



obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie

zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

DATABANKA ŘEZNÝCH PODMÍNEK - SOUSTRUŽENÍ.

KOM - OM - **606**

Tomáš Hrdina

Vedoucí práce: ing. V. Gabriel / KOM - VŠST Liberec /

Počet stran: 53
Počet příloh: 13
Počet tabulek: 0
Počet obrázků: 6
Počet modelů
nebo jiných příloh: 2

Datum : 27. května 1989

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1988 - 89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro H r d i n u Tomáše

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

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: Databanka řezných podmínek - soustružení.

Zásady pro vypracování:

1. Studium metody určování řezných podmínek pro soustružení.
2. Optimalizace řezných podmínek při soustružení.
3. Stanovení metodiky optimalizace a vstupních dat, program a jeho ověření.
4. Sběr dat.
5. Zhodnocení a závěry.

V 251/89 S

VÝŠK. ...

LIBER. ...

PSČ 461 17

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu

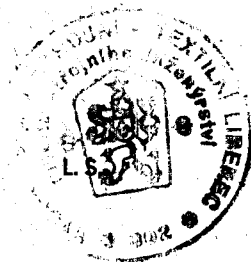
Seznam odborné literatury:

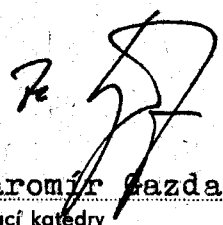
1. Mádl, J.: Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění,
ČVUT Praha 1988
2. Udelhoven, J.: Spanende Werkzeuge in der modernen Fertigung,
VDI - Verlag GmbH, Düsseldorf 1969

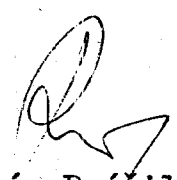
Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír G a b r i e l

Datum zadání diplomové práce: 18. 9. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989




Doc. Ing. Jaromír Mazda, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 18. 9. 1988



Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci , dne 27. května 1989



	OBSAH	strana
-	Obsah	4
-	Seznam použitých zkratk a symbolů	6
-	Seznam příloh	12
1.	Úvod	13
2.	Určování řezných podmínek	14
2.1	Normativy řezných podmínek	14
2.2	Výpočet řezných podmínek	15
2.3	Počítačem zpracované řezné podmínky	16
2.4	Optimální řezné podmínky	17
2.5	Trvanlivost břitu	17
2.6	Vliv řezných podmínek na trvanlivost	17
2.7	Obrobitelnost	20
2.8	Řezivost	20
3.	Optimalizace řezných podmínek	21
3.1	Konvenční optimalizace	21
3.1.1	Optimalizace - NSR	21
3.2	Adaptivní optimalizace	24
3.3	Kriteria optimálnosti	24
3.3.1	Kriterium minimálních výrobních nákladů	24
3.3.2	Kriterium maximální produktivity	30
3.3.3	Kriterium maximálního úběru	30
3.4	Omezující podmínky	31
3.4.1	Omezení dané výkonem obráběcího stroje	31
3.4.2	Omezení dané maximálním přípustným kroutícím momentem	32
3.4.3	Omezení dané maximální přípustnou řeznou silou	32
3.4.4	Omezení dané vhodným utvářením třísky	33
3.4.5	Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy	33



3.4.6	Omezení dané požadovanou přesností obrobené plochy	34
3.4.7	Omezení dané minimálními a maximálními otáčkami z hlediska stroje	34
3.4.8	Omezení dané minimálním a maximálním posuvem z hlediska stroje	34
3.4.9	Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem	34
3.4.10	Komplexní omezující podmínka	35
3.4.11	Organizační omezení	35
3.5	Oblast přípustných řešení	35
3.6	Algoritmus optimalizace řezných podmínek - soustružení	37
3.6.1	Vývojový diagram - optimalizace	40
3.6.2	Program Optimalizace řezných podmínek - soustružení	42
4.	Databanka	43
4.1	Sběr a výběr dat	44
4.2	Vstupní data	46
4.3	Algoritmus Databanka řezných podmínek - soustružení	47
4.4	Program Databanka řezných podmínek - soustružení	49
5.	Hodnocení	50
6.	Závěr	52
	- Seznam literatury	53



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLU

a_1	souřadnice v T-v diagramu		min
a_2	souřadnice v T-v diagramu		m/min
C_d	cena břitové destičky		Kčs
C_E	cena za elektrickou energii		Kčs/hod
C_n	cena nástroje		Kčs
C_s	cena stroje		Kčs
c_T	konstanta v závislosti $T = f v$		
c_v	konstanta v závislosti $v = f T$		
C_{tn}	cena tělesa nástroje		Kčs
C_{zn}	zbytková cena nástroje		Kčs
$\check{C}_f$	časový fond stroje		hod
D	průměr obrobku	/D/	mm
F_c	řezná síla		N
F_{cmax}	maximální řezná síla	/FCMAX/	N
$F_{\check{c}}$	časový fond stroje		hod
h	hloubka řezu	/H/	mm
i	počet záběrů		
J	proměnná		
JJ	počet stupňů otáčkové řady	/JJ/	
k	směrnice přímky		
K_1	konstanta	/K1/	
K_2	konstanta	/K2/	
K_A	odpisy		DM/rok
$k_{\check{c}}$	přirážka směnového času		
K_E	náklady na energii		DM/rok
K_f	výrobní náklady na kus		DM
k_{F1}	opravný koeficient řezné síly		



k_{Fc}	konstanta	/KFC/	
K_I	udržovací náklady		DM/rok
K_M	výrobní náklady za minutu		DM/min
K_{MH}	cena strojní hodiny		DM/hod
K_P	náklady na strojní práci		DM
k_{Pl}	opravný koeficient příkonu elektromotoru		
K_R	prostorové náklady		DM/rok
k_{us}	koeficient údržby a oprav		
k_{ut}	koeficient údržby tělesa nástroje		
k_{v1}	opravný koeficient řezné rychlosti		
k_{v2}	opravný koeficient řezné rychlosti pro povrch výkovku s kůrou		
k_{v3}	opravný koeficient řezné rychlosti pro přerušovaný řez		
k_{v4}	opravný koeficient řezné rychlosti a výkonu elektromotoru pro jinou než základní trvanlivost		
K_w	náklady na nástroj		DM
K_x	zbytek celkových výrobních nákladů		DM/min
K_Z	úroky		DM/rok
-k-1	faktor opotřebení		
L	délka obrábění	/L/	mm
L	hodinová mzda		DM
m	konstanta	/M/	
M_d	mzda dělníka		Kčs/hod
M_o	mzda operátora		Kčs/hod
M_{os}	mzda ostříče		Kčs/hod
M_s	mzda seřizovače		Kčs/hod



n	otáčky stroje	/NJ/	1/min
N_{hs}	hodinové náklady na provoz stroje		Kčs/hod
nn	počet stupňů otáčkové řady	/JJ/	
N_n	náklady na nástroje		Kčs
N_{nT}	náklady na nástroj vztažené na jednu trvanlivost břitů	/NNT/	Kčs
n_{opt}	optimální otáčky stroje	/NOPT/	1/min
N_s	náklady na strojní práci		Kčs
N_{sm}	náklady na strojní práci		Kčs/min
n_{smax}	maximální otáčky stroje	/NSMAX/	1/min
n_{smin}	minimální otáčky stroje	/NSMIN/	1/min
N_{sn}	náklady na strojní práci včetně nákladů na nástroje		Kčs
N_{vn}	náklady na výměnu a znovuseřízení nástroje		Kčs
N_{vnm}	náklady na výměnu a znovuseřízení nástroje	/NVNM/	Kčs/min
O_s	odpis stroje		Kčs/hod
P_e	výkon hlavního elektromotoru	/PE/	W
P_{el}	příkon elektromotoru		W
$P_{euž}$	užitečný výkon hlavního elektromotoru stroje		W
P_{max}	maximální výkon stroje	/PMAX/	W
$P_{\bar{e}rez}$	výkon potřebný při řezání		W
r_c	poloměr špičky	/R/	mm
R_a	drsnost povrchu	/RA/	m
R_{amax}	maximální drsnost povrchu		m
R_v	výrobní režie		%



s	posuv stroje	/S/	mm/ot
s_b	součinitel využití břitových destiček		
s_F	omezení posuvu z hlediska řezné síly	/SF/	mm/ot
SGK	celkové sociální náklady		DM
s_m	směnnost		
s_{max}	maximální posuv stroje-výběr	/SMAXJ/	mm/ot
s_{min}	minimální posuv stroje-výběr	/SMINJ/	mm/ot
s_{mopt}	optimální posuv stroje	/SMOPT/	mm/min
s_{Pj}	omezení posuvu z hlediska výkonu stroje	/SPJ/	mm/ot
s_{SDj}	dolní posuv	/SSDJ/	mm/ot
s_{SHj}	horní posuv	/SSHJ/	mm/ot
s_{smax}	maximální posuv stroje	/SSMAX/	mm/ot
s_{smin}	minimální posuv stroje	/SSMIN/	mm/ot
s_{sopt}	optimální posuv stroje	/SSOPT/	mm/ot
s_{Ra}	omezení posuvu z hlediska obrobené plochy	/SRA/	mm/ot
s_{umax}	maximální posuv z hlediska utváření třísky		mm/ot
s_{umin}	minimální posuv z hlediska utváření třísky		mm/ot
T	trvanlivost		min
T_{hosp}	hospodárná trvanlivost		min
T_N	užitečný čas		hod/rok
T_o	optimální trvanlivost		min
T_{opt}	optimální trvanlivost	/TOPT/	min



t_{os}	čas ostření nástroje		min
t_g	strojní čas		min
t_{sopt}	optimální strojní čas	/TSOPT/	min
t_u	čas operačního úseku		min
t_{vn}	čas výměny a znovuseřízení nástroje		min
t_{vnm}	čas výměny a znovuseřízení nástroje	/TVNM/	min
t_w	čas výměny nástroje		min
U	úběr		cm^3/min
v	řezná rychlost		m/min
VB	opotrebení nástroje na hřbetě		mm
VB_K	optimální šířka otupení		mm
VN	výrobní náklady	/VNJ/	Kčs
VN_1	proměnná výrobních nákladů	/VN1/	Kčs
VN_2	proměnná výrobních nákladů	/VN2/	Kčs
v_{opt}	optimální řezná rychlost	/VOPT/	m/min
VR_d	výrobní režie		%
VR_{os}	výrobní režie ostřírny		%
VN_{opt}	optimální výrobní náklady	/VNOPT/	Kčs
W_T	cena nástroje pro trvanlivost		DM
x_{Fc}	konstanta	/XFC/	
x_v	konstanta	/XV/	
y_{Fc}	konstanta	/YFC/	
y_v	konstanta	/YV/	
z_b	počet břitů na destičce		
z_d	počet břitových destiček na nástroji při obrábění vícebřitovým nástrojem		



z_o	počet možných přeostržení jednoho břitů destičky	
z_u	předpokládaný počet břitů, opotřeбенých během životnosti tělesa nástroje	
z_v	počet výměn	
z_s	životnost stroje	rok
τ	poměr času záběru k strojnímu času	/TAU/
η	účinnost stroje	/ETA/
η_s	koefficient časového využití stroje	
α	úhel	



SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Vývojový diagram optimalizace řezných podmínek/soustružení
- 2 Vývojový diagram optimalizace řezných podmínek/soustružení
- 3 Vývojový diagram optimalizace řezných podmínek/soustružení
- 4 Vývojový diagram optimalizace řezných podmínek/soustružení
vyhledání minima z hodnot: S, SF, SSHJ, SPJ, SRA
- 5 Vývojový diagram databanka řezných podmínek/soustružení
- 6 Zařazení materiálu do materiálové skupiny-vývojový diagram
- 7 Rozdělení ocelí podle tepelného zpracování-vývojový diagram
- 8 Řezné podmínky-soustružení - SK H 10
- 9 Řezné podmínky-soustružení - SK H 05
- 10 Řezné podmínky- soustružení- SK U 20
- 11 Řezné podmínky-soustružení - SK S 45
- 12 Řezné podmínky-soustružení - SK S 30
- 13 Řezné podmínky- soustružení- SK S 20



1. ÚVOD

Strojírenství je základem dynamického rozvoje celé československé ekonomiky i hlavním nositelem výrobních úkolů.

Existují však značné rezervy ve využívání materiálně technické a vědeckotechnické základny v úrovni hospodaření a zhodnocování surovin, materiálů, paliv a energie, ve využívání pracovních sil, v úrovni řízení a organizace práce.

Ve strojírenství se požaduje důslednější využívání výsledků a poznatků vědy a techniky pro zvyšování technicko-ekonomické úrovně strojírenských výrobků a urychlenou obměnu výroby. /6/

Z hlediska rezerv, které v současnosti v našich závodech jsou, představuje databanka a optimalizace řezných podmínek významnou oblast. Databanka svým rozsahem informací poskytuje možnosti prostřednictvím optimalizace získat právě optimální řezné podmínky. Optimální řezné podmínky úzce souvisí s ekonomickou, kvalitativní, kvantitativní stránkou výroby, a ovlivňují tak cenu jednotlivých součástí, a tedy i výrobku.

Kriterium minimálních výrobních nákladů, použité při optimalizaci, vyhodnotí v peněžní formě finančně nejvýhodnější řezné podmínky pro soustružení.

2. URČOVÁNÍ ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Volba řezných podmínek zahrnuje určení materiálu a geometrie řezného nástroje, řezného prostředí, hloubky řezu h [mm], posuvu s [mm/ot] a řezné rychlosti v [m/min]. Řezné podmínky mohou být rozšířeny o další, například o počet záběrů i . Určí se tak, aby vyhovovaly technickým a ekonomickým požadavkům výroby. /8/

Při určování řezných podmínek postupujeme pomocí celostátně platných normativů řezných podmínek, které jsou v podstatě tabelárním zpracováním vztahů pro různé případy obrábění. Uvážíme-li rychlý rozvoj výpočetní techniky a její uplatnění ve strojírenství, potom právě tento způsob má pro určování řezných podmínek velké předpoklady.

2.1 Normativy řezných podmínek /8/

Při stanovení řezných podmínek nejprve určíme skupinu obrobitelnosti obráběného materiálu. Potom pomocí normativů zjistíme hospodárné řezné podmínky za předpokladu respektování obecných zásad volby hospodárných řezných podmínek.

Postup určení řezných podmínek :

Příklad - Obráběný materiál 14 100.3, $R_m = 780$ MPa,

hrubování válcové plochy výkovku 120 mm na 110 mm,
soustružnický nůž 20 20 P 40 ČSN 22 3716,
nepřerušovaný řez za sucha.

