

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1992/1993

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Oldřicha H A A S, E**

obor **(23 - 07 - 8) strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Studium obrábění s využitím akustické emise**

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod, literární rešerše, cíle práce.
- 2) Návrh metodiky měření, příprava experimentů, stanovení rozsahu experimentálního modelu.
- 3) Experimentální část.
- 4) Vyhodnocení měření, porovnání s dosavadními poznatky.
- 5) Závěr.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC STUDENTSKÁ 1
FSC 461 17

V 76 / 93 s

KOM/OM

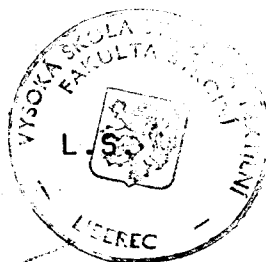
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah průvodní zprávy: **40 až 60 stran**
Seznam odborné literatury:

**PŘIKRYL, MUSÍLKOVÁ: Teorie obrábění. Praha,
SNTL 1982.**

Journal of Engineering for Industry

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Aleš Prášek, CSc.**
Konzultant: **Ing. Jan Matuský - VŠST Liberec**

Zadání diplomové práce: **30. 10. 1992**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. 12. 1993**




Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci

dne **30. 10. 19 92**

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor: strojírenská technologie
zaměření: o b r á b ě n í a m o n t á ž

STUDIUM OBRÁBĚNÍ S VYUŽITÍM AKUSTICKÉ EMISE

KOM - OM - 818

Oldřich H a a s

Vedoucí diplomové práce: ing. Aleš Průšek, CSc. - VŠST Liberec
Konzultant: ing. Jan Matuský - VŠST Liberec

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146075644

Počet stran: 64
Počet příloh: 77
Počet tabulek: 28
Počet obrázků: 20
Počet diagramů: 57

Datum odevzdání: 28. 5. 1993

ANOTACE

Označení DP: 818

Řešitel: Oldřich Haas

STUDIUM OBRÁBĚNÍ S VYUŽITÍM AKUSTICKÉ EMISE

V diplomové práci je proveden základní přehled metod sledování řezného procesu a vlivů ovlivňujících trvanlivost řezného nástroje.

Jsou zde vyhodnoceny závislosti, při nichž byly použity různé řezné rychlosti a proces řezání probíhal na materiálech s různou obrobiteľností, při konstantní hloubce řezu a konstantním posuvu.

Byla vyhodnocena drsnost obrobeného povrchu a složky řezných sil v závislosti na stupni opotřebení nástroje.

Tato diplomová práce má též za cíl vyšetřit případné závislosti signálu akustické emise na různé obrobiteľnosti materiálu a stupni opotřebení nástroje.

Deset. třídění: DT 621.9

Klíčová slova: OBRÁBĚNÍ, TRVANLIVOST NÁSTROJE, AKUSTICKÁ EMISE

Zpracovatel: VŠST Liberec - KOM

Dokončeno: 1993

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 64

Počet příloh: 77

Počet tabulek: 28

Počet grafů: 57

P r o h l á š e n í

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

V Liberci dne 26. 5. 1993

Oldřich H a a s



O B S A H

	strana
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
1. Úvod	8
2. Současné metody sledování řezného procesu	9
2.1. Metody experimentálního studia deformaci při obrábění	9
2.1.1. Studium změn probíhajících	10
2.1.2. Studium změn ukončených	12
2.1.2.1. Experimentální studium stavu napjatosti v deformovaných oblastech	13
2.2. Sledování řezných sil	14
2.2.1. Vznik a působení řezných sil	14
2.2.2. Měření řezných sil	15
2.3. Teplo a teplota řezání	16
2.3.1. Vznik tepla při řezání	16
2.3.2. Metody měření teploty řezání	17
2.4. Kvalitativní hodnocení obrábění	18
2.4.1. Činitelé ovlivňující kvalitu obrobené plochy	18
2.4.2. Parametry určující drsnost povrchu	18
2.4.3. Měření drsnosti obrobeného povrchu	20
2.5. Sledování stavu nástroje	21
2.5.1. Vlivy na opotřebení břitu nástroje	21
2.5.2. Trvanlivost nástroje v závislosti na řezné rychlosti	22
2.5.2.1. Řezivost nástroje	24
2.5.2.2. Zkoušky řezivosti	25
2.5.2.3. Hodnocení řezivosti	26
2.5.3. Dlouhodobá zkouška trvanlivosti	28
2.6. Využití AE v procesu obrábění	30
2.6.1. Studium základních poznatků využití AE	30
2.6.2. Základní pojmy akustické emise	31
2.6.3. Vznik signálu AE	32
2.6.4. Sledování stavu nástroje	34

2.6.4.1. Sledování vlivů na zlomení nástroje	34
2.6.4.2. Kontrola opotřebení nástroje	35
2.6.4.3. Hodnocení obrobitelnosti pomocí AE	36
2.6.4.4. Kontrola jakosti obráběného povrchu s pomocí AE	37
2.6.4.5. Výběr řezné kapaliny pomocí AE	37
2.6.4.6. Adaptivní řízení obrábění	38
2.6.5. Zhodnocení využití AE při obrábění	40
2.6.6. Sledování vlivů na parametry AE	40
2.6.6.1. Parametry signálu AE	40
2.6.6.2. Vlivy spojené s tvorbou třísky	41
2.6.6.3. Vlivy spojené s umístěním a připevněním snímače	43
2.6.6.4. Rušivé vlivy	43
3. Experimentální část	44
3.1. Metodika hodnocení řezivosti	44
3.1.1. Hodnocení opotřebení na hřbetě nástroje	50
3.1.2. Hodnocení opotřebení na čele nástroje	50
3.2. Metodika hodnocení drsnosti povrchu obrobku	50
3.2.1. Použité přístroje	51
3.3. Metodika měření řezných sil	52
3.3.1. Použité přístroje	52
3.4. Metodika sledování signálu AE	54
3.4.1. Použité přístroje	54
4. Výsledky experimentu	56
4.1. Přehled výsledků jednotlivých měření	56
4.2. Zpracování výsledků experimentu	56
4.3. Zhodnocení výsledků experimentu	59
5. Závěr	62
Seznam použité literatury	63

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AE	- akustická emise
d	- průměr obrobku
dB	- zesílení
EU	- emisní událost
F_c	- síla hlavního řezného pohybu
F_f	- posuvová síla
F_p	- přířuvová síla
h	- hloubka řezu
HB	- tvrdost podle Brinella
HRC	- tvrdost podle Rockwella
i_R	- relativní řezivost
k	- koeficient zesílení
K	- součinitel přechování
kHz	- frekvence
KT	- hloubka výmolu na čele nástroje
kW	- výkon
l	- délka obrobku
m, C_T , C_V	- konstanty smluvní řezivosti nástroje
n	- otáčky
n	- počet měření
N	- střední kvadratická odchylka
OSC	- osciloskop
P_{1-1}	- měrná řezná síla
Pa	- tlak
Q	- teplo
r_ϵ	- poloměr zaoblení špičky nože
Ra	- střední aritmetická odchylka od střední čáry
RO	- rychlořezná ocel
R_{max}	- maximální výška nerovnosti
Rz	- střední hodnota vzdáleností
s	- posuv
t	- čas
T	- absolutní řezivost
u	- koeficient Kienzleho vztahu
v	- rychlost
v_c	- hlavní řezná rychlost
v_T	- řezná rychlost dosažená při stejné trvanlivosti zkoušeným nástrojem za sterjních řezných podmínek
v_{Te}	- řezná rychlost dosažená při zvolené trvanlivosti při obrábění etalonovým nástrojem
X	- naměřený počet emisních událostí
α_o	- nástrojový ortogonální úhel hřbetu
τ_o	- nástrojový ortogonální úhel čela
α_f	- nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
α'_f	- nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří
Σ	- suma

1. STUDIUM ZÁKLADNÍCH POZNATKŮ OPOTŘEBENÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE A VYUŽITÍ SIGNÁLU AKUSTICKÉ EMISE V PROCESU OBRÁBĚNÍ

1.1. Úvod

Zvyšující se nároky průmyslové výroby na její rentabilitu dávají podnět k zajištění vyšší produktivity. Nové obráběcí stroje, dosahující svými parametry vyšší produktivity výroby, jsou stále dražší.

Důležitým předpokladem pro ekonomické využití moderních, plně automatizovaných a programově řízených, obráběcích strojů, je naprosto optimální průběh procesu obrábění. Volba optimálních pracovních podmínek předpokládá dokonalou znalost jejich vlivu na ekonomické a kvalitativní výsledky obrábění.

Řezný proces lze optimalizovat ze dvou hledisek: ekonomického a výkonového. Ekonomické hledisko znamená, že volíme takové řezné podmínky, při jejichž použití obrobíme danou součást, při dodržení požadovaných jakostních parametrů s minimálními náklady, tedy i s minimálním opotřebením nástroje. Optimalizace z výkonového hlediska znamená práci s takovými řeznými podmínkami, při nichž dosahujeme maximálního výkonu, tj. maximálního počtu obrobených součástí za časovou jednotku bez zřetele na hospodárnost výroby. Běžně se optimalizuje řezný proces z hlediska ekonomického.

Znalosti fyzikálních zákonů procesu řezání kovů se soustavným výzkumem neustále rozšiřují a prohlubují, avšak v některých jeho oblastech je zapotřebí ještě mnohé jevy přesněji specifikovat [2].

Pro zvýšení produktivity práce automatizovaných výrobních systémů, zejména při zavádění obráběcích strojů s adaptivním řízením a v souvislosti s rozvojem mikroprocesorů, bude zapotřebí plně automaticky sledovat proces obrábění pomocí více parametrů. Soustavné sledování těchto parametrů a jejich

okamžité vyhodnocování, může zajistit značné úspory na řezných nástrojích, neboť včasnou signalizací opotřebení a včasnou výměnou daného nástroje, nedojde ke katastrofickému opotřebení jeho břitu a tím se sníží náklady na jeho naostření. Současně se sníží neproduktivní časy, neboť nástroj bude vyměněn až po dosažení přípustné míry opotřebení. Nezanedbatelná je též dosažená jakost povrchu obrobene součásti, popř. dosažené rozměry a tolerance.

Z hlediska plně automaticky sledovaného procesu obrábění jsou dosud navrhovány hlavně tyto parametry:

1. Stav nástroje
2. Způsob utváření a tvar třísky
3. Opracovaný povrch obrobku
4. Některé parametry procesu obrábění (řezná síla, el. výkon, teplota řezání, stupeň chvění apod.)

Z komplexního hlediska by bylo vhodné sledovat a průběžně vyhodnocovat všechny dostupné parametry současně, což se jeví jako náročné a neefektivní. Proto se hledá cesta, jak nalézt dostatečně přesný, ekonomicky přijatelný a objektivní způsob kontroly řezného procesu, který by nahrazoval kontrolu všech navrhovaných parametrů současně.

Jsou určité předpoklady, že vhodnou metodou, která by tuto komplexní metodu umožňovala, je měření akustické emise. Tato možnost nabývá významu zejména s rostoucími možnostmi nasazení řídicích počítačů.

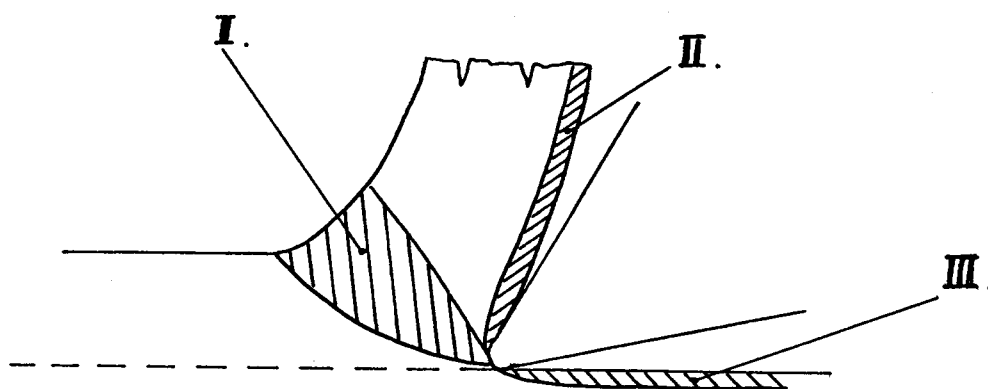
2. SOUČASNÉ METODY SLEDOVÁNÍ ŘEZNÉHO PROCESU /2/

2.1. Metody experimentálního studia deformací při obrábění

Experimentálně lze plastické deformace studovat buď během vlastního řezání pozorováním změn právě probíhajících, nebo až po ukončení procesu - studium ukončených změn.

K posouzení charakteru a intenzity deformace v oblasti I, II nebo III (obr. 1) je třeba sledovat tyto charakteristiky:

- 1) Polohu, tvar a velikost oblasti primárních plastických deformací.
- 2) Intenzitu deformace v oblasti I.
- 3) Intenzitu sekundární deformace, tloušťku a tvar deformované vrstvy v oblasti II, popřípadě velikost, tvar a vnitřní stavbu vznikajícího nárůstku.
- 4) Intenzitu a hloubku deformace v oblasti III.
- 5) Velikost součinitele pěchování a objemového součinitele, jako projevů plastické deformace.
- 6) Stav napjatosti materiálu odřezávané vrstvy, třísky, povrchové vrstvy obrobené plochy a namáhané části nástroje.



Obr.č.1 Experimentálně stanovený tvar deformované oblasti

2.1.1. STUDIUM ZMĚN PROBÍHAJÍCÍCH

Během vlastního řezání lze provádět pozorování plastické deformace jak v makroobjemu, tak i mikroobjemu deformovaného materiálu.

Přímé pozorování změn mikroskopických.

Metodami používanými pro přímé pozorování mikrozměn v deformovaném objemu jsou v podstatě rychlostní filmování, nebo fotografování boční plochy vzorku při ortogonálním řezání, kterými se zachycují jednotlivá stadia deformace. Filmová kamera pro rychlostní filmování se nazývá časová lupa. Podstatou je fotografování sledovaného děje vysokou snímkovou frekvencí a jeho promítnutí s frekvencí podstatně nižší, popřípadě diskontinuálně s možností postupného vyhodnocování. Frekvence bývá $4000 \cdot s^{-1}$ až $18000 \cdot s^{-1}$.

U nejnovějších typů kamer je frekvence až $10^5 \cdot s^{-1}$. Pro studium mikrozměn musí být pozorovaná boční plocha metalograficky připravená, tj. vyleštěna a naleptána. K zamezení příčného tečení materiálu a k zaručení stále vzdálenosti filmované plochy od objektivu je k boční pozorované ploše přiložena tvrdá skleněná destička. Hlavní nedostatky jsou:

- a) složitá a pracná příprava vzorku
- b) vliv pružných deformací obrobku na rozostření obrazu během řezání
- c) dosahované zvětšení je omezeno požadovanou hloubkou ostrosti.

Přímé pozorování změn makroskopických.

Přímé sledování deformace větších objemů je méně obtížné, než pozorování změn v objemech odpovídajících řádově velikosti zrna. Stejně jako při studiu mikrozměn se používá ortogonálního řezání. I v tomto případě jde o rychlostní filmování, nebo fotografování boční plochy. Tato plocha je opatřena pomocnou mřížkou různé kresby (čtverce, obdélníky, kroužky). Deformace elementu této mřížky umožňuje nejen

vymezit jednotlivé deformační oblasti, ale též stanovit charakter a intenzitu deformace ve směru zvolených souřadných os a často i deformační rychlost. Dosahované zvětšení je i tady omezeno požadovanou hloubkou ostrosti. Přes toto omezení má uvedený způsob experimentálního studia velký význam především pro studium vzniku elementární třísky a tvorby a rozpadu nárůstku.

2.1.2. STUDIUM ZMĚN UKONČENÝCH

Možnosti studia procesu vzniku třísky a vytváření obrobené plochy v průběhu řezání jsou, jak bylo uvedeno, velmi omezené. Proto byla většina poznatků, týkajících se podstaty řezného procesu získána studiem kořene třísky až po ukončení řezání.

Toto studium předpokládá získání kořene třísky, vzniklého za známých řezných podmínek. Neporušený kořen třísky získáme okamžitým přerušením řezu. K tomu účelu slouží přerušovače řezu, které dělíme do dvou skupin:

- 1) přerušovače s okamžitým zastavením pohybu obrobku
- 2) přerušovače s rychlým vyvedením nástroje ze záběru.

Existuje mnoho různých alternativ přerušovačů.

Kořeny třísek, získané přerušením řezu pomocí přerušovače, je třeba pro další studium náležitě zpracovat. Kořen se nejdříve vyřízne ze vzorku a zakotví do dentacrylu. Měření makrozměn se provádí pod mikroskopem. Pro studium deformace menších objemů lze použít jak optického metalografického mikroskopu, tak i elektronového mikroanalyzátoru a rentgenu. Nejčastěji se pro studium dokončených mikrozměn v oblasti I, II a III (obr.č. 1) používá metalografického mikroskopu. Kořen třísky se brousí na metalografických papírech, leští a leptá, čímž se zviditelní hranice zrn.

Na charakter a intenzitu plastických deformací v oblasti

I, II a III a na velikost těchto oblastí lze usuzovat též na základě proměřování mikrotvrdosti. Měření se provádí na mikrotvrdoměrech různé konstrukce. Proměřováním mikrotvrdosti na povrchu obrobené plochy a na šikmém řezu (pod úhlem asi 10°) se dá stanovit intenzita zpevnění a hloubka zpevněné vrstvy obrobeného povrchu.

Měření součinitele přechování.

Nejčastěji používanou metodou je vážení. Při tomto způsobu zvážíme třísku známé délky a při známé měrné hmotnosti obráběného materiálu vypočítáme součinitel přechování K . Hodnoty součinitele přechování bývají v mezích 1,1 až 10, nejčastěji však $K = 2$ až 5.

2.1.2.1 Experimentální studium stavu napjatosti v deformačních oblastech I, II a III.

Pro studium stavu napjatosti v oblasti I a II lze s výhodou použít některých metod experimentální pružnosti. Nejvhodnější jsou: rentgenografie, metoda křehkých laků a fotoelasticimetrie. Metody zjišťování zbytkových pnutí lze rozdělit do dvou skupin:

- a) metody nedestruktivní
- b) metody destruktivní.

Do první skupiny patří již zmíněná rentgenografie a použití křehkých laků, kdežto mezi destruktivní patří kromě metod mechanických, též metody využívající difúze vodíku. Nejlépe vyhovující jsou metody mechanické, kde se využívá toho, že při odstranění určité části povrchové vrstvy dojde uvnitř vzorku k porušení rovnováhy vnitřních pnutí a k deformaci vzorku. Velikost deformace je pak úměrná pnutí, které bylo v odstraněné vrstvě.

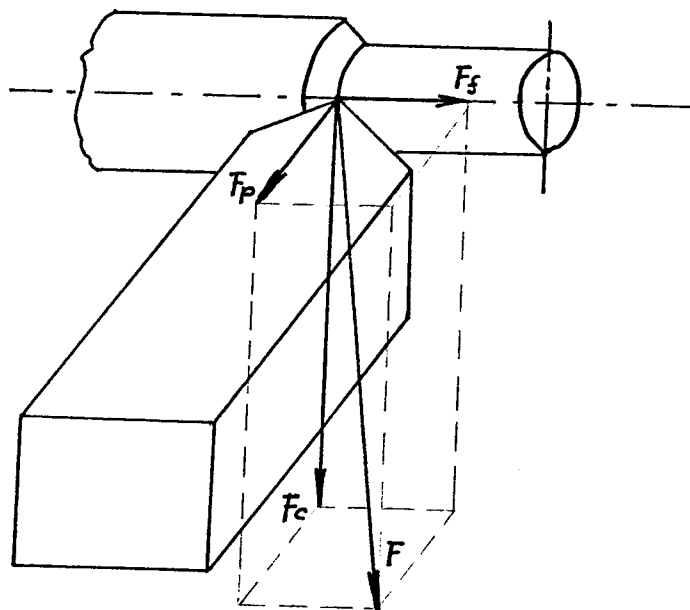
Žádná z uvedených metod však neřeší dokonalou a kontinuální kontrolu probíhajícího řezného procesu.

2.2. SLEDOVÁNÍ ŘEZNÝCH SIL

2.2.1. VZNIK A PŮSOBNÍ ŘEZNÝCH SIL /5/

Aby docházelo k oddělování třísky, musí na nástroj působit řezná síla jako tvůrce energie potřebné pro uskutečnění procesu obrábění. Při vnikání břitu nástroje do materiálu klade tento odpor, který musí být překonán řeznou silou. Tím vzniknou aktivní složky řezné síly F_1 , které se přímo podílejí na tvorbě a odvedení třísky z místa řezu a působí na čele nástroje. Současně se vytvoří podmínky pro vznik pasivních sil F_2 , působících na jeho hřbet.

Pro přehlednost popisujeme řezné síly ve třech na sebe kolmých osách. Jejich jednotlivé směry působení jsou znázorněny na obrázku č. 2.



Obr.č.2. Rozklad řezných sil pro případ soustružení

Je zde uvažována složka síly F_c , označená jako síla hlavního řezného pohybu (síla tangenciální). Složku síly F_f , ležící ve směru vektoru posuvové rychlosti nazýváme posuvovou (axiální) silou a složku F_p nazýváme silou přísuvoovou.

Z rozkladu sil při soustružení vyplývá vztah pro celkovou sílu obrábění

$$F = F_c^2 + F_p^2 + F_f^2 \quad [1]$$

Pro soustružení se obvykle uvádí přibližný poměr těchto sil
 $F_c : F_p : F_f = 1 : 0,4 : 0,25$

který platí pro střední průřez třísky, $\alpha = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$.

Z hlediska potřeb praxe je nutno stanovit velikost jednotlivých složek a tím i celkové síly obrábění. Lze to provést měřením nebo výpočtem.

Snad nejpřesnější je výpočet podle Kienzleho:

$$P = P_{s \ 1..1} \cdot h^{1-u} \quad [2]$$

kde $P_{s \ 1..1}$ je měrná řezná síla, připadající na průřez třísky
 $s \cdot h = 1 \times 1 \text{ mm}^2$.
 $h \dots$ hloubka odřezávané vrstvy
 $u \dots$ exponent

Potom lze po dosazení vypočítat hlavní složku řezné síly
takto: $F_c = s \cdot P_{s \ 1..1} \cdot h^{1-u}$

2.2.2. MEŘENÍ ŘEZNÝCH SIL /6/

Složky řezné síly při obrábění můžeme měřit buď přímo, nebo nepřímo.

- Nepřímo je možno určit složku řezné síly F_c , popř. F_f ze změřeného výkonu obráběcího stroje. Výkon elektromotoru změříme při chodu naprázdno a pak při obrábění. Nevýhodou této metody je poměrně malá přesnost.
- Přímo je možno měřit všechny složky řezné síly pomocí dynamometrů s dostatečnou přesností a zachycovat graficky jejich časový průběh.

