost hospodářná T_h , pro maximální produktivitu stroje má být rovna nebo větší než trvanlivost produktivní T_p .

1. 3. Metody řešení optimalizačních modelů

Je nutno si uvědomit, že matematické řešení dává optimum pro situaci, kterou vyjadřuje model, to znamená pro stanovený tvar a hranice empirických rovnic, pro stanovené vymezené oblasti přípustných řešení a pro zvolenou cílovou funkci. Proto když v důsledku řešitelnosti modelu nebo zkrácení času řešení model zjednodušíme, vypočtený výsledek (matematické optimum) nemusí odpovídat optimu skutečnému.

Metoda řešení závisí na formálních vlastnostech modelu (na počtu optimalizovaných parametrů, jejich spojitosti či nespojitosti), na tvaru omezujících podmínek a cílové funkce (lineárnosti, derivovatelnosti, možnosti explicitního vyjádření optimalizovaných proměnných atd.).

1. 3. 1. Analytické metody

1. 3. 1. 1. Absolutní extrém funkce ve stanoveném intervalu

Nezávisle proměnné cílové funkce vyjádříme pomocí optimalizovaných parametrů a hledáme extrém této funkce v pevně zvoleném intervalu. Nejprve najdeme lokální extrém v daném intervalu. Hodnotu cílové funkce v lokálním extrému porovnáme s jejími hodnotami na hranicích intervalů, v bodech nespojitosti a v bodech nespojitosti derivace.

Metodu obvykle používáme, máme-li jeden optimalizovaný parametr, cílové funkce je derivovatelná a z omezujících podmínek můžeme explicitně vyjádřit velikost stanoveného intervalu.

1. 3. 1. 2. Lagrangeova metoda vázaných extrémů (neurčitých multiplikátorů)

Postup řešení spočívá v rozšíření přijaté cílové funkce Lagrangeovými koeficienty a řešení soustavy rovnic, kterou získáme parciální derivacemi rozšířené cílové funkce.

Metodu používáme, když omezující podmínky z hlediska řezných sil, výkonu obrábění, drsnosti povrchu atd. nejsou dány relacemi, ale rovnicemi, t.j. při optimálním řešení řezné síly, výkonu, drsnosti plech, to znamená, že se omezující podmínky rovnají právě jejich dovoleným hodnotám. Rozšířená cílová funkce musí být derivovatelná a soustava vzniklá parciálními derivacemi cílové funkce podle jednotlivých proměnných musí být řešitelná.

1. 3. 2. Numerické metody

1. 3. 2. 1. Výběr ze všech variant daných kartézským součinem množin optimalizovaných parametrů

Postup řešení spočívá ve vytvoření všech variant (kombinací) optimalizovaných parametrů. Jsou-li parametry spojité, volíme určité diskrétní hodnoty z intervalu jejich přípustné změny. Pro jednotlivé kombinace parametrů, které jsou prvky přípustné množiny řešení, stanovíme hodnotu cílové funkce. Za optimální považujeme kombinaci, při níž cílová funkce dosahuje požadovaného extrému.

Metoda má všeobecné použití, neklade žádné požadavky na tvar omezujících podmínek a cílové funkce. Počet variant (kombinací) parametrů však nemá být příliš velký.

1. 3. 2. 2. Výběr z omezeného počtu variant

Do této skupiny patří většina metod matematického programování. Jsou to např.:

- lineární programování. Cílová funkce je omezena svou linearitou nebo linearizovatelností. Totéž platí i o omezujících podmínkách.

- nelineární programování (konvexní a kvadratické programování) .
Cílová funkce a omezující podmínky nemusí být lineární, ale klademe na ně určité speciální požadavky, např. musí mít tvar kvadratické funkce, musí být konvexní atd.
- gradientní metody patří k metodám nelineárního programování.
Známé jsou metody relaxece, gradientu největšího spádu atd.
Když model obsahuje také omezení, obyčejně používáme pokutové funkce. Omezení a cílové funkce mají být potom derivovatelné. Známe-li tvar hyperboly cílové funkce, omezení a relativní polohu extrému, podmínky derivovatelnosti nejsou nevyhnutelné, protože determinovaná dráha k extrému může být dopředu známá.
- metody náhodné cesty k extrému se vyznačují touto determinovaností dráhy. Ta se určuje pouze na základě hodnoty cílové funkce v daném a v novém bodě. Proto tato metoda neklade žádné požadavky na tvar cílové funkce.
- celočíselné programování používáme tehdy, když alespoň jeden z optimalizovaných parametrů může nabýt pouze celočíselné hodnoty (např. počet zábrů při dělení přídatku). Optimum v takových podmínkách nelze vždy získat pouze jednoduchým zaokrouhlováním výsledků neceločíselného programování.
- dynamické programování úlohy se vyznačuje etapovitostí úlohy nebo postupu řešení. Řešený proces má být markovský. Z oblasti optimalizace řezných podmínek je možné za takový proces považovat stanovení mozioperačního přídatku.
- heuristické metody spočívají ve využívání některého racionálního principu nebo vlastnosti modelu (tvaru hyperplechy cílové funkce, polohy extrému a omezení) při výběru variant.
- metody náhodného výběru porovnávají hodnotu cílové funkce pro různé, náhodně určené kombinace optimalizovaných parametrů. Na tvar omezení a cílové funkce neklade žádné podmínky.
- stochastické metody programování na rozdíl od všech předchozích metod berou do úvahy tu skutečnost, že každá reálná úloha se řeší v podmínkách neúplných informací, tzn. že parametry cílové funkce a ohraničení mohou být náhodnými veličinami

Základní úloha stochastického lineárního programování se kromě lineárnosti ohraničení a cílové funkce vyznačuje tím, že koeficienty omezujících podmínek nebo i cílové funkce jsou náhodné veličiny. Charakteristiky rozdělení náhodných veličin mohou být známy (případ riziku) nebo neznámy (případ neurčitosti). Případ riziku je charakteristickým pro proces velby řezných podmínek. Řezné síly, drsnost povrchu, opotřebování nástroje, trvanlivost řezné hrany atd. považujeme za náhodné veličiny.

1. 3. 3. Kombinované metody

Na řešení složitých modelů, jakými jsou např. optimalizace řezných podmínek pro vícenásobné obrábění nebo modely, které zahrnují kromě posuvu a řezné rychlosti schéma dělení příslužku, geometrii nástroje, výkon elektromotoru stroje a pod., nejčastěji používáme kombinované metody. Jejich řešení spočívá v tom, že některé části modelu řešíme analógovými, jiné numerickými metodami. Z numerických metod upřednostňujeme ty, které nekladou žádné požadavky na tvar cílových funkcí a ohraničení. Když přípustné hodnoty optimalizovaného parametru jsou prvky konečné množiny a počet jejich prvků není příliš velký, často používáme metody výběru ze všech variant. Jinak se obvykle používají heuristické metody.

Při zpracování této kapitoly bylo čerpáno především z literatury / 1/, /2/, /3/.

2. PRINCIP POLYOPTIMALIZACE

V současné době stále ještě převládá izolované hodnocení jednotlivých úseků obráběcích procesů bez ohledu na jejich vzájemné vazby. Tému také odpovídají používané metody optimalizace, kdy se např. počítají optimální řezné podmínky pro jednotlivé úseky obrábění izolovaně, nezávisle na sobě. V důsledku toho pak při hodnocení technologického procesu jako celku, který se skládá z jednotlivých operací, a ty dále z jednotlivých úseků optimalizovaných nezávisle na sobě, bývá přijaté řešení značně rozdílné od skutečně optimálního.

V důsledku toho, a také vlivem rozvoje výpočetní techniky, se začínají projevovat tendence k tzv. polyoptimalizaci technologických procesů, kdy se hledá minimum nákladovosti obráběcího procesu jako celku, vázané dále omezeními (restrikcemi) vyvolanými vzájemnými vazbami vzniklými členěním technologického procesu na operace a úseky.

2. 1. Sestavení cílové funkce

Jako cílové kritérium (cílová funkce) se volí minimum nákladovostní funkce, při čemž se uvažují pouze ty složky nákladovosti, které závisí na optimalizovaných parametrech procesu, v našem případě na řezných podmínkách. Pro i -tý dílčí proces bude odpovídající nákladovost dána vztahem (3.14.)

$$N_i = C_{o,i} \cdot t_{s,i} + C_{w,i} \frac{t_{s,i}}{T_i} \quad \dots(2.1.)$$

kde $C_{o,i}$ je cena 1 min práce dělníka a stroje / Kčs /

$t_{s,i}$ je strojní čas / min /

$C_{w,i}$ je cena nástroje (náklady) vztahená na trvanlivost / Kčs /

T_i je trvanlivost řezného nástroje / min /

Náklady na nástroj, vztahené na trvanlivost lze dále rezeptovat podle vztahů (3.8.), (3.9.).

$$C_{w,i} = C_{p,i} \cdot t_{p,i} + C_{o,i} \cdot t_{w,i} \frac{C_{w,i}}{n_{p,i}} \quad \dots(2.2.)$$

kde $C_{p,i}$ je cena 1 min práce dělníka a stroje při přeostřování nástroje / Kčs /

$t_{p,i}$ je čas potřebný na přeostření nástroje / min /

$t_{w,i}$ je čas potřebný na výměnu nástroje / min /

$C_{w,i}$ je cena nástroje / Kčs /

$n_{p,i}$ je počet přeostření

Pro řezné destičky, které se nepřestřívají, budou náklady na nástroj

$$C_{W,i} = N_{s,i} + C_{o,i} \cdot t_{W,i} + C_{b,i} \quad \dots (2.3.)$$

kde $N_{s,i}$ jsou náklady na seřízení nástroje mimo stroj / Kčs /
 $C_{b,i}$ je cena jednoho břitu řezné destičky / Kčs /

Takto vypočtené nákladovosti bude odpovídající vztah pro pracovní čas odpovídat času kusovému (viz vztah 3.15.)

$$t_i = t_{s,i} + t_{W,i} \frac{t_{s,i}}{T_i} \quad \dots (2.4.)$$

Vztahy (2.1.) a (2.4.) je parametricky dána závislost nákladovosti M_i na pracovním čase t_i .

Pro soustružení je možné strojní čas stanovit ze vztahu (3.6.)

$$t_{s,i} = \frac{L_i}{n_i \cdot s_i} \quad \dots (2.5.)$$

kde L_i je délka obráběné plochy / mm /
 n_i jsou otáčky vřetona / min⁻¹
 s_i je posuv / mm/

Pro frézování bude strojní čas analogicky

$$t_{s,i} = \frac{L_i}{n_i \cdot s_{z,i} \cdot z_i} \quad \dots (2.6.)$$

kde $s_{z,i}$ je posuv na zub

z_i je počet zubů nástroje

Pro vrtání je vztah pro strojní čas obdobný jako při soustružení (vrtání lze uvažovat jako vnitřní soustružení dvěma noži současně)
Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách lze psát ve tvaru Taylorey rovnice (platí pro jednobřité nástroj, $z = 1$)

$$T_i = A_{1,i} \cdot (\pi D_i)^{A_{2,i}} \cdot n_i^{A_{3,i}} \cdot s_i^{A_{4,i}} \cdot M_i^{A_{4,i}} \quad \dots (2.7.)$$

kde D_i je průměr obráběné plochy / mm /

N_i je hloubka řezu / mm /

$A_{1,i}, A_{2,i}, A_{3,i}, A_{4,i}$ jsou konstanty stanovené vzhledem ke zvolenému kritériu opotřebení

Pro vícebřitý nástroj ($z_i \geq 2$) platí rozšířená závislost

$$T_i = A_{1,i} \cdot (\pi D_i)^{A_{2,i}} \cdot n_i^{A_{2,i}} \cdot s_i^{A_{3,i}} \cdot H_i^{A_{4,i}} \cdot \left(\frac{E}{D}\right)^{A_{5,i}} \cdot \left(\frac{Z}{D}\right)^{A_{6,i}}$$

kde E je šířka záběru nástroje / mm /

Z je počet zubů /břitů/ nástroje

$A_{5,i}, A_{6,i}$ jsou konstanty stanovené vzhledem ke zvolenému kritériu opotřebení

Potom budou cílové kritéria

$$N_i = \frac{L_i}{n_i \cdot s_i} \left(C_{0,i} + \frac{C_{W,i}}{A_{1,i} \cdot (\pi D_i)^{A_{2,i}} \cdot n_i^{A_{2,i}} \cdot s_i^{A_{3,i}} \cdot H_i^{A_{4,i}}} \right) \quad \dots(2.8.)$$

$$t_i = \frac{L_i}{n_i \cdot s_i} \left(1 + \frac{t_{W,i}}{A_{1,i} \cdot (\pi D_i)^{A_{2,i}} \cdot n_i^{A_{2,i}} \cdot s_i^{A_{3,i}} \cdot H_i^{A_{4,i}}} \right) \quad \dots(2.9.)$$

Jako příklad je na obrázku Obr. 2 zakreslena typická závislost nákladů N_i na čase t_i , a sice pro pevné soustružení uhlíkové oceli o pevnosti $R_m = 500$ až 700 MPa a hrubování nástrojem s břitovou destičkou ze slitutého karbidu P 10 (dle ČSN S 1).