- 1/ Použijeme normativ pro slinutý karbid P 40,
vplíme trvanlivost $T = 30$ min. Tato hodnota je
v souladu s T_{hosp} pro univerzální obráběcí stroje
a nástroj ze slinutého karbidu.

- 2/ Určíme hloubku řezu $h = 5$ mm a počet záběrů $i = 1$.



3/ Volíme poloměr zaoblení nástroje $r_\epsilon = 1 \text{ mm}$
a pro tento posuv $s = 0,70 \text{ mm/ot.}$

4/ Pro hloubku řezu $h = 5 \text{ mm}$, posuv $s = 0,70 \text{ mm/ot}$
odečteme hodnoty :

řezné rychlosti $v = 97 \text{ m/min}$

řezné síly $F_c = 5200 \text{ N}$

příkonu elektromotoru $P_{e1} = 11,66 \text{ kW}$

Stanovené řezné podmínky platí pro obrobiteľnost 14b.
Hodnoty je nutné pro obrobiteľnost 12b přepočítat opravnými
koeficienty :

- pro řeznou rychlost $k_{v1} = 0,63$

- pro řeznou sílu $k_{F1} = 1,10$

- pro příkon elektromotoru $k_{P1} = 0,70$

- pro řeznou rychlost $k_{v2} = 0,85$

/ povrch výkovku s kůrou /

- pro řeznou rychlost k_{v3}

/ přerušovaný řez /

- pro řeznou rychlost i výkon elektromotoru k_{v4}

/ jiná než základní trvanlivost /

Je-li nutné současně použít koeficienty k_{v2} a k_{v3} ,
použijeme pouze jeden a to ten, který je menší.

2.2 Výpočet řezných podmínek

Při stanovení řezných podmínek výpočtem vycházíme
z komplexního Taylorova vztahu :

$$v = \frac{c_v}{h^{x_v} \cdot s^{y_v} \cdot T^{1/m}} \quad (2.1)$$

Vztah (2.1) stanovuje závislost řezných podmínek a trvanlivosti.
Pro hodnoty trvanlivosti T , hloubky řezu h a posuvu s vypo-



čítáme řeznou rychlost v . Určení hloubky řezu obvykle vychází z přídavku na obrábění. C_v, x_v, y_v, m jsou empirické konstanty.

2.3 Počítačem zpracované řezné podmínky

Určování optimálních řezných podmínek pomocí vhodných optimalizačních algoritmů a výpočetní techniky, která je dnes v našich závodech dostupná, je též v souladu s celkovým trendem automatizace technické přípravy výroby pomocí výpočetní techniky.

Použití výpočetní techniky pro optimalizaci řezných podmínek je v současné době ojedinělé, přestože v dalších oblastech technické přípravy výroby se počítače využívají v širším rozsahu. Jednou ze závažných příčin tohoto nežádoucího jevu je představa, že vlastní počet vstupních dat pro konkrétní optimalizaci je značný.

Při návrhu optimalizačních algoritmů lze postupovat několika způsoby. Lze realizovat optimalizační algoritmy univerzálního charakteru, které obsáhnou určitou technologii s jeho různými variantami /např. soustružení a vyvrtávání různými typy nástrojů/. Univerzální algoritmy mají vyšší nároky na počet vstupních dat a na kapacitu paměti počítače.

Určitou modifikací při praktickém použití optimalizačních algoritmů je jejich spojení s databankou uloženou v paměti počítače, ze které jsou požadované soustavy konstant podle potřeby optimalizačního programu vyvolávány. Do vstupních dat se zadávají ucelené vstupní údaje.

Existují také jednoúčelové algoritmy, které můžeme realizovat na minipočítačích. Nevýhodou je však jejich úzké zaměření.



2.4 Optimální řezné podmínky

Optimální řezné podmínky jsou hodnoty stanovené vybraným způsobem, například algoritmem pomocí výpočetní techniky. Z hlediska výroby není nezbytně nutné dodržovat přesně stanovené hodnoty, ale pohybovat se v oblasti nejvýhodnějších hodnot.

2.5 Trvanlivost břitu

Trvanlivost břitu definujeme jako dobu, po kterou nástroj pracuje od naostření do otupení. /2/ Výrazně ovlivňuje ekonomickou stránku procesu řezání, a je proto jednou z jeho základních charakteristik.

K určení hodnot trvanlivostí pro jednotlivé druhy obrábění je třeba definovat stav břitu nástroje, kdy jej pokládáme za otupený. Stav otupení břitu můžeme hodnotit z hlediska buď technologického, nebo ekonomického.

Z technologického hlediska považujeme břit za otupený, není-li nástroj schopen obrábět danou plochu v požadované jakosti, anebo je-li otupení takového charakteru, že by se břit při dalším pokračování v práci v krátkém čase zcela porušil. Jedním z kritérií trvanlivosti /otupení břitu nástroje/ je optimální šířka otupení VB_K , kterou dosáhne velikost opotřebení nástroje na hřbetě VB . /9/

2.6 Vliv řezných podmínek na trvanlivost /2/

Z řezných podmínek má největší vliv na trvanlivost řezná rychlost, v oblasti běžně používaných řezných rychlostí trvanlivost s rostoucí rychlostí klesá. Závislost trvanlivosti T na řezné rychlosti v můžeme experimentálně stanovit dlouhodobou zkouškou. Obrábíme určitý materiál při různých řezných

rychlostech nástrojem ze zkoušeného řezného materiálu. Posuv a hloubka řezu je konstantní. Pro jednotlivé rychlosti nakreslíme křivky opotřebení $VB = f(T)$ (obr. 2.1). Čas řezání, za který dosáhne nástroj zvolené míry opotřebení VB_K odpovídá trvanlivosti T .

Vyneseme-li hodnoty trvanlivostí a odpovídajících řezných rychlostí do diagramu $T - v$, obdržíme závislost $T = f(v)$ (obr. 2.2), která je v rozsahu běžných rychlostí polytropická a lze ji vyjádřit vztahem

$$T = \frac{c_T}{v^m} \quad (2.2)$$

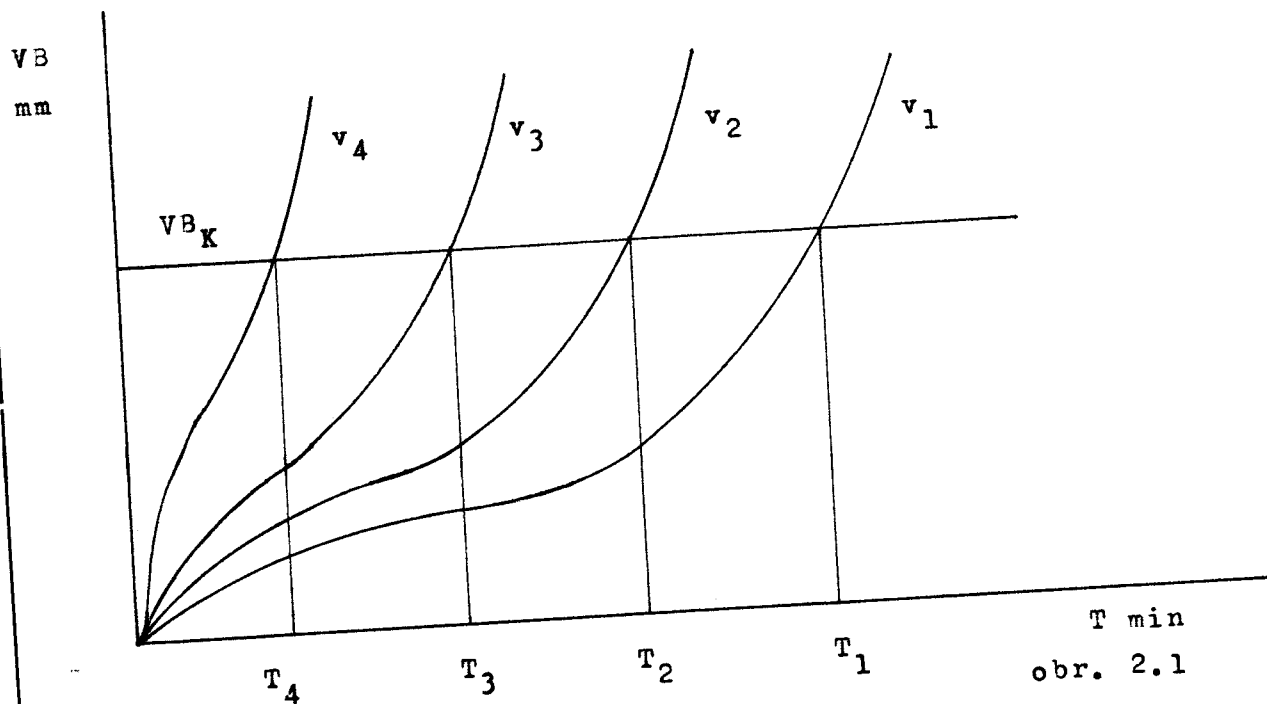
V logaritmických souřadnicích představuje tato závislost přímku (obr. 2.3), jejíž směrnice vyjadřuje velikost exponentu m .

Hodnota exponentu m určuje citlivost řezného materiálu k řezné rychlosti a c_T je konstanta. Závislost (2.2) nám charakterizuje řezivost a také obrobitelnost obráběného materiálu. Platí pro určitou technologii, určitý nástroj a materiál obrobku, určitou velikost otupení, určité řezné prostředí a určité hodnoty ostatních řezných podmínek./8/

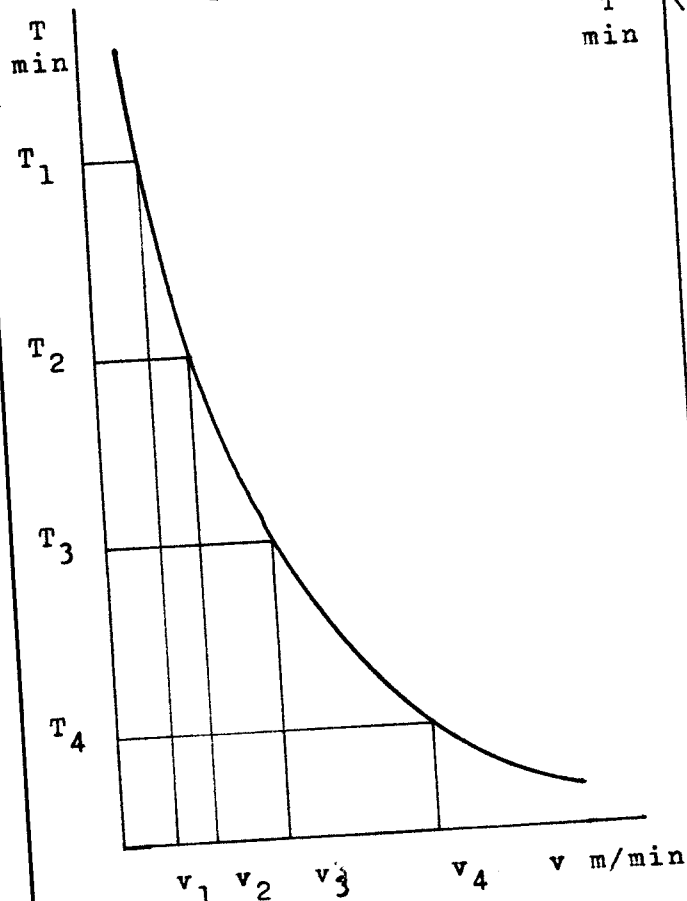
Vliv posuvu na trvanlivost nástroje je obdobný jako vliv řezné rychlosti. S rostoucím posuvem trvanlivost klesá.

Z řezných podmínek má nejmenší vliv na trvanlivost hloubka řezu. S rostoucí hloubkou řezu trvanlivost nástroje nepatrně klesá.

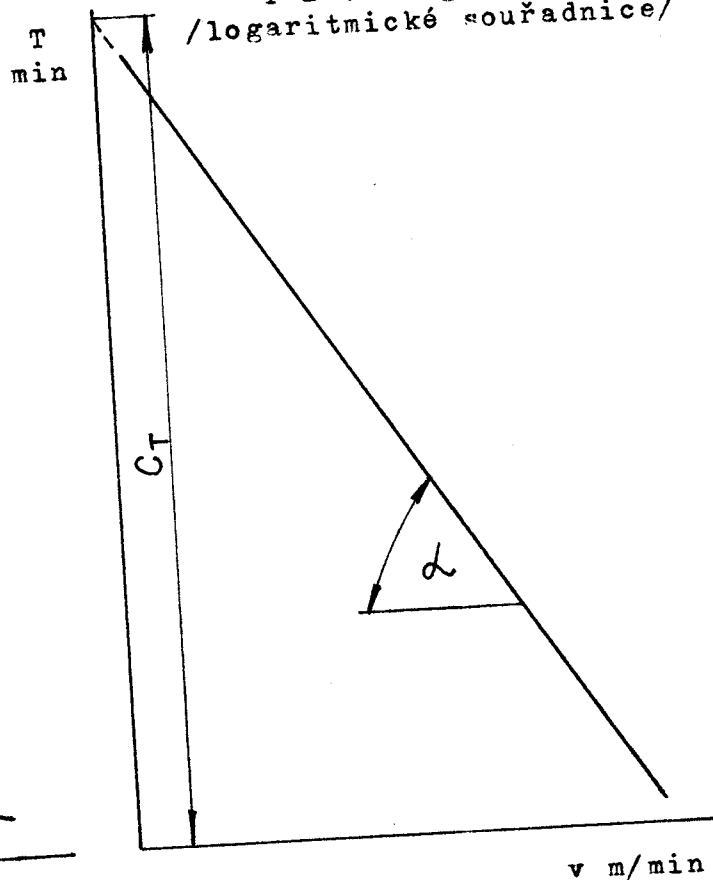
Křivky opotřebení



T - v diagram



T - v diagram
/logaritmické souřadnice/



obr. 2.3



2.7 Obrobitelnost /9/

Souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení kovů na průběh a na ekonomické, popřípadě i kvalitativní výsledky procesu řezání označujeme pojmem obrobitelnost.

Obrobitelnost kovů lze obecně posuzovat z hlediska vlivu materiálu obrobku na intenzitu otěru, z hlediska energetické bilance procesu řezání a také z hlediska jejich vlivu na proces tvoření třísky a vytváření nových povrchů na obrobku.

Materiály jsou rozděleny do jednotlivých tříd obrobitelnosti z hlediska výsledků zkoušek obrobitelnosti.

Podle způsobu provádění zkoušky obrobitelnosti rozlišujeme dlouhodobé a krátkodobé.

Provádí se soustružením dohodnutými řeznými podmínkami, druhem nástroje a jeho geometrií při obrábění několika, pokud možno více odstupňovanými řeznými rychlostmi, až do optimálního otupení břitu.