Princip všech dynamometrů je založen na měření deformace nástroje, nebo elementu s nástrojem spojeného, která vzniká působením řezné síly na břit nástroje. Tyto deformace jsou přímo úměrné zatěžující síle a proto je možno jejich změření určit i zatěžující sílu. Podle způsobu měření těchto deformací rozeznáváme dynamometry:

- mechanické
- hydraulické
- pneumatické
- elektrické (kapacitní, piezoelektrické, odporové tenzometrické)

Podle počtu měřených složek jsou dynamometry:

- jednosložkové
- dvousložkové
- tříslložkové

Výhodou dynamometrů je, že jimi můžeme měřit všechny složky řezné síly staticky i dynamicky, tedy při reálném řezání.

2.3. TEPLO A TEPLOTA ŘEZÁNÍ /6/

2.3.1. VZNIK TEPLA PŘI ŘEZÁNÍ

Při odřezávání vrstvy materiálu břitem nástroje a její transformaci v třísku se vyvíjí určité množství tepla, které vzniká přeměnou práce vynaložené na vznik třísky a její odvedení z místa řezu. Celkové teplo, které vzniká při řezání, je součtem dílčích množství tepla, vznikajících přeměnou dílčích prací:

$$Q = Q_{DI} + Q_{DII} + Q_{DIII} + Q_{TC} + Q_{TH} \quad /J/ \quad [3]$$

Q_{DI} - důsledek deformace v oblasti primárních plast. deformací
 Q_{DII} - důsledek deformace v oblasti sekundárních plast. def.
 Q_{DIII} - důsledek deformace v oblasti terciálních plast. def.
 Q_{TC} - tření třísky po čele nástroje
 Q_{TH} - tření třísky po hřbetě nástroje

Z těchto oblastí vzniku tepla se realizuje jeho odvod:

$$Q_T + Q_N + Q_O + Q_P = Q \quad /J/ \quad [4]$$

Q_T - teplo pohlcené třískou
 Q_N - teplo odvedené nástrojem
 Q_O - teplo, které přešlo do obrobku
 Q_P - teplo pohlcené prostředím

2.3.2. METODY MĚŘENÍ TEPLoty ŘEZÁNÍ /5/

Měření teploty řezání se provádí kontaktními metodami na základě strukturních změn, nebo pomocí přirozených či umělých termočláneků. Nejrozšířenější metody pro měření teploty řezání jsou principy termočlánekové, založené na termoelektrickém efektu.

Přirozený termočlánek tvoří obráběný a řezný materiál, které jsou vlivem působících řezných tlaků ve stykových oblastech přivedeny do těsného vodivého spojení. Termoelektrická síla je vyvolána ohřátím stykových míst a je úměrná střední teplotě dotykových bodů mezi obráběným a řezným materiálem.

Umělý termočlánek se dvěma cizími kovy se předem vyrobí z drátů kovů, které dávají dostatečně velkou termoelektrickou sílu, např. CrNi - Ni. Takto upravený termočlánek, patřičně odizolovaný, se vloží do dna vývrtu zhotoveného v nástroji.

2.4. KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ OBRÁBĚNÍ

2.4.1. ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU OBROBENÉ PLOCHY /5/

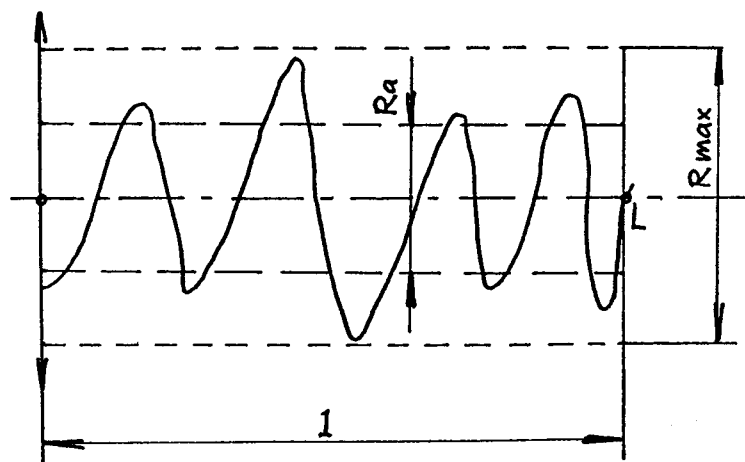
Kvalita obrobené plochy je závislá na mnoha činitelích. Drsnost se mění jak v závislosti na řezných podmínkách, tak na způsobu obrábění. Přesnost a drsnost je různá při různých způsobech obrábění a je uvedena v příslušné literatuře.

2.4.2. PARAMETRY URČUJÍCÍ DRSNOST POVRCHU /5/

a) Střední aritmetická odchylka od střední čáry profilu R_a

Je to střední hodnota vzdálenosti bodů zkoumaného profilu od střední čáry, která dělí profil tak, že plocha mezi profilem a čarou je stejná nad i pod čarou (obr.č. 3)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^L |y| dx \quad \mu m \quad [5]$$



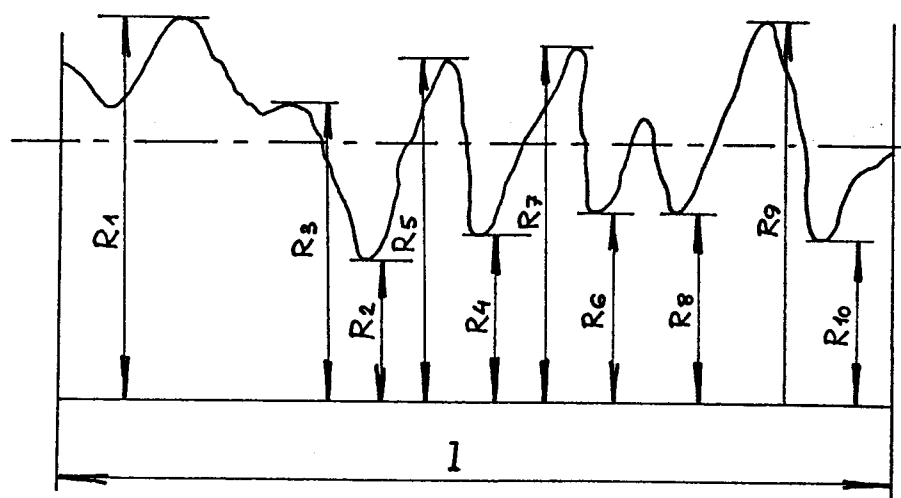
Obr.č.3 Parametry R_a , R_{max} , určující drsnost povrchu

b) Maximální výška nerovnosti R_{max}

Je to vzdálenost mezi dvěma čarami rovnoběžnými se střední čarou, z níž jedna prochází nejvyšším a druhá nejnižším bodem profilu v délce určeného úseku (obr.č.3)

c) Výška nerovnosti R_z

Je určena jako střední hodnota vzdáleností mezi pěti nevyššími a pěti nejnižšími body profilu od čáry rovnoběžné se střední čarou profilu (obr.č.4).



Obr.č.4 Parametry určující výšku nerovnosti R_z .

Hodnotu R_z získáme ze vztahu:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad [6]$$

Vztah mezi R_a a R_z je dán přibližně hodnotou: $R_z : R_a = 4$

2.4.3. MĚŘENÍ DRSNOSTI OBROBENÉHO POVRCHU /5/

Stanovení drsnosti povrchu můžeme provést různými způsoby. V zásadě se tyto způsoby dělí na:

- a) kvalitativní metody - hodnotíme obrobenou plochu srovnáváním se vzorkem bez číselného vyhodnocení velikosti drsnosti.
- b) kvantitativní metody - hodnotíme obrobenou plochu normami a veličinami charakterizujícími jakost obrobené plochy.

ad a) Při kvalitativním hodnocení používáme nejčastěji srovnávání hodnoceného povrchu se vzorkovnicí drsnosti povrchu. Tyto etalony jsou pro různé způsoby obrábění s různým R_a odstupňovány v řadě stupňů drsnosti. Pozorování se provádí pomocí srovnávacího mikroskopu.

ad b) Kvantitativní hodnocení se provádí měřicími přístroji různé konstrukce.

Přístroje na principu mechanického snímání drsnosti pojíždějí hrotem o poloměru 1 až 2 μm , povrchového indikátoru po měřeném povrchu.

Jiný způsob pracuje na principu světelného řezu. Kontrolovaný povrch se osvětluje svazkem paprsků pod úhlem 45° a pozoruje se měřicím mikroskopem, jehož osa je kolmá na směr světelných paprsků osvětlujících povrch.

Velmi používané jsou přístroje pracující na elektromechanickém principu se snímačem piezoelektrickým, induktivním, nebo elektromagnetickým.

Drsnost povrchu lze také měřit pneumatickým snímačem.

Nejcitlivější jsou přístroje založené na interferenci, kterými lze měřit i velmi jemně opracovaný povrch.

2.5. SLEDOVÁNÍ STAVU NÁSTROJE /5/

2.5.1. VLIVY NA OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE

V procesu obrábění je břit nástroje vystaven souboru fyzikálních a chemických procesů, při kterých dochází k opotřebení břitu. To je způsobeno extrémními podmínkami při obrábění, kterými jsou vysoké tlaky (1500 až 2500 MPa) a teploty (800 až 1200 °C) v místech intenzivního suchého tření, ve kterém přicházejí do styku stále nové povrchy.

Procesy podílející se na opotřebení břitu jsou:

- adhezní otěr
- abrazivní otěr
- difuzní otěr
- chemický otěr
- křehký lom
- plastická deformace

Adhezní otěr

Vlivem bodového charakteru dotyku kovových povrchů jsou tlaky v místech skutečného dotyku velmi vysoké i při malých zatíženích. Obnažují se čisté kovové povrchy a mezi oběma tělesy (nástrojem a obrobkem) vzniká kovová vazba. Při porušení této kovové vazby posunutím povrchu se na protilehlém tělese zachytí částičky o rozměrech blížících se rozměrům atomů. Při zvýšení tvrdosti těles se přenos kovu zmenšuje, ale úplně se neodstraní.

Abrazivní otěr

Při tomto otěru dochází k působení tvrdých částí obrobku na břit. Otěr je podmíněný vzájemným vnikáním výstupků obou materiálů, přičemž tvrdší částičky jednoho tělesa vyryjí do druhého tělesa rýhu. Vzájemné vnikání výstupků je možné

vysvětlit anizotropií materiálu.

Difuzní otěr

Při vysokých teplotách obrábění se povrchové vrstvy porušují zejména difuzí. Vzniká vzájemné rozpouštění a chemická reakce komponentů povrchů a chemická reakce povrchu řezného klínu s prostředím - oxidace. Nejaktivnějšími prvky jsou železo a kobalt (680 až 900 °C), wolfram (900 až 950 °C) a titan (nad 1050 °C).

Chemický otěr

Při obrábění vzniká defektní vrstva na stykových místech břitu, tvořená oxidy. Tyto chemické sloučeniny vznikají působením vzdušného kyslíku a řezného prostředí na nástroj. Intenzita oxidace závisí na teplotě, s jejímž růstem se podstatně zvyšuje intenzita opotřebení RO.

V procesu obrábění se současně opotřebovávají všechny povrchy řezného klínu, které jsou ve styku s obráběným materiálem.

2.5.2. TRVANLIVOST NÁSTROJE V ZÁVISLOSTI NA ŘEZNÉ RYCHLOSTI

Trvanlivost nástroje definujeme obvykle jako dobu, po kterou nástroj pracuje od naostření do otupení. Životnost nástroje nazýváme celkovou dobu práce nástroje od prvního naostření až po jeho vyřazení z provozu. Hospodárného využití nástroje dosáhneme dodržováním optimální trvanlivosti nástroje. Je tedy třeba nástroj vyměnit včas, aby opotřebení nebylo příliš velké, neboť při nadměrném opotřebení se růst opotřebení značně zrychluje. S trvanlivostí nástroje úzce souvisí jeho řezivost, což je souhrn vlastností řezného materiálu, které komplexně ovlivňují velikost hospodárného úběru. Zcela specifické podmínky, v nichž se břit nástroje v

řezu nachází, určují požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti řezných materiálů:

- tvrdost musí být alespoň o 5 až 6 HRC vyšší, než tvrdost obráběného materiálu
- tvrdost a tedy i odolnost proti opotřebení musí být dostatečně stálá i při vysokých teplotách
- vyhovující pevnost v tlaku a ohybu
- dostatečná tepelná vodivost.

Řezivost nástroje je vázána na vlastnosti materiálu břitu a na technologické podmínky obrábění (průřez třísky, řezná rychlost, geometrie břitu, řezné prostředí apod.). Aby bylo možno určit řezivost nástroje, je třeba zjistit závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách. Protože trvanlivost je definována jako doba, po kterou může nástroj pracovat hospodárně až do otupení, je třeba toto otupení nástroje měřit.

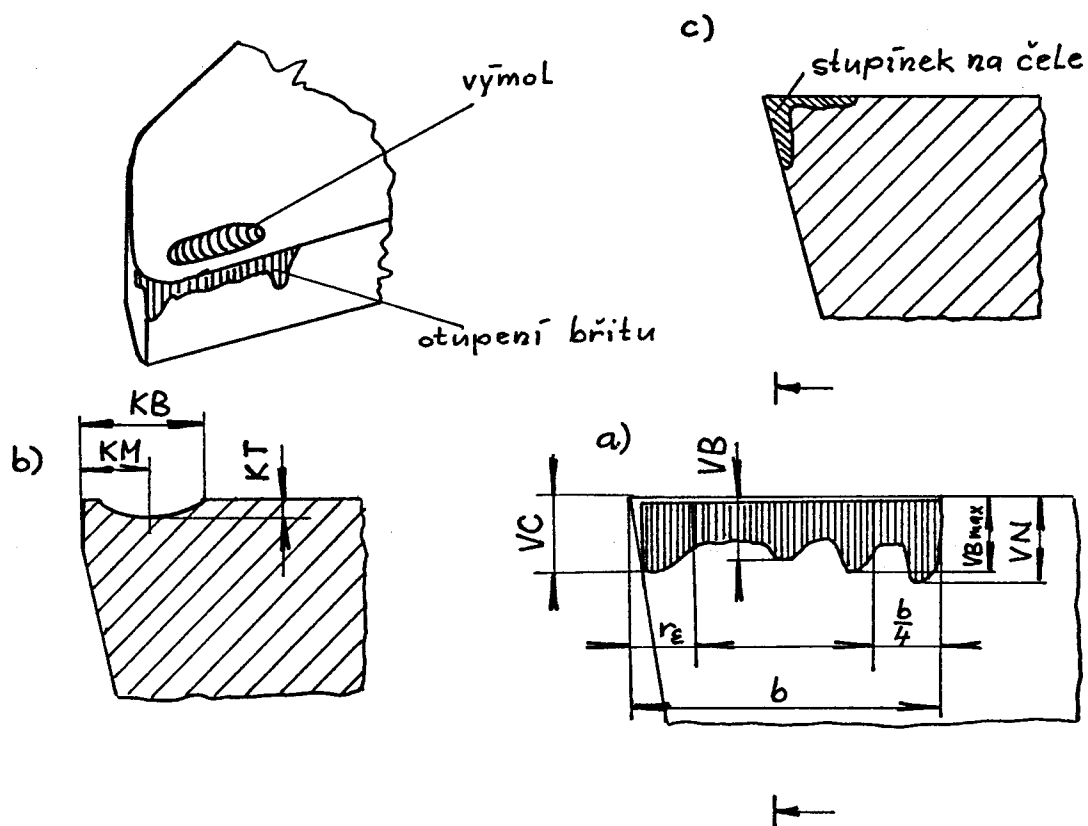
Metody měření otupení:

- a) měření lineárních rozměrů opotřebovaných ploch řezné části nástrojů
- b) určení objemu opotřebovaného materiálu břitu
- c) určení hmotnosti úbytku nástroje vlivem opotřebení

Nejčastěji se měří lineární rozměry opotřebovaných ploch řezné části nástroje. Vnější projev otupení břitu, tj. změna jeho tvaru během řezání, vzniká:

- a) úběrem materiálu na hřbetě nástroje kde vzniká nepravidelná ploška (obr.č.5a)
- b) úběrem materiálu na čele nástroje, kde vzniká výmol ve tvaru žlábků (obr.č. 5b)
- c) úběrem materiálu ve formě stupínku na čele (obr.č. 5c)
- d) křehkým lomem mikročástic v blízkosti ostří
- e) zaoblením ostří plastickou deformací

Zpravidla se měří hodnota VB (velikost opotřebení nástroje na hřbetě v oblasti B) a hloubka výmolů KT (obr.č. 5).



Obr.č. 5 Charakter opotřebení řezného klínu nástroje

Na trvanlivost břitu má kromě materiálu obrobku a materiálu řezného nástroje velký vliv řezná rychlost. S rostoucí řeznou rychlostí trvanlivost nástroje klesá.

2.5.2.1. ŘEZIVOST NÁSTROJE

Vztah mezi trvanlivostí břitu nástroje a řeznou rychlostí se nazývá řezivost. Řezivostí nástroje rozumíme

soubor jeho vlastností, ovlivňujících komplexně jeho výkon, což je dosahovaná velikost hospodárného úběru a produktivita práce. Za řezivost řezného materiálu pokládáme materiálové vlastnosti břitu, ale závisí i na technologických podmínkách obrábění.

Při volbě materiálu břitu je nutné volit určitý kompromis, protože žádný známý materiál nesplňuje ideálně všechny kladné požadavky. Z tohoto hlediska je pojem řezivosti definován jako soubor vlastností řezných materiálů, určující jejich schopnost ekonomicky obrábět. V praxi se často neurčuje absolutní řezivost, ale porovnávají se řezivosti dvou nástrojových materiálů za stejných parametrů obrábění výsledkem je pak relativní řezivost:

$$i_R = \frac{V_T}{V_{Te}} \quad [7]$$

kde v_{Te} - řezná rychlost dosažená při zvolené trvanlivosti T při obrábění etalonovým nástrojem

v_T - řezná rychlost dosažená při stejné trvanlivosti, zkoušeným nástrojem, za stejných řezných podmínek.

Rychlosti v_T a v_{Te} se odečtou z T - v diagramu pro dané řezné materiály.

2.5.2.2. ZKOUŠKY ŘEZIVOSTI

Každý druh řezného nástroje vyžaduje vlastní metodiku zkoušek, jejíž postup závisí na nástroji, kinematice jeho pohybu a způsobu obrábění. Představitelem nástrojů je proto zvolen jednobřitý nástroj (soustružnický nůž), pracující podélným soustružením. /7/

Zkoušky řezivosti jsou dlouhodobé, nebo krátkodobé zkoušky obráběním. Účelem všech krátkodobých zkoušek je snížení časové a materiálové náročnosti i za cenu snížení přesnosti.

Metody zkracování zkoušek:

- a) Zvýšení řezných podmínek - výsledky jsou odlišné od výsledků získaných dlouhodobou zkouškou. Použití pouze v případě porovnání $T-v$ v závislosti za stejných ztřeštěných podmínek.
- b) Snížením míry otupení břitu - místo voleného kritéria 0,8 mm je voleno 0,1 až 0,3 mm. Ostatní podmínky jsou pak voleny stejně, jako při dlouhodobé zkoušce. Je nutno sledovat počáteční zrychlené fáze opotřebení.

2.5.2.3. HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI

Při stanovování řezivosti nástroje vycházíme z Taylorova vztahu mezi trvanlivostí nástroje a řeznou rychlostí za určitých řezných podmínek.

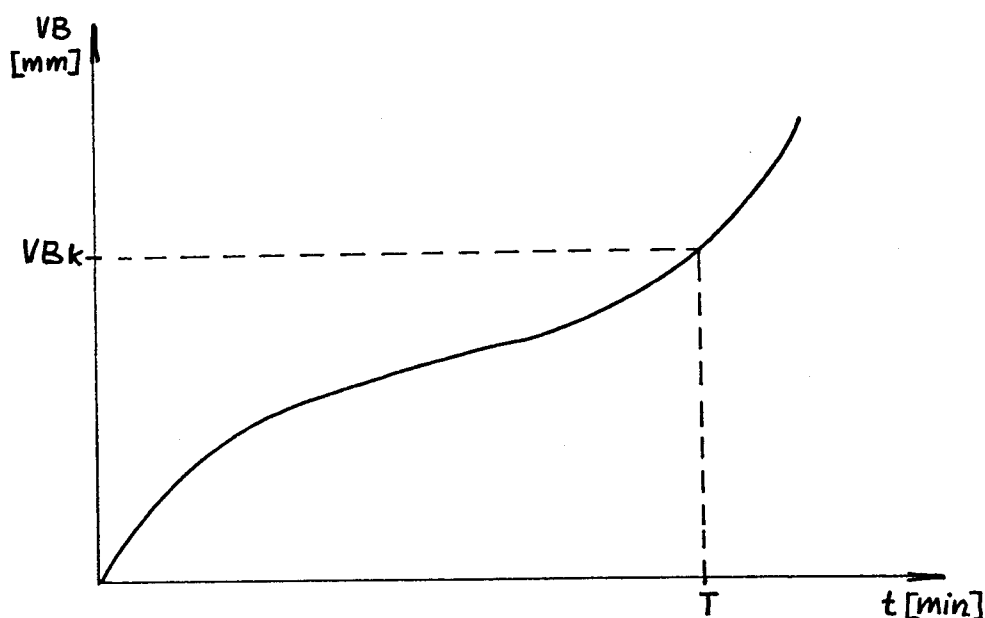
$$T = \frac{C_T}{v^m} \quad [8]$$

nebo

$$v_c = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \quad [9]$$

Smluvně je řezivost nástroje charakterizována konstantami m , a C_T , nebo C_v z uvedeného vztahu a řeznou rychlostí v_T . Rychlost v_T je řezná rychlost odpovídající smluvní trvanlivosti T (tzv. absolutní řezivost). Tato trvanlivost se volí blízká T_{opt} .

K měření otupení se prakticky používá metoda, kdy optimální trvanlivost je omezena počátkem obrábění a okamžikem, kdy VB dosáhlo šířky otupení VB_k , (obr.č.6).



Obr.č.6 Kriterium otupení nástroje

Hodnota VB_k je tzv. kritérium otupení nástroje. Velikost otupení mohou určovat i technologické podmínky práce, např. požadovaná přesnost obrábění, nebo drsnost obrobeného povrchu.

Protože není možné v praxi stanovit pro všechny podmínky obrábění optimální opotřebení, bere se jako kritérium opotřebení VB_k určitá smluvní hodnota, předem určená pro daný materiál nástroje a obrobku.

Vliv obrobiteľnosti na řezivost nástroje.