Plně jsou v poli vymezeném přímkami

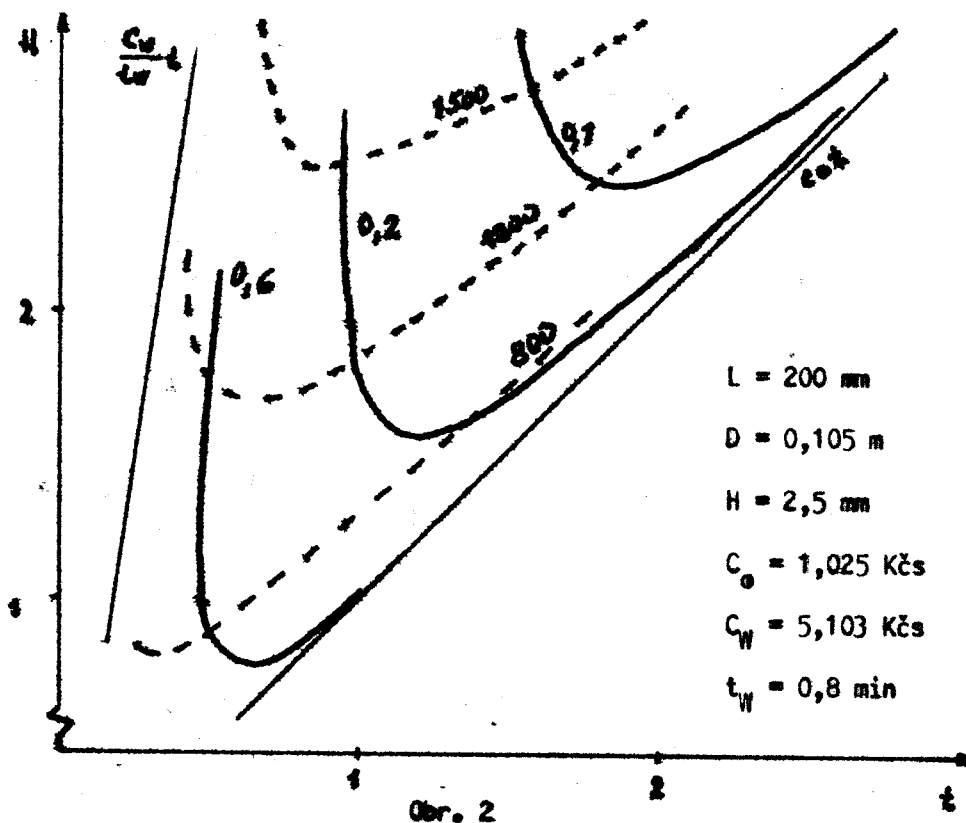
$$N_i = C_{0,i} \cdot t_i \quad \dots(2.10.)$$

$$N_i = \frac{C_{W,i}}{t_{W,i}} \cdot t_i \quad \dots(2.11.)$$

zakresleny tři čáry konstantního posuvu a čárkovaně tři čáry konstantních otáček včetně (respektive řezné rychlosti).

Čáry konstantní trvanlivosti ($T_i = \text{konst.}$) budou přímky a rovnici

$$N_i = \frac{C_{o,i} \cdot T_i + C_{W,i}}{T_i + t_{W,i}} \quad \dots(2.12.)$$



Jak vyplývá z uvedeného příkladu a je již běžně známé, tak je z hlediska nákladovosti výhodné volit maximální hodnoty posuvu dané např. při obrábění na čisto předepsanou jakostí obrobenej plochy. Je-li tedy s_i dáno předem, tak absolutnímu minimu nákladovosti vyplývajícímu ze vztahu

$$\frac{dN_i}{dt_i} = \frac{dN_i}{ds_i} \cdot \frac{1}{\frac{ds_i}{dt_i}} = 0 \quad \dots(2.13.)$$

budou odpovídat otáčky

$$n_{i,opt} = \left(- \frac{C_{w,i} \cdot (A_{2,i} + 1)}{C_{o,i} \cdot A_{1,i} \cdot (\pi D_i)^{A_{2,i}} \cdot s_i^{A_{3,i}} \cdot H_i^{A_{4,i}}} \right)^{1/A_{2,i}} \quad (2.14.)$$

kde $A_{2,i} < -1$.

2. 2. Aplikace Lagrangeovy metody neurčitých multiplikátorů

Předpokládáme, že se technologický proces skládá z n - dílčích úseků, a tedy potom je rozhodující nákladovost procesu jako celku.

$$\sum_{i=1}^n N_i(t_i) \rightarrow \min \quad \dots(2.15.)$$

Při tom však argumenty t_i mohou být vázány dalšími omezujícími podmínkami.

Předpokládáme-li, že se technologická operace skládá z n -úseků, je dána velikost dávky a její průběžná doba, a tím i čas kusový. Z toho vyplývá časová restrikce ve tvaru konstantního součtu času

$$\sum_{i=1}^n t_i = t_D = \text{konst.} \quad \dots(2.16.)$$

kde konstanta t_D je rozdíl času kusového t_K a časů nezávislých na optimalizovaných parametrech, v našem případě řezných podmínkách.

Zvolme jeden parametr za řídicí veličinu. Zpravidla to bývá řezná rychlost (respektive otáčky včetně), ovšem i případy, kdy je řídicí veličinou posuv se řeší analogicky.

Uvažujeme-li nákladovost N_i jako funkci času t_i pro $s_i = \text{konst.}$, bereme v úvahu případy, kdy platí relace

$$n_i = n_{i,max} = \left(- \frac{t_{w,i} \cdot (A_{2,i} + 1)}{A_{1,i} \cdot (\pi D_i)^{A_{2,i}} \cdot s_i^{A_{3,i}} \cdot H_i^{A_{4,i}}} \right)^{1/A_{2,i}} \quad \dots(2.17.)$$

kteřá vyplývá ze vztahu

$$\frac{dN_i(t_i)}{dt_i} \rightarrow \infty \quad \dots(2.18.)$$

Při $n_i = \text{konst.}$ Pro $n_i = n_{i, \text{max}}$ se nejen zvyšuje čas t_i , ale současně rostou i náklady N_i .

K analogickým závěrům bychom dospěli také v tom případě, když je řídicí veličinou posuv pro hodnoty $A_{j,i} < -1$.

Nejprve budeme řešit úlohu minimalizace nákladové funkce $N_i(t_i)$ pro jednoduchost pouze pro dva úseky, při čemž jednotlivé argumenty jsou vázány omezující podmínkou ve tvaru konstantního součtu časů (2.16.). Výsledek můžeme zobecnit pro n - úseku (platnost je ověřena v daném případě pro výrobu v taktu).

Pro řešení Lagrangeovou metodou neurčitých multiplikátorů si nejprve sestavíme Lagrangeovu funkci, která bude mít tvar:

$$L(t_1, t_2, \lambda) = \sum_{i=1}^n N_i(t_1, t_2) + \lambda(t_1 + t_2 - t_0) = 0 \quad \dots(2.19.)$$

Dále provedeme parciální derivace Lagrangeovy funkce podle jednotlivých proměnných (t_1, t_2, λ) , přičemž dostaneme soustavu rovnic

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial t_1} &= \frac{\partial N_1}{\partial t_1} + \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial t_2} &= \frac{\partial N_2}{\partial t_2} + \lambda = 0 \end{aligned} \quad \dots(2.20.)$$

Ze soustavy (2.20.) po matematické úpravě získáváme rovnice

$$\frac{\partial N_1}{\partial t_1} = -\lambda$$

$$\frac{\partial N_2}{\partial t_2} = -\lambda$$

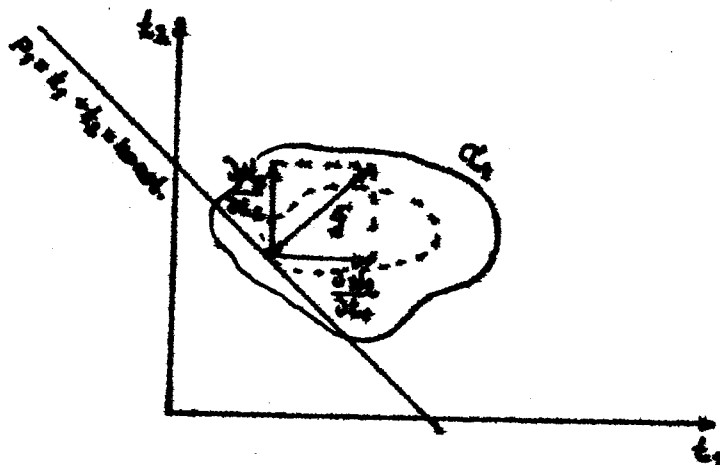
z nichž plyne rovnost derivací

$$\frac{\partial N_1}{\partial t_1} = \frac{\partial N_2}{\partial t_2} \quad \dots(2.21.)$$

Rovnici (2.21.) můžeme zobecnit pro n -úseku a pro malá ∂t_i můžeme psát diferenciál dt_i . Potom bude rovnice (2.21.) mít tvar

$$\frac{dN_1}{dt_1} = \frac{dN_2}{dt_2} = \dots = \frac{dN_n}{dt_n} \quad \dots(2.22)$$

Při grafickém řešení nám vztah (2.21.) vyplyne při dvojrozměrném zobrazení z následujícího obrázku



Obr. 3

kde p_1 je přímka zobrazující omezující podmínku (časovou restrikcí ve tvaru konstantního součtu časů)

C_1 je plocha, která je grafickým zobrazením Lagrangeovy funkce

$\frac{\partial N_1}{\partial t_1}, \frac{\partial N_2}{\partial t_2}$ jsou složky gradientu g , který vytkne na ploše

C_1 přímka p_1

Další řešení této úlohy je možné provést grafo - analyticky (viz.obr.3 a uvedené příklady).

$$t_2 - t_1 = 0$$

$$t_3 - t_1 = 0$$

⋮

⋮

⋮

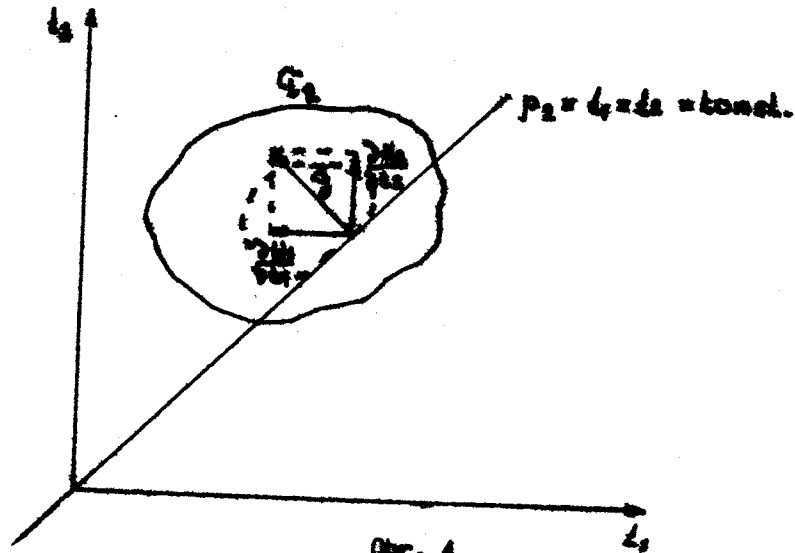
$$t_n - t_1 = 0$$

...(2.27.)