2.8 Řezivost

Řezivostí zpravidla rozumíme souhrn vlastností řezného materiálu, které ovlivňují velikost hospodárného úběru. Pro daný nástrojový materiál nelze stanovit absolutní hodnotu řezivosti. Nástroje různého provedení z téhož nástrojového materiálu mají řezivost rozdílnou.

Základní vlastností materiálu určující jeho řezivost je tvrdost, houževnatost a jejich závislost na teplotě a dále tepelné vodivosti a chemická aktivita vůči materiálu obrobku.

Smluvně je stupeň řezivosti charakterizován konstantami c_T a m ze vztahu (2.2) a řeznou rychlostí v_T , která odpovídá smluvní trvanlivosti T .

3. OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Optimalizaci řezných podmínek lze chápat jako stanovení optimálních hodnot určovaných podle uvažovaného optimalizačního kritéria v rámci omezujících podmínek. /7/

3.1 Konvenční optimalizace /7/

Provádíme-li optimalizaci řezných podmínek před vlastním obráběním, potom jde o optimalizaci konvenční. Používáme ji u strojů bez adaptivního řídicího systému.

3.1.1 Optimalizace - NSR /10/

Optimalizace je řešena z hlediska minimálních výrobních nákladů.

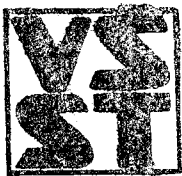
Náklady na nástroje tvoří část celkových výrobních nákladů. Srovnáme-li je s přímými a nepřímými náklady na mzdy, které tvoří více než 40 % celkových výrobních nákladů, není 6 %, bez uvažování nákladů na materiál, zanedbatelná částka.

Úspory na nástrojích, jak dokazuje nákladovostní analýza, přináší každoročně finanční ztráty vyjádřené v mil. DM.

Výrobní náklady jsou tvořeny proměnnými a konstantními náklady. Náklady na nástroje jsou proměnné náklady závislé na řezné rychlosti, podobně jako přímé náklady na mzdy.

Proměnné náklady členíme na náklady na nástroje K_w , které s řeznou rychlostí rostou, a na náklady na strojní práci K_p , které s řeznou rychlostí klesají (obr. 3.1). Složení nákladů na kus K_f i průběh optimální trvanlivosti T_o , která s růstem řezné rychlosti klesá, zachycuje (obr. 3.1). Nejvýhodnější oblast z hlediska nákladovosti je šrafovaná.

Závislost $T - v$ v logaritmických souřadnicích zobrazíme jako přímkou. Ze sklonu přímky trvanlivosti vyplývá důležité



kriterium pro určení řezné rychlosti. Poloha přímky opotřebení umožňuje posoudit řezné vlastnosti nástroje nebo vliv materiálu na opotřebení (obr. 3.2).

Stanovení optimální trvanlivosti T_0 z hlediska nákladovosti vychází ze vztahu

$$T = c \cdot v^k \quad (3.1)$$

a z matematického vztahu pro výrobní náklady na kus. Konečný vztah pro optimální trvanlivost T_0 získáme ve tvaru :

$$T_0 = (-k-1) \cdot t_w + \frac{W_T}{KM} \quad (3.2)$$

$(-k-1)$... faktor opotřebení 2

t_w ... čas výměny nástroje

W_T ... cena nástroje pro trvanlivost

KM ... výrobní náklady za minutu

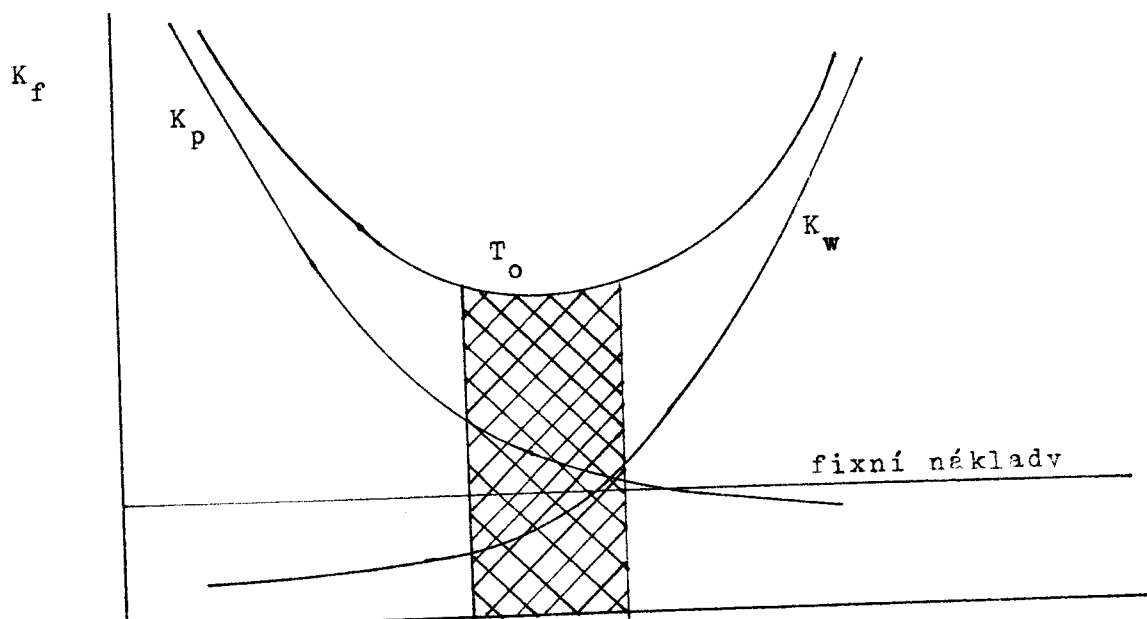
Určení výrobních nákladů za minutu se provádí zvlášť pro různé skupiny strojů, výrobní oblasti a skupiny řezných materiálů.

Vztahy pro určení výrobních nákladů za minutu KM :

$$KM = \frac{L + SGK + KMH}{60} + K_x \quad (3.3)$$

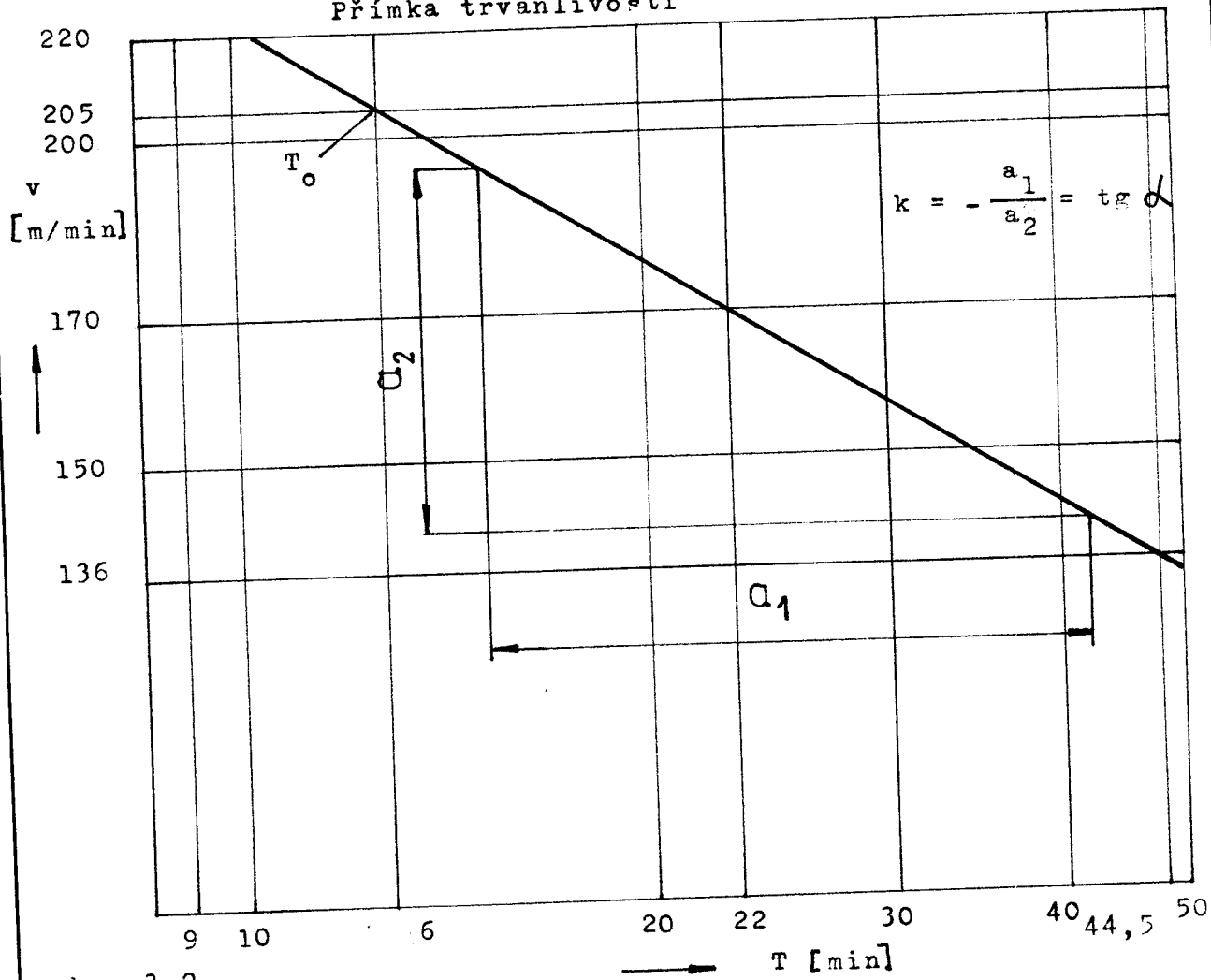
$$KMH = \frac{K_A + K_Z + K_I + K_E + K_R}{T_N} \quad (3.4)$$

Složení nákladů na kus



obr. 3.1

Přímka trvanlivosti



obr. 3.2



3.2. Adaptivní optimalizace /7/

Adaptivní optimalizace je optimalizace řezných podmínek během obrábění. Optimalizaci provádí adaptivní řídicí systém na základě informací o právě vyskytující se stavu řezného procesu.

Proces obrábění ovlivňuje neustále řada poruchových veličin, které působí rušivě na ustálený stav procesu. Poruchové veličiny působí bez naší vůle a úkolem adaptivních systémů obráběcích strojů je jejich vliv eliminovat tak, aby byla zajištěna optimálnost obrábění.

3.3 Kriteria optimálnosti /7/

Různá kriteria nám umožňují posuzovat jednotlivé obráběcí procesy. Prostřednictvím nich můžeme stanovit optimální hodnoty určovaných podmínek v rámci omezujících podmínek. Nejpoužívanějším kriteriem je kriterium minimálních výrobních nákladů, vyjimečně používáme kriterium maximální produktivity.

3.3.1 Kriterium minimálních výrobních nákladů /7/

Matematicky lze problém optimalizace řezných podmínek pomocí kriteria minimálních výrobních nákladů vyjádřit tak, že jde o nalezení absolutního minima nákladové funkce, v níž proměnné v, s, h, i, T jsou vázané soustavou omezujících podmínek. Kriterium můžeme formulovat

$$VN \rightarrow \min \quad (3.5)$$

Výrobní náklady VN , uvažujeme-li náklady plynoucí ze strojního času t_s a času na výměnu a znovuseřízení nástroje t_{vn} , lze rozepsat

$$VN = N_{sn} + N_{vn} \quad (3.6)$$

Náklady na strojní práci včetně nákladů na nástroje

N_{sn} obsahují :

- náklady na mzdu dělníka
- náklady na provoz stroje
- dílenské režijní náklady

Matematicky lze vyjádřit vztahem

$$N_{sn} = N_s + N_n = t_s \cdot \left[k_c \cdot \frac{M_o}{60} \left(1 + \frac{VR_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] + z_v \cdot N_{nT} =$$

$$= t_s \cdot N_{sm} + z_v \cdot N_{nT} \quad (3.7)$$

Hodinové náklady na provoz stroje N_{hs} vyjádříme vztahem

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E \quad (3.8)$$

kde O_s je odpis stroje

$$O_s = \frac{C_s}{Z_s \cdot F_{\check{z}} \cdot s_m \cdot \eta_s} \quad (3.9)$$

Koeficient časového využití stroje η_s se stanovuje z dlouhodobého průměru. Koeficient oprav a údržby stroje je dán podílem součtu ceny stroje, předpokládané částky za opravy, údržbu / za dobu životnosti stroje / a ceny stroje.

Počet výměn z_v při obrábění jedné součásti lze vyjádřit

$$z_v = \frac{t_s}{T} \cdot \tau, \quad (3.10)$$

kde τ je poměr skutečného času záběru a strojního času t_s .