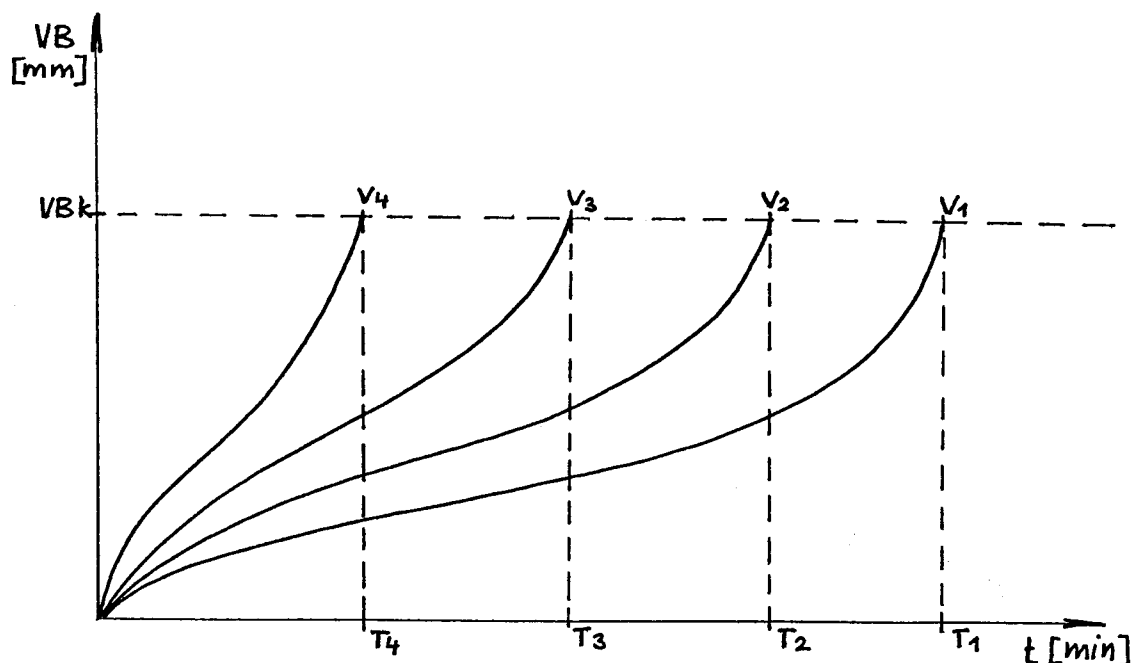
Stejně jako řezivost charakterizuje řezný materiál, obrobiteľnost charakterizuje obráběný materiál. Obrobiteľnost je tedy souhrn vlastností materiálu obrobku z hlediska jeho přístupnosti a použitelnosti pro ekonomickou výrobu součástí obrábění. Materiál je lépe obrobiteľným, jestliže jej lze obrábět vyšší řeznou rychlostí, nebo je

ovlivňuje rovněž otupování břitu nástroje a jeho řezivost. Lépe obrobitelný materiál zajišťuje dosažení menších řezných sil a nižších teplot řezání.

2.5.3. DLOUHODOBÁ ZKOUŠKA TRVANLIVOSTI

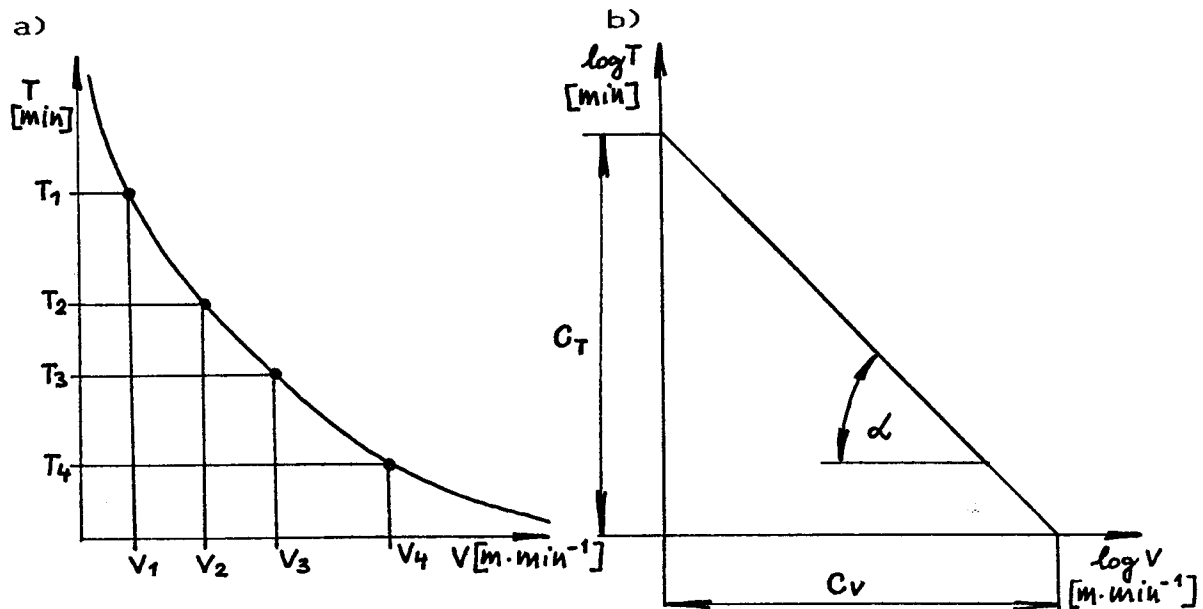
Jak již bylo řečeno, při obrábění daného materiálu ovlivňuje trvanlivost břitu nejvíce řezná rychlost. S rostoucí řeznou rychlostí (v oblasti běžných řezných rychlostí), trvanlivost břitu nástroje klesá.

Obrábíme-li při konstantních řezných podmínkách nástrojem z daného materiálu, různými řeznými rychlostmi, získáme časové hodnoty trvanlivosti. Průběh otupení břitu na hřbetě nástroje zanášíme do diagramu $VB = f(T)$.



Obr.č.7 Diagram kritériálních otupení nástrojů

Pro zvolenou hodnotu otupení VBk vyneseme odpovídající trvanlivost T a příslušející hodnoty řezné rychlosti v do diagramu $T-v$ a získáme závislost $T=f(v)$.



Obr.č.8 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti
(v souřadnicích: a) normálních, b) logaritmických)

Křivka závislosti $T = f(v)$ je v rozsahu běžných rychlostí polytropa, kterou lze matematicky vyjádřit:

$$C_T = T \cdot v_c^m \quad [8]$$

$$C_v = T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c \quad [9]$$

Logaritmováním výrazu [9] dostaneme rovnici přímky, jejíž směrnice vyjadřuje velikost exponentu m (obr.č. 8b).

$$\log C_T = \log T + m \cdot \log v_c$$

$$m = \operatorname{tg} \alpha$$

Velikost exponentu m určíme buď graficky z diagramu, nebo výpočtem. Pro různé řezné rychlosti při konstantních ostatních parametrech řezání platí:

$$C_T = T_1 \cdot v_1^m$$

$$C_T = T_2 \cdot v_2^m$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2^m}{v_1^m}$$

$$m = \frac{\log T_2 - \log T_1}{\log v_1 - \log v_2}$$

Hodnoty konstant C_T a C_v lze určit výpočtem z rovnic [8] a [9], známe-li hodnotu m . Zde potom platí:

pokud $v = 1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$$T = 1 \text{ min}$$

$$\text{potom } C_T = T \quad \text{a} \quad C_v = v$$

2.6. VYUŽITÍ AKUSTICKÉ EMISE V PROCESU OBRÁBĚNÍ

2.6.1. STUDIUM ZÁKLADNÍCH POZNATKŮ VYUŽITÍ AKUSTICKÉ EMISE

Využití akustické emise (dále jen AE) v řezném procesu se jeví jako nadějná metoda automatické kontroly. Problémy nahrazení obsluhy a včasného zjištění změn v obráběcím procesu nejsou zatím prakticky vyřešeny. Některé parametry sledování řezného procesu již byly úspěšně aplikovány v průmyslu, ale žádný z nich zatím nenahrazuje všechny možné vlivy a nemůže být úspěšně používán ve všech obráběcích procesech.

Hlavní výhodou AE je to, že vzniká v oblasti řezu fyzikálními jevy, spojenými se základními mechanismy obrábění [1]. Obecně lze cíle metody AE, jako nedestruktivní kontroly shrnout do

několika bodů:

- detekce existujících defektů a trhlin v konstrukcích
- detekce a lokalizace šířících se defektů a trhlin
- detekce lokální plastické deformace
- určení napjatosti při destrukčním tlaku tlakových nádob
- včasné odhalení blížícího se porušení
- kontrola svařovacího procesu

2.6.2. ZÁKLADNÍ POJMY AKUSTICKÉ EMISE /3/

1. akustická emise (AE)	elastické vlnění, které je důsledkem náhlého uvolnění energie v materiálu
2. metoda akustické emise	metoda snímání a vyhodnocení AE
3. emisní signál	signál získaný detekcí AE
4. emisní událost (EU)	diskrétní materiálová změna způsobující akustickou emisi, jejíž signál je tvořen jedním, nebo několika kmity
5. emisní kmit	průběh emisního signálu v jedné periodě frekvence, která má z celého frekvenčního spektra maximální amplitudu.
6. emisní překmit	část emisního kmitu, která překročí nastavenou prahovou úroveň
7. nespojitá emise	AE, jejíž signál má charakter výrazně časově oddělených impulsů
8. spojitá emise	akustická emise, jejíž signály nejsou v čase výrazně odděleny
9. emisní zdroj	lokální proces, při kterém

10.stimulace	dochází v materiálu k AE jakékoliv působení na materiál, které může vést k aktivaci emisních zdrojů
11.rušivý signál	každý signál, který zhoršuje podmínky pro detekci užitečných signálů AE
12.diskriminace	metoda k rozlišení emisních signálů

2.6.3. VZNIK SIGNÁLU AE /4/

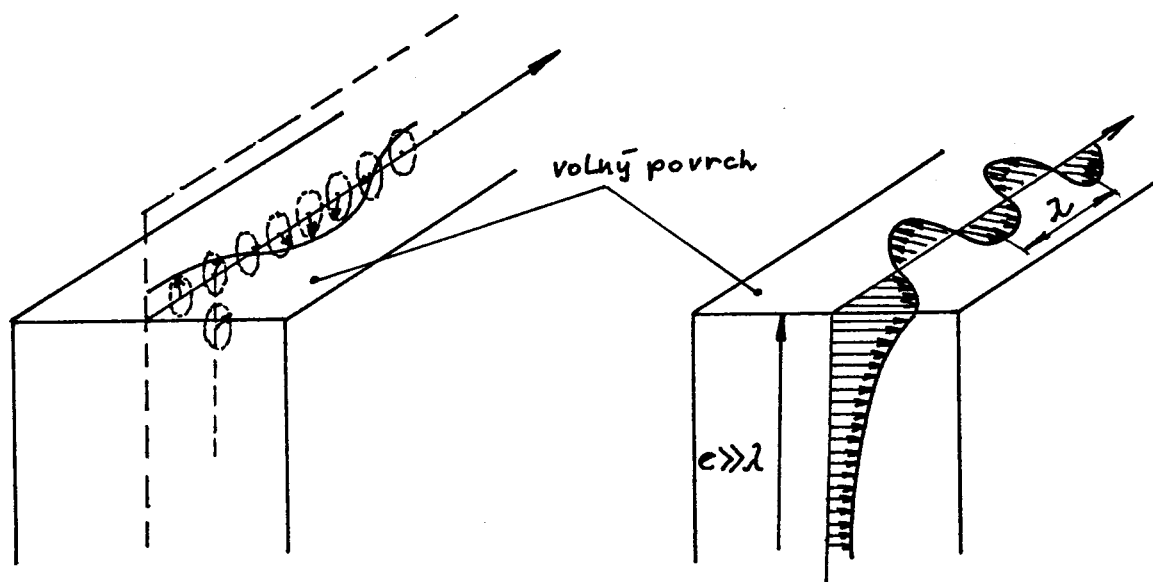
Pod pojmem AE rozumíme mechanické kmity, které se generují v materiálu v důsledku náhlého uvolnění energie uvnitř materiálu (zpravidla při mechanickém, nebo tepelném namáhání). Z fyzikálního hlediska je vznik AE určován, jako okamžitý vnější projev nastupující materiálové deformace.

Při obrábění dochází v důsledku zatěžování odřezávané vrstvy řezným nástrojem k plastické deformaci obráběného materiálu. Se zvětšováním deformace při překročení kohezni pevnosti dojde k porušení soudržnosti. V místech vysoké deformační rychlosti a velkých tahových napětí vznikají trhliny. V procesu obrábění vznikají tyto trhliny běžně.

Jak již bylo řečeno, jsou v důsledku náhlého uvolnění energie uvnitř materiálu (mikropraskání, šíření trhliny) emitovány tranzitní napěťové vlny. Průchodem napěťové vlny materiálem se část uvolněné energie mění v teplo, část vyvolává tzv. Rayleighovu vlnu (obr.č. 9) a zbytek energie se vrací do materiálu prostřednictvím odražené vlny.

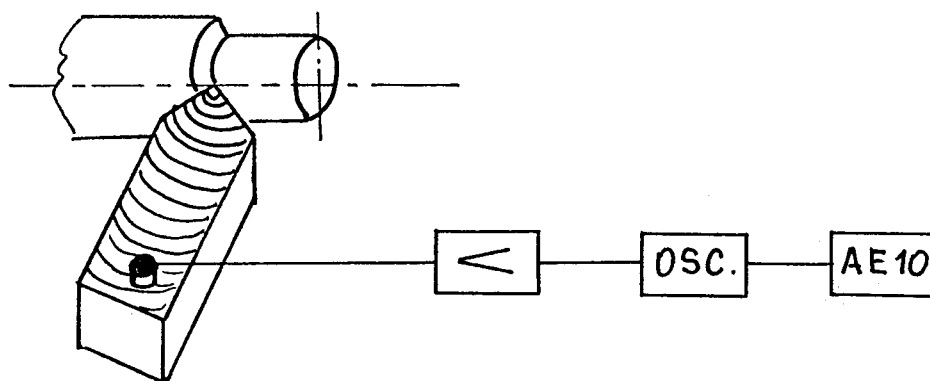
podélná vlna

příčná vlna



Obr.č. 9 Šíření podélné a příčné Reyleighovy vlny /4/

Povrchová vlna je potom vhodným snímačem zachycována přeměněna na elektrický signál, kterému říkáme emisní (obr.č.10).



Obr.č. 10 Schema tvorby, šíření a detekce emisního signálu

2.6.4. SLEDOVÁNÍ STAVU NÁSTROJE /4/

2.6.4.1. SLEDOVÁNÍ VLIVŮ NA ZLOMENÍ NÁSTROJE

Rychlé stanovení předpokládaného zlomení nástroje je obzvlášť důležité při dokončovacích operacích, když už má obráběný materiál vysokou hodnotu opracování. Je také důležité při hrubování, protože zlomení nástroje může vyvolat poškození držáku nástroje a revolverové hlavy, jestliže stroj není včas vypnut. V praxi může zlom nástroje nastat za těchto okolností:

- při nedostatku mazání
- při přerušovaném řezu
- při rychlém opotřebení na čele
- při najetí nástroje na tvrdé zrno v materiálu

Podle provedených zkoušek dochází ke zlomení nástroje při najetí na tvrdé zrno v materiálu, obráběním překalené oblasti, nadměrným opotřebením hřbetu a čela nástroje.

Při zlomení nástroje v důsledku najetí na tvrdé zrno, dochází u signálu AE k vysokému energetickému přechodu. Do oblasti zlomu nástroje má závislost emisních událostí na čase přibližně konstantní charakter. V oblasti zlomu dochází k prudkému nárůstu emisních událostí s následným rychlým poklesem. Signál AE je také velmi citlivý na odlupování ostří, ačkoliv se tento jev týká velmi malé části ostří a není často pozorován ani na změně posuvové síly.

Lze konstatovat, že hodně zkoušek, které byly provedeny za odlišných řezných podmínek, ukázalo možnost určení zlomení nástroje v reálném čase pomocí AE. Tyto zkoušky umožňují navrhnout průmyslový detektor, který splňuje následující požadavky:

- k seřízení není třeba obsluhy
- nejsou nároky na obsluhu z hlediska poškození

- lehké použití

Detektor zajišťuje dvě funkce:

- určování zlomení nástroje
- určování dotyku nástroje

Instalace detektoru na stroji je velmi lehká a obvykle nepotřebuje žádné demontování bezpečnostních krytů. V tomto případě je čas zastavení výroby velmi krátký. Nicméně je potřeba stanovit polohy snímačů pro každý nový stroj z důvodů jeho specifické konstrukce a problému šíření signálu AE.

2.6.4.2. KONTROLA OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE

Jednou z nejzávažnějších oblastí možnosti použití metody AE je oblast aktivní kontroly stavu ostří nástroje bez porušení pracovního cyklu výroby. Rozbor technologických faktorů, které mají vliv na trvanlivost nástroje, nedovoluje ve výrobních podmínkách úspěšně předpovídat opotřebení ostří nástroje a způsobuje nevyhnutelnost její aktivní kontroly. Nucená výměna nástroje v automatizovaném výrobním cyklu po obrobení zadaného množství obrobků nezávisí od jeho skutečného opotřebení. Je to ekonomicky nevýhodné a není ani úplná záruka bezhavarijní práce stroje.

Vztah mezi parametry AE a stavem obráběného povrchu je založen na tom, že signál AE se skládá ze stálých a proměnných částí. Trvalá část signálu nese informaci o souhrnném procesu rozrušování, plastické deformaci a tření, které provázejí obrábění elementu odřezávané vrstvy. Proměnná část je způsobena nestacionárními efekty, v první řadě opotřebením, tj. zvětšením plochy kontaktu řezného nástroje s obrobkem. Tím jsou dány fyzikální předpoklady pro identifikaci opotřebení nástroje, a to výběrem proměnné části

signálu AE při podmínkách obrábění v nepřetržitém cyklu. Opotřebení nástroje zvyšuje počet emisních událostí AE a to jednoznačně a monotónně.

Tyto výsledky jsou obecné a nejsou ani dostačující k umožnění automatizace indikace opotřebení nástroje, ale ukazují, že AE může poskytnout informaci o opotřebení nástroje./4/

2.6.4.3. HODNOCENÍ OBROBITELNOSTI POMOCÍ AE

Obrobitelnost daného materiálu lze charakterizovat maximální rychlostí obrábění zabezpečující předem danou trvanlivost nástroje. Z tohoto důvodu je pro správné určení obrobitelnosti konkrétního obráběného materiálu potřeba provést časově náročné trvanlivostní zkoušky s cílem sestavení závislosti opotřebení nástroje nebo hloubky řezu na rychlosti obrábění, které jsou ekonomicky nevýhodné a většinou velmi pracné. Proto zpracování metody zhodnocení obrobitelnosti pomocí AE je aktuálním praktickým úkolem.

Analýza ukazuje, že parametry signálu AE, které se generují při dynamické přestavbě struktury obráběného materiálu v oblasti řezání, jsou většinou citlivé na změny jeho základních fyzikálně-mechanických charakteristik. Tato skutečnost může být použita k vytvoření základu analýzy obrobitelnosti metodou AE.

Parametry AE závisí na podmínkách průběhu plastické deformace a porušení obráběného materiálu, tření a opotřebení řezného nástroje, jakosti povrchové vrstvy polptovarů. Tyto vlivy určují komplex ukazatelů obrobitelnosti, jako jsou tvrdost a struktura materiálu polotovarů. To dává nezbytné předpoklady metodou AE analyzovat okamžitou obrobitelnost./4/

2.6.4.4. KONTROLA JAKOSTI OBRÁBĚNÉHO POVRCHU POMOCÍ AE

Existující metody kontroly stavu povrchové vrstvy součástí dovolují zhodnotit její parametry pouze v laboratorních podmínkách, to znamená po skončení obrábění. Nedostatky daných metod, bez ohledu na jejich přesnost, vylučují možnost sestrojení automatizovaných systémů aktivní kontroly s cílem zabezpečení fyzikálně-mechanických parametrů stavu povrchové vrstvy obráběného materiálu.

Aktivní role vln pružné deformace, které se generují v zóně řezu, se musí projevit v procesu formování jakosti povrchové vrstvy. To znamená cestou působení na napětově deformovaný stav obráběného povrchu, jeho mikrorelief a strukturně fázové složení.

Tento způsob objevuje reálnou perspektivu spolehlivého a okamžitého zhodnocení parametrů jakosti v procesu jejich formování, cestou analýzy signálu AE. Tyto parametry nesou jednoznačnou informaci o podmínkách průběhu vlnových jevů v oblasti řezání./4/

2.6.4.5. VÝBĚR ŘEZNÉ KAPALINY POMOCÍ AE

Jednou z rezerv zvýšení produktivity a jakosti procesu obrábění řezáním je použití efektivních řezných kapalin. Pro výběr optimální řezné kapaliny tradičními metodami je nutné provést dlouhé a materiálově náročné experimenty.

Dnes existují rychlé metody založené na sledování fyzikálně-chemických a dalších charakteristik řezných kapalin při modelování: měření viskozity, tepelné vodivosti, parametrů tření atd. Ve většině případů je nelze použít pro zhodnocení efektivnosti působení řezné kapaliny v reálných podmínkách obrábění. Je to způsobeno tím, že při modelování je principiálně nemožné zabezpečit stejné řezné podmínky.

Hodnověrná analýza funkční aktivity řezné kapaliny může být objasněna pouze v reálných podmínkách obrábění.

Protože řezná kapalina má vliv na procesy tření, porušení a plastické deformace v zóně řezu, lze přirozeně očekávat jejich vliv na parametry AE. Aktivní role AE při opotřebení nástroje a formování jakosti obráběného povrchu dovoluje předpokládat, že efektivnost řezné kapaliny může být sledována pomocí analýzy závislosti signálu AE na podmínkách použití řezné kapaliny, jejího druhu a koncentrace./4/

2.6.4.6. ADAPTIVNÍ ŘÍZENÍ OBRÁBĚNÍ

Schopnost ovládat průběh operací obrábění pomocí signálů AE, předpokládá v budoucnosti sestavení efektivních systémů řízení procesu obrábění, které budou využívat metodu AE.

Jako základ použití metody AE při adaptivním řízení obrábění se jeví princip "energetického koridoru", který vyzdvihuje nezbytnost podporovat v zadaných krajních mezích veličinu energie AE, jež odpovídá výstupním parametrům obrábění.

Hranice energetického koridoru se mohou uchovávat v paměti řídicích počítačů, které jsou spojeny se zařízením příjmu a úpravy signálu AE a také s výkonným ústrojím obráběcího stroje. Vysoká operační rychlost spoušasných počítačů dovoluje získat maximální množství informativních parametrů ze signálu AE a srovnat je s etalonovými vzory, které určují výchozí hodnoty parametrů obrábění. Počítače přijímají řešení v případě nutnosti korekce režimu obrábění, výměny nástroje, přerušeni řezného procesu atd.

Získání celistvé informace v režimu chodu technologického procesu obrábění může zabezpečit sestavení matematických modelů havarijních situací např. zlomení nástroje nebo jeho vylamování. Přičemž podle míry shromážděných informací

počítače cestou studia tyto modely zdokonalují a po konečném zpracování dovolují v automatickém režimu nebo s pomocí vnějších zařízení zpracovat obraz havarijní situace. Je to takové spojení informativních parametrů technologického procesu, které odpovědně svědčí o výchozích parametrech připravené produkce, za připuštění krajních mezí. Rozpoznání obrazu havarijní situace dává předpoklady pro předpověď různých podmínek obrábění. Výsledkem je zabezpečení odpovídajících změn v automatickém cyklu nebo s pomocí člověka. Praktický význam takového přístupu zabezpečení spolehlivosti funkce technologických procesů třískového obrábění je těžké zhodnotit, protože zachycuje odlišnosti procesu řezání konkrétního polotovaru. V budoucnosti může najít široké použití v robotizovaných technologických komplexech, v automatizovaných závodech a v podmínkách technologie bez lidské obsluhy.