Po úpravě soustav rovnic (2.26.), (2.27.) dostaneme vztah

$$\frac{dt_1}{dt_1} + \frac{dt_2}{dt_2} + \frac{dt_3}{dt_3} + \dots + \frac{dt_n}{dt_n} = 0 \quad \dots(2.28.)$$

Graficky si tento případ opět znázorníme pro přehlednost pouze ve dvojrozměrném prostoru



kde p_2 je přímka zobrazující časovou restrikcí ve tvaru konstantních časových úseků

\mathcal{C}_2 je zobrazení Lagrangeovy funkce

$\frac{\partial N_1}{\partial t_1}, \frac{\partial N_2}{\partial t_2}$ jsou opět složky gradientu plochy \mathcal{C}_2 y vytknuté přímkou p_2

Časové restrikce mohou být v praxi popadány složitějšími tvary, než jaké byly uvedeny v předchozích řešeních. Např. když se celý technologický proces skládá z n -operací a i -tá operace z n_i úseků, budou časové restrikce

a/ pro konstantní součet časů (výroba v dávkách)

$$\sum_{j=1}^{n_1} t_{1,j} + t_1 + \sum_{j=1}^{n_2} t_{2,j} + t_2 + \dots + \sum_{j=1}^{n_n} t_{n,j} + t_n = t_D \quad \dots(2.29)$$

b/ pro konstantní časové úseky (výroba v taktu)

$$\sum_{j=1}^{n_1} t_{1,j} + t_1 = \sum_{j=1}^{n_2} t_{2,j} + t_2 = \dots = \sum_{j=1}^{n_n} t_{n,j} + t_n \quad \dots(2.30.)$$

Při obrábění na vícevřetenových automatech, kdy se na různých vřetenech provádí řízné úseky dané operace a vřetena se otáčejí shodnými otáčkami, bude jako vedlejší podmínka tato rovnost otáček. Dále je možné uvažovat i další vedlejší podmínky, jako např. rozsah nastavitelných otáček a posuvů na stroji, omezení dané tuhostí stroje a pod.

3. NÁVRH ALGORITMU

Pro stanovení algoritmu výpočtu byly použity výpočtových schémat (vztahů pro řídicí veličinu otáčky vřetena), ze kterých byly stanoveny závislosti derivací nákladových funkcí podle času. Odvození bylo provedeno jednak, jsou-li řídicí veličinou otáčky, a jednak je-li to posuv. Dále je provedena matematická analýza získaného výsledku a z ní stanovení důležitých bodů křivky funkční závislosti $N-t$.

3. 1. Závislost $N(t)$

3. 1. 1. Řídící veličinou jsou otáčky (n)

$$N = 1 / \frac{C_0}{n \cdot s} + \frac{C_W}{A_1 \cdot (\sigma D) \cdot A_2 \cdot n \cdot A_2 + 1 \cdot A_3 + 1} /$$

$$t = 1 \cdot / \frac{1}{n \cdot s} + \frac{t_W}{A_1 \cdot (\sigma D) \cdot A_2 \cdot n \cdot A_2 + 1 \cdot A_3 + 1} /$$

$$N'(t) = \frac{dN}{dt} = \frac{dN}{dn} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{dN}{dn} \cdot \frac{1}{\frac{dt}{dn}} =$$

$$= 1 / - \frac{C_0}{n^2 \cdot s} - \frac{C_W \cdot (A_2 + 1)}{A_1 \cdot (\sigma D) \cdot A_2 \cdot n \cdot A_2 + 2 \cdot A_3 + 1} / \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{1 \cdot / - \frac{1}{n^2 \cdot s} - \frac{t_W \cdot (A_2 + 1)}{A_1 \cdot (\sigma D) \cdot A_2 \cdot n \cdot A_2 + 2 \cdot A_3 + 1} /$$

$$= \frac{- \frac{1}{n^2 \cdot s} / C_0 + \frac{C_W (A_2 + 1)}{T}}{- \frac{1}{n^2 \cdot s} / 1 + \frac{t_W (A_2 + 1)}{T}} = \frac{C_0 + \frac{C_W (A_2 + 1)}{T}}{1 + \frac{t_W (A_2 + 1)}{T}}$$

$$\begin{aligned} \text{a/ } n \rightarrow 0 \quad T &\rightarrow \infty \\ t &\rightarrow t_s \\ N^o &\rightarrow C_o \cdot t_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b/ } n \rightarrow \infty \quad T &\rightarrow 0 \\ N^o &\rightarrow C_w / T_w \cdot \tau \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c/ } N^o(t) \rightarrow \infty &\Rightarrow T + t_w (A_2 + 1) = 0 \\ T_K &= -t_w (A_2 + 1) \end{aligned}$$

$$n_K = \left(\frac{-t_w (A_2 + 1)}{A_1 \cdot (AD) \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \right)^{1/A_2}$$

$$N_K = \frac{1}{n_K \cdot s} \left(C_o + \frac{C_w}{T_K} \right)$$

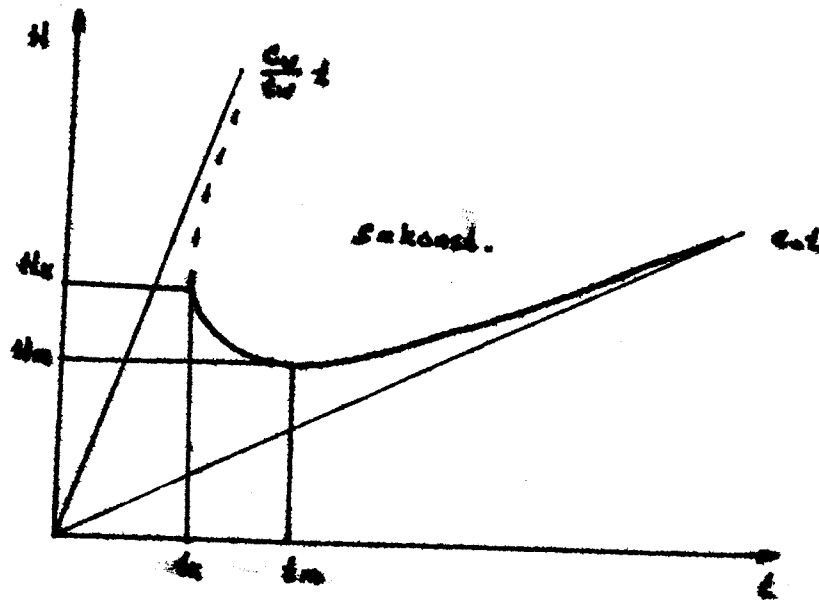
$$t_K = \frac{1}{n_K \cdot s} \left(1 + \frac{t_w}{T_K} \right)$$

$$\text{d/ } N^o(t) \rightarrow 0 \Rightarrow T_M = \frac{-C_w (A_2 + 1)}{C_o}$$

$$n_M = \left(\frac{-C_w (A_2 + 1)}{C_o \cdot A_1 \cdot (AD) \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \right)^{1/A_2}$$

$$N_M = \frac{1}{n_M \cdot s} \left(C_o + \frac{C_w}{T_M} \right)$$

$$t_M = \frac{1}{n_M \cdot s} \left(1 + \frac{t_w}{T_M} \right)$$



Obr. 5

3. 1. 2. Řídící veličinou jsou posuv (s)

$$N^*(t) = \frac{dH}{ds} \cdot \frac{1}{\frac{dt}{ds}} =$$

$$1 / - \frac{C}{n \cdot s^2} = \frac{C_W (A_3 + 1)}{A_1 \cdot (nD)^2 \cdot n \cdot \frac{A_2}{2} \cdot \frac{A_2 + 1}{2} \cdot \frac{A_3 + 2}{3} /}$$

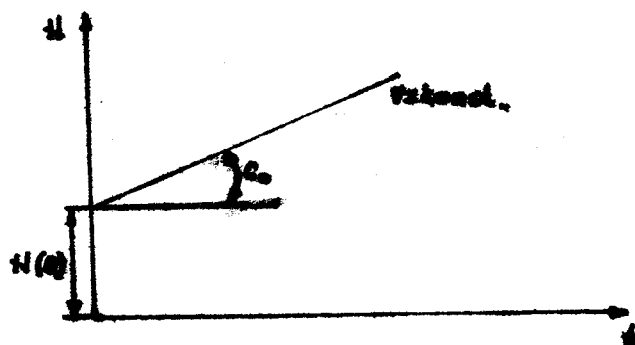
$$= \frac{1 / \frac{-1}{n \cdot s^2} = \frac{C_W (A_3 + 1)}{A_1 \cdot (nD)^2 \cdot n \cdot \frac{A_2}{2} \cdot \frac{A_2 + 1}{2} \cdot \frac{A_3 + 2}{3} /}}{T + \frac{C_W (A_3 + 1)}{n}} =$$

$$= \frac{C_W T + C_W (A_3 + 1)}{T + \frac{C_W (A_3 + 1)}{n}}$$

a/ $A_2 = -1 \Rightarrow N^*(t) = C_0 = \text{konst.}$

$$s \rightarrow \infty ; t \rightarrow 0$$

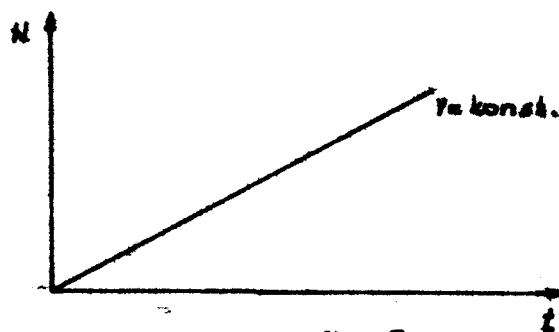
$$N \rightarrow 0$$



Obr. 6

$$b/ A_3 = 0 \Rightarrow T = A_1 \cdot (\pi D)^{A_2} \cdot n^{A_2}$$

$$n = \text{konst.} \Rightarrow T = \text{konst.}$$

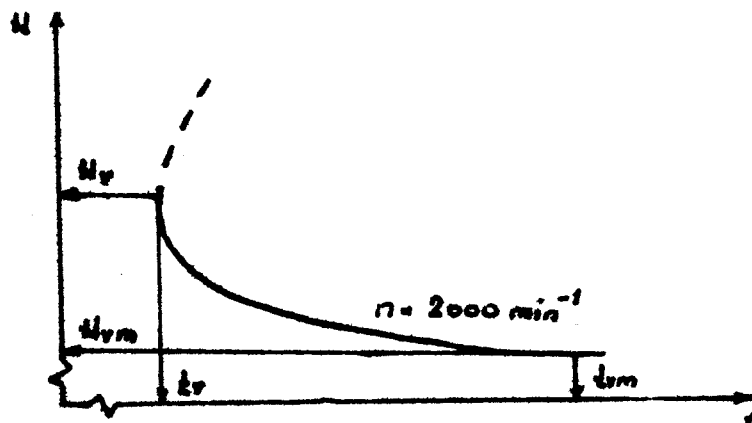


Obr. 7

c/ $A_3 \in (-1, 0)$; $M'(t) > 0$

$v = \text{konst.} \Rightarrow$ funkce M monotónně roste

d/ $A_3 \in (-1, -\infty)$...analogické křivkám $s = \text{konst.}$



Obr. 8

$$a/A_3 < -1$$

$$s_v = \left(- \frac{t_v (A_3 + 1)}{A_1 \cdot (\pi D)^2 \cdot H^4} \right)^{1/A_3}$$