Náklady na provoz nástroje, vztažené na jednu trvanlivost N_{nT} :

- pro celistvé přestřované nástroje :

$$N_{nT} = \frac{C_n - C_{zn}}{z_o + 1} + t_{os} \cdot k_c \cdot \frac{M_{os}}{60} \cdot \left(1 + \frac{VR_{os}}{100} \right) \cdot \frac{z_o}{z_o + 1} \quad (3.11)$$

- pro nástroje s výměnnými břitovými destičkami, které nepřestřujeme :

$$N_{nT} = \frac{C_d \cdot z_d}{z_b \cdot s_b} + (1 + k_{ut}) \cdot \frac{C_{tn}}{z_u} \quad (3.12)$$

--pro výměnné břitové destičky, které se přestřují :

$$N_{nT} = \frac{C_d \cdot z_d}{z_b \cdot s_b \cdot (z_o + 1)} + (1 + k_{ut}) \cdot \frac{C_{tn}}{z_u} + t_{os} \cdot k_c \cdot \frac{M_{os}}{60} \cdot \left(1 + \frac{VR_{os}}{100} \right) \cdot z_d \cdot \frac{z_o}{z_o + 1} \quad (3.13)$$

Náklady na výměnu a znovuseřízení N_{vn} obsahují :

- náklady na mzdu ostřiče
- náklady na provoz stroje
- dílenské režijní náklady

$$N_{vn} = t_{vn} \cdot \left[k_c \cdot \frac{M_s}{60} \cdot \left(1 + \frac{VR_d}{100} \right) + \frac{O_s}{60} \right] \cdot z_v =$$

$$= t_{vn} \cdot N_{vnm} \cdot z_v \quad (3.14)$$

Po dosazení do podmínky kritéria minimálních výrobních nákladů $VN \stackrel{!}{=} \min$ ze vztahů (3.6) , (3.7) , (3.10) , (3.14) obdržíme kritérium ve tvaru

$$VN = t_s \cdot N_{sm} + \frac{t_s}{T} \cdot \tau \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) \stackrel{!}{=} \min \quad (3.15)$$

Vyjádříme-li strojní čas $t_s = \frac{L}{n \cdot s}$, potom (3.16)

$$VN = \frac{L}{n \cdot s} \cdot N_{sm} + \frac{L}{n \cdot s \cdot T} \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) \stackrel{!}{=} \min \quad (3.17)$$

Po sloučení konstant vztahu (3.17) do konstant K_1 , K_2 obdržíme kritérium ve tvaru

$$\frac{K_1}{n \cdot s} + \frac{K_2}{n \cdot s \cdot T} \stackrel{!}{=} \min \quad (3.18)$$

kde

$$K_1 = L \cdot N_{sm} \quad (3.19)$$

$$K_2 = L \cdot \tau \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) \quad (3.20)$$

Na základě rovnice (3.17) pro určení výrobních nákladů dle uváděného kritéria můžeme odvodit vztah pro optimální trvanlivost. Po úpravě obdržíme vztah pro optimální trvanlivost z hlediska minimálních výrobních nákladů / lze dokázat, že jde o totální minimum kritériální funkce/

$$T_{optN} = \frac{t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}}{N_{sm}} \cdot \tau \cdot (m - 1) \quad (3.21)$$

$$\text{Úprava vychází ze vztahů (2.1) a } v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.22)$$

Příklad výpočtu optimální trvanlivosti z hlediska
kritéria minimálních výrobních nákladů. /8/

Zadání : soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou

SK P 20 / m = 2,8 /

Provádíme hrubování hřídele ϕ 25 x 35 z materiálu 12060
na univerzálním soustruhu SV 18 RA.

cena stroje C_s	= 50 100	[Kčs]
časový fond stroje	$\bar{C}_f = 1850$	[hod/rok]
koeficient časového		
vaužití stroje	$\eta_s = 0,75$	[-]
čas na výměnu		
a znovuseřízení nástroje	$t_{vn} = 2$	[min]
přirážka směnového času	$k_c = 1,13$	[-]
koeficient údržby a oprav	$k_{us} = 1,2$	[-]
náklady na nástroj		
na jednu trvanlivost	$N_{nT} = 5,90$	[Kčs]
poměr skutečného času záběru		
ke strojnímu času	$\gamma = 0,95$	[-]
životnost stroje	$Z_s = 14$	[rok]
směnost	$s_m = 2$	[-]
cena energie		
při obrábění	$C_E = 1,20$	[Kčs/hod]
mzda seřizovače	$M_s = 19,30$	[Kčs/hod]
mzda dělníka	$M_d = 19,30$	[Kčs/hod]
výrobní režie	$R_v = 300$	[%]



Výpočet :

odpis stroje vztah (3.9)

$$O_s = \frac{50100}{14 \cdot 1850 \cdot 2 \cdot 0,75} = 1,29 \text{ Kčs/hod}$$

hodinové náklady na provoz stroje vztah (3.8)

$$N_{hs} = 1,29 \cdot 1,2 = 2,75 \text{ Kčs/hod}$$

náklady na výměnu a znovuseřízení opotřebovaného nástroje

$$N_{vnm} = k_c \cdot \frac{M_s}{60} \left(1 + \frac{R_v}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \quad (3.23)$$

$$N_{vnm} = 1,13 \cdot \frac{19,30}{60} \left(1 + \frac{300}{100} \right) + \frac{2,75}{60} = 1,5 \text{ Kčs/min}$$

náklady na strojní práci

$$N_{sm} = k_c \cdot \frac{M_d}{60} \left(1 + \frac{R_v}{100} \right) \frac{1}{q} + \frac{N_{hs}}{60} \quad (3.24)$$

pro jednostrojovou obsluhu $q = 1$

$$N_{sm} = 1,13 \cdot \frac{19,30}{60} \cdot \frac{1}{1} \left(1 + \frac{300}{100} \right) \frac{2,75}{60} = 1,5 \text{ Kčs/min}$$

optimální trvanlivost vztah (3.21)

$$T_{optN} = \frac{2 \cdot 1,5 + 5,9}{1,5} \cdot 0,95 (2,8 - 1) = 10,15 \text{ min}$$

Optimální trvanlivost, v daném případě pro univerzální soustruh SV 18 RA a soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu P 20

$$T_{optN} = 10,15 \text{ min.}$$

3.3.2 Kriterium maximální produktivity /7/

Kriterium maximální produktivity je druhé nejdůležitější. Používáme ho v případě omezení výroby kapacitou výrobního zařízení, daným termínem dohotovení určitého počtu součástí. Maximální produktivitu můžeme vyjádřit jako maximální počet vyráběných součástí za jednotku času / minimální jednotku času/.

Kriterium vyjádříme ve tvaru

$$t_u = t_s + t_{vn} \cdot z_v \stackrel{!}{=} \min \quad (3.25)$$

kde t_u je čas operačního úseku /min/

Kriteria optimálnosti z hlediska minimálních výrobních nákladů a z hlediska maximální produktivity práce jsou matematicky stejná, lze je řešit stejným způsobem popřípadě kombinovat.

3.3.3 Kriterium maximálního úběru /7/

Kriterium shodné s kriteriem maximální produktivity za předpokladu, že jsme schopni určit optimální trvanlivost před optimalizací řezných podmínek. Obecně nelze oddělit optimalizaci trvanlivosti a řezných podmínek.

Matematicky lze vyjádřit kriterium maximálního úběru

$$U = v \cdot s \cdot h \stackrel{!}{=} \max \quad (3.26)$$



3.4 Omezující podmínky /7/

Výchozím údajem při optimalizaci řezných podmínek jsou kromě uvažovaného kritéria optimálnosti právě omezující podmínky.

Při výběru jednotlivých omezujících podmínek, které jako soubor charakterizují určitou technologii, musíme zvážit jejich nezbytnost. Není účelem stanovit velké množství omezujících podmínek, které by velkou měrou přispěly pouze ke zvýšení složitosti celé optimalizace řezných podmínek.

Omezující podmínky matematicky vyjadřujeme jako nerovnice, vyjimečně jako rovnice.

3.4.1 Omezení dané výkonem obráběcího stroje

Omezení výkonem obráběcího stroje je nejdůležitější při hrubování.

Formulujeme ho ve tvaru

$$P_{\text{řez}} = P_{\text{euž}} = P_e \cdot \eta \quad (3.27)$$

Vyjádříme-li výkon potřebný pro řezání $P_{\text{řez}}$ jako funkci řezných podmínek. Platí

$$60 P_{\text{řez}} = F_c \cdot v \quad (3.28)$$

Pro soustružení platí

$$F_c = k_{F_c} \cdot h^{x_{F_c}} \cdot s^{y_{F_c}} \cdot v^{z_{F_c}} \quad (3.29)$$

Po úpravě a vezme-li v úvahu poměrně malou závislost tangenciální složky řezné síly na řezné rychlosti $/z_{Fc}$ se blíží 0/, potom dostaneme uvažovanou omezující podmínku ve tvaru

$$h^{x_{Fc}} \cdot s^{y_{Fc}} \cdot n = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot P_e \cdot \eta}{k_{Fc} \cdot D} \quad (3.30)$$

3.4.2 Omezení dané maximálním přípustným kroutícím momentem

Toto omezení vychází hlavně z hlediska upínacího zařízení stroje / síly upnutí/.

Formulujeme ho ve tvaru

$$M_k = M_{kmax} \quad (3.31)$$

Kroutící moment M_k lze vyjádřit

$$M_k = \frac{F_c \cdot D}{2} \quad (3.32)$$

Dosaďme-li za F_c z rovnice (3. 29) potom po úpravě obdržíme pro soustružení vztah

$$h^{x_{Fc}} \cdot s^{y_{Fc}} = \frac{2 \cdot M_{kmax}}{k_{Fc} \cdot D} \quad (3.33)$$

3.4.3 Omezení dané maximální přípustnou řeznou silou

Pevnost nástroje a obrobku je hlavním důvodem omezující podmínky z hlediska maximální přípustné řezné síly.

Formulujeme jí ve tvaru

$$F_c = F_{cmax} \quad (3.34)$$

Po dosazení za F_c z rovnice (3. 29) a úpravě obdržíme omezující podmínku ve tvaru

$$h^{x_{Fc}} \cdot s^{y_{Fc}} = \frac{F_{cmax}}{k_{Fc}} \quad (3.35)$$

3.4.4 Omezení dané vhodným utvářením třísky

Při technologických operacích, kdy sám technologický proces nezajišťuje dělení třísek, je nutné zejména u strojů bez přímého dohledu obsluhy zabezpečit obrábění v rozsahu řezných podmínek, kde dochází ke shodnému utváření /dělení/ třísek.

Omezení plyne z požadavku :

- aby se třísky nevhodným utvářením nedostávaly zpět k ostří, kde by mohly způsobit destrukci břitu
- aby třísky neobalovaly nástroj a neznemožňovaly tak jeho automatickou výměnu

Oblast vhodného utváření se udává v souřadnicích hloubka řezu h , posuv s , vždy pro určitou řeznou rychlost, určitý břit nástroje a určitý obráběný materiál. Se zvyšující se řeznou rychlostí se oblast shodného utváření zmenšuje.

Bez znalosti diagramů vhodného utváření není možné provádět spolehlivou optimalizaci řezných podmínek na strojích pracujících bez přímého dohledu. Pokud nejsou tyto diagramy známy, je nutné je experimentálně stanovit.

Omezení formulujeme ve tvaru

$$s \leq s_{\text{umax}} \quad (3.36)$$

$$s \geq s_{\text{umin}} \quad (3.37)$$

3.4.5 Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy

Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy je důležitým omezením při obrábění na čisto.

Formulujeme ho ve tvaru

$$R_a \leq R_{\text{amax}} \quad (3.38)$$

Existuje řada empirických i teoreticky odvozených vztahů s omezenou platností, při konkrétních podmínkách obrábění. Univerzální vztah se doposud nepodařilo stanovit.

3.4.6 Omezení dané požadovanou přesností obrobene plochy

Dalším omezením při dokončovacích operacích je omezení z hlediska požadované přesnosti obrobene plochy. Neuvažujeme-li nepřesnost vlivem radiálního otupení nástroje, je nepřesnost způsobena elastickou deformací soustavy stroj - nástroj - obrobek

3.4.7 Omezení dané minimálními a maximálními otáčkami

z hlediska stroje

Formulujeme ho ve tvaru

$$n \leq n_{\text{max}} \quad (3.39)$$

$$n \geq n_{\text{min}} \quad (3.40)$$

3.4.8 Omezení dané minimálním a maximálním posuvem z hlediska

stroje

Formulujeme ho ve tvaru

$$s \leq s_{\text{max}} \quad (3.41)$$

$$s \geq s_{\text{min}} \quad (3.42)$$

3.4.9 Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem

Toto omezení má vyjimečné postavení mezi ostatními.

Omezující podmínka je rovnicí a kromě toho je funkcí trvanlivosti nástroje. Tyto skutečnosti ovlivňují významně matematické řešení úloh optimalizace řezných podmínek.

Obrobitelnost obráběného materiálu lze charakterizovat funkčním vztahem mezi proměnnými řezného procesu. Podobně i řezivost nástroje a řezné prostředí. Obrobitelnost, řezivost i působení řezného prostředí spolu úzce souvisí. Se zřetelem

na to, že dnes nejeme schopni charakterizovat obrobiteľnosť /řezivost a řezné prostředí/ pomocí základních fyzikálních, chemických veličin, chrakterizujeme nejčastěji obrobiteľnosť materiálu pro optimalizaci řezných podmínek pomocí komplexního Taylorova vztahu, který je současně charakteristikou řezivosti a řezného prostředí.

Pro soustružení lze napsat komplexní Taylorův vztah (2.1)
Dosaďme-li za v ze vztahu (3.22)
obdržíme omezující podmínku ve tvaru

$$h_v \cdot s_v \cdot n = \frac{100 \cdot c_v}{D \cdot T^{1/m}} \quad (3.43)$$

3.4.10 Komplexní omezující podmínka

Komplexní omezující podmínka je výsledkem snahy sloučit působení uvedených obtížně stanovitelných faktorů do společných závislostí i za cenu určité nepřesnosti.

3.4.11 Organizační omezení

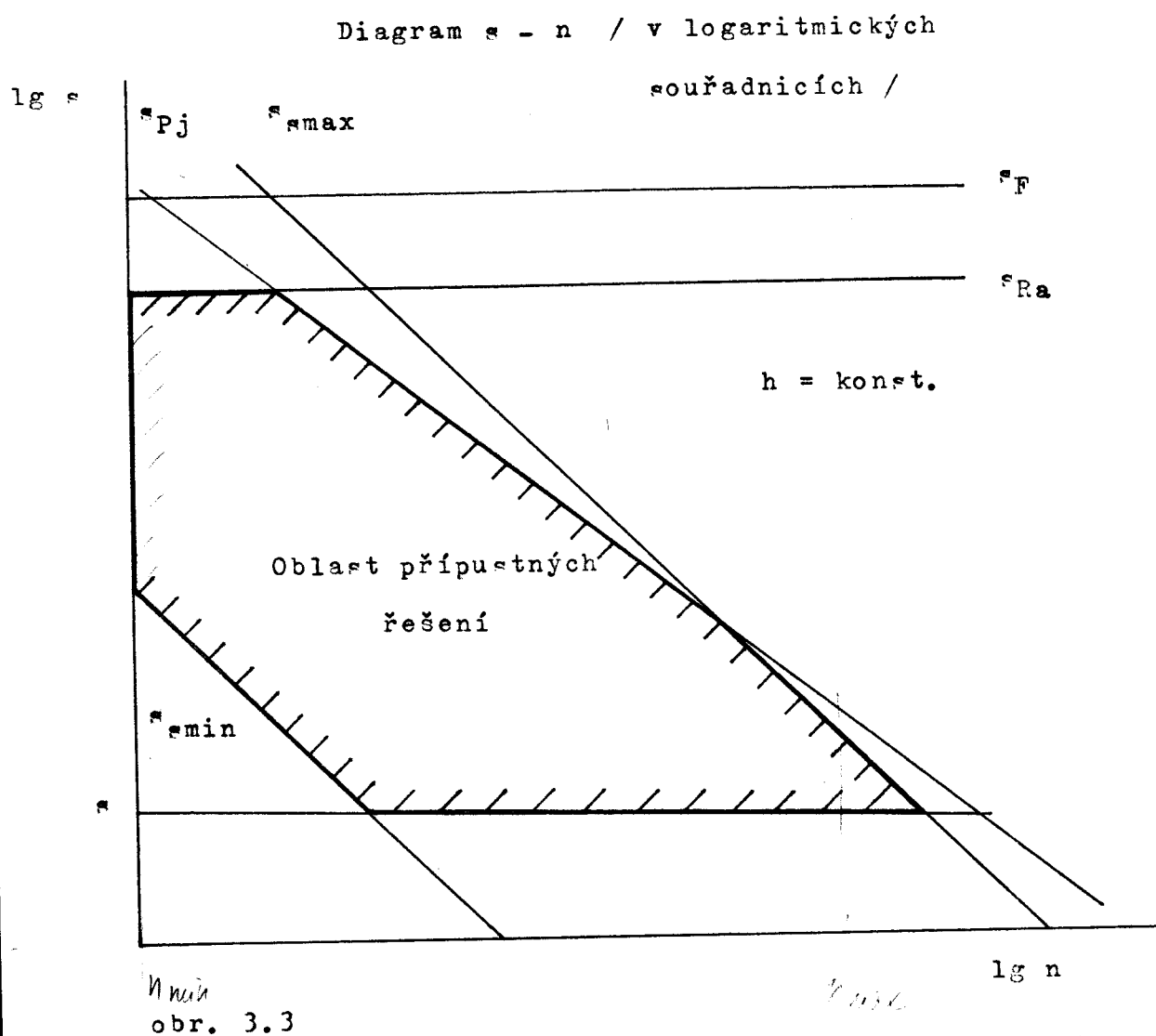
Kromě omezení technického charakteru mohou přicházet v úvahu omezení organizačního charakteru. Při jednostrojovém obrábění je to omezení z hlediska množství unikátních nástrojů, časové rozmezí, ve kterých seřizovač může provádět výměnu nástrojů apod.