Jako ekonomicky výhodné se ukazuje následující řešení problému adaptivního řízení procesu obrábění: Každá jednotka kovoobráběcího stroje je vybavena přístrojem AE, který dovolu je kontrolovat chod procesu obrábění ve svém energetickém koridoru, jehož hranice mohou být zúženy. Při překročení těchto hranic přístroj AE vydá pomocí signálu příkaz řídicímu počítači, který má v operační nebo vnější paměti modely havarijních situací pro analyzované pracovní místo.

Je zcela zřejmé, že množství variant praktického využití kombinace řídicího počítače a prvotních přístrojů pro zpracování informací je dostatečně mnoho.

2.6.5. ZHODNOCENÍ VYUŽITÍ AE PŘI OBRÁBĚNÍ

Uvedené metody využití AE jsou zatím stále ve stadiu neustálého výzkumu. K jejich nasazení dojde až po dokončení všech experimentálních měření, které mohou vysledovat správné podmínky pro jejich aplikaci v obrábění.

Jediná metoda, která zřejmě už brzy najde uplatnění v průmyslové výrobě, je předpověď zlomení nástroje, protože při této aplikaci nám signál AE dává jednoznačnou odpověď./4/

2.6.6. SLEDOVÁNÍ VLIVŮ NA PARAMETRY AE

2.6.6.1. PARAMETRY SIGNÁLU AE /4/

Zdroj AE uvnitř sledovaného obráběného materiálu se chová jako vysílací anténa a má svůj charakteristický vyzařovací diagram pro různé typy elastických vln (smykové, podélné, povrchové). Stimulací emisního zdroje dochází k uvolnění vlnového balíku, který se na povrchu tělesa projeví jako povrchové vlny. Ty jsou snímány na povrchu umístěnými snímači AE, které je převádějí na elektrický signál, a ten je dále registrován a zpracováván. Složitě transformace původního napěťového impulsu na elektrický signál zatím prakticky znemožňují přímou identifikaci mechanismů emisních zdrojů v reálných tělesech. K charakterizaci AE pulsního typu se proto používá řada jednoduchých, dostupnými prostředky měřitelných parametrů, jako jsou:

- sumace překmitů signálu přes nastavenou prahovou úroveň
- sumace emisních událostí
- efektivní hodnota emisního signálu
- energie signálu AE
- max. amplituda emisních událostí
- amplitudově-frekvenční spektrum emisního signálu

2.6.6.2. VLIVY SPOJENÉ S TVORBOU TŘÍSKY /4/

Obrábění kovů řezáním způsobuje elastické vlny, které jsou rozšiřovány v celém materiálu, nástroji a držáku nástroje. Snímač AE je většinou umístěn na noži, držáku nástroje, nebo na materiálu. Signál AE velmi závisí na řezných podmínkách. Jestliže dochází k jejich změně, např.: změna posuvu, hloubky řezu, řezné rychlosti atd., dochází i ke změně parametru signálu AE. Vliv řezných podmínek vychází z fyzikálních jevů spojených s tvorbou třísky (obr.č. 11).

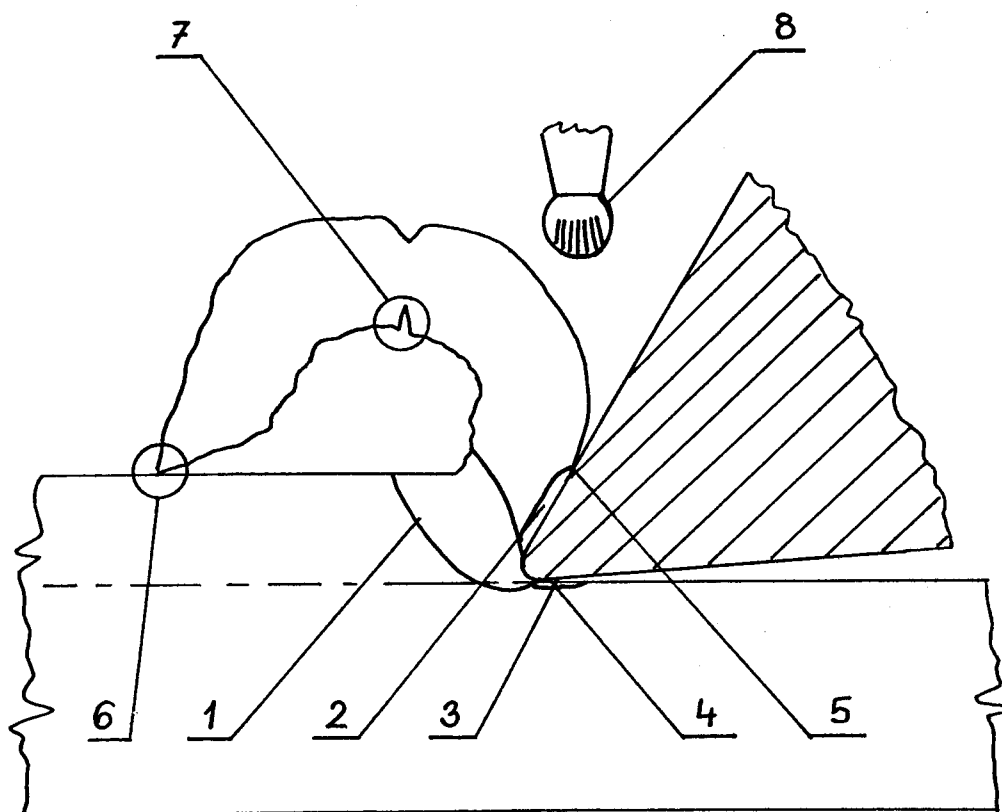
Fyzikální jevy (zdroje AE):

- oblast primární plastické deformace
- oblast sekundární plastické deformace
- oblast terciální plastické deformace
- tření třísky o čelo nástroje
- tření třísky o hřbet nástroje
- tření třísky o materiál
- tření nože o materiál
- lámání nože
- použití řezné kapaliny

Z těchto jevů se nejvíce projevuje oblast primární plastické deformace, kde při řezání dochází k zatěžování materiálu a vzniku trhlin, které jsou základním zdrojem emisního signálu.

Dalším důležitým zdrojem AE, který má vliv na parametry signálu, je tření. Jestliže použijeme suché mazání pro snížení tření, dojde i ke snížení počtu emisních událostí./4/

Obr.č. 11 Fyzikální jevy spojené s tvorbou třísky /2/



1. Oblast primární plastické deformace
2. Oblast sekundární plastické deformace
3. Oblast terciální plastické deformace
4. Tření na hřbetě nástroje
5. Tření na čele nástroje
6. Tření třísky o materiál
7. Lámání třísky
8. Použití řezné kapaliny

2.6.6.3. VLIVY SPOJENÉ S UMÍSTĚNÍM A PŘIPEVNĚNÍM SNÍMAČE

Při prováděných experimentech bylo zjištěno, že na umístění sondy a na jejím připevnění podstatně závisí kvalita snímaného signálu. Experimenty prokázaly, že jestliže je sonda umístěna na noži, je zachycen nejvyšší počet emisních událostí AE. Další negativní vliv se projevil při připevňování sondy. Při jejím odstranění a připevnění při opětovném provedení experimentu dochází k nepatrným změnám v počtu snímaných emisních událostí. Tento problém lze odstranit tím, že se neprovádí demontáž snímače, popřípadě se při každé montáži provede tzv. pentest, který zajistí stejné parametry sledování signálů AE. Jedná se o to, že vždy po opětovném ustavení snímače se láme o břit nástroje stejně daleko vysunutá tuha a je sledován signál AE vzhledem k jeho intenzitě, která má být stejná jako v předchozím případě.

2.6.6.4. RUŠIVÉ VLIVY

Mezi nejzákladnější rušivé vlivy patří šíření chvění od ostatních strojů, nebo vibrace stroje, na kterém se provádí experiment. Tyto negativní důsledky lze odstranit použitím snímače na bázi piezokeramického materiálu s rezonanční frekvencí nad 100 kHz, aby se odstranily rušivé vlivy silnějších vibroakustických signálů. Po předzesílení je filtrovaný signál přiváděn do nastavitelných zesilovačů, za nimiž následují prahové detektory odstraňující další šumové složky.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. METODIKA HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI

Vlastní měření získání potřebných hodnot probíhalo v dílnách KOM na VŠST v Liberci.

a) Obráběcí stroj

Byl použit soustruh SR - 315 s plynulou regulací otáček. Jeho výkon je 17 kW při otáčkách motoru $n = 4000 \text{ min}^{-1}$ (obr.č. 12).



Obr.č. 12 Soustruh SR - 315

b) Nástroj /8/

Soustružnické nože o rozměrech 25 x 25 x 300 mm byly vyrobeny z materiálu 19830 (ČSN 41 9830). Jde o výkonnou molybden-wolframovou RO.

c) Obráběné materiály

Zkoušky byly provedeny na třech druzích materiálu. Jejich parametry jsou zapsány v tabulce č. I.

Materiál ČSN	Tvrdost [HB]	Výchozí průměr obrábění D [mm]	Poznámka
12050.9	211 - 225	250	2 x žíháno
15260.3	236 - 245	180	
422420	178 - 192	215	

Tabulka č. I Parametry obráběných materiálů

Tvrdost materiálů byla zkoušena pomocí tvrdoměru POLDI.

d) Použité přístroje a zařízení

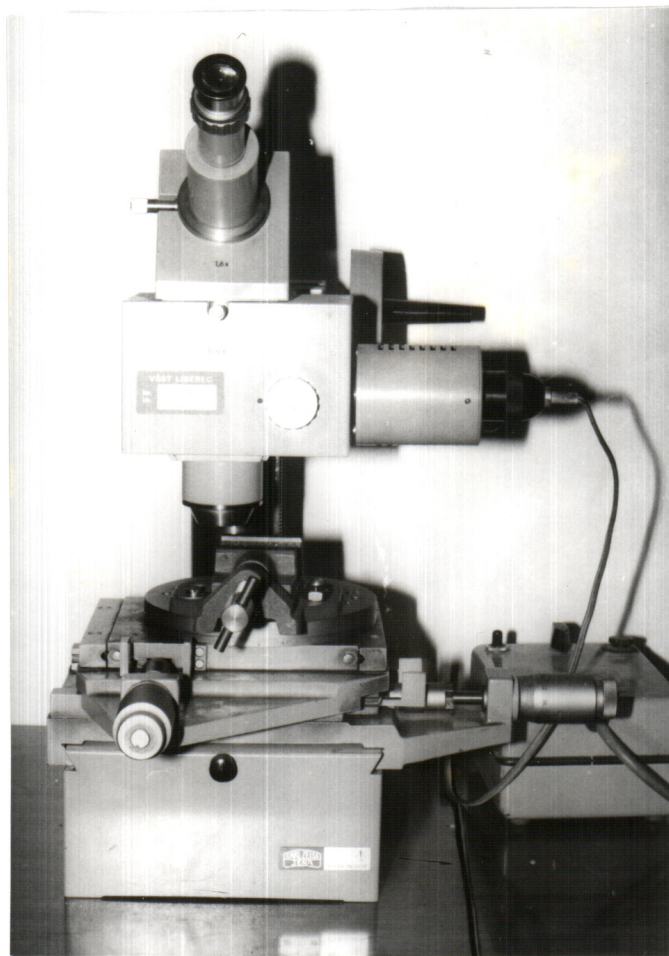
Čítač BM 520 s nastaveným vyhodnocováním otáček vřetena po jedné sekundě (obr.č. 13) sloužil pro přesné nastavení otáček vypočítaných z předem zvolené řezné rychlosti.



Obr.č. 13 Čítač BM 520

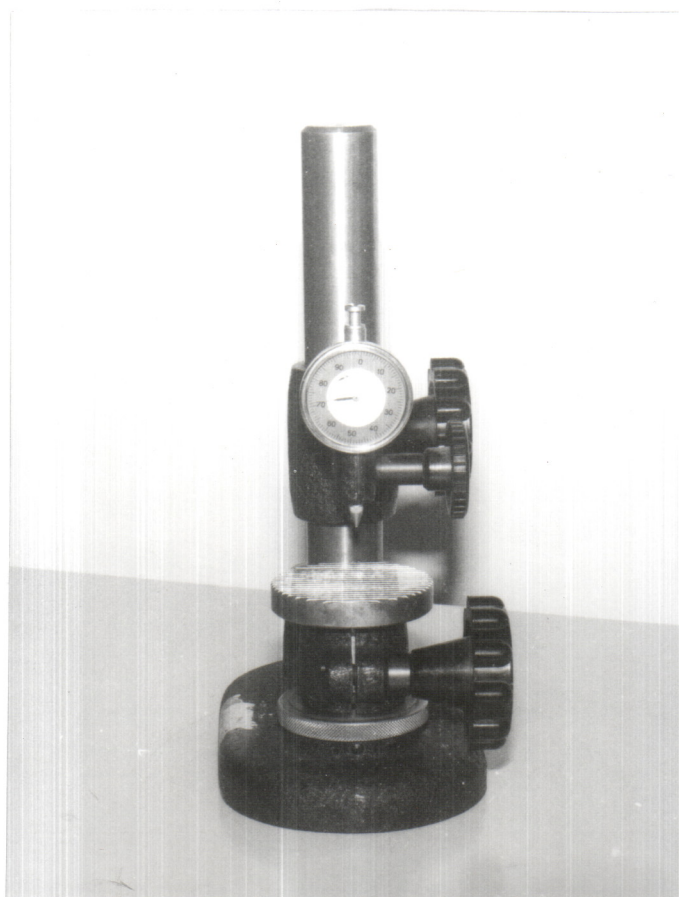
Digitální stopky běžného provedení byly použity pro měření doby obrábění T.

Měřicí mikroskop BK 70 x 50, výrobce KARL ZEISS Jena (obr.č.14) sloužil pro přesné odečítání opotřebení VB, VC, VB_{max} a velikosti nárůstku.



Obr.č. 14 Měřicí mikroskop BK 70 x 50

Číselníkový úchylkoměr SOMET, ČSN 251811 se setinovým dělením, upnutý v normalizovaném stojánku byl použit pro měření hloubky výmolu KT na čelní ploše nože (obr.č. 15).



Obr.č. 15 Číselníkový úchylkoměr SOMET ve stojánku

Posuvné měřítko pro měření $\varnothing D$ obrobku.

Optický profilometr pro kontrolu poloměru špičky .

Dílenský úhloměr pro kontrolu α_r .

3.1.1. HODNOCENÍ OPOTŘEBENÍ NA HRBETĚ NÁSTROJE

Pro dlouhodobou zkoušku bylo zvoleno kritériální opotřebení $VB_k = 0,3 \text{ mm}$. Jednotlivé časové úseky, po které byl nůž v záběru, byly voleny operativně dle průběžně vzrůstajících hodnot VB. Spuštěně s hodnotami VB byly odečítány i hodnoty VC a $VB_{\max}$ /viz obr.č. 5a/. Pokud došlo ke katastrofickému opotřebení břitu nástroje [K.O.], byla zkouška ukončena.

3.1.2. HODNOCENÍ OPOTŘEBENÍ NA ČELE NÁSTROJE

Na čelní ploše byla měřena hloubka výmolu KT /viz obr.č.5b/. Toto měření nebylo zcela přesné z důvodu hrubého setinového dělení stupnice číselníkového úchylkoměru a z důvodu velkého radiusu na špičce safírového hrotu.

Na čelní ploše vznikal velmi často nárůstek, jehož velikost byla průběžně měřena mikroskopem. O tom, že vždy nešlo o nárůstek stabilní svědčí některé nulové hodnoty.

3.2. METODIKA HODNOCENÍ DRSNOSTI POVRCHU OBROBKU

Hodnocení drsnosti povrchu probíhalo též v dílnách KOM na VŠST v Liberci. Jednotlivé obrobené úseky, závislé svou velikostí na časových úsecích, byly číslovány a po dokončení dílčího experimentu, měřeny. Při malých časových úsecích (cca 1 min) a malých řezných rychlostech, byly některé obrobené úseky tak úzké, že nebylo možno zajistit regulérní výsledky měření drsnosti (označeno v tabulce "nelze").

Byly měřeny hodnoty R_a , $R_{\max}$ /viz obr.č.3/ a hodnoty R_z /viz obr.č. 4/.

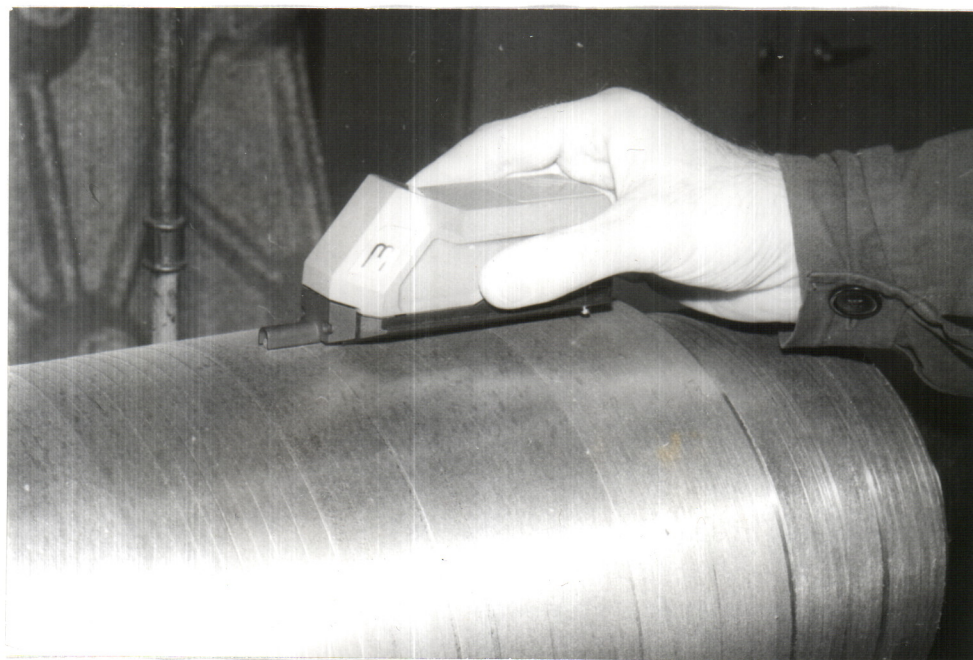
3.2.1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE

Měření drsnosti povrchu bylo prováděno přístrojem HOMMEL TESTER T 500 (obr.č. 16). Jde o přenosný profilometrický digitální přístroj se snímačem T 5E.

Na přístroji byly nastaveny tyto parametry:

mezí rozteč = 0,8 mm

měřicí rozsah = 4,8 mm



Obr.č. 16 Přístroj na měření drsnosti povrchu.

3.3. METODIKA MĚŘENÍ ŘEZNÝCH SIL

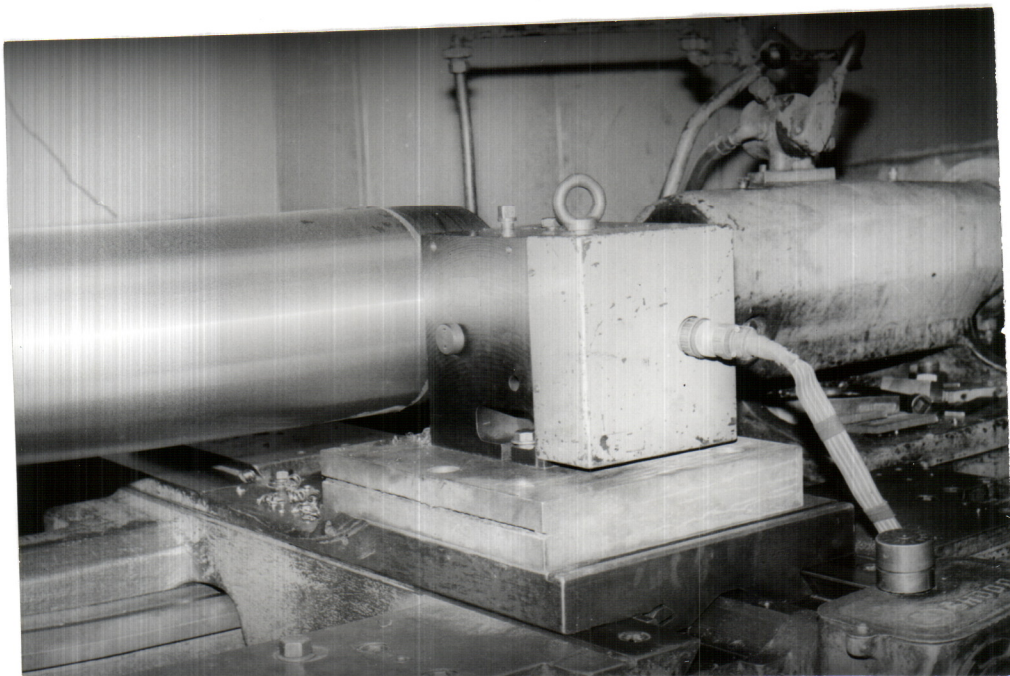
Na obrobcích z materiálů ČSN 12050.9 a ČSN 422420 byly vyhodnocovány působící řezné síly při obrábění noži s rozdílnou geometrií při různých řezných rychlostech.

Vlastní měření probíhalo jako samostatný experiment, neboť bylo nutné sejmut těleso příčného suportu a na jeho místo připevnit dynamometr.

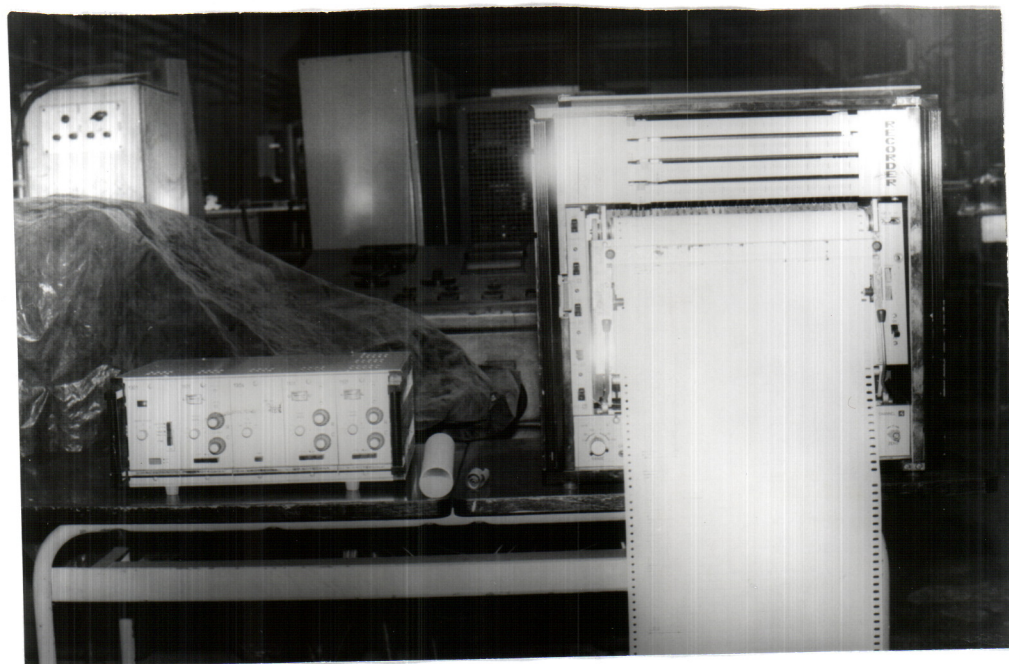
Řezné nástroje byly ze stejného materiálu, se stejnou geometrií, ale z důvodu upevnění do dynamometru byly kratší. Jejich vyložení bylo dodrženo na stejnou vzdálenost (28 mm). Před uskutečněním vlastního experimentu bylo záznamové zařízení cejchováno pomocí číselníkového úchylkoměru upnutého do speciálního třmenu. Pomocí šroubu byly nastavovány výchylky po 0,1 mm a vzniklé síly byly zaznamenány zmíněným zařízením. Z odečtených hodnot pomocí převodního vztahu ($10\text{kN} = 1,92\text{ mm}$) byla sestavena cejchovní křivka. Během měření byly zapisovány hodnoty všech tří složek řezných sil záznamovým zařízením.