$$t_v = \frac{1}{n \cdot s} \left(1 + \frac{t_v}{T_v} \right)$$

$$N_v = \frac{1}{n \cdot s} \left(C_0 + \frac{C_v}{T_v} \right)$$

$$N'(t) = 0, \text{ pro } v = \text{konst.}$$

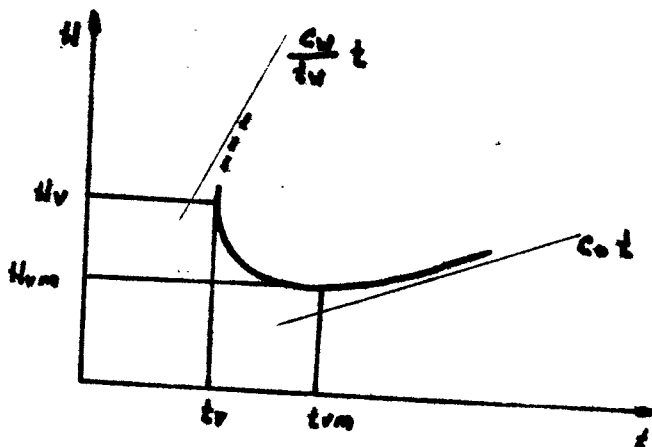
$$T_{vm} = - \frac{C_v (A_3 + 1)}{C_0}$$

$$s_{vm} = \left(\frac{T_{vm}}{A_1 \cdot (\pi D)^2 \cdot H^4} \right)^{1/A_3}$$

$$t_{vm} = \frac{1}{n \cdot s_{vm}} \left(1 + \frac{t_{vm}}{T_{vm}} \right)$$

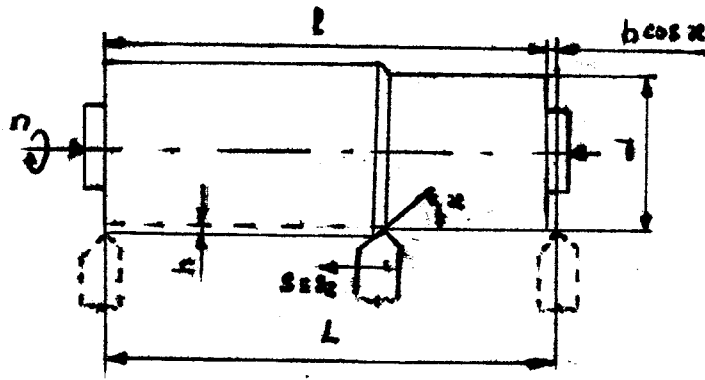
$$N_{vm} = \frac{1}{n \cdot s_{vm}} \left(C_0 + \frac{C_v}{T_{vm}} \right)$$

Křivky $N - t$ pro $v = \text{konst.}$, při $A_3 < -1$



3.2. Matematické vztahy pro různé druhy obrábění

1/ podélné soustružení (z = 1)

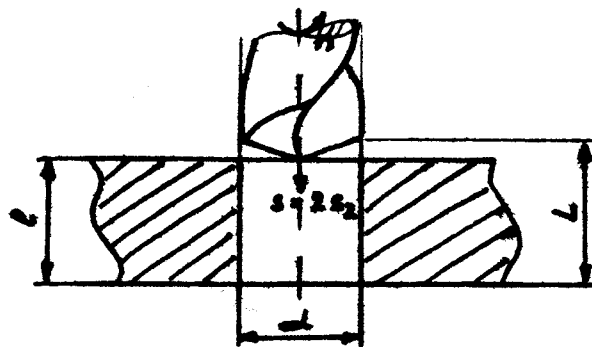


Obr. 10

$$T = A_1 \cdot v^2 \cdot s^3 \cdot H^4$$

$$M = 0,5 \cdot D \cdot C_{pz} \cdot H^{x_{pz}} \cdot s^{y_{pz}}$$

2/ vrtání průběžného otvoru do plného materiálu (z = 2)

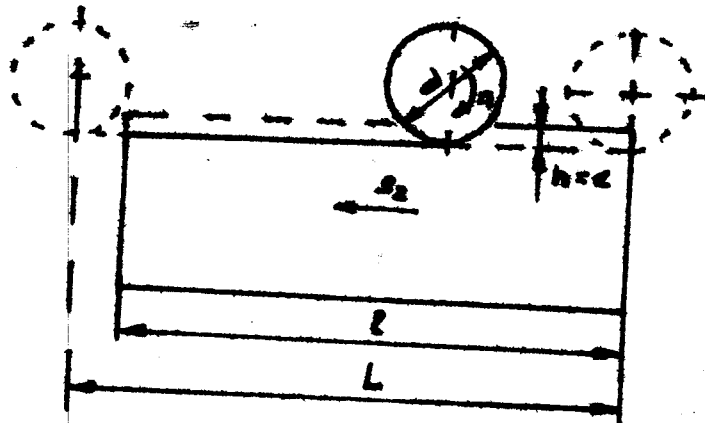


Obr. 11

$$T = A_1 \cdot v^2 \cdot (2s_z)^3$$

$$M = 0,5 \cdot D \cdot C_{pz} \cdot D^{x_{pz}} \cdot (2s_z)^{y_{pz}} = 0,5 \cdot D^{x_{pz} + 1} \cdot C_{pz} \cdot (2s_z)^{y_{pz}}$$

3/ frézování válcovou frézou ($z > 2$), $\varepsilon < 0$

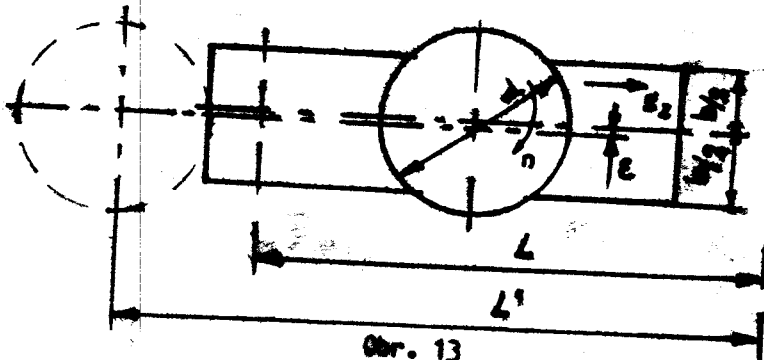


Obr. 12

$$T = A_1 \cdot v^2 \cdot s_z^3 \cdot H^4 \cdot \left(\frac{F}{D}\right)^5 \cdot \left(\frac{z}{D}\right)^6$$

$$M = 0,5 \cdot D \cdot C_{pz} \cdot B \cdot s_z^{y_{pz}} \cdot \sum_{i=1}^k \sin^{y_{pz}} / \varphi - (i-1) \varphi /$$

4/ frézování čelní frézou ($z > 2$), $\varepsilon > 0$



Obr. 13

$$T = A_1 \cdot v^2 \cdot s_z^3 \cdot H^4 \cdot \left(\frac{F}{D}\right)^5 \cdot \left(\frac{z}{D}\right)^6$$

$$M = 0,5 \cdot D \cdot C_{pz} \cdot H^x \cdot s_z^{y_{pz}} \cdot \sum_{i=1}^k \sin^{y_{pz}} / \varphi - (i-1) \varphi /$$

4. POPIS PROGRAMU

Pro sestavení programu bylo použito jazyka Fortran IV. a program je určen a odlaďen pro technologické procesy podélné soustružení,

vrtání do plného materiálu a frézování čelní a válceovou frézou. Program byl omladěn na samočinném číslicovém počítači EC 1033, na VS VŠST v Liberci, pouze pro dva úseky z důvodu možnosti grafe - analitického ověřování výsledků. (viz uvedené příklady v kap. 5).

Vstupní data

Jako vstupní data jsou zadávány následující hodnoty s uváděnými formátovými specifikacemi

1/ READ N, TD, ETD

FORMAT (12,F10,2, F 10.5)

kde N je počet úseků dané operace

TD je celkový předepsaný součet časů

ETD je absolutní chyba vyčíslení TD

2/ parametry nákladovosti a času

READ CO, CN, TW

FORMAT (3F 15.5)

kde CO je cena jedné minuty práce dělníka a stroje

CN jsou náklady na nástroj vztahované na trvanlivost

TW je čas potřebný na výměnu nástroje

3/ parametry trvanlivosti

READ A1, A2, A3, A4, A5, A6

FORMAT (E 15.7, 5F 10.3)

kde A1 - A6 jsou konstanty Taylerovy trvanlivostní rovnice

4/ parametry obrobku a nástroje

READ D, RL, IZ, B, E, EPS, M

FORMAT (F 10.6, F10.2 , 15 ,4F 10.5)

kde D je průměr nástroje (při soustružení obrobku)

RL je délka obráběné plochy

IZ je počet zubů nástroje

B je šířka obrobku

E je šířka záběru nástroje

EPS je vyesení nástroje

M je hloubka řezu

5/ omezení posuvu, otáček a výkonu

READ RS1, RS2, RN1, RN2, RP

FORMAT (5F 10.3)

kde S1 je minimální nastavitelný posuv na stroji

S2 je maximální nastavitelný posuv na stroji

N1 jsou minimální nastavitelné otáčky na stroji

N2 jsou maximální nastavitelné otáčky na stroji

P je výkon stroje

6/ parametry pro výpočet řezné síly

READ CPZ, XPZ, YPZ

FORMAT (E 15.7, 2F 5.2)

kde CPZ je konstanta pro výpočet řezné síly a momentu

XPZ, YPZ jsou exponenty v rovnici pro výpočet řezné síly
a momentu

Výstup

Na výstupu programu se tisknou jednak rovnice nákladovosti, času
a trvanlivosti a jednak optimalizované parametry.

1/ číslo úseku a počet zubů

WRITE I, IZ

FORMAT (//IX" C.úseku" , IZ/ZX, 10 (1H -)//ZX, "POCET ZUBU : ",
IZ/ZX, 13(1H-)/)

kde I je číslo úseku

IZ je počet zubů nástroje

2/ parametry nákladovosti a času

WRITE CO, CW, TW

FORMAT (2X, "NÁKLADY =TSx", "(", E 15.7, "x", E 15.7, " /T)//
/ZX, " CAS = TS x (", " 1 + ", E 15.7, " / T)" /)

3/ parametry trvanlivosti

WRITE A1R, A2, A3

FORMAT (2X, " TRVANLIVOST =", E 15.7, " x V xx ", E 15.7,
" x SE xx ", E 15.7 /)

4/ parametry obrobku a nástroje

WRITE D, RL, B, E, EPS, H

FORMAT (2X, " D = ", E 15.7, 5X, " L = ", E 15.7, //2X,
" B = ", E 15.7, 2X, " E = ", E 15.7, 3X, " EPS = ",
E 15.7, 2X, " H = ", E 15.7 /)