Matematická formulace je závislá na konkrétních podmínkách.

3.5 Oblast přípustných řešení

Oblastí přípustných řešení optimalizace řezných podmínek rozumíme společnou oblast všech omezujících podmínek, které se

v dané optimalizační úloze vyskytují. Algoritmy optimalizačních úloh vesměs vycházejí z určité hodnoty hloubky řezu h , proto diagram $s - n$ při konstantní hloubce řezu h v logaritmických souřadnicích (obr. 3.3) dává dobrou představu o oblasti přípustných řešení pro danou optimalizační úlohu. /7/



3.6 Algoritmus - optimalizace řezných podmínek - soustružení

Algoritmus řeší optimalizaci řezných podmínek při soustružení. Je vhodný především pro stroje se stupňovitou změnou otáček.

Jak vyplývá z úvodní části je spočátku nutné stanovit kritérium optimálnosti a soubor omezujících podmínek. Algoritmus optimalizuje na základě kritéria minimálních výrobních nákladů. Soubor omezujících podmínek, které algoritmus s kritériem optimálnosti spoluutvářejí, tvoří:

- Omezení dané maximální přípustnou řeznou silou. Porovnáváme maximální řeznou sílu uvedenou výrobcem pro uvažovaný obráběcí stroj s hodnotou vypočítanou. Hodnota je stanovena dle vztahu /3.35/ na základě konstant a řezných podmínek.

- Omezení z hlediska drsnosti obrobené plochy. Omezující podmínka (3.38) je vyjádřena jedním z empirických vztahů ve tvaru: /9/

$$S_{Ra} = \left[\frac{Ra \cdot (8 \cdot r)^{0,23}}{2,44 - 0,48 \cdot r} \right]^{0,46} \quad [\text{mm/ot}] \quad (3.44)$$

kde S_{Ra} ... omezující posuv z hlediska drsnosti obrobené plochy $[\mu\text{m}]$

r ... poloměr špičky nástroje břitové destičky $[\text{mm}]$

Dosud uvedená omezení nejsou vázána otáčkami stroje.

Jejich počet nebylo možno rozšířit o další dvě omezení.

Omezení dané maximálním kroutícím momentem M_k posuzuje bezpečnost upnutí obráběného materiálu z hlediska upínacích sil.

Pro nejužívanější z upínacích zařízení, které by mohlo být příčinou kolize, univerzální sklíčidlo, nejsou k dispozici potřebné hodnoty upínacích sil. Omezení z hlediska vhodného



utváření třísky je pro počítačem zpracovaný algoritmus velice složité vzhledem ke svému zpracování v grafických závislostech a jeho vliv na optimalizaci je zanedbatelný.

Další omezení závisí již na změně otáček soustruhu.

- Omezení dané maximálním výkonem stroje.

Podobně jako u předcházejícího omezení maximální řeznou silou porovnáváme vypočítané hodnoty výkonu stanovené z řezných podmínek a hodnotu uváděnou výrobcem pro soustruh.

- Omezení dané maximálním a minimálním posuvem z hlediska stroje.

Optimální hodnoty posuvů musí být v rozsahu posuvů dosažitelných na soustruhu.

- Omezení dané maximálními a minimálními otáčkami stroje.

Platí pro něj stejně jako u posuvů, řeší dosažitelnost optimálních hodnot na stroji.

Všechna uvedená omezení, kromě omezení otáček stroje, jsou převedena do jednotného tvaru.

- Omezení jsou dále zpracovávána prostřednictvím posuvů pro uvažovanou hloubku řezu a otáčkový stupeň. Postupným zavedením jednotlivých omezení získáváme oblast přípustných řešení obr. 3.3

- Otáčky z hlediska stroje jsou omezeny tím, že jednotlivé stupně otáčkové řady začínají právě minimálními otáčkami řady. Postupným násobením kvocientem otáčkové řady se hodnoty otáček zvyšují. Dosažení maximálních hodnot otáčkových řad je opět zabezpečeno, známe počet stupňů otáčkové řady stroje. Kvocient řady stanovíme ze vztahu

$$Q = (NSMAX / NSMIN)^{(1/N-1)} \quad (3.4.5)$$

Algoritmus vychází ze vstupních veličin. Postupně se zadávají hodnoty charakteristické pro určitou operaci obrábění, doplněné potřebnými konstantami. Po zadání hodnot sloučíme vybrané, shodné hodnoty do konstant K_1, K_2 . Následuje vyjádření posuvových omezení s_{Mk}, s_F /omezení daná maximálním krouticím momentem M_k a maximální řeznou silou F_{cmax} /. Stanovíme kvocient otáčkové řady ze vztahu (3.4.5).

Nyní zavedeme do algoritmu uzavřený cyklus. Uzavřeného cyklu můžeme použít na základě znalosti otáčkové řady obráběcího stroje. Postupně stanovíme hodnoty otáčkových stupňů, jejichž maximální hodnotu střežíme porovnávacím členem. Na základě těchto hodnot obdržíme hodnoty posuvných omezení závislých na otáčkách obráběcího stroje. Výsledkem jsou nejdříve hodnoty maximálně přípustných posuvů daných jednotlivými omezujícími podmínkami, které omezují posuv shora, doplněné zadávaným posuvem. Optimální hodnotou ze všech těchto posuvů je minimální hodnota. Posuv zajišťující omezení zdola je hodnota uváděná výrobcem. Nakonec provedeme pro daný otáčkový stupeň kontrolu, zda optimální hodnota posuvu stanovená z maximálně přípustných posuvů je větší než minimálně přípustná hodnota. Pokud tomu tak není, neexistuje pro uvažovaný otáčkový stupeň řešení.

Splňuje-li otáčkový stupeň tuto podmínku, může stanovit jednotlivé hodnoty: trvanlivost T_j , výrobní náklady VN_j , minutový posuv stroje s_{mj} , posuv stroje s , řeznou rychlost v_j a strojní čas t_{sj} . Uvedené hodnoty jednotlivých otáčkových stupňů porovnáваме na základě kriteria minimálních výrobních nákladů $VN_{opt} < VN_j$. Výsledkem jsou stanovené optimální hodnoty pro celou otáčkovou řadu obráběcího stroje.

3.6.1 Vývojový diagram - optimalizace

Popis vývojového diagramu optimalizace řezných podmínek
- soustružení :

- Hodnotu proměnné $VN1$ stanovíme rovnu 10E35. Proměnná $VN1$ bude v průběhu řešení nabývat různých hodnot. Velice vysoká počáteční hodnota proměnné $VN1$ umožní, po porovnání s první vypočítanou hodnotou, změnu proměnné $VN1$ na tuto hodnotu.

- Zadáme postupně vstupní hodnoty :

R_a	... drsnost povrchu	... R_A /v programu /
r	... poloměr špičky	... R
s	... posuv stroje	... S
D	... průměr obrobku	... D
L	... délka obrábění	... L
h	... hloubka řezu	... H
τ	... poměr času záběru k strojnímu času	... TAU
k_{Fc}	... konstanta	... KFC
x_{Fc}	...	... XFC
y_{Fc}	...	... YFC
m	...	... M
N_{sm}	... náklady na strojní práci	... NSM
N_{vnm}	... náklady na výměnu a znovuseřízení nástroje	... $NVNM$
N_{nT}	... náklady na jednotku .. trvanlivosti	... NNT

t_{vnm}	... čas na výměnu a znovu- ... TVNM seřízení nástroje	
P_e	... výkon hlavního elektro- ... PE motoru	
η	... účinnost stroje	... ETA
n_{smax}	... max. otáčky stroje	... NSMAX
n_{smin}	... min. otáčky stroje	... NSMIN
F_{cmax}	... max. řezná síla	... FCMAX
s_{smax}	... max. posuv stroje	... SSMAX
s_{smin}	... min. posuv stroje	... SSMIN
nn	... počet stupňů otáčkové	... JJ
	řady stroje	

Stanovíme hodnoty konstant K_1 , K_2 a hodnoty posuvů SF , SRA na základě příslušných omezení /z hlediska max. řezné síly a požadované drsnosti obrobenej plochy/.

Průběh dalšího výpočtu již probíhá v uzavřeném cyklu od 1 do JJ . pro hodnotu $J = 1$ je $NJ = NSMIN$. Pro $J = 1$ otáčky NJ nabývají postupně hodnot otáčkové řady soustruhu. Získáme je umocňováním kvocientu Q hodnotou $(JJ-1)$. Stanovíme hodnotu posuvu SPJ /omezení z hlediska výkonu stroje/.

Vyhledáme minimum z hodnot S , SPJ , $SSHJ$, SRA , SF /Příloha 4 /. Porovnáme posuvy $SMINJ$ a $SMAJ$, je-li podmínka splněna, následuje stanovení hodnot TJ , SMJ , VNJ , VJ , TSJ . Přiřadíme $VN2 = VNJ$, a je-li splněna podmínka $VN2 < VN1$, vypočítané hodnoty budou pro příslušný otáčkový stupeň J optimální. Před ukončením cyklu provedeme $VNOPT = VN1$. řešením získáme optimální řezné podmínky.



3.6.2 Program Optimalizace řezných podmínek - soustružení

- Turbo Pascal3- / Popis pro uživatele /

Vstupní hodnoty zadáváme na základě výzvy na obrazovce monitoru / například Drsnost povrchu [μm] ... RA : /.

Zadáním hodnoty pokračuje zadávání vstupních hodnot, postupně se objevují další výzvy. Poslední zadávanou hodnotou je počet otáčkových stupňů JJ. Zadáním JJ odstartujeme řešení optimalizace pro zadané konkrétní hodnoty.

Zadávání konstant pro výpočet řezné síly F_c , XFC, YFC, KFC a konstant taylorova vztahu CV, XV, YV, M je obohaceno nabídkou několika hodnot, které se před zadáním zobrazí na monitoru.

Po provedení výpočtu se zobrazí na monitoru optimální řezné podmínky :

SMOPT :

SSOPT :

NOPT :

TOPT :

VOPT :

TSOPT :

VNOPT :

Program ukončuje dotaz " pokračovat ? ". Chceme-li pokračovat splníme přiřazení " ANO ... 1 ", stlačíme na klávesnici tlačítko "1", v opačném případě tlačítko "2".



4. DATABANKA

Informace v určitém rozsahu postihující konkrétní problematiku /například soustružení /, uspořádané vhodným způsobem, dostupné z medií vnějších pamětí s velkou kapacitou a využívané programovým vybavením počítače nazýváme databankou.

V dnešní době informačního přesycení jejich význam zasahuje snad každé odvětví.



4.1 Sběr a výběr dat

Původní záměr získat potřebná data přímo z výroby jednotlivých podniků, jimiž jsme se zabývali, nesplnil předpokládaný efekt. Data byla příliš různorodá a nepostihovala řezné podmínky v dostatečném rozsahu.

Databanka zahrnuje řezné podmínky soustružnických noží s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Řezné podmínky u nás vyráběných vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů poskytuje katalog výrobce těchto břitových destiček n.p. Pramet Šumperk. Databanka řezných podmínek pro soustružení využívá těchto hodnot. Řezné podmínky jsou rozděleny pro jednotlivé vícerozsahové slinuté karbidy.

Přehled víceúčelových slinutých karbidů: /11/

SK S 20

Nahrazuje: V plném rozsahu stávající druh S 2 a části S 1 při použití vyšších řezných rychlostí.

Doporučené použití: Je určen pro hlazení a polohrubování soustružením, kopírovacím soustružením ocelí 400 až 1200 MPa, ocelolitiny, temperované litiny s dlouhou třískou, nerezových ocelí při středních a vyšších rychlostech a středních průřezech třísky. Vhodný především pro nepřerušovaný řez, čistý povrch bez písku a vměstků.

SK S 30

Nahrazuje: V plném rozsahu stávající druh S 3, z části S 4 pro oblast menších průřezů třísek a U 1 s možností používat vyšších řezných rychlostí.

Doporučené použití: Je určen hlavně pro hrubování soustružením výkovků s okujemi, odlitků s povrchovými nečistotami, pro přeru-



šované řezy, nerovnoměrnou hloubku třísky. Pro svou houževnatost je vhodný i pro méně tuhé, starší obráběcí stroje, střední až nízké řezné rychlosti a větší průřezy třísek.

SK S 45

Nahrazuje: V plném rozsahu stávající druhy S 4, S 5 a U 3.

Doporučené použití: Je určen pro těžké hrubování ocelí do 1000 MPa a ocelolitiny soustružením. Je vhodný pro těžké přerušované řezy, proměnlivou hloubku třísky, nerovný a nečistý povrch s kůrou, vměstky a pískem. Vhodné použití na starších méně tuhých strojích.

SK U 20

Nahrazuje: V plném rozsahu stávající druh U 2 a na některých operacích druh S 4, zvláště při hrubování austenitických ocelí.

Doporučené použití: Je určen pro hrubování soustružením oceli do 1200 MPa, ocelolitiny, manganových ocelí. Vhodný pro přerušovaný řez a nečistý povrch. Možnost použití na starších, méně tuhých strojích. Pro širší rozsah použití vhodný pro údržbářské dílny. Použití za středních a nižších řezných rychlostí při větších průřezech třísky.

SK H 05

Nahrazuje: V plném rozsahu s vyššími řeznými parametry stávající druhy H 3 a H 2.

Doporučené použití: Je určen pro soustružení šedé litiny, kalených ocelí, tvrzené litiny, hliníkových slitin s vyšším obsahem křemíku, tvrzeného papíru a umělých hmot. Vysoká trvanlivost je podmíněna použitím tuhých obráběcích strojů, kde nedochází ke chvění.