3.3.1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE

K vlastnímu měření byl použit tenzometrický třísložkový dynamometr (obr.č. 17), umístěný na desce příčného suportu. Aparaturu dále doplňoval vyvažovací můstek M 1000 a čtyřkanálový zapisovač MTA 175, výrobce MLR. Obě zařízení jsou na obr.č. 18.



Obr.č. 17 Tenzometrický třísložkový dynamometr



Obr.č. 18 Vyvažovací můstek M 1000 a čtyřkanálový zapisovač MTA 175.

3.4. METODIKA SLEDOVÁNÍ SIGNÁLU AE

Během každého měření, týkajícího se opotřebení nástroje, byl ve třech stanovených úsecích měřen signál AE.

První měření probíhalo na ostrém noži, druhé při opotřebení $VB = \text{cca } 0,15 \text{ mm}$ a třetí při dosažení $VB_k = 0,3 \text{ mm}$ popř. při katastrofickém opotřebení nástroje. Pro dosažení dokonalého přenosu signálu byla před připevněním snímače jeho plocha potřena kontaktní vazelinou. Před každým měřením byl proveden tzv. PENTest k zajištění stále stejné velikosti přenosu signálu. PENTest se provádí tak, že se o ostří nože láme stále stejně vysunutá tuha určité tvrdosti a sleduje se výše projeveného signálu na snímacím zařízení. Digitálně zobrazená úroveň signálu AE byla odečítána v intervelech po jedné sekundě. Celkově bylo vždy zaznamenáno 15 hodnot.

3.4.1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE

Na obráběcí nástroj byla připevněna pomocí přípravku diferenciální piezokeramická sonda D 750 B, propojená koaxiálním kabelem přes předzesilovač typu 801 PD fy DUNEGAN/ENDEVCO (obr.č.19) do analyzátoru akustické emise AE - 10 z ČSAV Brno (obr.č. 20). Na tomto analyzátoru byly nastaveny tyto parametry: měřicí interval 1 s

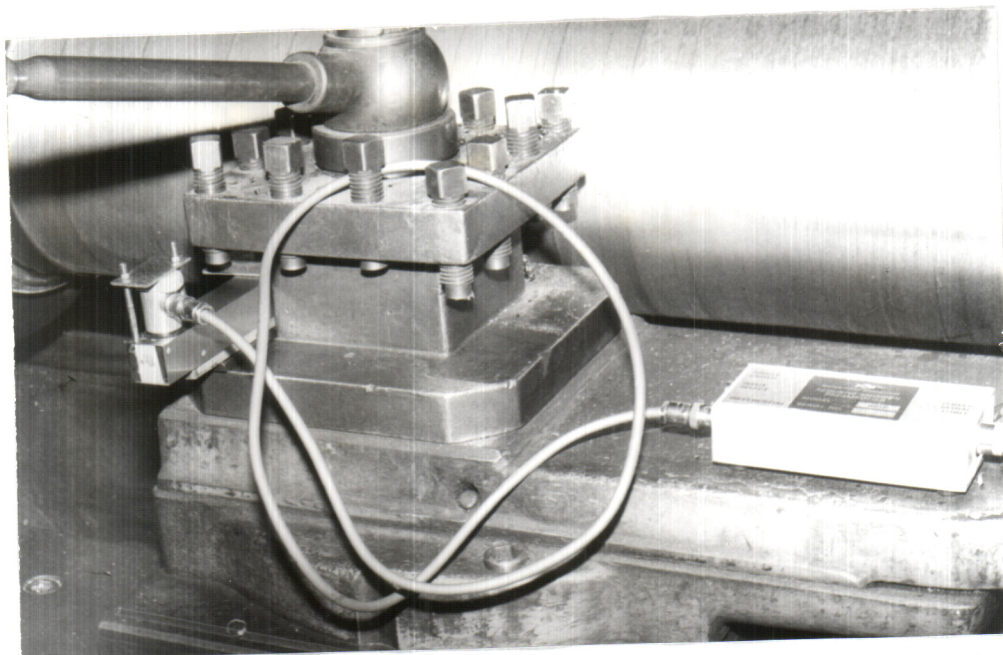
rozsah 10^4

zesílení 11 dB

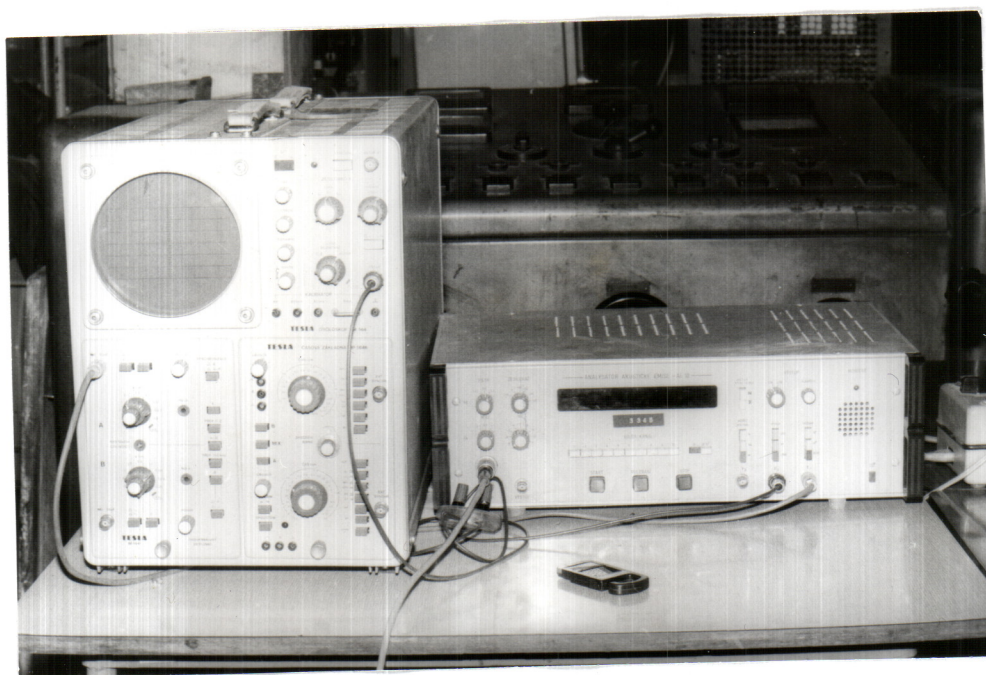
nastavení filtru: horní úroveň = 1 MHz

spodní úroveň = 0,3 MHz

Tato sestava byla ještě doplněna osciloskopem TESLA BM - 463 (obr.č. 20), na jehož stínítku bylo možno sledovat průběh signálu AE na jednotlivých kanálech.



Obr.č. 19 Diferenciální piezokeramická sonda D 750 B s předzesilovačem 801 PD.



Obr.č. 20 Osciloskop TESLA BM - 463 a analyzátor AE - 10

4. VÝSLEDKY EXPERIMENTU

4.1. PŘEHLED VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Výsledky všech experimentálních měření jsou přehledně uspořádány do grafů a tabulek. V záhlaví těchto tabulek jsou uvedeny všechny určující parametry jednotlivých měření.

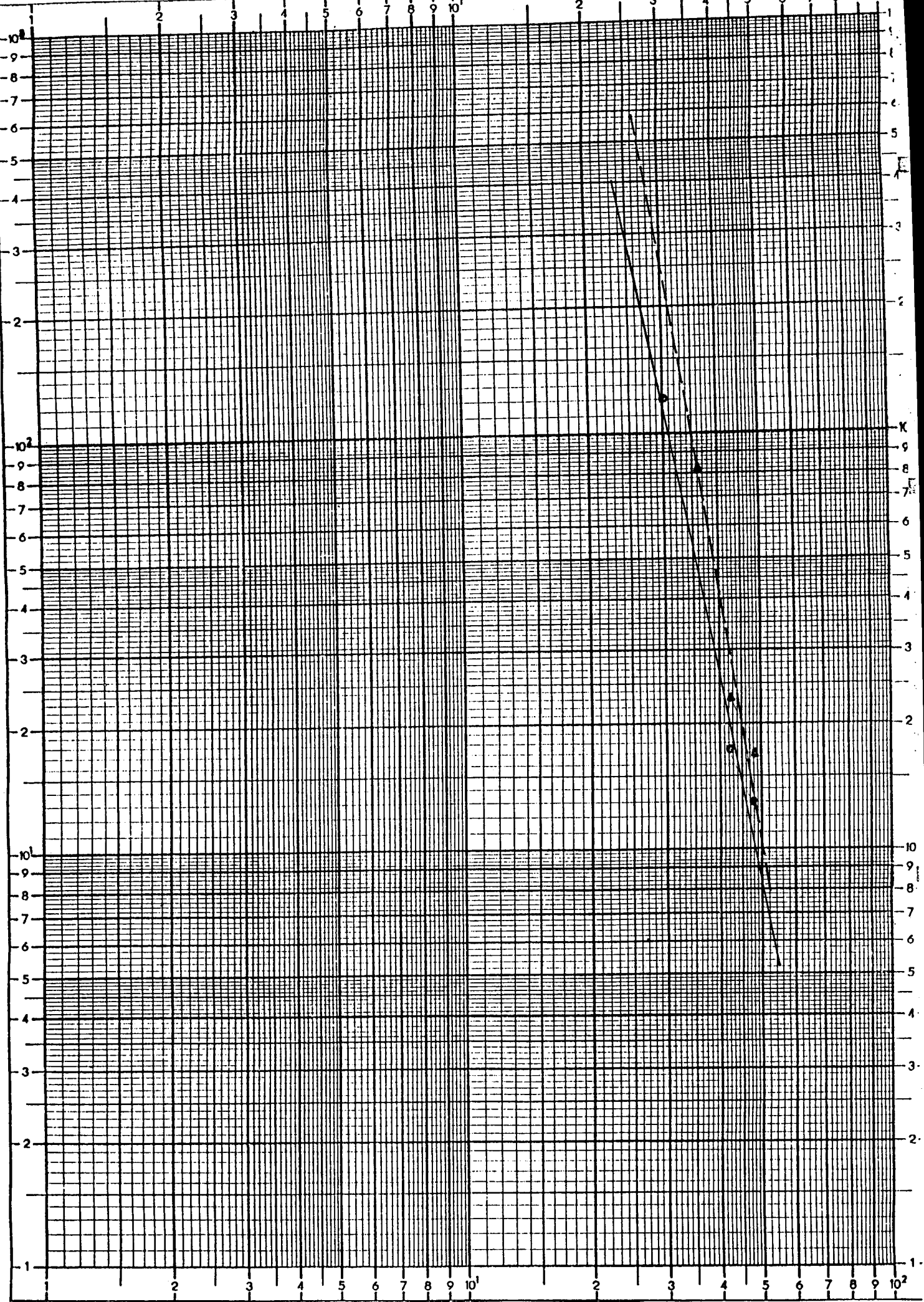
Čísla jednotlivých tabulek a grafů v přílohách jsou uvedena v následujících přehledových tabulkách.

Grafická znázornění T - v závislostí v logaritmických souřadnicích pro jednotlivé měřené materiály jsou součástí následující písemné části této diplomové práce.

4.2. ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU

Výsledky jednotlivých měření byly zpracovány na počítači PC AT 386 SX. Tabulky a písemná část diplomové práce byly zpracovány v textovém editoru T 602. Všechny výsledné grafy byly zpracovány programem FOXGRAF.

T
[min]



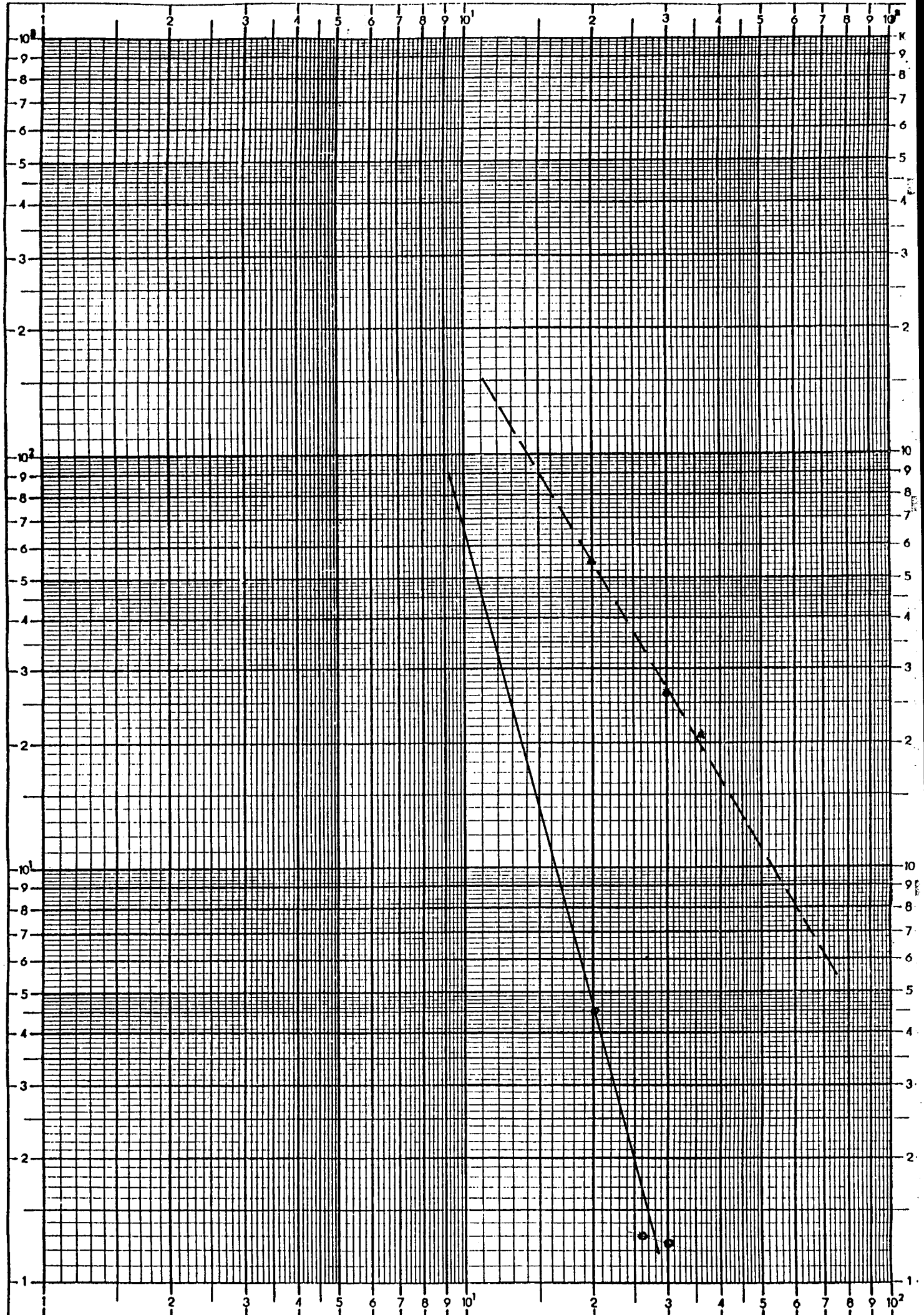
ČSN 12 050.9

$\lambda = 12^\circ$

$\lambda = 6^\circ$

V_c [m/min]

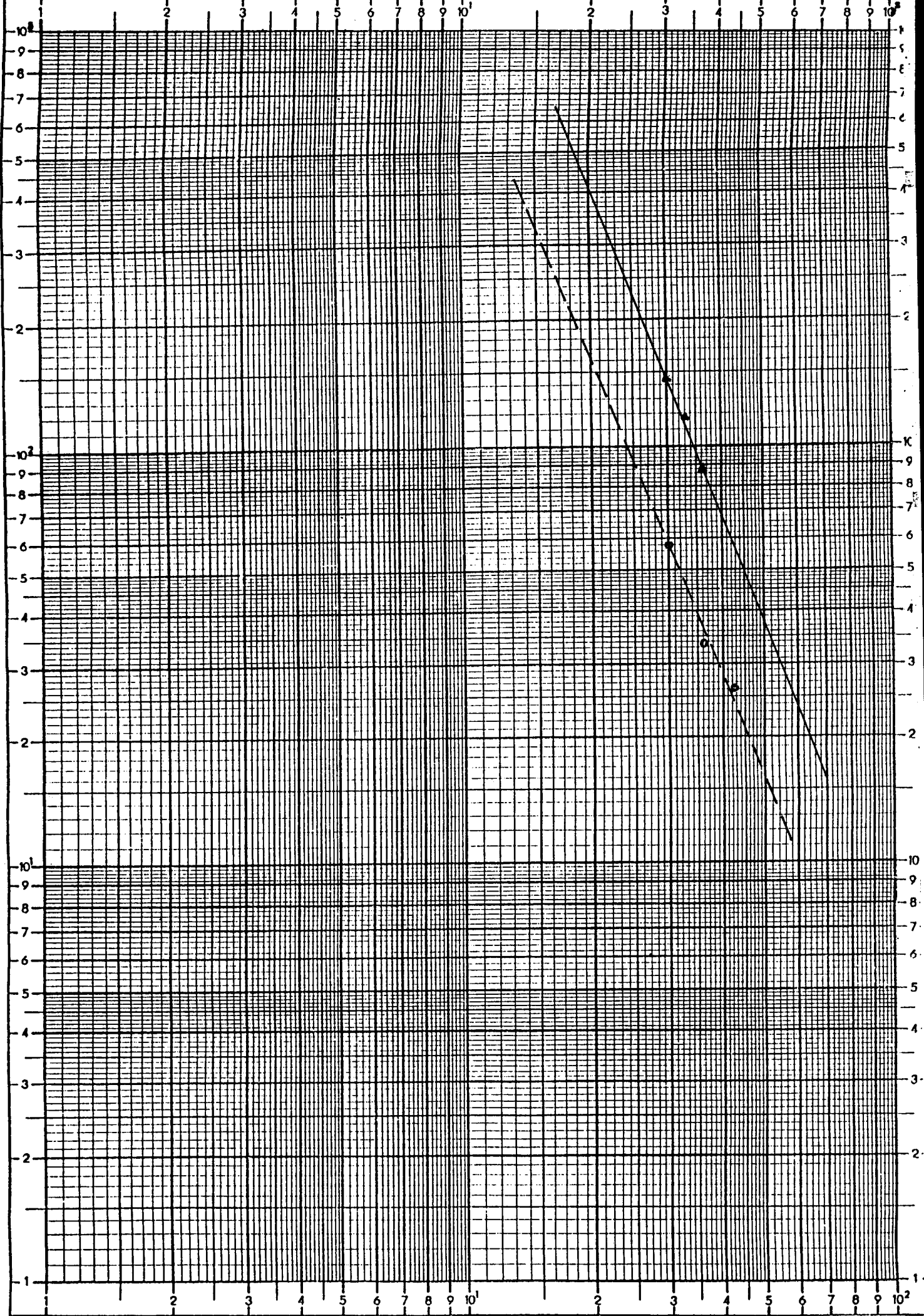
T
[min]



ČSN 15 260.3 — — — $\lambda_0 = 12^\circ$; — — — $\lambda_0 = -6^\circ$ — — — V_c [m/min]

T
[min]

↑



Tabulka č. II

PŘEHLED ZPRACOVANÝCH VÝSLEDKŮ V PŘÍLOHÁCH

Konst.hodnoty: $s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$; $h = 2 \text{ mm}$; $\alpha_r = 90^\circ$;
 $\alpha'_r = 30^\circ$; $\alpha_o = 6^\circ$.

Obráběný materiál	Řezná rychlost v_c	Úhel čela ϕ_o	Tabulka hodnot	Graf opotř.	Graf drsn.
12050.9	42 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 1	č. 1	č. 1a
12050.9	42 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 2	č. 2	č. 2a
12050.9	48 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 3	č. 3	č. 3a
12050.9	48 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 4	č. 4	č. 4a
12050.9	36 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 5	č. 5	č. 5a
12050.9	30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 6	č. 6	č. 6a
12050.9	30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 7	č. 7	č. 7a
422420	42 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 8	č. 8	č. 8a
422420	36 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 9	č. 9	č. 9a
422420	36 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 10	č. 10	č. 10a
422420	30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 11	č. 11	č. 11a
422420	33 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 12	č. 12	č. 12a
422420	30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 13	č. 13	č. 13a
15260.3	20 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 14	č. 14	č. 14a
15260.3	20 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 15	č. 15	č. 15a
15260.3	30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 16	č. 16	č. 16a
15260.3	30 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 17	č. 17	č. 17a
15260.3	26 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	- 6°	č. 18	č. 18	č. 18a
15260.3	36 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	+ 12°	č. 19	č. 19	č. 19a

Tabulka č. III

PŘEHLED ZÁVISLOSTI SIGNÁLU AE NA VB V PŘÍLOHÁCH

Obráběný materiál	Úhel čela γ_o	Číslo grafu
12050.9	- 6°	1 b
12050.9	+ 12°	2 b
15260.3	- 6°	3 b
15260.3	+ 12°	4 b
422420	- 6°	5 b
422420	+ 12°	6 b

Tabulka č. IV

PŘEHLED ZÁVISLOSTI SIGNÁLU AE NA MAT. OBROBKU V PŘÍLOHÁCH

Opotřebení VB	Úhel čela	Číslo grafu
0,00	+ 12°	1 c
0,30	+ 12°	2 c
0,00	- 6°	3 c
0,30	- 6°	4 c

Tabulka č. V

PŘEHLED DIAGRAMŮ ZÁVISLOSTI VB - t

Obráběný materiál	Úhel čela φ_0	Číslo grafu
12050.9	+ 12°	K 1
12050.9	- 6°	K 2
422420	+ 12°	K 3
422420	- 6°	K 4
15260.3	+ 12°	K 5
15260.3	- 6°	K 6

4.3. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU

- 1) Z provedených měření se potvrdila známá skutečnost, že ocel ČSN 12050.9 je lépe obrobiteľná, než ocel ČSN 15260.3. Při srovnatelných řezných rychlostech ($v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) a srovnatelných geometriích řezného nástroje ($\varphi_0 = + 12^\circ$, popř. $- 6^\circ$) je z grafů opotřebení viz. přílohy č. 6, 7, 16, 17 jasně patrný rozdíl v trvanlivosti nástroje.