- 5/ omezení posuvu, otáček a výkonu
WRITE RS1, RS2, RN1, RN2, RP
FORMAT (2X, " RESTRIKCE : RS1 = ", E 15.7, 5X, " RS2 = ", E 15.7/
/ 13X, " RN1 = ", E 15.7, 5X, " RN2 = ", E 15.7/"RP= ",E15.7/)
- 6/ parametry pro výpočet momentu na vřeteně
WRITE CR, YPZ
FORMAT (2X, " MOMENT NA VRETENI = ", E 15.7, " x SZ xx", E 15.7/
/ 2X, 53(1H -) /)
- 7/ předepsaný součet časů a absolutní chyba jeho vyčíslení
WRITE TD, ETD
FORMAT (// 2X, " PŘEDEPSANÝ SOUČET CASU = ", E 15.7 //
/ 2X, " ABS.CHYBA VYČÍSLENÍ CASU = ", E 15.7 //)
- 8/ podtažení programu (TD TD_{min})
WRITE TD
FORMAT (/ 2X, " TD MENŠÍ NEŽ PŘÍPUSTNÉ MINIMUM ")
- 9/ optimální parametry daného úseku
WRITE I, IZ, SZ, V, OT, T, RMAK
FORMAT (/ 2X, " OPTIMALNÍ PARAMETRY ÚSEKU C. ", I2, 2X,
/ " POČET ZUBU ", I3/2X, 45(1H -) // 2X, " POSUV NA ZUB = ",
/ E 15.7 / 2X, " REZ. RYCHLOST = ", E 15.7 / 2X, " OTÁČKY = ",
E 15.7 / 2X, " CAS = ", E 15.7 / 2X, " NAKLADY = ", E 14.7 /)
- 10/ výkoný daný optimálními fyzikálními parametry)
WRITE P
FORMAT (2X, " VYKON = ", E 15.7)
- 11/ překročení restrikcí
FORMAT (/ 2X, " OTÁČKY POD MIN. HRANICI ")
FORMAT (/ 2X, " OTÁČKY NAD MAX. HRANICI ")
FORMAT (/ 2X, " PŘEKROČENA VYKONOVÁ HRANICE ")
FORMAT (/ 2X, " POSUV POD MIN. HRANICI " /
/ 2X, " ŘEŠENÍ NEBYLO NALEZENO ")
- 12/ celková nákladovost, vypočtený čas
WRITE RNC, TVYP
FORMAT (/ 2X, " CELKOVÁ NAKLADOVOST = ", E 15.7 //
/ 2X, " CELKOVÝ CAS = ", E 15.7)

13/ číslo kroku

WRITE END

FORMAT (// ZX, " PŘIBLIŽNE REŠENÍ NA KROKU C. ", 13/
/ZX, 31 (1H x) //)

Omezení programu

Program je sestaven pro maximální počet dílčích úseků 10, což znamená, že pomocí tohoto programu můžeme vypočítat optimální hodnoty řezných parametrů pro maximálně 10 technologických operací, které jsou dále ještě omezeny pouze na podélné soustružení, vrtání do plného materiálu, čelní a válcové frézování. To znamená, že programu lze použít pro různé kombinace těchto technologických operací.

Program je možné upravit doplněním potřebných výpočtových schémat, a tak ho rozšířit pro čelní frézování stopkovou frézou a vrtání do předvrtaného otvoru, tím že za průměr D budeme dosazovat vypočtený průměr ekvivalentní D_e .

Pro čelní soustružení se ekvivalentní průměr vypočte podle vztahu

$$D_e = \left(\frac{D - \left(D - \frac{L}{500} \right)}{(1-A_2) \frac{L}{500}} \right)^{1-A_2} \quad \dots(4.1.)$$

Pro vrtání předvrtaného otvoru bude mít tvar D_e

$$D_e = \left(\frac{D - \left(D - \frac{H}{500} \right)}{(1-A_2) \frac{H}{500}} \right)^{1-A_2} \quad \dots(4.2.)$$

V programu byly použity pro výpočty jednotlivých parametrů následujících pomocných proměnných a symbolů

- A1R redukovaný parametr pro trvanlivost
- CR redukovaný parametr pro moment
- POM pomocná proměnná pro výpočet CR
- I,J proměnné v počítadlech cyklů
- SKROK pomocná proměnná pro krokování posuvu
- SZ posuv na zub
- TDMIN pomocná proměnná pro minimální součet časů
- TR pomocná proměnná pro kritickou hodnotu trvanlivosti
- V řezná rychlost

T pomocná proměnná pro trvanlivost
OT pomocná proměnná pro etážky
CMIN pomocná proměnná pro výpočet nákladovosti
DĚ pomocná proměnná pro výpočet derivací cílové funkce
PR pomocná proměnná pro výpočet derivací cílové funkce
KEY pomocná proměnná pro výpočet derivací cílové funkce
TVYP pomocná proměnná pro vypočtený čas
RNC pomocná proměnná pro celkové náklady
RMAK pomocná proměnná pro nákladovost

Dále bylo použito standardních podprogramů a funkcí jazyku Fortran

FLOAT . . . převod integer na real
IFIX . . . převod real na integer
SORT . . . slovo značící druhou odmocninu
ATAN . . . slovo značící funkci arctg

4. 1. Kontrolní výpočet

Nechť se operace skládá ze dvou úseků. První úsek je podélné soustružení, a to hrubování řezným materiálem ze slitutého karbidu P 15 s těmito vstupními hodnotami pro polyoptimalizaci.

$$\begin{aligned} C_{0,1} &= 1,0255 \text{ Kčs} & L_1 &= 200 \text{ mm} \\ C_{W,1} &= 5,183 \text{ Kčs} & D_1 &= 0,105 \text{ m} \\ t_{W,1} &= 0,8 \text{ min} & H_1 &= 2,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mezi trvanlivostí a řeznými podmínkami platí vztah

$$T_1 = 5,53 \cdot 10^9 \cdot v_1^{-3,38} \cdot s_1^{-1,38} \cdot H_1^{-0,3}$$

dále je dáno výkonové omezení (restrikce)

$$60 \cdot 7500 \cdot 0,8 \geq 1,71 \cdot 10^3 \cdot v_1 \cdot s_1^{0,78} \cdot H_1$$

kde příkon stroje uvažujeme $P = 7500 \text{ W}$, účinnost stroje $\eta = 0,8$.

Druhým úsekem je opět podélné soustružení, tentokrát načisto řezným materiálem P 01, kde

$$C_{0,2} = 1,0255 \text{ Kčs}$$

$$L_2 = 200 \text{ mm}$$

$$C_{W,2} = 5,103 \text{ Kčs}$$

$$D_2 = 0,1 \text{ m}$$

$$t_{W,2} = 0,8 \text{ min}$$

$$M_2 = 0,5 \text{ mm}$$

Dále platí vztah

$$T_2 = 9,85 \cdot 10^{10} \cdot v_2^{-4,54} \cdot s_2^{-1,14} \cdot M_2^{-0,33}$$

S ohledem na požadovanou jakost povrchu musí být
 $s \leq 0,1 \text{ mm}$.

Dále je dána časová restrikce ve tvaru

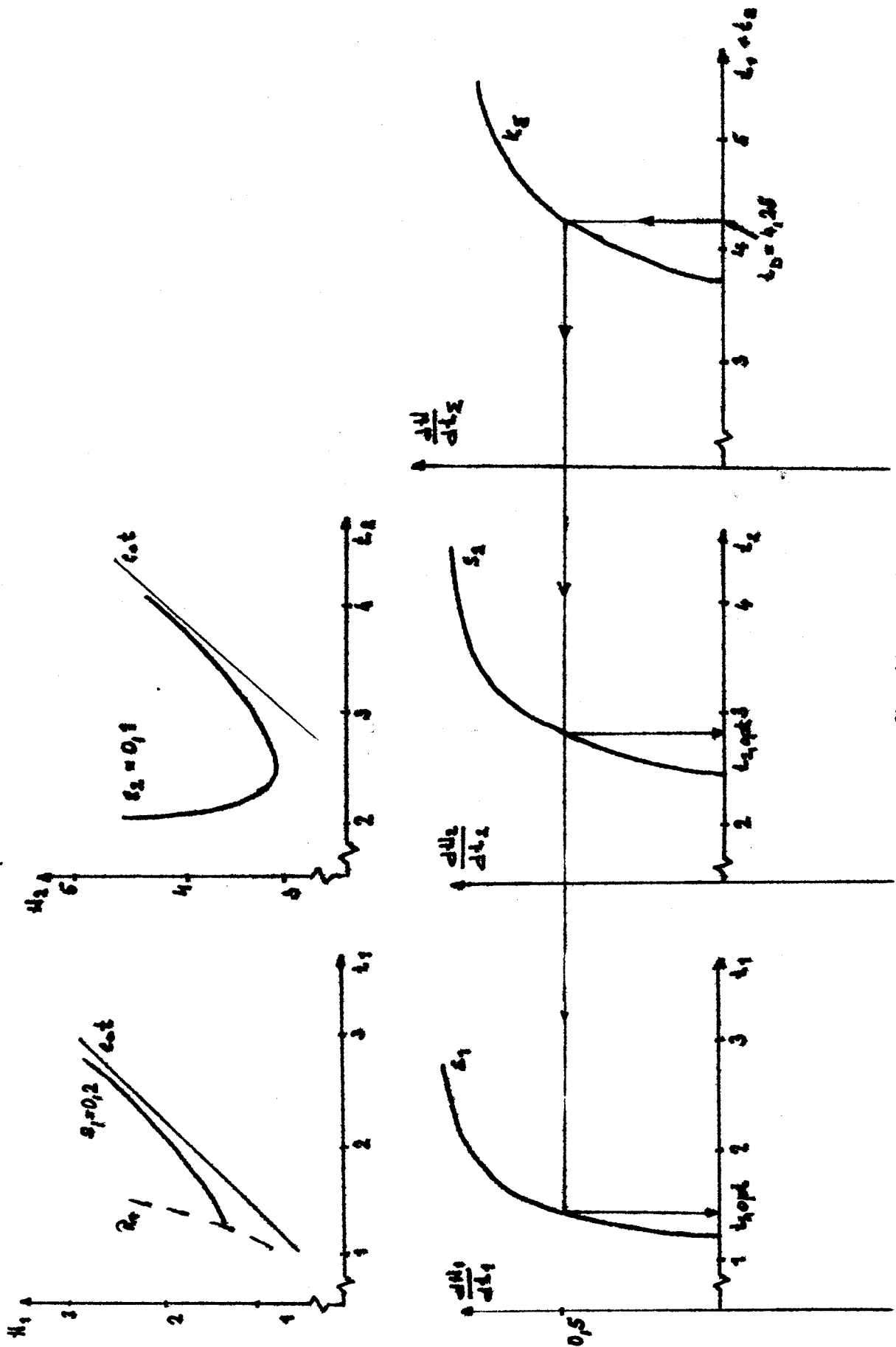
$$t_1 + t_2 = 4,25 \text{ min}$$

Jako řídicí veličinu budeme volit řeznou rychlost, a pro hlazení pak volíme $s_2 = 0,1 \text{ mm}$. V prvním přiblížení volíme $s_1 = 0,2 \text{ mm}$. V tom případě bude výkonová restrikce R_v , která je na obr.14 znázorněna čerchovanou čarou procházet přibližně minimem funkce $M_1(t_1)$ při $s_1 = 0,2 \text{ mm}$. Grafické-početní řešení je znázorněno na obr.14. Křivka označená na obrázku k se získá tak, že při konstantních hodnotách derivací nákladové funkce podle časů sčítáme jim odpovídající časy t_1 .
Dostáváme

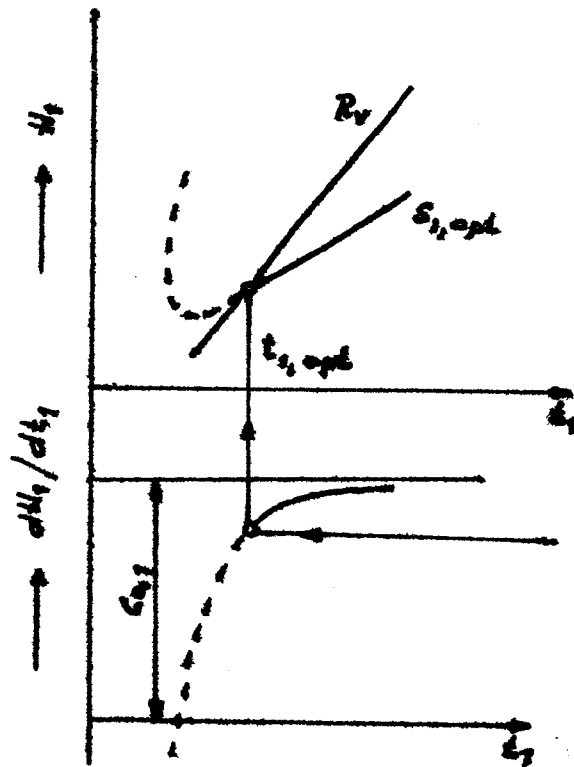
$$s_{1,opt} = 0,2 \text{ mm}; t_{1,opt} = 1,4 \text{ min} \Rightarrow n_{1,opt} \approx 735 \text{ min}^{-1}$$

$$s_{2,opt} = 0,1 \text{ mm}; t_{2,opt} = 2,85 \text{ min} \Rightarrow n_{2,opt} \approx 717 \text{ min}^{-1}$$

Pesuv s_1 je možno zvýšit a celý postup opakovat tak dlouho, dokud se s dostatečnou přesností nepřiblížíme k optimálním hodnotám (viz obr.14b)



Obr. 14



Obr. 16 b

5. PŘÍKLADY

Př. 5. 1.