SK H 10

Nahrazuje: V plném rozsahu stávající druhy H1 a G1 s vyššími řeznými parametry.

Doporučené použití: Je určen pro hlazení, polohrubování a jemné obrábění soustružením šedé litiny neželezných kovů, kalené oceli, umělých hmot, automatových ocelí do 500 MPa, temperované litiny. Obrábění na tuhých strojích, kde nedochází ke chvění. Je vhodný i pro opracování obrobku s nečistým povrchem, nerovnoměrnou hloubkou třísky a mírně přerušovaným řezem.

Materiály obráběné uvedenými břitovými destičkami spolu s příslušnými řeznými podmínkami obsahují přílohy 8 - 13.

4.2 Vstupní data

Vstupními hodnotami databanky řezných podmínek jsou:

- průměr obrobku D [mm]
- hloubka řezu H [mm]
- měrný řezný odpor F [MPa]

hodnoty dosažitelné na použitém soustruhu

- maximální řezná síla FCMAX [N]
- maximální výkon PMAX [W]
- mechanická účinnost stroje ETA [-]
- způsob obrábění (hrubování nebo načisto)

Pro zařazení obráběného materiálu do skupin je nutné znát také tvrdost HB (HRC).

Pokud by databanka využívala na vstupu programové zařazení do skupin materiálů /Příloha 6,7/ je nutné doplnit data o kód ČSN.



4.3 Algoritmus - Databanka řezných podmínek - Soustružení

Databanka poskytuje soubor informací potřebný pro stanovení řezných podmínek při soustružení.

Zadáme vstupní data, zařadíme obráběný materiál do nabídky skupin materiálů a s využitím znalosti o tvrdosti HB / HRC pro kalenou ocel/ vybereme řezné podmínky.

Rozhodneme o způsobu provádění operace. Budeme-li soustružit načisto, jsou vybrány řezné podmínky výsledkem. Při hrubování porovnáváme maximální řeznou sílu a maximální výkon stroje s vypočítanými hodnotami na základě vybraných řezných podmínek.

Algoritmus umožňuje velice jednoduchým způsobem ovlivnit řezné podmínky z hlediska geometrie břitu.

Nyní podrobněji k testování obráběného materiálu podle označení normou ČSN. Základem je šestimístné číslo/ABCDEG/. Oceli se zadávají ABCDE.G /11 500.0/, kde G je označení tepelného zpracování, a ostatní ABCDE /42 25 20/.

Nejdříve se rozdělí materiály na oceli a ostatní podle první číslice /oceli 1/. Oceli se následně dělí na skupiny podle tepelného zpracování.

Rozdělení ocelí do skupin:

ocel uhlíková normalizovaná

ocel slitinová žíhaná

ocel slitinová zušlechtěná

ocel kalená

nerez ocel

Dělení probíhá podle šesté číslice a podle druhé a třetí číslice.



Ostatní materiály dělíme opět podle první číslice.

Nabývá-li hodnoty 4 postupně materiály dělíme, jak je zřejmé z vývojového diagramu /viz příloha/ litiny:

- tvárná litina
- tvrzená litina
- šedá litina
- temperovaná litina

dále ocelolitina, bronzy, mosazi, hliník a jeho slitiny. Dělení podle 3. a 4. číslice. Nabývá-li první číslice hodnoty 6 jde o ~~umělé hmoty~~. *plasty*

Chceme-li použít databanku pro materiál, který nebyl zařazen do žádné ze skupin materiálu, využijeme nabídky parametrů známých materiálů. Materiál se snažíme zařadit podle podobných vlastností.



4.4 Program Databanka řezných podmínek - soustružení

- Turbo Pascal 3 / Popis pro uživatele /

Uživatel má k dispozici databanku v rozsahu asi 250 dat, postihující řezné podmínky vícerozsahových vyměnitelných destiček ze slinutých karbidů.

Na začátku rozhodneme o druhu obráběného materiálu :

- ocel, ocelolitina
- litina, bronz, mosaz, hliník a slitiny, umělé hmoty .

Každý materiál má kód, který po zařazení materiálu zadáme spolu s vstupními hodnotami :

- řezný odpor F [MPa]
- průměr obrobku D [mm]
- hloubka řezu H [mm]
- maximální řezná síla $FCMAX$ [N]
- maximální výkon stroje $PMAX$ [W]
- způsob soustružení HRUBOVÁNÍ , NAČISTO

Kontrola z hlediska $FCMAX$ a $PMAX$ se provádí pouze při soustružení hrubováním. Na základě zadaných hodnot poskytne databanka příslušné řezné podmínky, získáme hodnoty :

- posuvu s [mm/ot]
- řezné rychlosti v [m/min]
- otáček n [1/min]

pro příslušný druh slinutého karbidu.

Máme možnost vybrat další data /"Chceš další data ?

1...ano, 2...ne "/ nebo změnit materiál /"Chceš si vybrat data pro obrábění jiného materiálu ? "/.



5. HODNOCENÍ

Cílem diplomové práce je databanka a optimalizace řezných podmínek pro soustružení. Obě části jsou řešeny samostatně v programovacím jazyce Turbo Pascal 3 a zaznamenány na disketě.

Databanka umožní svým rozsahem pokrýt potřeby soustružení vícerozsahovými břitovými destičkami ze slinutých karbidů u nás vyráběnými / S 20, S 30, S 45, U 20, H 05, H 10 /. Obsahuje celkem asi 250 dat řezných podmínek s možností následného doplnění.

Optimalizace řezných podmínek je řešena na základě kritéria minimálních výrobních nákladů s omezujícími podmínkami ve formě posuvů SF, SRA, SPJ, SS MAX, SS MIN. Program je odladěn pro konkrétní vstupní hodnoty :

RA = 6,3 [μ m]	... Drsnost povrchu
R = 1 [mm]	... Poloměr špičky
S = 0,2 [mm/ot]	... Posuv stroje
D = 200 [mm]	... Průměr obrobku
L = 100 [mm]	... Délka obrábění

konstanty pro výpočet řezné síly F_c

$$KFC = 2000$$

$$XFC = 1$$

$$YFC = 0,78$$

konstanty Taylorova vztahu

$$CV = 488$$

$$XV = 0,18$$

$$YV = 0,16$$

$$M = 2,35$$



6. ZÁVĚR

Databanka a optimalizace řezných podmínek mohou značnou měrou přispět ke zvýšení hospodárnosti obrábění. Jejich hlavním přínosem je pružně reagovat a vyhledávat nejvýhodnější postupy obrábění, prostřednictvím optimálních řezných podmínek, z hlediska minimálních výrobních nákladů. Optimalizace řezných podmínek je jednou z cest odstranění rezerv v oblasti řezných nástrojů ve výrobě. Stanovení optimálních hodnot je počátkem.

Výraznými faktory ovlivňujícími výrobní náklady jsou možnosti používaných strojů, které nemusí být odpovídající možnostem řezných materiálů.

Rozhodujícím způsobem ovlivníme proces obrábění dodržetím hodnot nejvýhodnější oblasti z hlediska minimálních výrobních nákladů. Při soustružení přední osy se zvýšením původní řezné rychlosti $v = 120$ m/min na $v = 205$ m/min, které již patří do rozsahu optimálních řezných rychlostí $v = 180 + 215$ m/min, zvýší náklady na stroje asi o 7000 DM, ale získáme úsporu celkových nákladů 17 350 DM na 500 000 kusů./10/

Děkuji ing. Vladimíru Gabrielovi za předané zkušenosti a odborné vedení při řešení diplomové práce.

Pavel Gabriel

Liberec, červen 1989

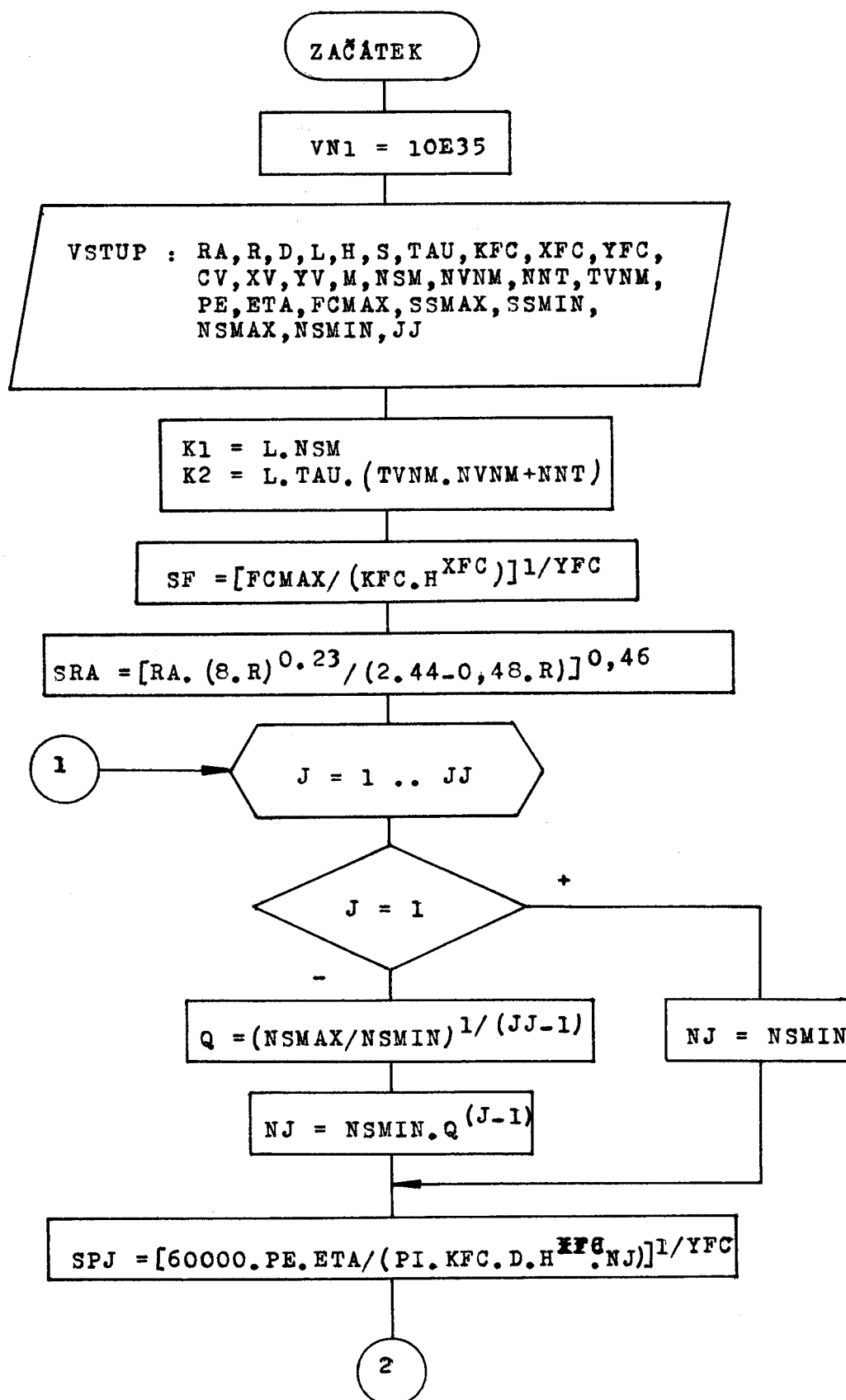


SEZNAM LITERATURY

- / 1/ ČERNOCH, S.: Strojně technická příručka, Praha, SNTL 1977
- / 2/ DRÁB, V.: Technologie 1, Liberec, VŠST 1985
- / 3/ FIŠER, M.- PÁTKOVÁ, Z.: MikroPascal, AGRODAT 1987
- / 4/ GABRIEL, V.- BUKAČ, K.: Vypracování návrhu normy metodiky
zkoušení řezivosti jednobřitových ná-
strojů ze slinutého karbidu a metodiky
zkoušení obrobiteľnosti kovových mate-
riálů nástrojem ze slinutého karbidu,
Liberec, VŠST 1974
- / 5/ JINCH, J.-MÜLLER, K.- VOGEL, J.: Programování v jazyku Pascal,
Praha, SNTL 1987
- / 6/ KRIŠTOV, J.-LUBOJACKÝ, O.: Základy strojního inženýrství,
Liberec, VŠST 1985
- / 7/ MÁDL, J.: Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění,
Praha, ČVUT 1988
- / 8/ MÁDL, J.: Technologie obrábění a montáže návody ke cvičení,
Praha, ČVUT 1987
- / 9/ PŘIKRYL, Z.-MUSÍLKOVÁ, R.: Teorie obrábění, Praha, SNTL 1982
- / 10/ UEDELHOVEN, J.: Spanende Werkzeuge in der modernen Fertigung,
Köln 1969
- / 11/ Katalog n.p. Pramet Šumperk : Vyměnitelné břitové destičky,
Šumperk 1987