U pozitivního úhlu čela vykazuje nástroj při obrábění materiálu ČSN 12050.9 více jak 12 krát vyšší trvanlivost a nástroj s negativním úhlem čela dokonce 25 krát vyšší trvanlivost, než při obrábění materiálu ČSN 15260.3.

Vzájemným porovnáním obrábění stejného materiálu, noži s rozdílnou geometrií, dojdeme k poznatku, že u

materiálu ČSN 12050.9 je trvanlivost nástroje s kladným úhlem čela ($\tau_0 = +12^\circ$) o 170 % vyšší, než u nástroje s úhlem čela záporným ($\tau_0 = -6^\circ$).

Totéž porovnání u materiálu ČSN 15260.3 naznačuje, že nástroj s kladným úhlem čela má trvanlivost vyšší až o 440 % oproti nástroji s úhlem čela záporným. Tento markantní rozdíl lze zřejmě z části přisuzovat katastrofickému opotřebení nástroje s úhlem čela $\tau_0 = -6^\circ$.

- 2) Koeficient citlivosti na řeznou rychlost m vychází u materiálu ČSN 15260.3 a geometrii $\tau_0 = +12^\circ$ v porovnání značně menší než u ostatních materiálů. Tato skutečnost byla zřejmě zapříčiněna vznikem velmi stabilního nárůstu, který se projevoval v průběhu celého obrábění a snižoval citlivost exponentu m na řeznou rychlost.
- 3) Vlivy opotřebení nástroje na počet emisních událostí AE nejsou při tomto experimentu zcela průkazné, viz. přílohy 3c, 4c. Zde lze spíše očekávat, že určité rozdíly v naměřeném počtu emisních událostí jsou zapříčiněny rozptylem při měření. Současně však lze konstatovat, že měření signálu AE naznačila určitou rozdílnou závislost počtu emisních událostí různých materiálů na konkrétní řezné rychlosti vc .

Z grafů, viz. příloha 1c, 2c, lze vysledovat, že při obrábění nástrojem s úhlem čela $\tau_0 = +12^\circ$, s rostoucí vc počet emisních událostí u materiálu ČSN 422420 stoupá a u materiálu ČSN 12050.9 klesá. Lze to vysvětlit rozdílným mechanismem tvorby třísky u těchto materiálů.

Ačkoliv výsledky nejsou u všech měření plně průkazné, lze konstatovat, že vlivem opotřebení nástroje, počet emisních událostí globálně roste.

Je třeba říci, že celkové výsledky měření AE zcela neprokázaly očekávané závislosti. Vlivů, které tento výsledek mohly zapříčinit je několik. Na rozptyl měření mohl mít vliv PENTest, prováděný s malou četností, nevhodně nastavené zesílení, anomálie při řezném procesu, překmit hodnot při odečítání pouze dvou prvních číslic celkové hodnoty počtu emisních událostí. Tyto problémy naznačují, že načítání hodnot emisních událostí musí být zajištěno s okamžitým odečtem, ne pouze sumárně po jedné sekundě. Dále je zapotřebí signál AE vyhodnocovat více kanálovým zařízením, řízeným PC.

- 4) Měření velikosti složek řezné síly bylo doplňujícím experimentem celé diplomové práce.

Při řezné rychlosti $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ lze konstatovat, že u materiálu ČSN 12050.9 byly rozdíly velikosti sil mezi ostrým a opotřebeným nástrojem: u F_c 12 %, u F_f 29 % a u F_p 120 %. U materiálu ČSN 422420 byly tyto rozdíly: u F_c 27 %, u F_f 119 % a u F_p 103 %.

Byl potvrzen předpoklad, že se vzrůstajícím opotřebením roste i velikost složek řezné síly F .

5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo studium obrábění s využitím akustické emise.

Obrábění lze studovat různými metodami a z mnoha aspektů. Jako hlavní jsem volil studium trvanlivosti nástroje, protože jsem přesvědčen, že z ekonomického hlediska je tento vliv jedním z nejdůležitějších. Určité osobní zklamání ve mně zanechalo studium závislosti signálu AE na opotřebení nástroje, kde jsem po prostudování dostupné literatury očekával prokazatelnější výsledky. Zde bude třeba zaměřit se na odstranění zmíněných negativních vlivů měření.

Měření řezných sil bylo provedeno ve zkrácené formě pouze okrajově, neboť zde se zřejmě nedají očekávat žádné převratné objevy.

Zároveň chci dodat, že ke všem měřením jsem přistupoval s maximální zodpovědností a plně jsem se jim věnoval.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ T. BLUM, I. INASAKI. Journal of engineering from industry, August 1990, Vol. 112/203. A study on AE from orthogonal cutting proces.
- /2/ PŘIKRYL, MUSÍLKOVÁ. Teorie obrábění, třetí opravené vydání, Praha 1982.
- /3/ Směrnice CDS č. 70/1988
- /4/ A. NOVOTNÝ. Využití AE v procesu obrábění - diplomová práce, VŠST v Liberci, 1992.
- /5/ V. DRÁB. Technologie I - skripta, VŠST v Liberci, 1985
- /6/ PŘIKRYL, MUSÍLKOVÁ. Teorie obrábění - skripta, ČVÚT Praha, 1966
- /7/ I. KVASNIČKA a kol. Vypracování návrhu norem metodiky zkoušení řezivosti jednobřitých nástrojů z RO a metodiky zkoušení obrobitelnosti kovových materiálů nástrojem z RO - zpráva č. 1401, SVÚM Praha, 1970.
- /8/ P. OLIVERIUS. Protokol o průběhu a výsledcích tepelného zpracování nožů z materiálu 19830, NAREX CONSULT a.s. Praha, 1991.

Philip Harris

Tabulka číslo 1	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\phi_o = -6^\circ$			
	$V_c = 42 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	3	0,114	0,433	0,190	0,200	0,00	22,1	3,2	11,5	
2	6	0,138	0,505	0,202	0,150	0,01	30,4	4,6	18,7	
3	8	0,172	0,542	0,258	0,052	0,01	25,7	3,9	16,9	
4	10	0,240	0,544	0,256	0,220	0,02	30,5	4,6	17,3	
5	12	0,234	0,550	0,275	0,210	0,02	22,8	3,4	15,4	
6	14	0,274	0,576	0,375	0,040	0,02	30,7	4,8	18,6	
7	16	0,294	0,622	0,380	0,190	0,02	22,8	3,3	14,0	
8	18	0,313	0,658	0,387	0,170	0,02	27,6	4,0	16,7	

Číslo měření		Hodnoty signálu akustické emise														
1		81	78	80	23	08	43	48	33	40	37	84	99	35	23	18
4		90	92	49	66	11	44	93	88	36	47	48	28	58	39	33
8		58	88	20	74	86	63	23	33	39	40	20	55	77	72	37

Tabulka číslo 2	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\alpha_o = 12^\circ$			
	$V_c = 42 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	2	0,074	0,600	0,138	0,160	0,00	46,8	6,2	18,2	
2	4	0,136	0,602	0,198	0,200	0,00	27,9	3,0	16,1	
3	6	0,145	0,605	0,211	0,200	0,00	29,6	3,5	15,6	
4	8	0,164	0,612	0,248	0,230	0,01	32,1	4,7	17,1	
5	10	0,188	0,614	0,260	0,060	0,01	26,2	3,8	18,9	
6	15	0,269	0,634	0,411	0,110	0,02	22,4	2,9	15,7	
7	18	0,270	0,660	0,451	0,070	0,03	23,3	3,4	15,2	
8	23	0,304	0,663	0,493	0,090	0,03	21,3	3,2	15,0	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
	20	11	14	23	24	09	06	17	10	14	12	15	09	22	18	
1	80	74	70	13	58	88	64	32	36	72	62	40	81	28	58	
5	52	12	32	46	78	65	53	96	84	42	87	92	21	47	11	

Tabulka číslo 3	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\beta_o = -6^\circ$			
	$V_C = 48 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	1	0,047	0,101	0,130	0,190	0,00	26,9	3,4	14,9	
2	2	0,099	0,121	0,137	0,260	0,00	32,2	3,3	14,5	
3	3	0,155	0,145	0,160	0,160	0,00	41,1	5,1	13,6	
4	4	0,189	0,154	0,211	0,220	0,00	27,6	4,2	16,1	
5	5	0,190	0,169	0,212	0,140	0,01	55,7	6,5	20,1	
6	7	0,213	0,182	0,251	0,150	0,02	16,5	2,7	12,5	
7	10	0,265	0,231	0,302	0,080	0,02	19,0	2,4	12,4	
8	12	0,269	0,235	0,662	0,260	0,03	25,1	3,2	14,6	
9	13	0,328	0,882	0,655	0,170	0,03	28,4	3,0	17,0	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
	40	63	21	87	19	95	85	13	21	32	05	68	07	39	42	
1																
4	38	32	30	32	35	52	71	30	80	35	37	14	28	43	10	
9	62	19	54	47	28	91	70	45	21	24	17	66	98	27	45	

Tabulka číslo 4	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\beta_o = 12^\circ$			
	$V_c = 48 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	1	0,123	0,204	0,171	0,160	0,00	49,5	8,9	17,0	
2	2	0,166	0,210	0,208	0,210	0,00	63,5	4,2	31,0	
3	3	0,172	0,211	0,222	0,230	0,01	53,0	4,7	32,2	
4	5	0,187	0,252	0,228	0,170	0,02	28,5	4,0	24,9	
5	7	0,218	0,286	0,254	0,080	0,02	31,6	5,3	28,2	
6	10	0,264	0,387	0,275	0,170	0,02	33,1	4,4	28,6	
7	13	0,264	0,389	0,296	0,110	0,03	37,2	5,4	31,9	
8	18	0,296	0,390	0,298	0,280	0,03	33,1	5,3	30,4	
9	20	0,311	0,396	0,365	0,230	0,03	31,8	4,9	27,8	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
	08	17	29	44	09	19	42	44	68	27	16	08	22	41	23
1															
3	77	31	10	73	19	51	45	66	71	88	77	61	32	35	53
9	17	24	66	48	31	09	27	61	55	41	14	91	27	41	61

Tabulka číslo 5	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\alpha_o = 12^\circ$			
	$V_c = 36 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	3	0,110	0,180	0,161	0,430	0,00	38,8	5,3	33,2	
2	6	0,126	0,184	0,162	0,260	0,01	38,8	5,1	33,8	
3	8	0,144	0,188	0,162	0,080	0,01	51,2	5,0	34,9	
4	10	0,172	0,205	0,217	0,160	0,01	48,2	5,4	41,4	
5	12	0,177	0,213	0,220	0,300	0,01	37,8	5,0	32,6	
6	15	0,183	0,219	0,228	0,130	0,01	37,9	4,9	33,9	
7	18	0,185	0,226	0,239	0,190	0,02	51,9	5,6	39,6	
8	23	0,202	0,248	0,244	0,400	0,02	44,0	6,3	40,6	
9	27	0,218	0,259	0,248	0,140	0,02	41,6	6,6	34,8	
10	37	0,266	0,379	0,320	0,180	0,02	40,8	6,4	36,0	
11	45	0,285	0,421	0,364	0,250	0,02	60,2	7,3	48,2	
12	50	0,286	0,428	0,381	0,260	0,02	51,0	8,4	46,1	
13	60	0,292	0,442	0,461	0,260	0,03	52,9	7,8	45,4	
14	65	0,292	0,448	0,468	0,300	0,03	41,8	5,7	36,2	
15	71	0,295	0,453	0,474	0,090	0,03	48,3	7,2	40,8	
16	76	0,288	0,456	0,482	0,180	0,03	43,4	7,1	39,7	
17	81	0,298	0,456	0,491	0,200	0,04	41,3	5,7	39,0	
18	86	0,323	0,461	0,499	0,230	0,04	42,7	5,8	39,8	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
1	68	42	22	31	20	29	37	26	25	33	18	21	30	33	27
5	58	65	64	55	57	59	46	53	44	55	87	46	52	72	64
18	55	61	42	40	74	69	66	57	41	36	64	48	76	87	74

Tabulka číslo 6	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\phi_o = 12^\circ$			
	$V_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	1	0,023	0,073	0,062	0,300	0,00				nelze
2	3	0,026	0,098	0,114	0,290	0,00	51,1	6,4	38,4	
3	6	0,059	0,144	0,147	0,170	0,00	55,0	5,7	41,8	
4	9	0,077	0,146	0,155	0,210	0,00	93,0	6,1	43,8	
5	14	0,080	0,151	0,156	0,290	0,00	43,8	5,9	34,2	
6	24	0,094	0,155	0,170	0,090	0,02	64,3	6,9	46,8	
7	34	0,096	0,155	0,170	0,220	0,03	80,2	7,3	54,3	
8	44	0,096	0,160	0,172	0,100	0,03	42,7	4,4	31,6	
9	59	0,097	0,174	0,175	0,240	0,04	68,5	6,3	43,7	
10	79	0,115	0,215	0,177	0,000	0,04	59,7	5,8	39,0	
11	99	0,149	0,255	0,277	0,300	0,05	45,8	5,1	32,3	
12	119	0,191	0,260	0,304	0,260	0,05	49,2	5,7	38,6	
13	138	0,196	0,267	0,305	0,270	0,08	62,3	5,8	35,6	
14	168	0,208	0,268	0,370	0,120	0,08	50,6	4,6	36,5	
15	198	0,208	0,274	0,390	0,220	0,09	61,5	5,0	40,5	
16	218	0,212	0,274	0,540	0,290	0,09	55,3	5,0	37,5	
17	248	0,228	0,275	0,548	0,080	0,09	88,5	5,8	42,9	
18	278	0,255	0,279	0,554	0,260	0,09	69,4	6,0	40,8	
19	308	0,285	0,292	0,587	0,140	0,10	44,1	3,9	27,9	
20	338	0,326	0,430	0,672	0,270	0,10	34,8	5,2	29,7	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
1	71	58	16	19	58	59	33	07	28	69	89	49	72	25	44
12	43	70	83	31	33	85	18	44	91	90	44	24	51	30	88
20	44	48	72	28	91	81	09	21	84	91	29	34	55	45	72

Tabulka číslo 7	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 12050.9				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\uparrow_o = -6^\circ$			
	$V_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	5		0,030	0,019	0,000	0,00	31,8	4,1	29,1	nelze
2	10		0,039	0,021	0,000	0,00	39,6	4,4	29,9	—"
3	15		0,046	0,021	0,000	0,00	27,5	4,1	24,4	—"
4	20	0,020	0,066	0,030	0,000	0,01	62,4	6,4	42,2	
5	25	0,033	0,110	0,117	0,000	0,02	44,9	4,8	35,0	
6	30	0,042	0,214	0,120	0,110	0,03	63,3	5,4	43,3	
7	35	0,046	0,228	0,131	0,250	0,04	50,5	6,6	39,1	
8	40	0,114	0,215	0,140	0,100	0,05	59,1	6,6	47,4	
9	45	0,146	0,222	0,155	0,000	0,06	59,7	8,8	47,8	
10	50	0,147	0,224	0,167	0,350	0,06	51,3	6,8	40,0	
11	55	0,153	0,227	0,175	0,270	0,07	60,6	6,3	46,1	
12	60	0,160	0,239	0,187	0,110	0,08	47,6	5,8	38,9	
13	65	0,165	0,252	0,191	0,260	0,08	56,1	5,3	37,5	
14	70	0,174	0,272	0,190	0,150	0,08	59,8	7,4	46,7	
15	75	0,213	0,380	0,201	0,360	0,08	52,4	5,7	42,0	
16	80	0,221	0,385	0,327	0,490	0,08	48,0	6,0	38,0	
17	85	0,241	0,386	0,326	0,000	0,08	57,3	6,4	42,8	
18	95	0,251	0,388	0,347	0,170	0,08	55,0	4,8	38,2	
19	105	0,274	0,390	0,382	0,280	0,09	50,8	4,7	34,2	
20	115	0,281	0,395	0,380	0,100	0,10	59,5	5,1	34,9	
21	125	0,318	0,398	0,445	0,012	0,11	67,4	7,5	46,7	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
	48	70	74	98	55	55	31	20	65	60	91	30	19	55	43	
1																
14	93	29	98	38	64	48	45	28	35	44	41	78	72	56	81	
21	80	32	81	29	41	80	71	67	15	89	96	57	37	52	53	

Tabulka číslo 8	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 422420				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\uparrow_o = 12^\circ$			
	$V_c = 42 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	5	0,088	0,424	0,101	0,000	0,00	28,0	2,9	22,8	
2	10	0,104	0,436	0,132	0,030	0,00	63,5	4,8	35,0	
3	15	0,120	0,507	0,166	0,130	0,00	40,0	3,1	26,4	
4	20	0,149	0,505	0,180	0,200	0,00	34,3	3,4	24,9	
5	25	0,161	0,762	0,191	0,000	0,00	60,6	3,7	29,0	
6	26									K.O.

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
	90	95	92	79	06	89	98	01	80	03	93	97	95	12	90	
1	90	95	92	79	06	89	98	01	80	03	93	97	95	12	90	
5	40	46	57	62	55	64	55	52	65	56	62	58	55	47	49	
6	03	85	86	81	37	07	52	57	22	82	83	50	17	80	36	

Pozn. Hodnoty psané *kurzívou* = + 100 (pravděpodobný překmit hodnot)

Tabulka číslo 9	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 422420				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$		$\gamma_o = -6^\circ$				
	$V_c = 36 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$		$h = 2 \text{ mm}$				
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	5	0,082	0,230	0,114	0,040	0,00	47,2	3,4	31,2	
2	10	0,119	0,235	0,148	0,070	0,00	53,7	4,3	35,0	
3	15	0,120	0,249	0,160	0,080	0,02	42,6	4,1	32,5	
4	20	0,167	0,249	0,206	0,070	0,00	47,9	4,1	33,6	
5	23	0,174	0,257	0,211	0,060	0,00	45,2	3,9	33,3	
6	29	0,174	0,260	0,212	0,080	0,00	56,6	4,7	36,9	
7	35	0,184	0,265	0,236	0,110	0,00	46,0	5,0	36,0	
8	45	0,191	0,268	0,244	0,040	0,00	69,5	5,2	42,0	
9	55	0,192	0,268	0,247	0,110	0,00	94,6	6,2	49,3	
10	65	0,196	0,270	0,255	0,120	0,00	92,1	5,5	36,3	
11	75	0,210	0,273	0,259	0,090	0,00	34,9	3,2	26,3	
12	89						38,8	4,2	28,8	K.O.

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
1	48	66	43	47	45	99	45	80	36	31	53	15	86	18	46	
5	45	43	53	49	23	36	11	25	24	68	21	55	19	17	40	
12	97	09	93	49	78	35	13	53	87	55	14	91	90	63	77	

Pozn. Hodnoty psané *kurzívou* = + 100 (pravděpodobný překmit)

Tabulka číslo 10	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 422420				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\tau_o = 12^\circ$			
	$V_c = 36 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůs tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	3	0,061	0,211	0,110	0,000	0,00	25,9	2,5	22,7	
2	8	0,097	0,217	0,142	0,020	0,00	40,8	2,8	24,2	
3	13	0,158	0,401	0,182	0,080	0,00	32,0	3,2	22,5	
4	18	0,206	0,517	0,195	0,110	0,00	39,4	3,3	24,8	
5	22	0,236	0,521	0,204	0,070	0,00	42,1	3,8	24,4	
6	27	0,237	0,586	0,234	0,090	0,00	36,5	3,0	34,1	
7	32	0,288	0,587	0,245	0,120	0,00	42,3	3,9	33,4	
8	37	0,328	0,589	0,271	0,010	0,00	51,4	5,6	42,3	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
	88	18	59	44	16	23	89	71	24	49	66	17	28	46	89
1	88	18	59	44	16	23	89	71	24	49	66	17	28	46	89
4	56	17	77	64	08	17	55	84	91	26	17	44	69	89	56
9	42	48	09	17	56	64	87	18	22	67	72	78	91	27	19

Tabulka číslo 11	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 422420				
	$\alpha_r' = 30^\circ$				$\alpha_o = 6^\circ$			$\gamma_o = -6^\circ$		
	$V_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$				$s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$		
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _Δ [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	3	0,062	0,212	0,083	0,069	0,00	45,3	4,3	35,0	
2	6	0,074	0,216	0,090	0,073	0,00	55,5	4,9	36,5	
3	11	0,078	0,249	0,091	0,068	0,00	42,7	4,1	31,6	
4	16	0,104	0,276	0,125	0,034	0,00	40,4	3,9	30,9	
5	22	0,130	0,293	0,160	0,062	0,00	57,9	5,5	39,0	
6	30	0,144	0,297	0,163	0,082	0,00	48,2	4,1	30,5	
7	35	0,151	0,336	0,171	0,050	0,00	40,9	4,2	30,6	
8	38	0,154	0,345	0,180	0,047	0,00	41,0	3,9	28,0	
9	45	0,157	0,351	0,207	0,077	0,00	51,2	4,6	31,8	
10	52	0,158	0,359	0,681	0,056	0,00	52,6	4,0	33,1	
11	60	0,160	0,434	0,700	0,075	0,00	32,0	3,4	25,2	
12	69	0,165	0,750	0,730	0,065	0,00	69,5	4,8	40,8	
13	79	0,176	0,991	0,780	0,134	0,00	67,5	4,8	36,6	
14	94	0,184	1,093	0,784	0,032	0,00	69,6	6,1	48,4	
15	109	0,190	1,110	0,981	0,104	0,00	71,8	5,6	40,6	
16	124	0,195	1,182	0,983	0,110	0,00	72,4	5,4	38,2	
17	128	0,201	1,279	0,983	0,008	0,00	68,4	5,1	41,4	
18	138	0,225	1,327	0,985	0,058	0,00	58,7	6,6	43,2	
19	148	0,339	1,322	0,991	0,073	0,00	67,2	5,3	41,3	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
1	45	70	52	27	63	71	62	47	39	11	38	36	39	47	48	
8	98	96	94	87	84	89	79	65	79	19	06	10	06	97	77	
19	33	16	71	09	84	87	79	42	69	17	27	23	33	59	76	

Pozn. Hodnoty psané *kurzívou* = + 100 (pravděpodobný překmit)

Tabulka číslo 12	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 422420				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$t_o = -6^\circ$			
	$V_c = 33 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _{av} [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	10	0,060	0,192	0,071	0,077	0,00	44,0	4,1	32,0	
2	25	0,072	0,229	0,105	0,083	0,00	45,9	4,3	33,9	
3	40	0,091	0,263	0,121	0,078	0,00	53,0	3,0	33,1	
4	55	0,105	0,284	0,129	0,070	0,00	39,7	4,0	43,4	
5	70	0,123	0,327	0,146	0,026	0,00	50,6	4,3	31,6	
6	80	0,151	0,330	0,168	0,080	0,00	33,2	3,7	26,6	
7	95	0,175	0,333	0,192	0,147	0,01	58,9	3,8	31,9	
8	110	0,249	0,357	0,211	0,073	0,01	84,2	5,0	42,6	
9	120	0,308	0,422	0,289	0,073	0,01	77,4	4,9	44,7	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
1	74	90	88	86	93	41	61	60	53	81	59	30	45	11	45	
7	37	82	77	46	58	38	46	39	54	40	64	70	60	34	35	
9	66	78	24	29	27	44	46	17	54	68	72	11	27	65	64	