Operace se skládá ze dvou úseků. První úsek je podélné soustružení, a to hrubování, druhý úsek je opět podélné soustružení načisto. Časová restrikce je dána ve tvaru konstantního součtu časů $t_D = 4,25$ min.

$$L_1 = L_2 = 200 \text{ mm}$$

$$D_1 = D_2 = 0,105 \text{ m}$$

$$s_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$s_2 = 0,2 \text{ mm}$$

$$C_0 = 1,025 \text{ Kčs}$$

$$C_W = 5,1 \text{ Kčs}$$

$$t_W = 0,8 \text{ min}$$

Restrikce :

$$s_{1,\min} = 0,01 \text{ mm}$$

$$s_{2,\min} = 0,01 \text{ mm}$$

$$C_{pz} = 0,1710 \cdot 10^4$$

$$s_{1,\max} = 0,1 \text{ mm}$$

$$s_{2,\max} = 1,2 \text{ mm}$$

$$x_{pz} = 1$$

$$n_{1,\min} = 100 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{2,\min} = 100 \text{ min}^{-1}$$

$$y_{pz} = 0,78$$

$$n_{1,\max} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{2,\max} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

$$P = 6000 \text{ W}$$

$$P = 6000 \text{ W}$$

$$T_{1,2} = 0,42 \cdot 10^{10} \cdot v_{1,2}^{-3,83} \cdot s_{1,2}^{-1,38}$$

n	300	500	600	700	800	1000	1200
N_1	6,9	4,2	3,5	3,1	2,8	2,5	2,5
t_1	6,7	4,0	3,3	2,9	2,5	2,1	1,8
N_2	3,4	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	0,99
t_2	3,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,1	0,99
$\frac{dT_1}{dt_1}$	1,02	0,99	0,95	0,89	0,79	0,44	-0,3
$\frac{dT_2}{dt_2}$	1,01	0,93	0,82	0,65	0,36	-0,84	-1,8

$$T_{K1} = 2,264$$

$$T_{K2} = 2,264$$

$$N_{K1} = 3,6$$

$$N_{K2} = 2,3$$

$$n_{K1} = 1827,7$$

$$n_{K2} = 1424$$

$$t_{K1} = 1,5$$

$$t_{K2} = 0,95$$

$$T_{m1} = 14,08$$

$$T_{m2} = 14,08$$

$$N_{m1} = 2,5$$

$$N_{m2} = 1,6$$

$$n_{m1} = 1134$$

$$n_{m2} = 884$$

$$t_{m1} = 1,9$$

$$t_{m2} = 1,2$$

Grafické řešení viz obr.15. (str.49)

Z obr. 14 vyplývají následující optimální časy

$$s_1 = 0,1 \Rightarrow t_{1,opt} \approx 2,85 \text{ min}$$

$$s_2 = 0,2 \Rightarrow t_{2,opt} \approx 1,4 \text{ min}$$

Př. 5. 2.

Operace se skládá ze dvou úseků podélného soustružení. První úsek je hrubování, druhý část soustružení načisto. Časová restrikce je dána

ve tvaru konstantního součtu času $t_D = 4,25$ min.

$$L_1 = L_2 = 200 \text{ mm}$$

$$D_1 = D_2 = 0,105 \text{ m}$$

$$s_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$s_2 = 0,49 \text{ mm}$$

$$C_o = 1,025 \text{ Kčs}$$

$$C_w = 5,103 \text{ Kčs}$$

$$t_w = 0,8 \text{ min}$$

Restrikce :

$$s_{1,\min} = 0,01 \text{ mm}$$

$$s_{2,\min} = 0,01 \text{ mm}$$

$$C_{pz} = 0,1710 \cdot 10^4$$

$$s_{1,\max} = 0,1 \text{ mm}$$

$$s_{2,\max} = 1,2 \text{ mm}$$

$$x_{pz} = 1$$

$$n_{1,\min} = 10 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{2,\min} = 10 \text{ min}^{-1}$$

$$y_{pz} = 0,78$$

$$n_{1,\max} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{2,\max} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

$$P = 6000 \text{ W}$$

$$P = 6000 \text{ W}$$

$$T_{1,2} = 0,42 \cdot 10^{10} \cdot v_{1,2}^{-3,83} \cdot s_{1,2}^{-1,38}$$

n	200	400	600	700	900	1100	1500
N_1	10,3	5,2	3,5	3,1	2,6	2,5	2,8
t_1	10,0	5,0	3,3	2,9	2,3	1,9	1,6
N_2	2,1	1,1	0,89	0,9	1,1	1,5	1,9
t_2	2,0	1,0	0,71	0,63	0,55	0,54	0,68
$\frac{dN_1}{dt_1}$	1,02	1,0	0,95	0,89	0,65	0,13	-3,7
$\frac{dN_2}{dt_2}$	1,02	0,88	0,26	-0,55	-6,8	6,4	8,0

$$T_{K1} = 2,264$$

$$T_{K2} = 2,264$$

$$N_{K1} = 3,6$$

$$N_{K2} = 0,91$$

$$n_{K1} = 1828$$

$$t_{K1} = 1,5$$

$$T_{m1} = 14,08$$

$$N_{m1} = 2,5$$

$$n_{m1} = 1134$$

$$t_{m1} = 1,9$$

$$n_{K2} = 1031$$

$$t_{K2} = 0,54$$

$$T_{m2} = 14,08$$

$$N_{m2} = 0,89$$

$$n_{m2} = 640$$

$$t_{m2} = 0,67$$

Grafické řešení viz obr. 16 (str.50)

Z uvedeného obrázku vyplývají optimální hodnoty časů

$$s_1 = 0,1 \Rightarrow t_{1,opt} \approx 3,3 \text{ min}$$

$$s_2 = 0,49 \Rightarrow t_{2,opt} \approx 0,95 \text{ min}$$

Př. 5. 3.

Operace se skládá ze dvou úseků. Prvním úsekem je vrtání slepého otvoru do plného materiálu, druhým úsekem je vřícové frézování. Materiál obrobku je ocel s mezí pevnosti $R_m = 650 - 750 \text{ MPa}$. Obrábí se nástrojem z rychlořezné oceli. Časová restrikce je dána ve tvaru konstantního součtu časů $t_0 = 1,2 \text{ min}$.

$$L_1 = 15 \text{ mm}$$

$$D_1 = 0,01 \text{ m}$$

$$B_1 = 0$$

$$s_1 = 0,129 \text{ mm}$$

$$C_{o,1} = 0,7 \text{ Kčs}$$

$$C_{W,1} = 4,93 \text{ Kčs}$$

$$t_{W,1} = 0,7 \text{ min}$$

$$L_2 = 90 \text{ mm}$$

$$D_2 = 0,1 \text{ m}$$

$$B_2 = 50 \text{ mm}$$

$$s_2 = 0,15 \text{ mm}$$

$$C_{o2} = 1,01 \text{ Kčs}$$

$$C_{W,2} = 11,7 \text{ Kčs}$$

$$t_{W,2} = 0,8 \text{ min}$$

$$z_2 = 10$$

Restrikce úsaku č. 1 (vrtání) a úsaku č. 2 (válcové frézování) :

$$\begin{array}{lll}
 s_{1,\min} = 0,01 \text{ mm} & s_{2,\min} = 0,01 \text{ mm} & C_{pz,1} = 0,424 \cdot 10^3 \\
 s_{1,\max} = 1,2 \text{ mm} & s_{2,\max} = 0,15 \text{ mm} & x_{pz,1} = 0,8 \\
 n_{1,\min} = 50 \text{ min}^{-1} & n_{2,\min} = 30 \text{ min}^{-1} & y_{pz,1} = 0,6 \\
 n_{1,\max} = 2000 \text{ min}^{-1} & n_{2,\max} = 1500 \text{ min}^{-1} & C_{pz,2} = 0,203 \cdot 10^5 \\
 P_1 = 2000 \text{ W} & P_2 = 6000 \text{ W} & x_{pz,2} = 0,93 \\
 & & y_{pz,2} = 0,8
 \end{array}$$

$$T_1 = 0,111369 \cdot 10^5 \cdot v_1^{-4,03} \cdot s_1^{-2,5}$$

$$T_2 = 0,1839 \cdot 10^9 \cdot v_1^{-4,83} \cdot s_1^{-0,99}$$

n_1	60	80	100	180	200
N_1	0,94	0,81	0,75	0,9	1,33
t_1	0,91	0,75	0,6	0,49	0,42
$\frac{dt_1}{dt_1}$	0,92	0,71	0,16	-0,82	37,3

$$\begin{array}{ll}
 T_{K1} = 2,64 & T_{m1} = 38,23 \\
 N_{K1} = 1,71 & N_{m1} = 0,77 \\
 n_{K1} = 191 & n_{m1} = 103 \\
 t_{K1} = 0,40 & t_{m1} = 0,59
 \end{array}$$

n_2	100	150	200	380	650
N_2	0,32	0,25	0,21	0,18	0,40
t_2	0,46	0,36	0,21	0,15	0,14
$\frac{dt_2}{dt_2}$	0,68	0,65	0,44	-0,34	6,40