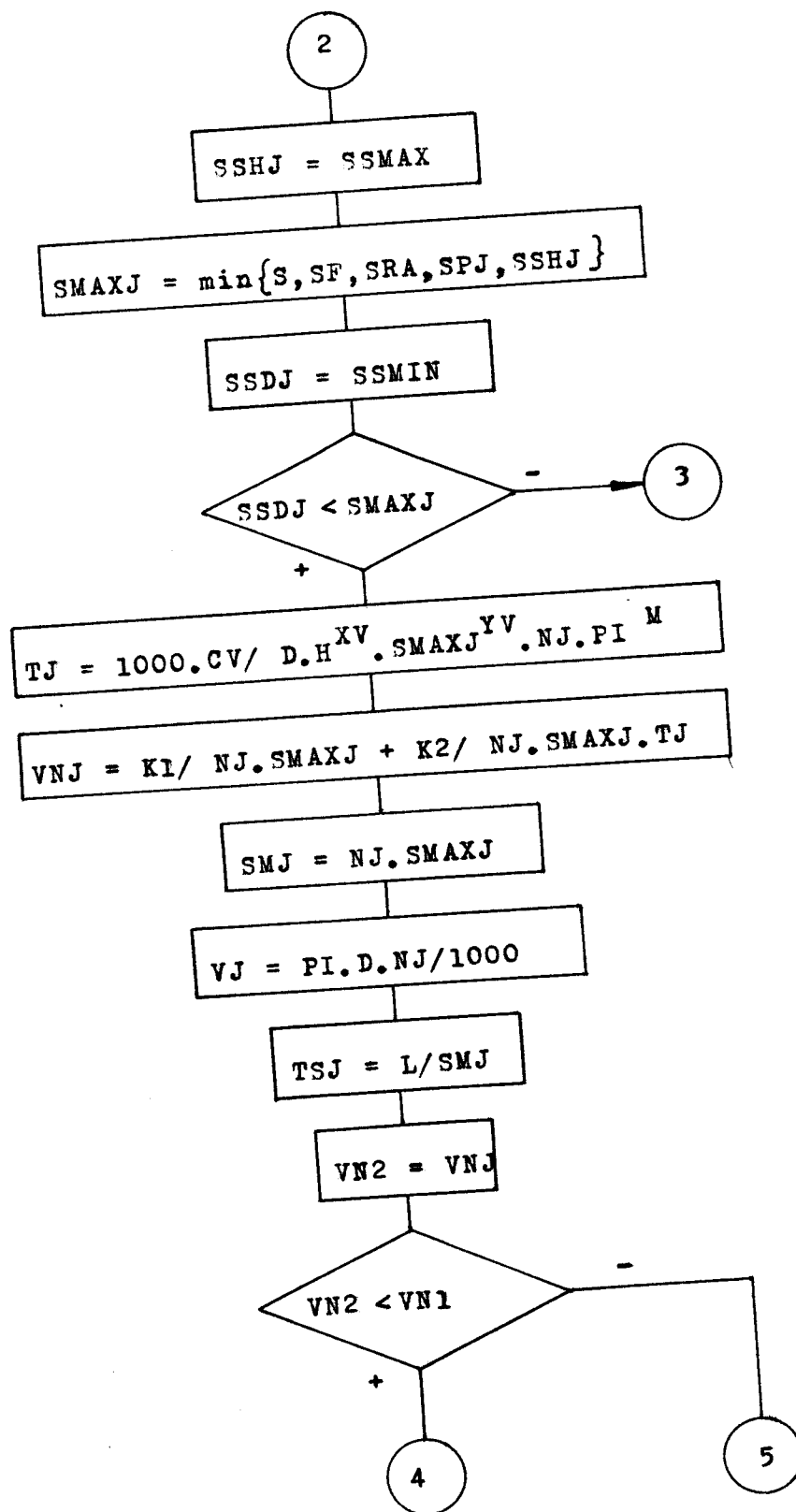
PŘÍLOHA 1

VÝVOJOVÝ DIAGRAM OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK / SOUSTRUŽENÍ



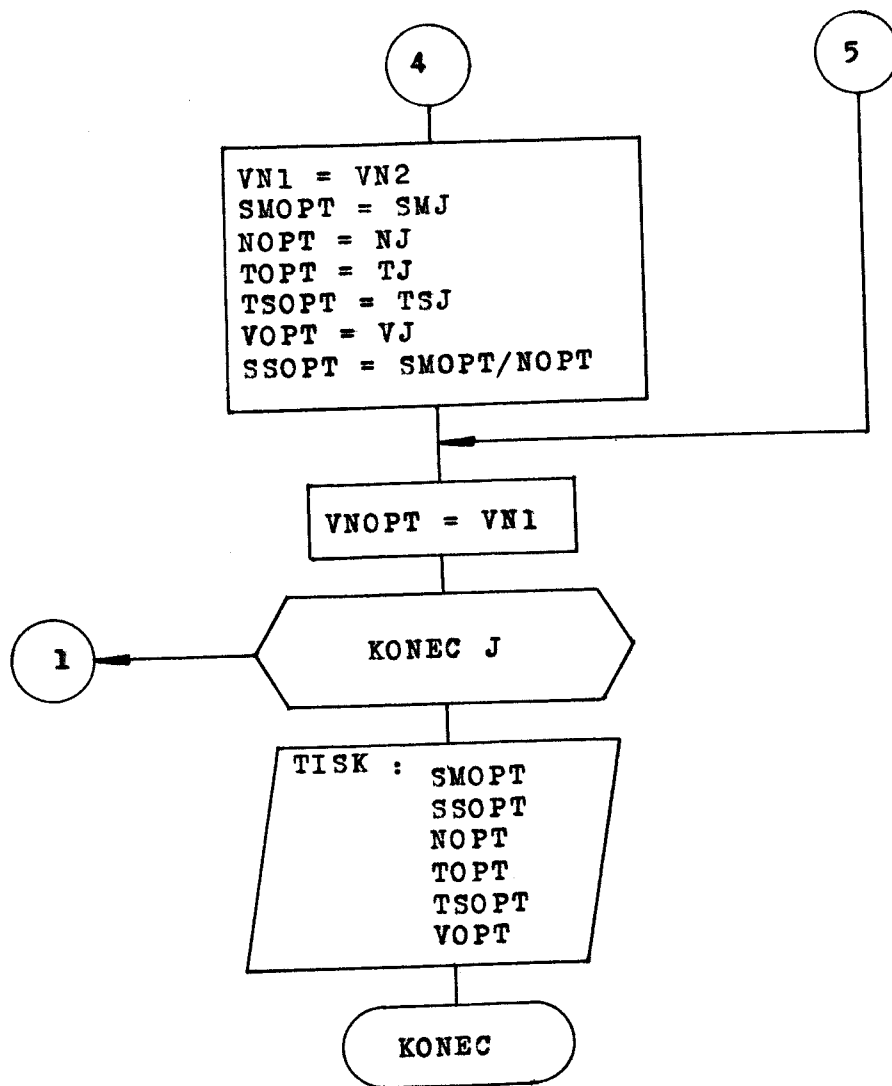
PŘÍLOHA 2

VÝVOJOVÝ DIAGRAM OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK / SOUSTRUŽENÍ



PŘÍLOHA 3

VÝVOJOVÝ DIAGRAM OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK / SOUSTRUŽENÍ

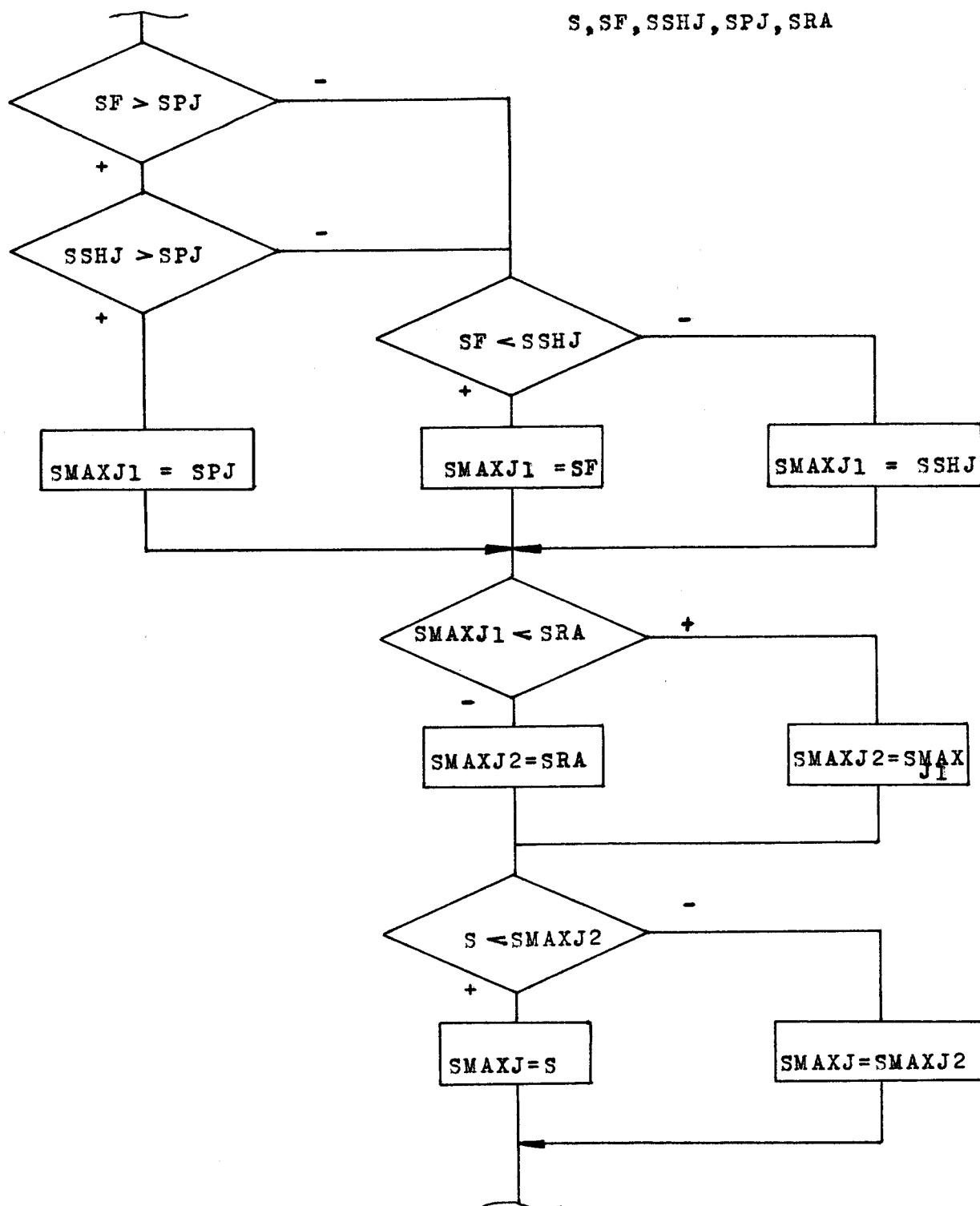


PŘÍLOHA 4

VÝVOJOVÝ DIAGRAM OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK / SOUSTRUŽENÍ

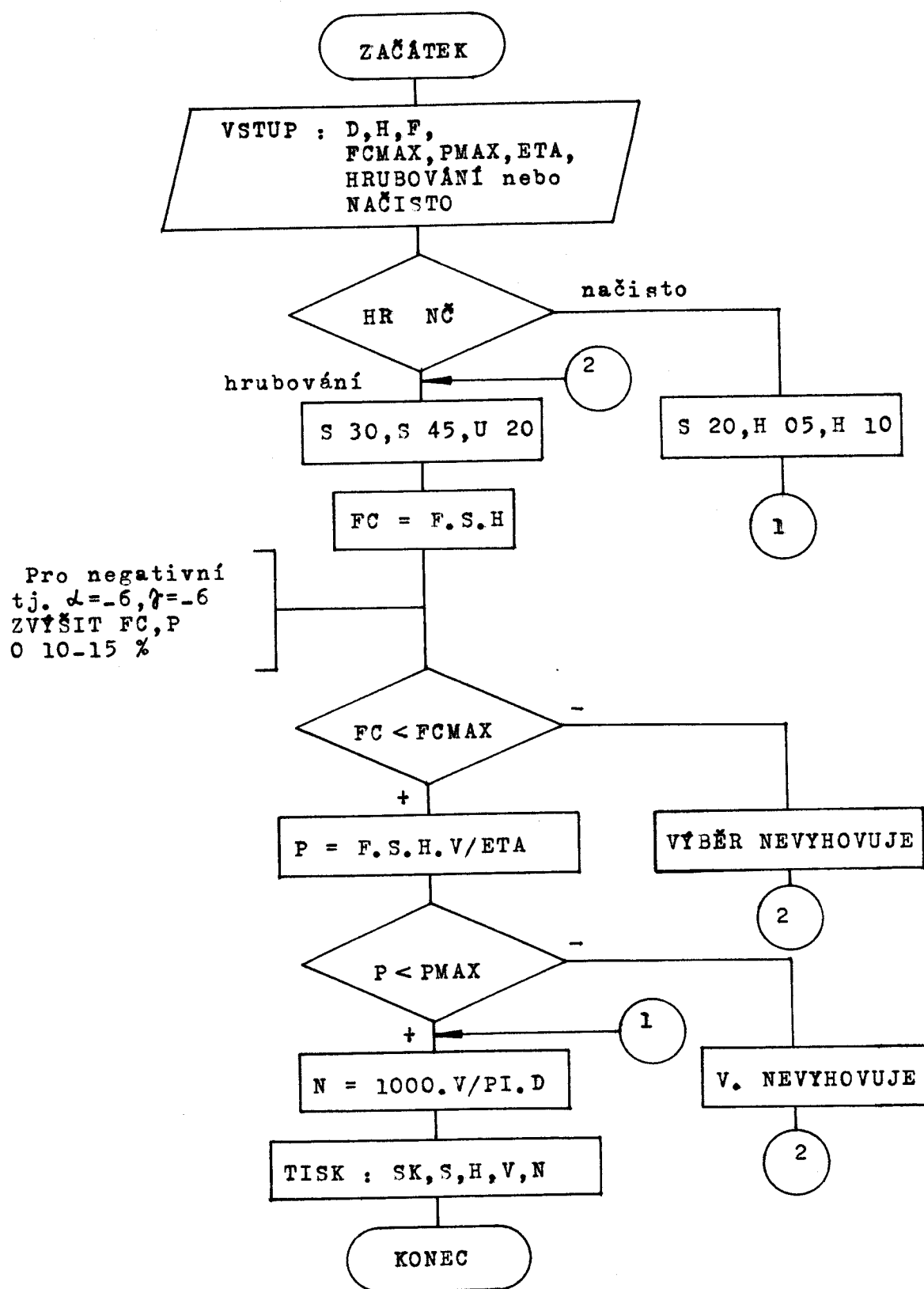
VYHLEDÁNÍ MINIMA Z HODNOT :