Tabulka číslo 13	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 422420				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_\phi = 6^\circ$			$\phi_\phi = 12^\circ$			
	$V_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	10	0,091	0,232	0,101	0,037	0,00	34,5	3,6	27,2	
2	14	0,099	0,214	0,120	0,054	0,00	50,6	3,8	35,1	
3	30	0,168	0,289	0,236	0,074	0,00	63,5	4,7	33,7	
4	45	0,249	0,277	0,329	0,026	0,00	62,2	5,7	43,8	
5	60	0,309	0,284	0,345	0,071	0,00	47,4	4,7	33,9	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
	92	93	22	30	46	20	54	48	91	85	79	02	27	56	97
1															
4	49	70	61	63	60	78	45	54	79	86	89	75	49	81	69
5	25	20	47	43	36	33	23	31	38	41	49	30	60	41	21

Tabulka číslo 14	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 15260.3				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\beta_o = -6^\circ$			
	$V_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůs tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	1	0,119	0,263	0,149	0,187	0,00				nelze
2	2	0,139	0,348	0,162	0,583	0,00				nelze
3	4	0,165	0,353	0,260	0,183	0,01	71,6	6,4	46,6	
4	7	0,171	0,358	0,262	0,456	0,01	72,6	6,9	50,7	
5	11	0,186	0,380	0,276	0,154	0,01	72,6	8,4	52,2	
6	15	0,199	0,385	0,281	0,199	0,01	90,0	7,1	51,0	
7	20	0,200	0,385	0,284	0,200	0,02	79,4	7,3	44,4	
8	30	0,241	0,412	0,334	0,366	0,02	92,8	8,6	57,9	
9	35	0,262	0,415	0,372	0,112	0,02	61,4	6,7	47,0	
10	45	0,301	0,457	0,481	0,169	0,02	54,0	7,6	42,3	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
1	26	84	52	21	30	66	51	14	58	16	67	85	45	51	84	
4	19	62	66	36	37	87	75	78	20	15	68	82	44	88	60	
10	48	17	16	27	56	44	07	48	37	34	62	72	89	56	71	

Tabuľka číslo 15	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 15260.3				
	$\varphi_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\varphi_o = 12^\circ$			
	$V_c = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	2	0,084	0,269	0,104	0,000	0,00	71,6	6,6	36,6	
2	7	0,093	0,370	0,129	0,286	0,00	51,5	5,6	40,3	
3	11	0,157	0,386	0,159	0,017	0,00	59,3	6,6	45,2	
4	15	0,164	0,390	0,178	0,118	0,00	57,2	7,6	45,4	
5	20	0,174	0,399	0,235	0,042	0,01	66,2	6,8	42,9	
6	30	0,229	0,406	0,256	0,246	0,02	56,2	7,7	46,6	
7	40	0,245	0,438	0,416	0,099	0,02	76,9	7,2	51,8	
8	50	0,278	0,490	0,477	0,080	0,03	69,4	8,3	56,1	
9	55	0,297	0,497	0,482	0,196	0,03	67,7	7,8	54,6	
10	57	0,320	0,498	0,518	0,325	0,03	78,8	6,1	45,6	

Číslo měření		Hodnoty signálu akustické emise													
1		34	24	27	21	26	77	74	50	56	72	89	63	73	17 07
4		43	24	30	39	77	86	69	61	67	12	93	35	39	81 18
10		56	54	82	87	11	21	94	66	51	32	51	58	78	17 77

Tabulka číslo 16	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 15260.3				
	$\varphi_r' = 30^\circ$			$\alpha_{\phi} = 6^\circ$			$\varphi_{\phi} = -6^\circ$			
	$V_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]	Pozn.
1	1	0,102	0,222	0,230	0,378	0,00	104,3	3,4	37,4	***
2	2	0,160	2,270	0,250	0,180	0,00	95,2	4,8	48,2	
3	3	0,181	2,300	0,290	0,346	0,00	126,2	6,5	33,4	***
4	5						120,4	6,2	37,8	K.O.

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
1	77	13	55	28	18	16	12	77	97	17	09	15	11	14	26
3	20	80	53	32	38	28	21	07	47	99	33	23	90	20	24
4	61	12	37	47	49	21	22	65	11	42	72	56	24	16	44

*** - špatně měřitelná drsnost (malý úsek)

Tabulka číslo 17	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 15260.3				
	$\alpha_r' = 30^\circ$				$\alpha_o = 6^\circ$			$\alpha_o = 12^\circ$		
	$V_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$				$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$		
	Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůs tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _A [μm]	R _Z [μm]
1	1	0,064	0,274	0,128	0,140	0,00	34,9	2,2	23,4	
2	3	0,072	0,297	0,130	0,158	0,00	25,1	3,1	19,6	
3	5	0,115	0,300	0,211	0,232	0,00	30,1	3,5	23,6	
4	8	0,127	0,311	0,268	0,248	0,01	30,5	3,7	25,0	
5	11	0,175	0,316	0,290	0,295	0,01	32,6	3,5	25,4	
6	14	0,177	0,325	0,434	0,297	0,02	29,4	4,3	26,8	
7	20	0,236	0,329	0,605	0,297	0,03	37,4	5,0	31,7	
8	25	0,296	0,330	0,608	0,300	0,03	32,8	4,4	26,0	
9	27	0,308	0,354	0,662	0,299	0,03	37,2	3,8	26,1	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
	08	31	74	60	13	66	59	15	45	17	16	90	92	47	36	
1																
6	20	92	41	37	39	46	95	38	10	32	92	10	26	09	19	
9	70	52	37	84	51	15	20	74	16	50	79	20	76	87	92	

Tabulka číslo 18	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 15260.3				
	$\varphi_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\varphi_o = - 6^\circ$			
	$V_c = 26 \text{ m.min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm.ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	2	0,081	0,195	0,112	0,416	0,00	36,2	3,1	24,3	
2	4	0,150	0,491	0,271	0,346	0,00	49,9	4,3	30,5	
3	5	0,247	0,716	0,362	0,117	0,00	57,7	5,4	37,4	
4	6			0,432	0,336	0,00				K.O.

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise															
	52	36	37	33	85	71	43	21	26	73	60	73	66	86	98	
1																
3	46	68	56	35	33	39	29	41	40	12	21	<i>06</i>	91	93	98	
4	77	92	27	26	44	64	91	92	74	64	66	91	17	41	46	

Pozn. Hodnoty psané *kurzívou* = + 100 (pravděpodobný překmit)

Tabulka číslo 19	Materiál nástroje 19830					Obráběný materiál 15260.3				
	$\alpha_r' = 30^\circ$			$\alpha_o = 6^\circ$			$\gamma_o = 12^\circ$			
	$V_c = 36 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			$s = 0,094 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			$h = 2 \text{ mm}$			
Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VC [mm]	VB _{max} [mm]	Nárůst tek	KT [mm]	R _{max} [μm]	R _a [μm]	R _z [μm]	Pozn.
1	1	0,107	0,221	0,188	0,098	0,00	25,7	2,7	20,4	
2	2	0,121	0,258	0,200	0,117	0,00	30,4	3,1	25,1	
3	3	0,132	0,263	0,228	0,143	0,01	28,4	3,1	22,8	
4	4	0,147	0,290	0,246	0,176	0,01	26,1	2,9	20,5	
5	7	0,153	0,297	0,258	0,191	0,01	21,1	3,2	18,9	
6	10	0,155	0,353	0,338	0,196	0,02	22,0	3,0	20,1	
7	15	0,176	0,383	0,385	0,182	0,02	25,6	3,5	20,5	
8	20	0,279	0,495	0,403	0,256	0,02	31,5	3,6	25,1	
9	21	0,304	0,539	0,409	0,259	0,02	27,4	3,0	21,2	

Číslo měření	Hodnoty signálu akustické emise														
	11	46	96	56	92	74	32	05	20	99	29	49	21	17	87
1	11	46	96	56	92	74	32	05	20	99	29	49	21	17	87
4	07	18	26	44	81	17	54	71	76	78	17	24	45	49	61
9	88	87	46	88	63	06	86	94	49	35	67	46	29	83	59

Pozn. Hodnoty psané *kurzívou* = + 100 (pravděpodobný překmit)

Tabulka č. 20 Hodnoty trvanlivosti v závislosti na VBk=0,3

Číslo tabulky	Materiál obrobku	VC [m.min ⁻¹]	φ_0 [°]	Trvanlivost T [min]	Poznámka
1	12050.9	42	- 6	17,5	
2	12050.9	42	+12	23,0	
3	12050.9	48	- 6	13,0	
4	12050.9	48	+12	17,0	
5	12050.9	36	+12	82,0	
6	12050.9	30	+12	319,0	
7	12050.9	30	- 6	120,0	
8	422420	42	+12	26,0	Kat.opotř.
9	422420	36	- 6	89,0	Kat.opotř.
10	422420	36	+12	33,5	
11	422420	30	- 6	145,0	
12	422420	33	- 6	118,0	
13	422420	30	+12	58,0	
14	15260.3	20	- 6	45,0	
15	15260.3	20	+12	55,0	
16	15260.3	30	- 6	5,0	Kat.opotř.
17	15260.3	30	+12	26,5	
18	15260.3	26	- 6	6,0	Kat.opotř.
19	15260.3	36	+12	21,0	

Tabulka č. 21

Výsledky dlouhodobé zkoušky trvanlivosti nástroje

Materiál obrobku	Úhel čela α_o [°]	m	C_T [min]	C_V [m.min ⁻¹]
12050.9	- 6	5,726	$3,44 \cdot 10^{10}$	69,2
	+ 12	7,822	$1,14 \cdot 10^4$	62,7
15260.3	- 6	7,675	$4,35 \cdot 10^{11}$	32,8
	+ 12	1,801	$1,2 \cdot 10^4$	185,0
422420	- 6	2,684	$1,34 \cdot 10^6$	191,6
	+ 12	2,384	$1,93 \cdot 10^{15}$	164,7

Tabulka č. 22

Hodnoty řezných sil při obrábění materiálu 12050.9

v_c m/min	φ_o [°]	s [mm.ot]	h [mm]	VB [mm]	F_c [KN]	F_f [KN]	F_p [KN]
30	+ 12	0,094	2	0,00	0,59	0,27	0,07
30	+ 12	0,094	2	0,30	0,71	0,31	0,24
30	+ 12	0,188	2	0,00	0,61	0,29	0,10
30	+ 12	0,188	2	0,30	0,96	0,56	0,53
30	- 6	0,094	2	0,00	0,72	0,45	0,17
30	- 6	0,094	2	0,30	0,80	0,59	0,39
30	- 6	0,188	2	0,00	1,52	0,97	0,45
30	- 6	0,188	2	0,30	1,72	1,11	0,58

Tabulka č. 23

Hodnoty řezných sil při obrábění materiálu 422420

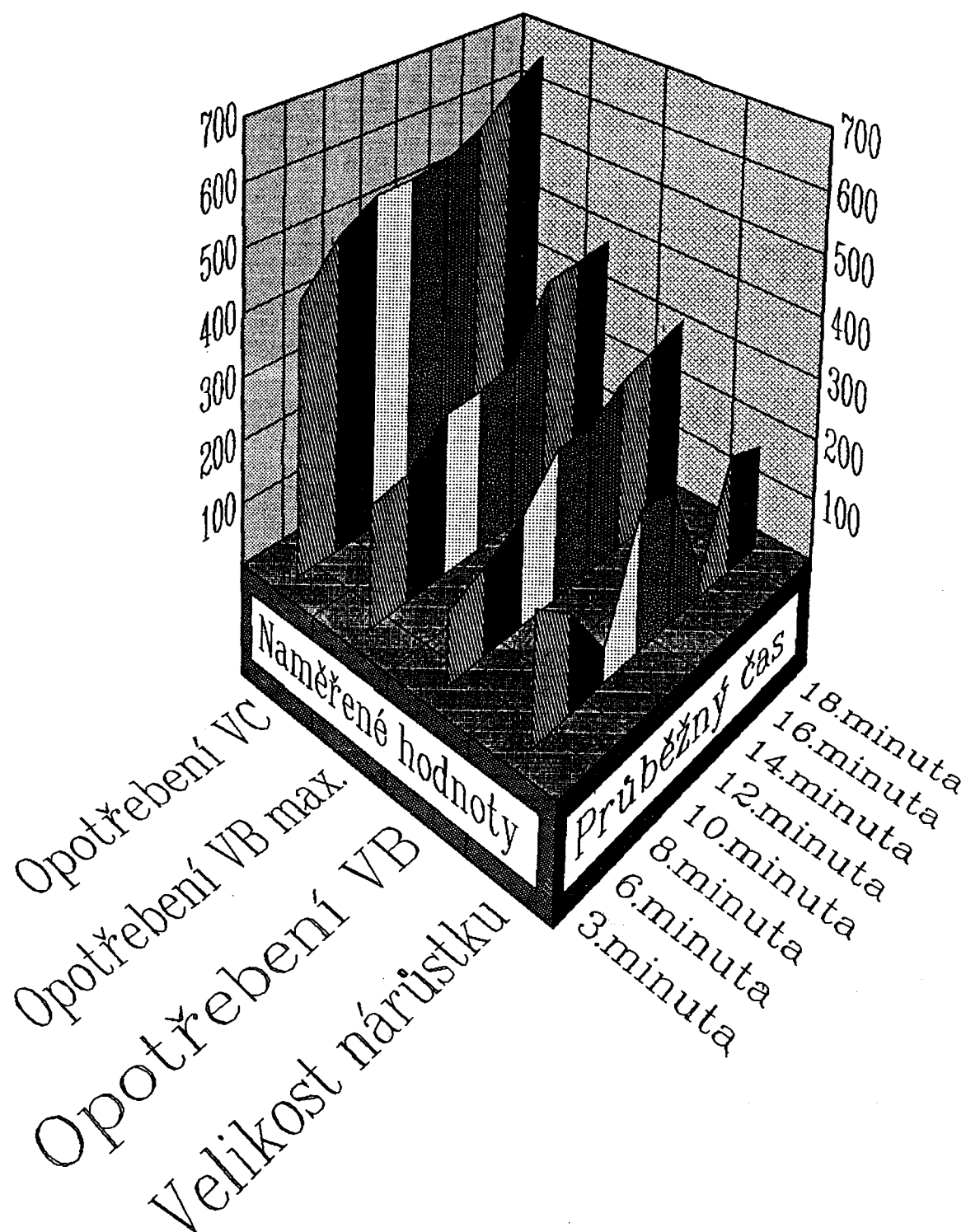
v_c m/min	φ [°]	s [mm.ot]	h [mm]	VB [mm]	F_c [KN]	F_f [KN]	F_p [KN]
30	+ 12	0,094	2	0,00	0,42	0,11	0,22
30	+ 12	0,094	2	0,30	0,48	0,20	0,35
30	+ 12	0,188	2	0,00	0,65	0,22	0,31
30	+ 12	0,188	2	0,30	0,67	0,28	0,41
30	- 6	0,094	2	0,00	0,40	0,20	0,17
30	- 6	0,094	2	0,30	0,50	0,37	0,39
30	- 6	0,188	2	0,00	0,67	0,35	0,26
30	- 6	0,188	2	0,30	1,07	1,08	0,80

Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 42 \text{ m/min}$

Příloha číslo 1

úhel čela = - 6

mat. 12050.9

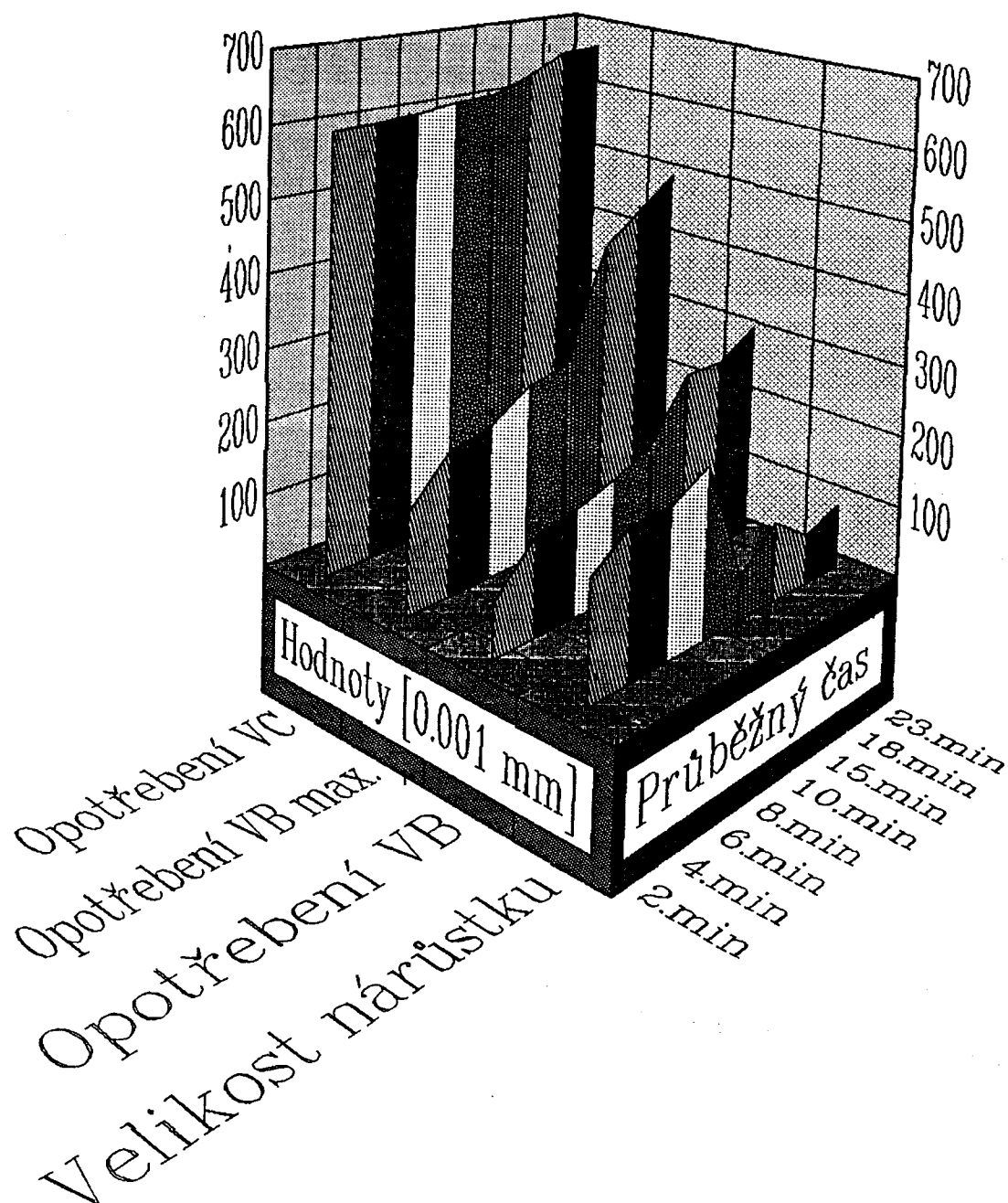


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 42 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 2

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

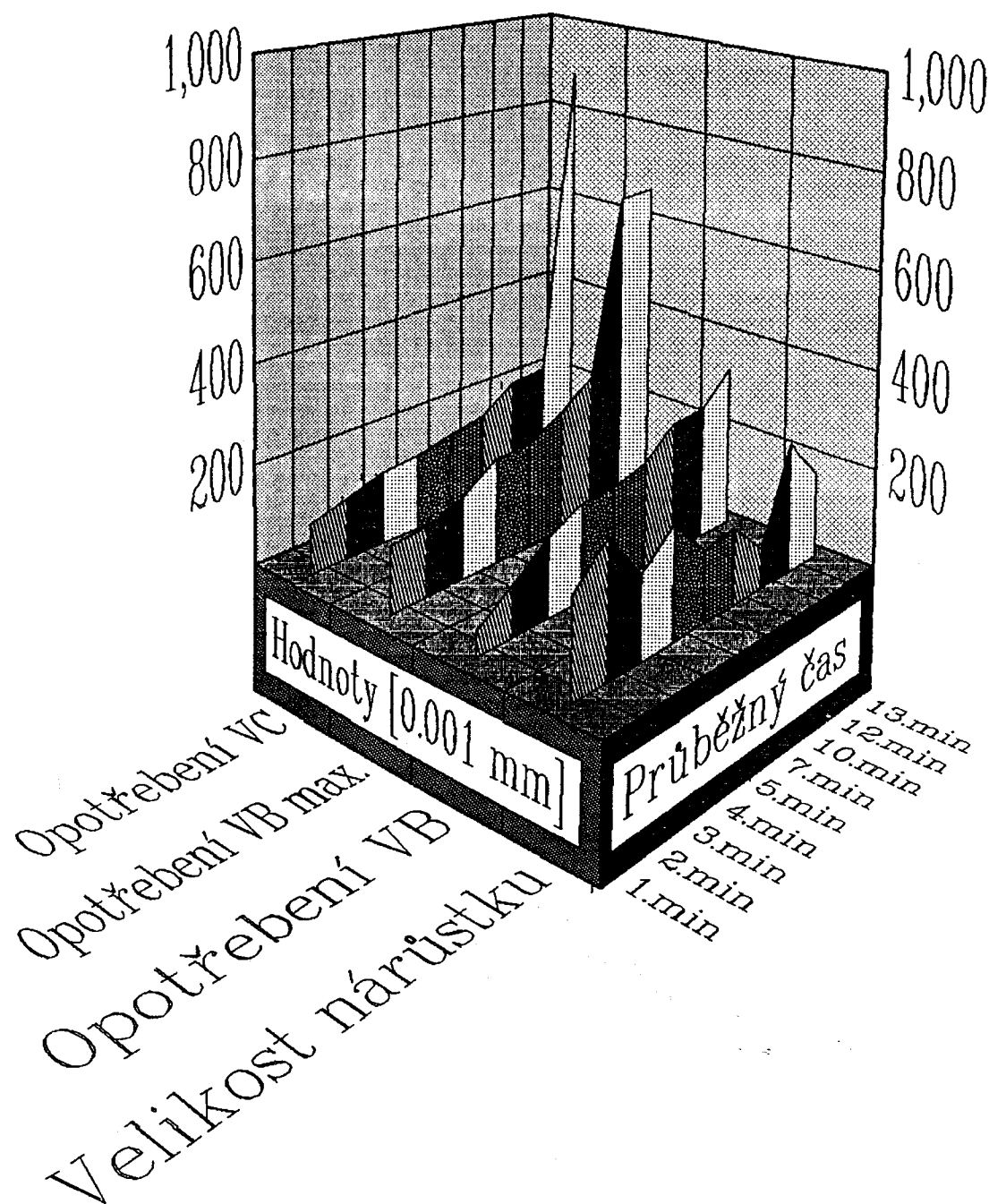


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 48 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 3