$$T_{K2} = 2,12t$$

$$N_{K2} = 0,29$$

$$n_{K2} = 619$$

$$t_{K2} = 0,13$$

$$T_{M2} = 21,34$$

$$N_{M2} = 0,16$$

$$n_{M2} = 348$$

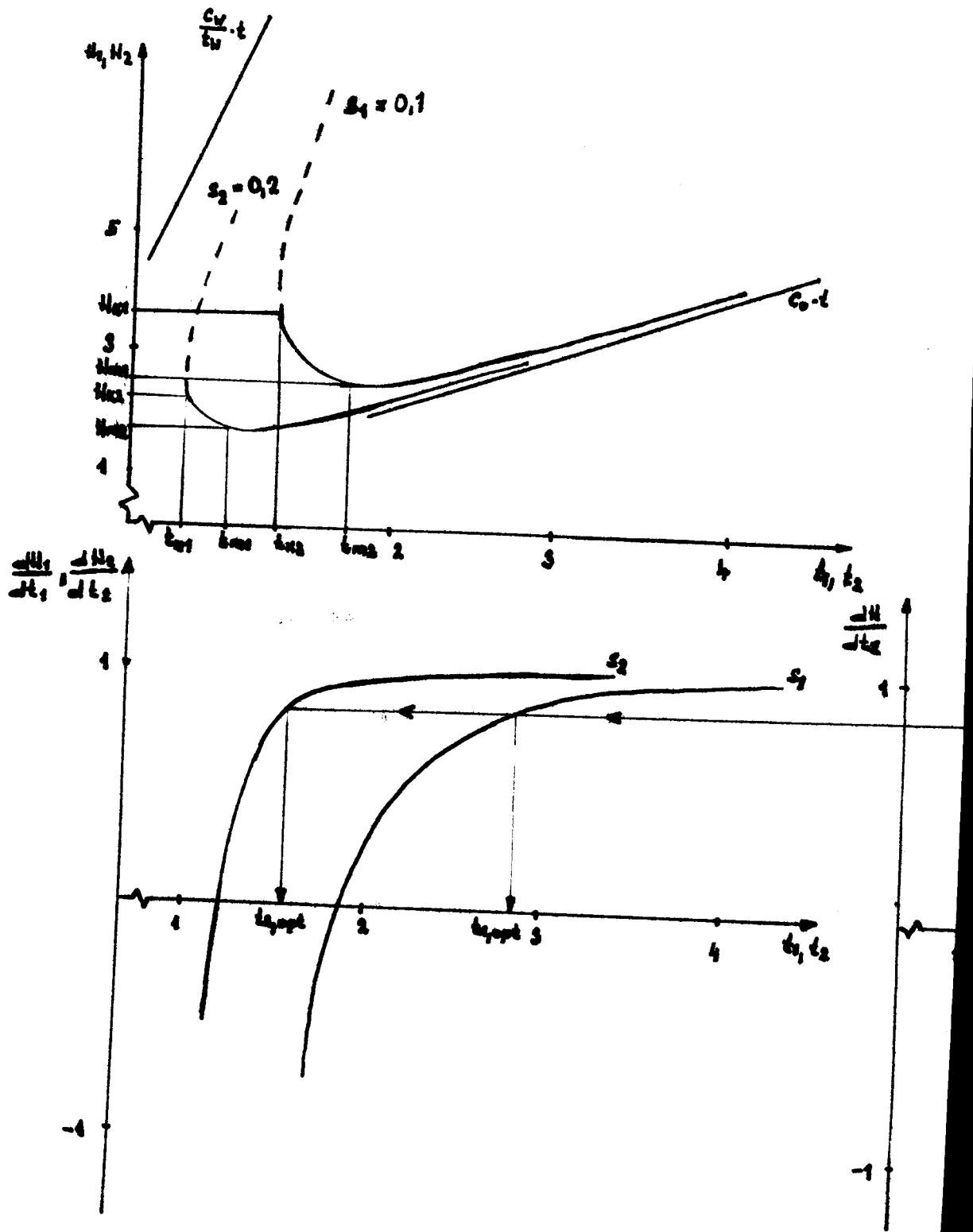
$$t_{M2} = 0,17$$

Grafické řešení viz obr. 17 (str.51)

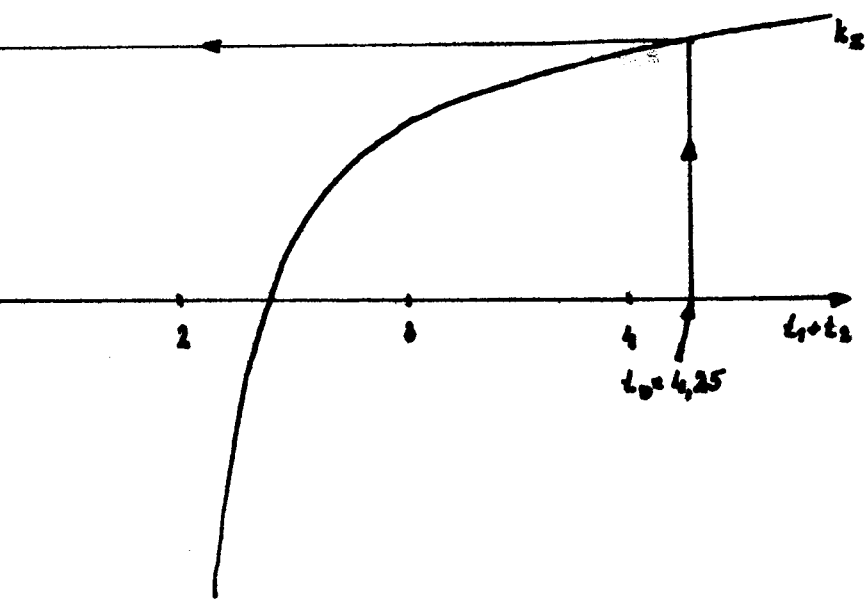
Z uvedeného obrázku vyplývají optimální hodnoty časů

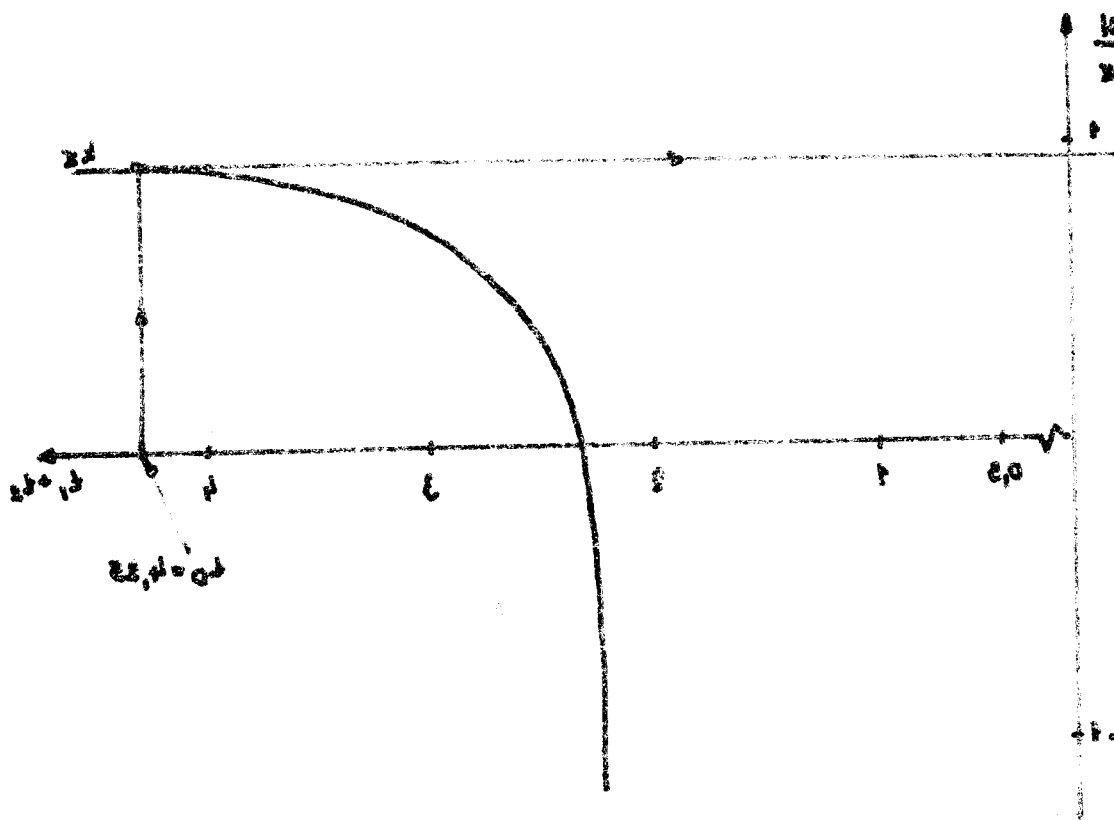
$$s_1 = 0,129 \Rightarrow t_{1,opt} \approx 0,75 \text{ min}$$

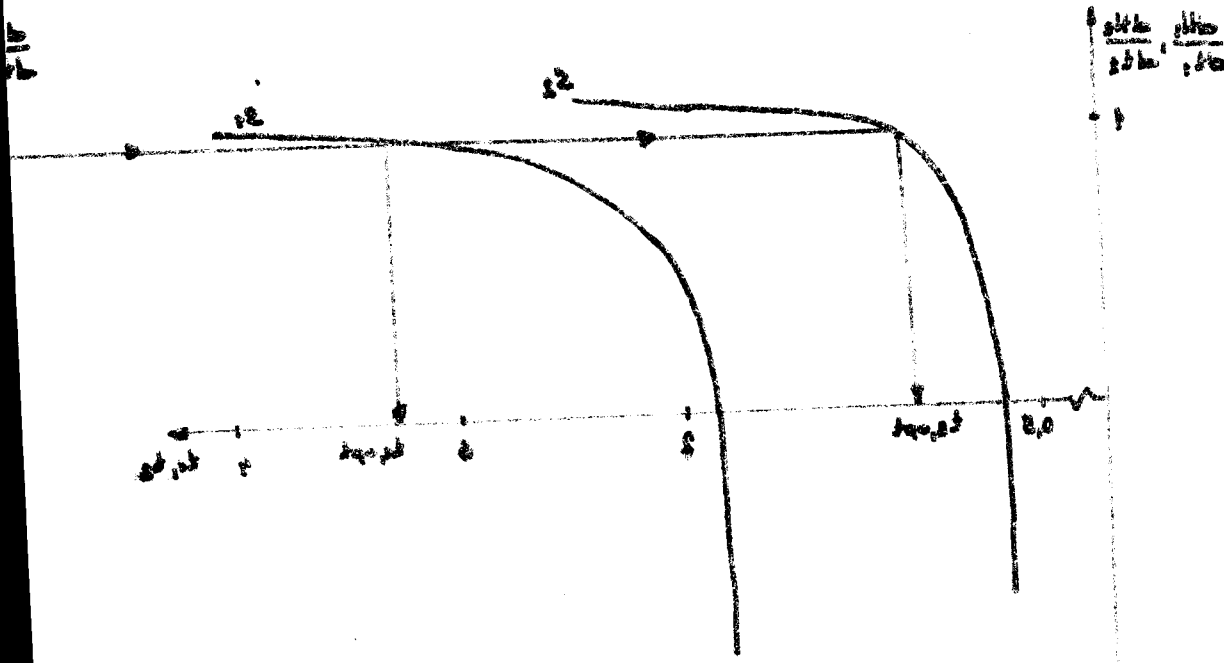
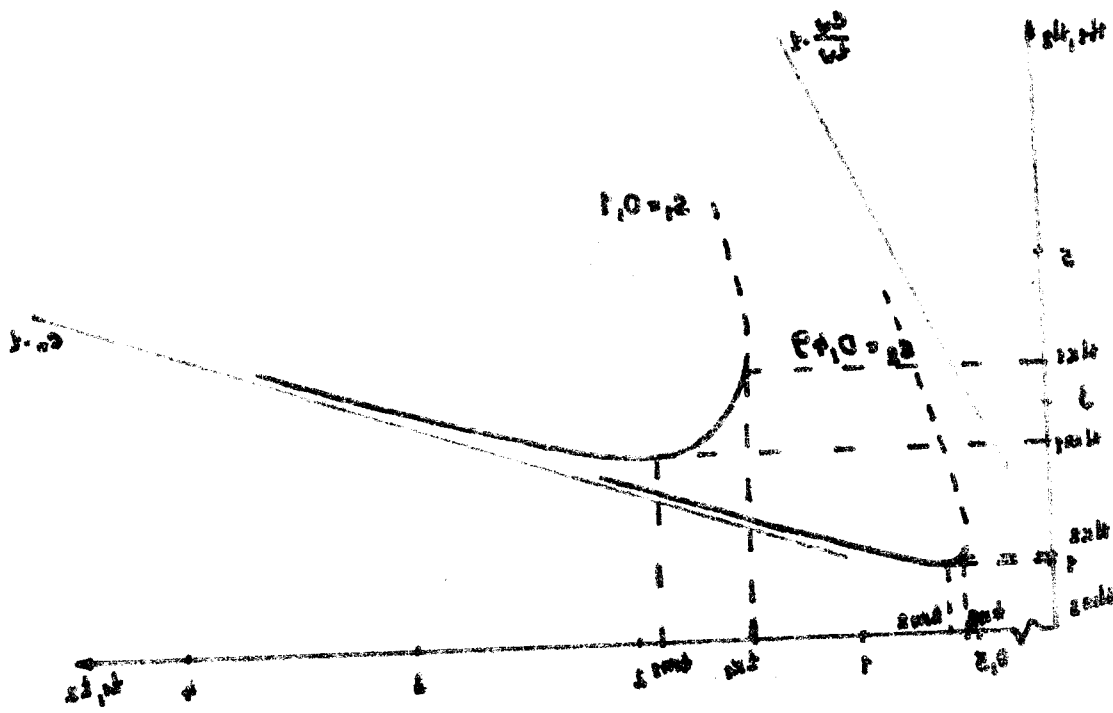
$$s_2 = 0,15 \Rightarrow t_{2,opt} \approx 0,45 \text{ min}$$