S, SF, SSHJ, SPJ, SRA

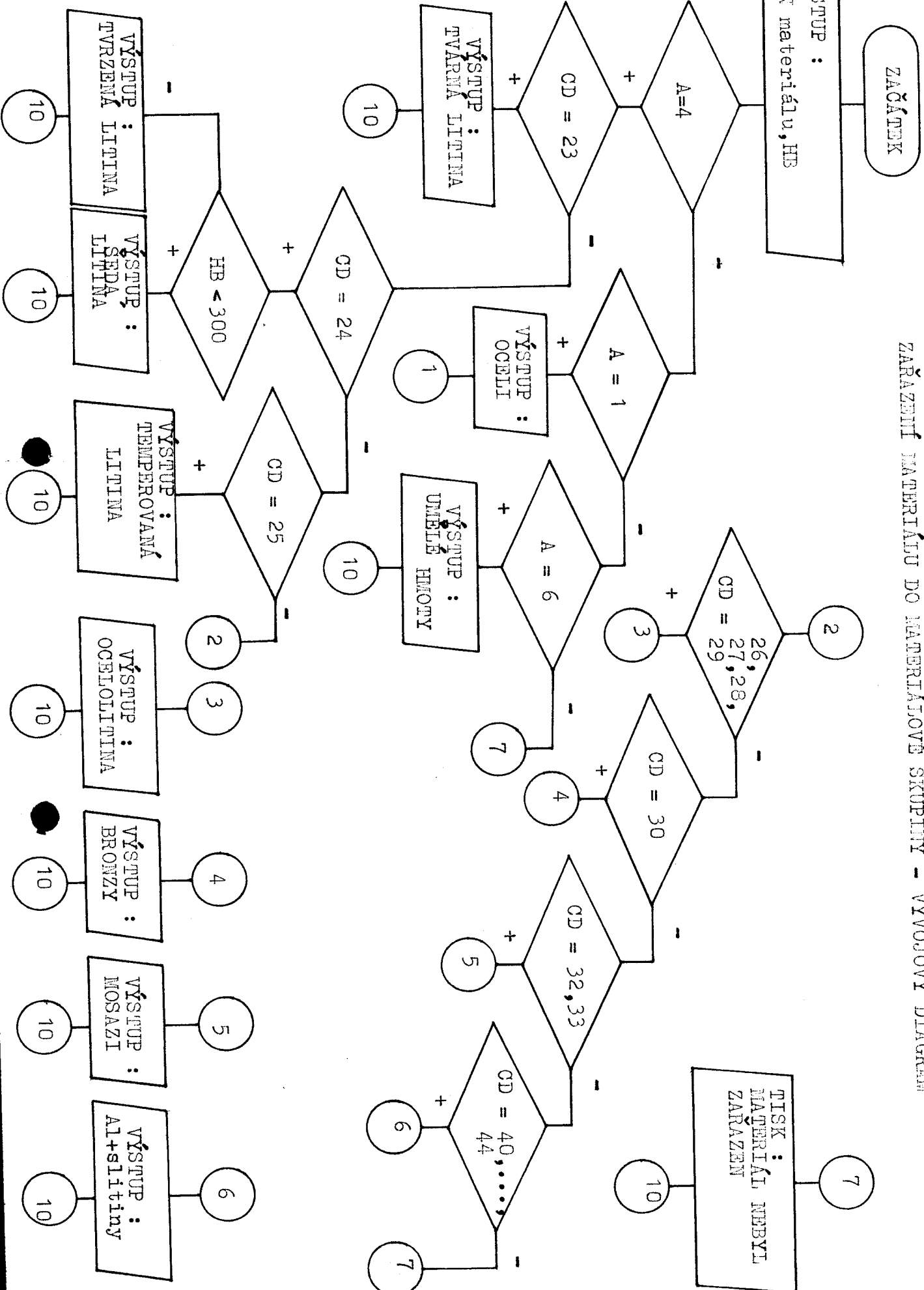


PŘÍLOHA 5

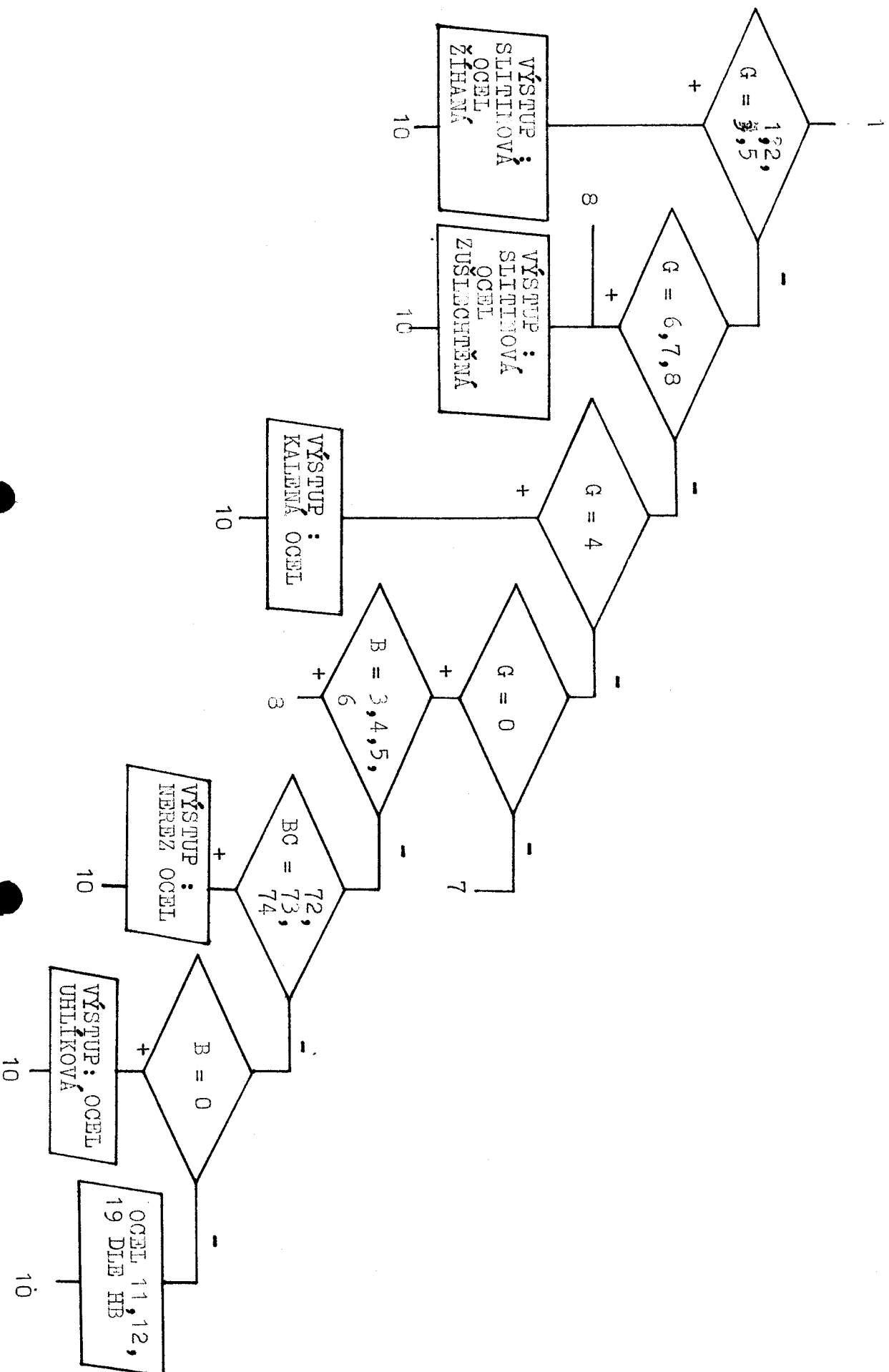
VÝVOJOVÝ DIAGRAM DATABANKA ŘEZNÍCH PODMÍNEK / SOUSTRUŽENÍ



ZAŘAZENÍ MATERIÁLŮ DO MATERIÁLOVÉ SKUPINY - VÝVOJOVÝ DIAGRAM



PŘÍLOHA 7
ROZDĚLENÍ OCELÍ PODLE TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ - VÝVOJOVÝ DIAGRAM



ŘEZNÉ PODMÍNKY - SOUSTRUŽENÍ

SLINUTÝ KARBID H 10

PRO TRVANLIVOST T = 60 min

Obráběný materiál		Řezné rychlosti v m/min pro posuvy s mm/ot			
		0,20	0,40	0,80	1,20
šedá litina	HB 180	80	70	50	40
	HB 180 220	70	50	40	30
	HB 220 250	50	30	25	20
temperovaná litina :					
feriticko- perlitická	HB 220	50	35	25	
	HB 240	55	40	30	
tvrzená litina	HB 450	5	3		
kalená ocel					
umělé hmoty		až 600	až 450	až 300	
bronz	HB 50 90	400	300	200	180
hliník a slitiny		500	400	300	200
mosaz	HB 40 100	450	320	200	

PŘÍLOHA 9 /11/

ŘEZNÉ PODMÍNKY - SOUSTRUŽENÍ

SLINUTÝ KARBID H 05

PRO TRVANLIVOST T = 30 min

Obráběný materiál		Řezné rychlosti v m/min pro posuvy s mm/ot			
		0,05	0,10	0,20	0,30
šedá litina	HB 180	180	160	140	120
	HB 180 220	150	130	110	90
	HB 220 250	100	90	80	60
temperovaná litina :					
feriticko- perlitická	HB 220	140	120	100	80
perlitická	HB 250	120	100	85	70
tvárná litina :					
feritická	HB 140 180	190	160	130	110
feriticko- perlitická	HB 170 250	120	90	70	60
perlitická	HB 230 300	60	50	40	35
kalená ocel					
tvrzená litina	HB 400 500	10	8	7	5

ŘEZNÉ PODMÍNKY - SOUSTRUŽENÍ

SLINUTÝ KARBID U 20

PRO TRVANLIVOST $T = 30 \text{ min}$

Obráběný materiál		Řezné rychlosti v m/min pro posuvy s mm/ot			
		0,10	0,30	0,50	0,80
uhlíková ocel	HB 125	150	130	100	80
normalizovaná	HB 150	130	115	90	70
	HB 170	130	100	80	60
	HB 250	100	80	70	50
slitinová ocel	HB 150 200	90	70	60	50
žíhaná	HB 200 275	70	50	40	30
slitinová ocel	HB 270 320	60	40	30	25
zušlechtěná	HB 320 450	50	35	30	20
nerezavějící ocel	HB 150 200	120	100	80	60
ocelolitina :					
nelegovaná	HB 150	130	110	90	80
nízkolegovaná	HB 150 250	100	70	60	50
vysokolegovaná	HB 300	70	60	40	30
Mn-ocel		20	15	10	7

PŘÍLOHA 11 /11/

ŘEZNÉ PODMÍNKY - SOUSTRUŽENÍ

SLINUTÝ KARBID S 45

PRO TRVANLIVOST T = 30 min

Obráběný materiál		Řezné rychlosti v m/min pro posuvy s mm/ot		
		0,50	1,00	1,50
uhlíková ocel	HB 150	100	80	65
normalizovaná	HB 170	90	75	60
	HB 250	70	50	40
slitinová ocel	HB 150 200	90	60	40
žíhaná	HB 200 275	75	50	35
slitinová ocel	HB 270 320	60	40	20
zušlechťená	HB 320 450	40	25	15
nerezavějící ocel	HB 150 200	100	80	50
ocelolitina :				
nízkolegovaná	HB 150 250	70	50	30
vysokolegovaná	HB 300	50	35	25

PŘÍLOHA 12 /11/

ŘEZNÉ PODMÍNKY - SOUSTRUŽENÍ

SLINUTÝ KARBID S 30

PRO TRVANLIVOST T = 30 min

Obráběný materiál		Řezné rychlosti v m/min pro posuvy s mm/ot		
		0,30	0,60	1,20
uhlíková ocel	HB 150	130	115	85
normalizovaná	HB 170	120	100	75
	HB 250	90	80	65
slitinová ocel	HB 150 200	110	80	55
žíhaná	HB 200 275	85	65	35
slitinová ocel	HB 270 320	70	55	25
zušlechtěná	HB 320 450	55	40	20
nerezavějící ocel	HB 150 200	130	90	60
ocelolitina :				
nelegovaná	HB 150	140	100	70
nízkolegovaná	HB 150 250	100	75	45
vysokolegovaná	HB 160 300	80	60	30

ŘEZNÉ PODMÍNKY - SOUSTRUŽENÍ

SLINUTÝ KARBID S 20

PRO TRVANLIVOST T = 15 min

Obráběný materiál		Řezné rychlosti v m/min pro posuvy s mm/ot		
		0,10	0,30	0,60
uhlíková ocel	HB 150	250	220	120
normalizovaná	HB 170	200	170	90
	HB 250	180	140	60
slitinová ocel	HB 150 200	180	150	80
žíhaná	HB 200 275	150	120	60
slitinová ocel	HB 270 320	110	80	50
zušlechtěná	HB 320 450	90	65	40
nerezavějící				
ocel	HB 150 200	150	110	70
ocelolitina :				
nelegovaná	HB 150	150	120	70
nízkolegovaná	HB 150 250	100	80	50
vysokolegovaná	HB 300	90	70	

PŘÍLOHA 14

Pokyny pro uživatele programu optimalizace

Program optimalizace řezných podmínek pro soustružení nástrojem s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů je řešen v strukturovaném programovacím jazyce TurboPascal 3. Program je nahrán společně s programovacím jazykem na 5.25" disketě.

Disketu založíme do počítače s operačním systémem MS-DOS. Do paměti počítače nahrajeme programovací jazyk, který vyvoláme jménem "TURBO.COM". Potom nahrajeme vlastní program optimalizace, který vyvoláme jménem "OPTIMAL.PAS". Program spustíme tlačítkem "R" /příkaz RUN/, na monitoru se objeví hlavička programu a následně výzvy k zadání vstupních hodnot. Zadávání vstupních hodnot viz kapitola 3.6.2. Výsledkem jsou optimální řezné podmínky /3.6.2/. Pokračovat můžeme, stlačíme-li tlačítko "1" / ANO ...1 /.

Program databanka řezných podmínek pro soustružení se nahrává stejným způsobem jako program optimalizace. Databanka je na disketě uložena pod jménem "BANKA1.PAS". Program je složen z jednotlivých procedur a textového souboru pojmenovaného "UDAJE1.DAT". Po uložení programu do paměti počítače zadáme vstupní hodnoty a pokračujeme dle kapitoly 4.4.

Uspořádání textového souboru "UDAJE.DAT" :
/řádek souboru/

1	S 20	0.10	0.30	0.60	250	220	120
---	------	------	------	------	-----	-----	-----

1 ... kód materiálu

S 20 ... označení druhu slinutého karbidu

0.10 ... posuv Ss1
0.30 ... posuv Ss2
0.60 ... posuv Ss3
250 ... řezná rychlost V1
220 ... řezná rychlost V2
120 ... řezná rychlost V3

Soubor můžeme rozšiřovat o další data. Vyvoláme soubor "UDAJE1.DAT", tlačítkem "E" si na monitoru data zobrazíme. Takto zobrazený soubor rozšiřujeme zapsáním řádky při dodržení uvedeného zápisu. Oprava hodnot se provede pouhým přepsáním. Nakonec nahrajeme soubor na disketu / stlačíme "Ctrl"- "K", "Ctrl"- "D"/ tlačítkem "S" /příkaz SAVE/.

S takto upraveným souborem dat pracuje databanka.

Pokud budeme chtít rozšiřovat výběr obráběných materiálů, musíme zasahovat přímo do programu "BANKA1.PAS". Po vyvolání programu jménem "BANKA1.PAS" necháme program vypsát tlačítkem "E". Kurzorem nalezneme příslušný řádek v proceduře "TISKOCEL" nebo "TISKOSTATNI", provedeme vepsání řádku /tlačítka "Ctrl"- "N"/ s uvedením názvu obráběného materiálu, jeho tvrdosti, kódu materiálu /nyní je kód materiálu ukončen číslem 33/. Po jakékoliv úpravě je nutné provést uložení na disketu /viz nahrávání souboru na disketu "Ctrl"- "K", "Ctrl"- "D" ... "S"/.