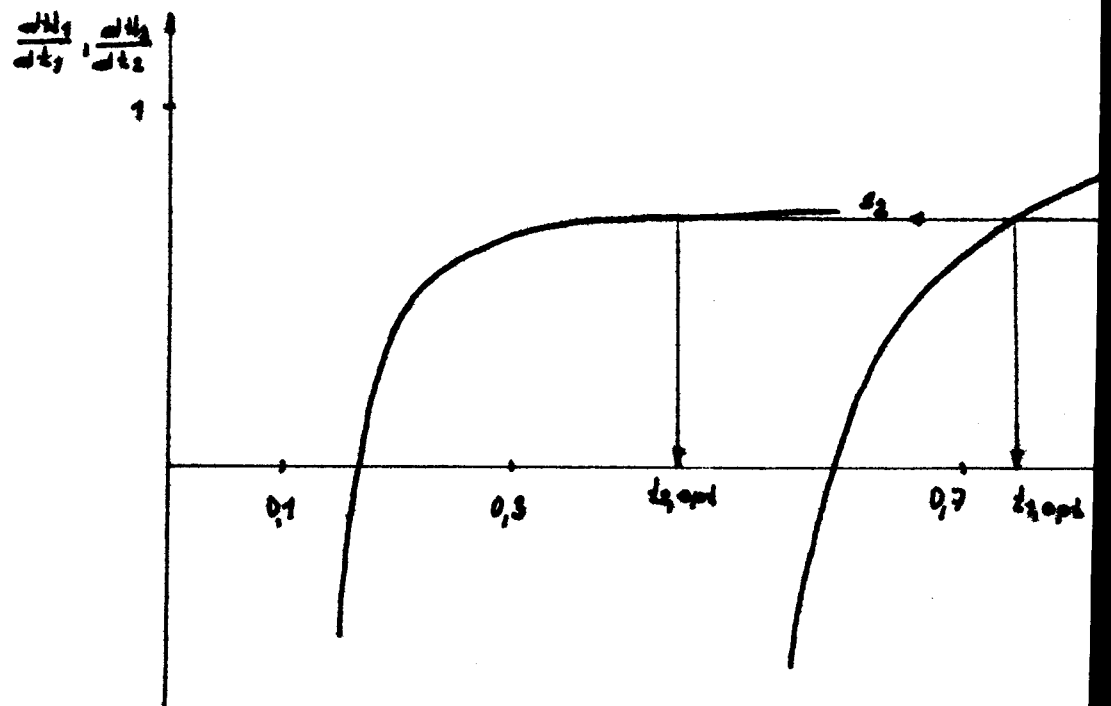
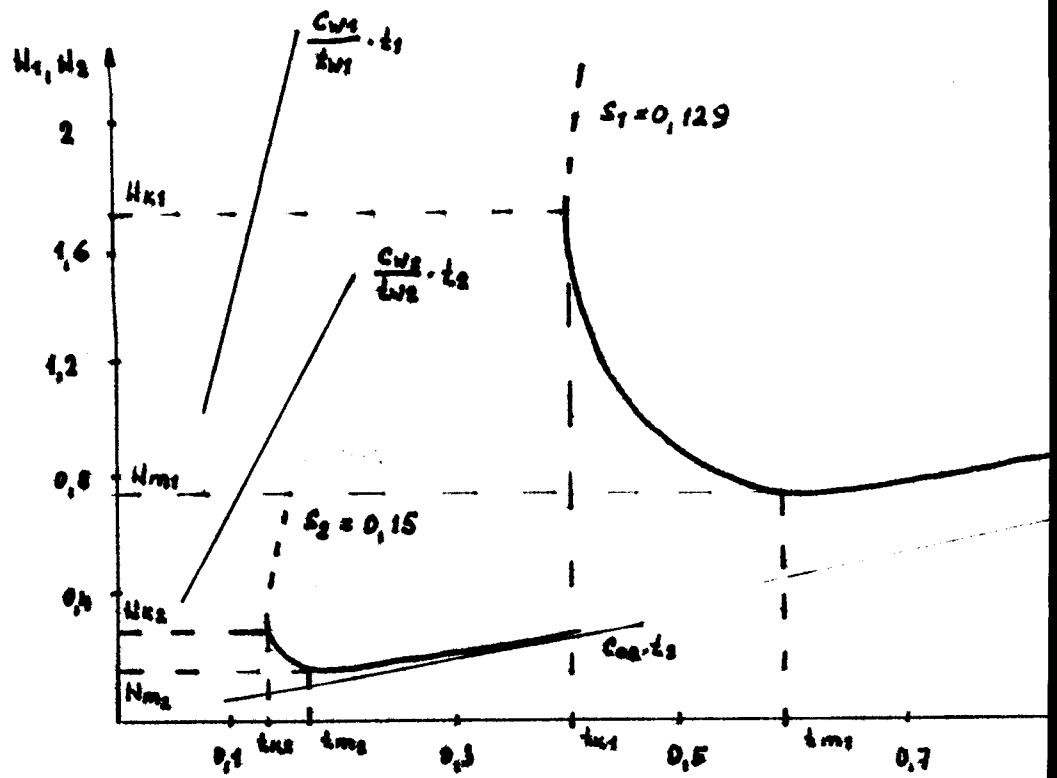
PA : T211



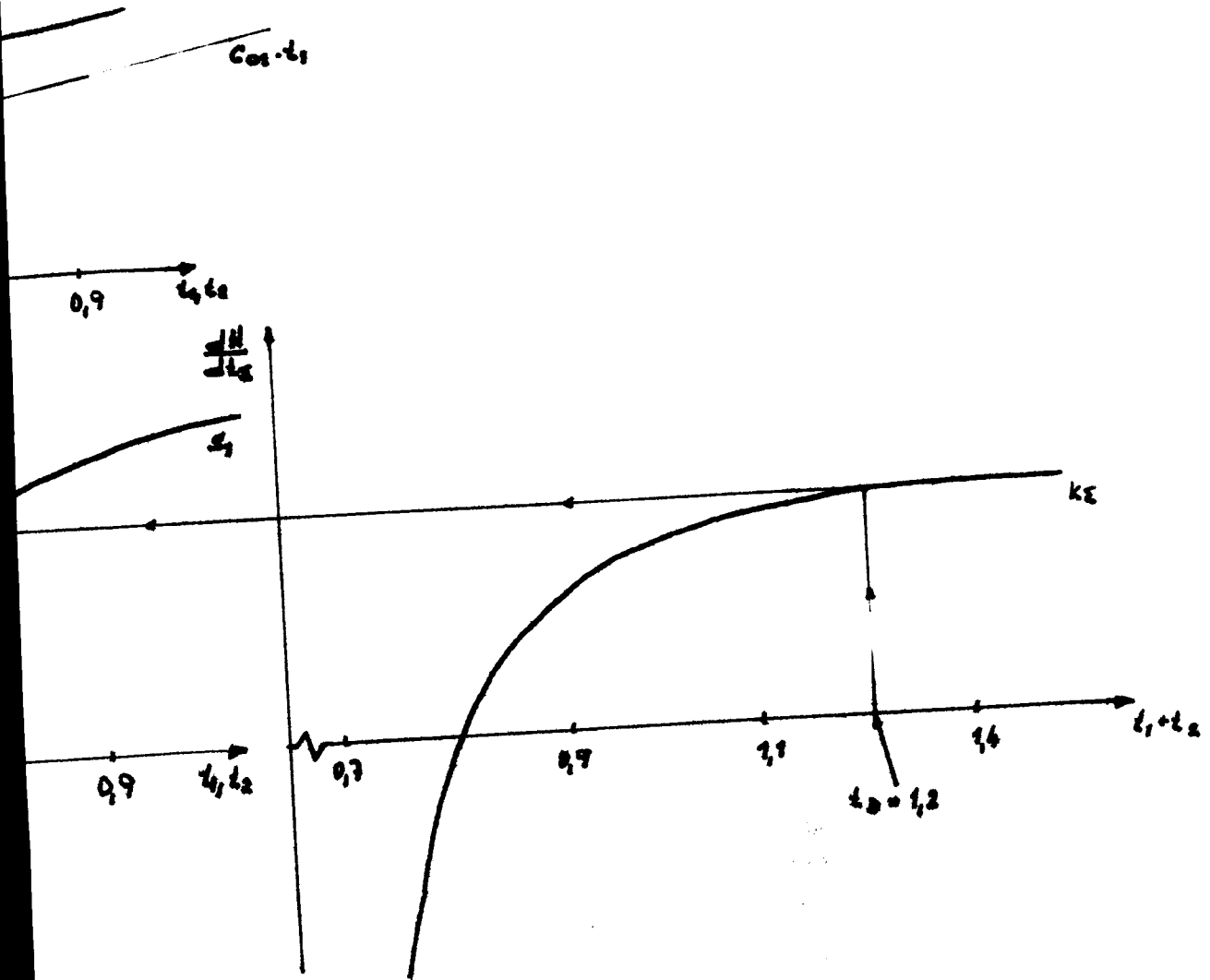




Op. 19



12 : 120



6. ZÁVĚR

Úkolem méji diplomové práce bylo sestavení programu pro polyoptimalizaci obráběcích procesů s konstantním součtem časů pomocí číslicového počítače .

V kapitole 3. bylo uvedeno všeobecné použití optimalizačních metod a jejich omezení jednotlivými parametry obrábění, jako jsou síly vznikající při obrábění, přípustné posuvy a přípustné řezné rychlosti.

Kapitola 4. se zabývá problémem polyoptimalizace (základní myšlenku polyoptimalizace nalezneme v literatuře / 4 / , / 5 /) , což je ve skutečnosti optimalizace, zahrnující obráběcí proces jako celek, dále vázaný omezeními, které jsou vyvolaná vzájemnými vazbami vzniklými členěním technologického procesu na operace a úseky . Zde je podrobněji rozobraána Lagrangeova metoda neurčitých multiplikátorů , které je použito při hledání minima nákladové funkce a z něj stanovení optimálních řezných podmínek, což je také podstatou algoritmu programu .

Program je sestaven pro samostatný číslicový počítač EC 1033 a odladěn na příkladech uvedených v kapitole 5 . Program byl sestaven pro tři technologické operace (seustružení, vrtání, frézování) , z nichž každá se může skládat maximálně z deseti úseků. Program je využitelný s určitými omezeními, danými charakterem výrobního procesu, přímo ve výrobě . Ekonomický efekt zatím není možno stanovit, protože tato metoda dosud nebyla ověřena v praxi. Použití programu ve výrobě by mělo pozitivně ovlivňovat snižování nákladů a efektivnější využití strojního zařízení v daném typu výroby. Doba výpočtu optimálních řezných podmínek pro dva úseky obrábění (pro něž byl program odladěn) nepřesahuje 4 minuty.

Bylo by jistě zajímavé ověřit, zda při zavedení do výroby přinese tato metoda ekonomický efekt, úměrný nákladům na její zavedení .

Na závěr bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce
s. Doc. Ing. V. Václavovi, CSc za cenné rady a připomínky k mé
práci.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1/ BEKES, J. : Inžinierska technológia obrábania kovov .
Bratislava 1981
- 2/ PŘIKRYL, Z; MUSÍLKOVÁ, R . : Teorie obrábění
SNTL, Praha 1972
- 3/ HANUŠ , B. : Optimalizované systémy řízení
skripta VŠST Liberec
- 4/ JACOBS, H.J. : Lösungsbeispiele und Darstellungsgrundlagen zur
Polyoptimierung der spanenden Teilefertigung .
Inf. TU Dresden
- 5/ JACOBS, H.J. : Fertigungsorganisatorische Restriktionen der
mathematischen Prozessoptimierung in der Teilefertigung
Inf. TU Dresden
- 6/ MESZAROS, I. : Fertigungsgestaltung spanenden Prozesse mittels
Lagrangechen Multiplikators
Inf. TU Dresden
- 7/ STEUDNER, K. : Explizite analytische Darstellung von technischen
Restriktionen mit verknüpften Spannungskraftkomponenten
für die technologische Optimierung
Inf. TU Dresden