úhel čela = - 6

mat. 12050.9

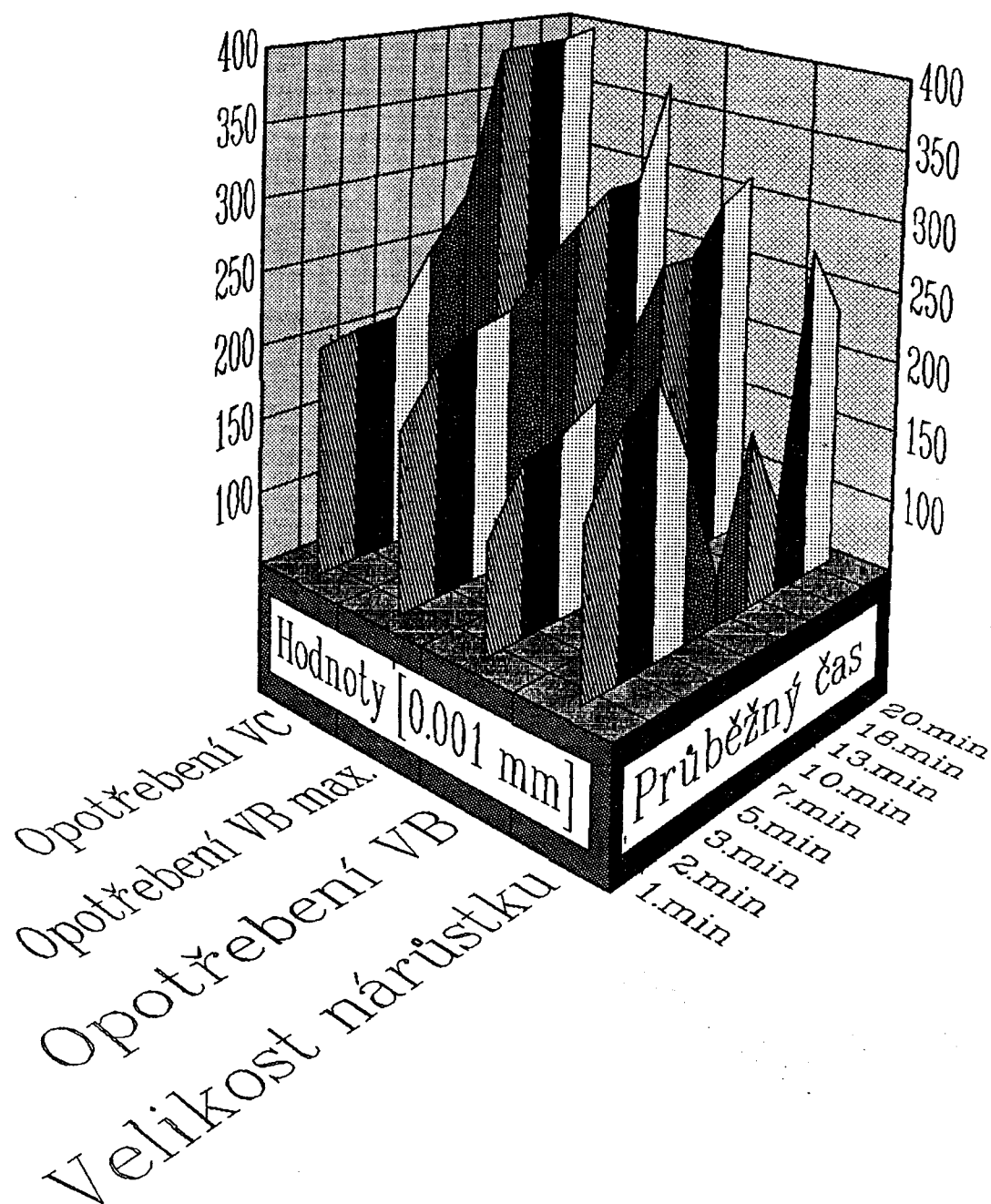


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 48 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 4

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

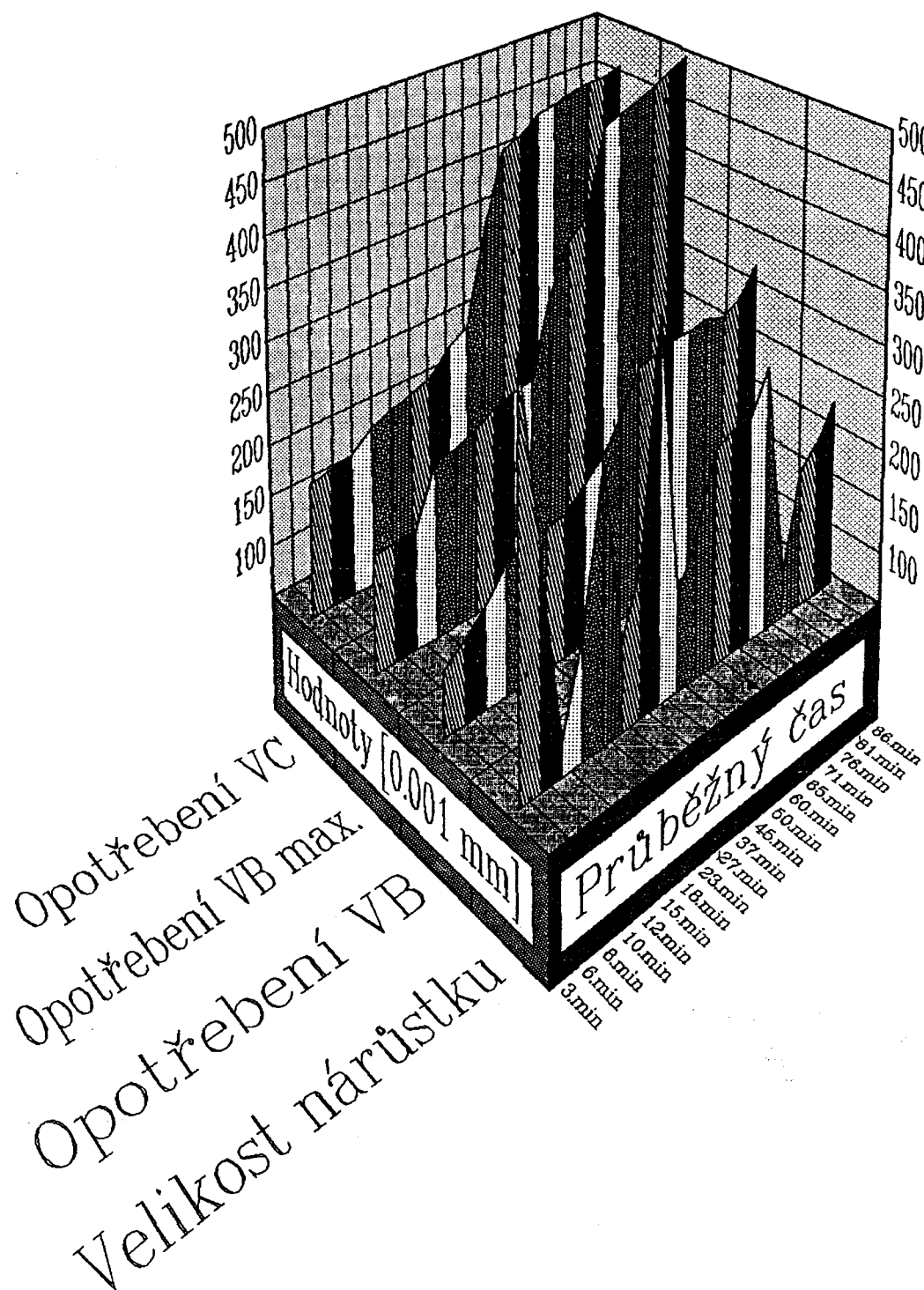


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 5

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

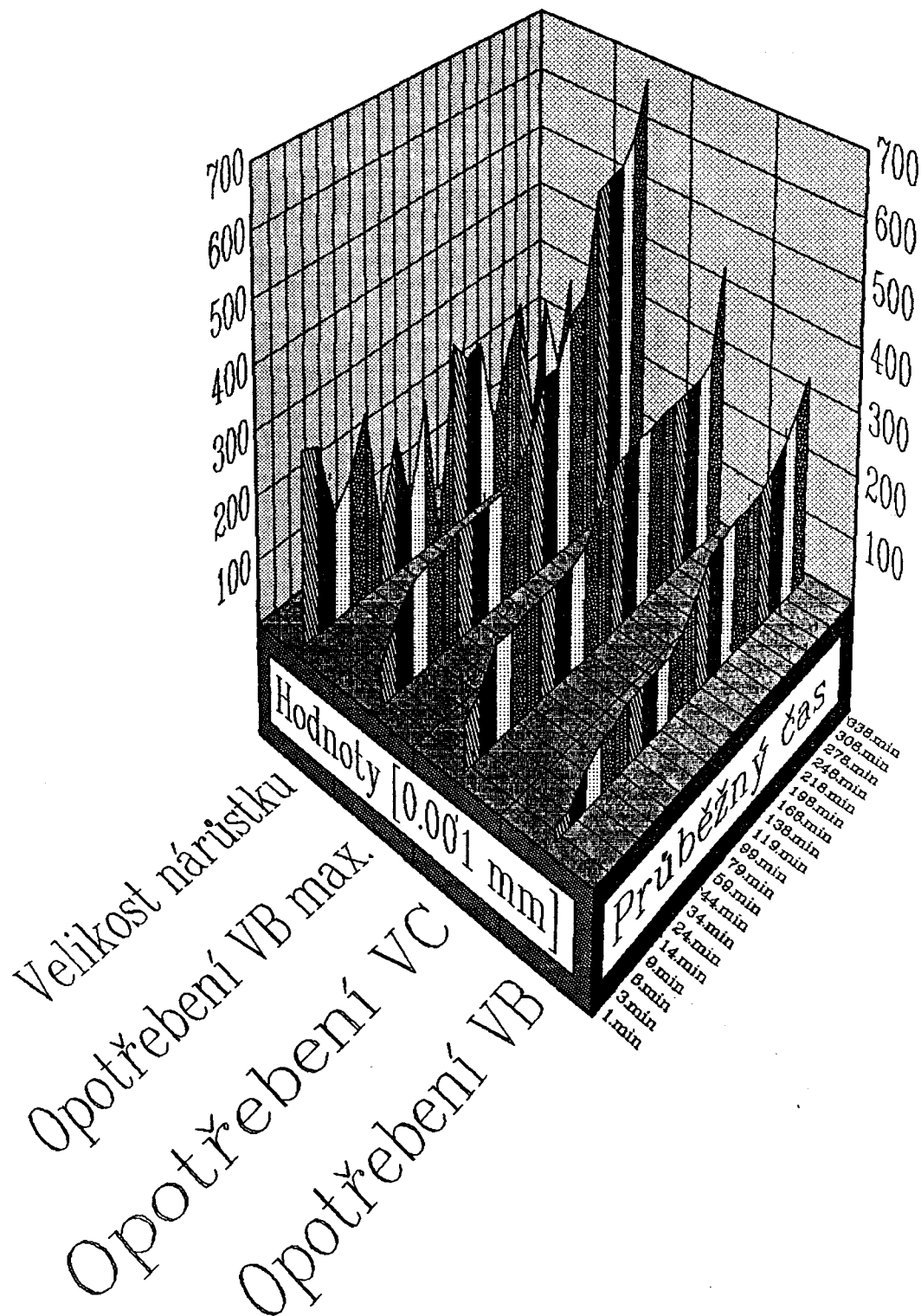


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 6

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

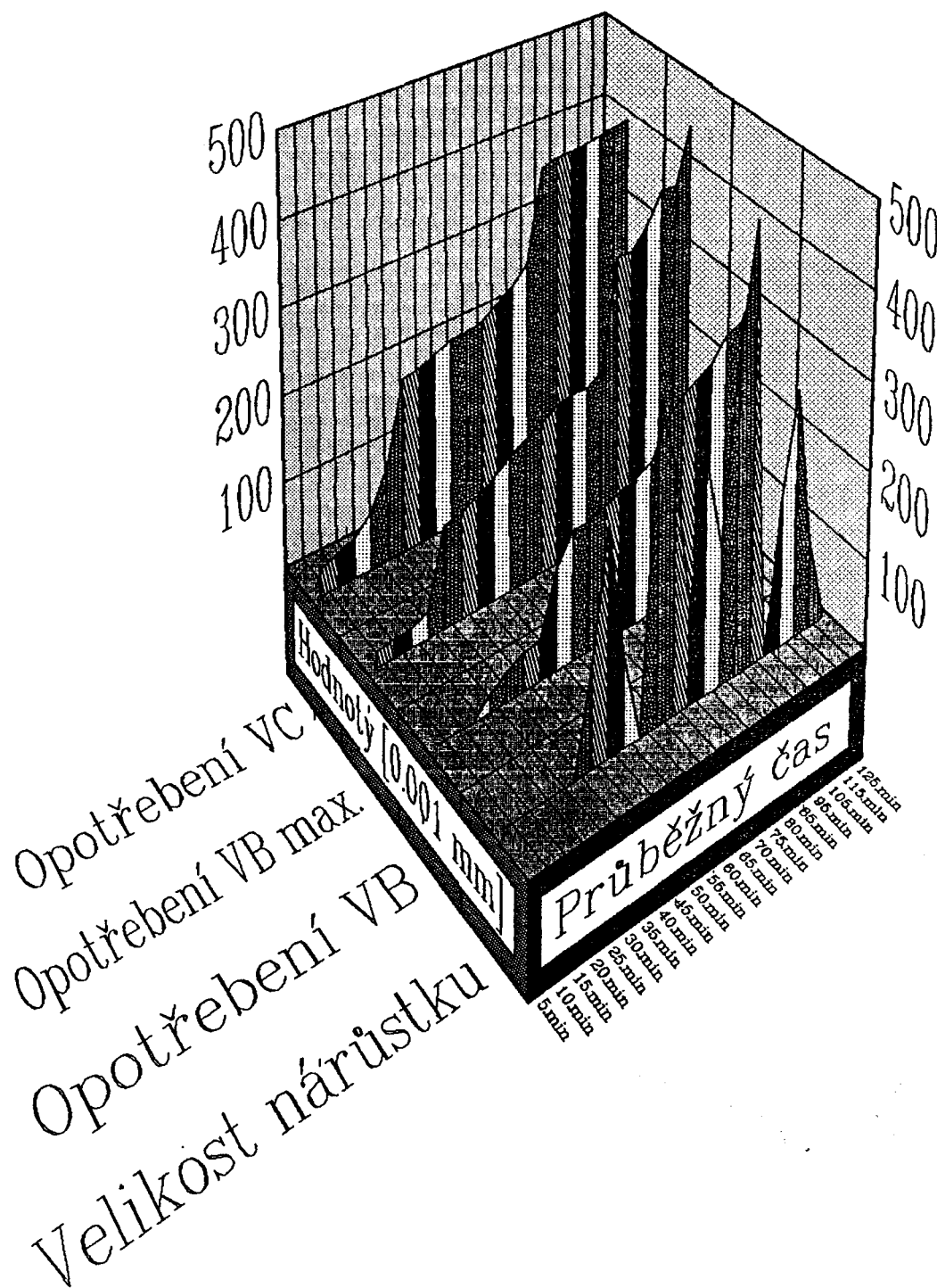


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 7

úhel čela = - 6

mat. 12050.9

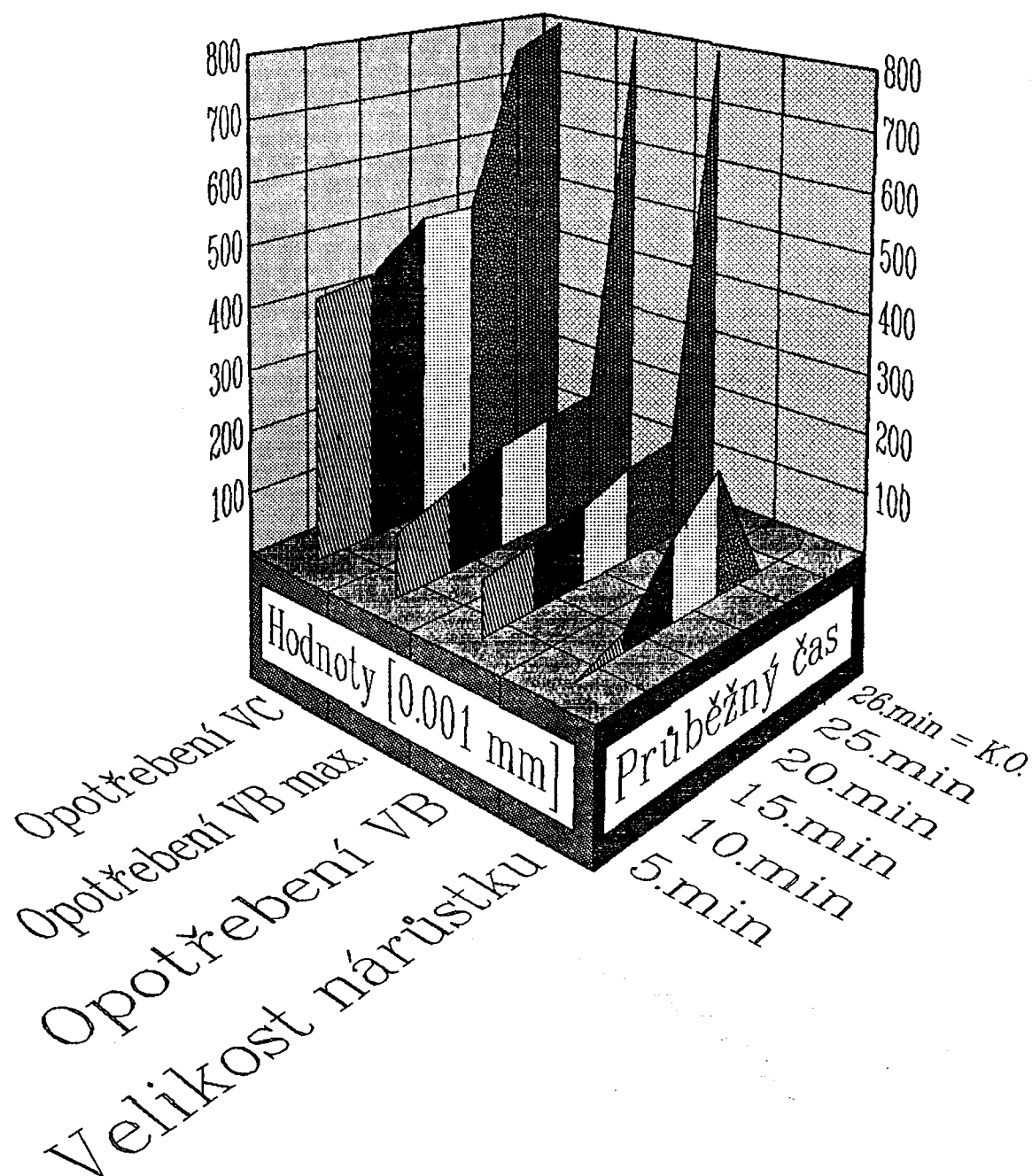


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 42 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 8

úhel čela = + 12

mat. 422420

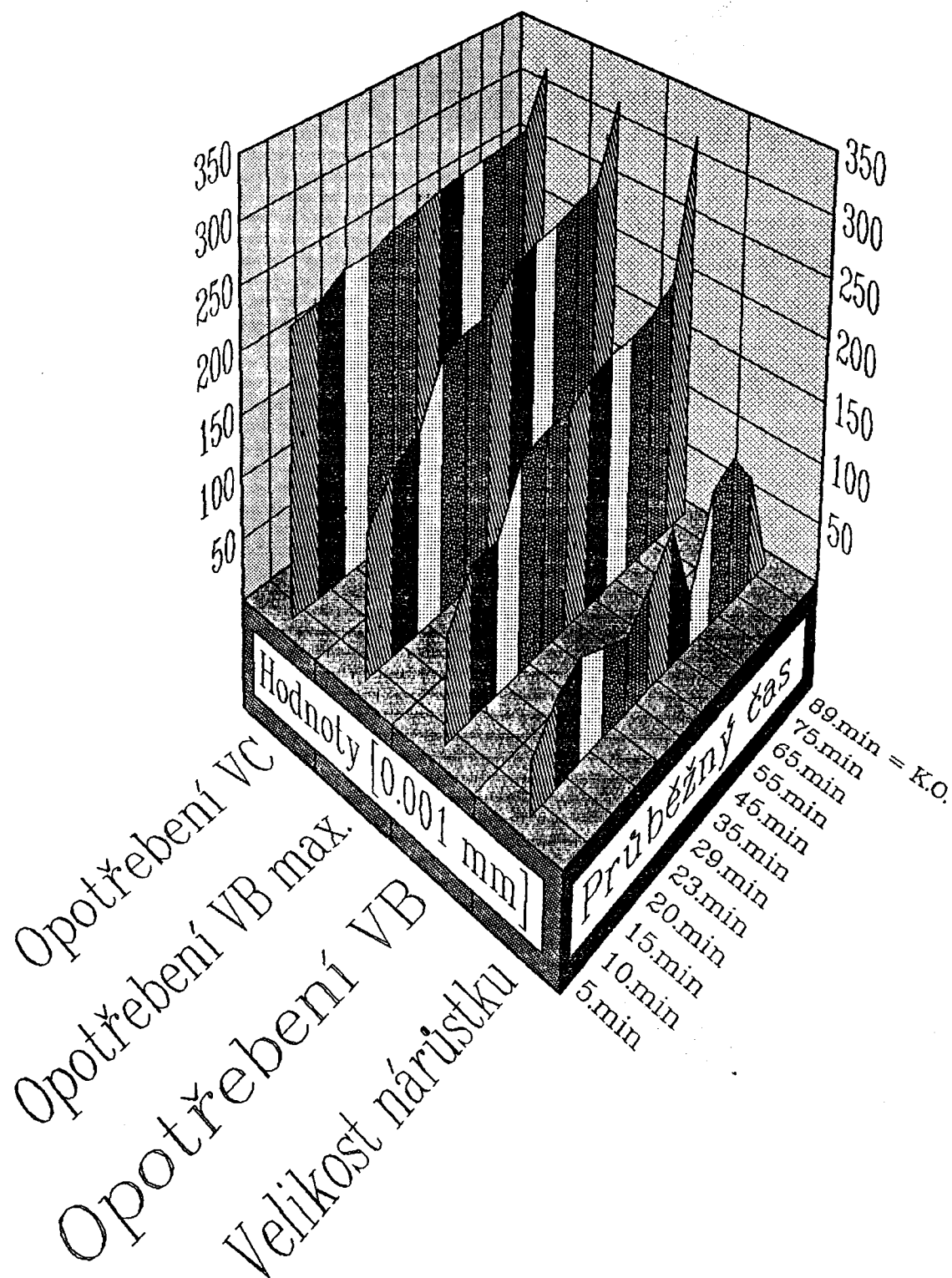


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 9

úhel čela = - 6

mat. 422420

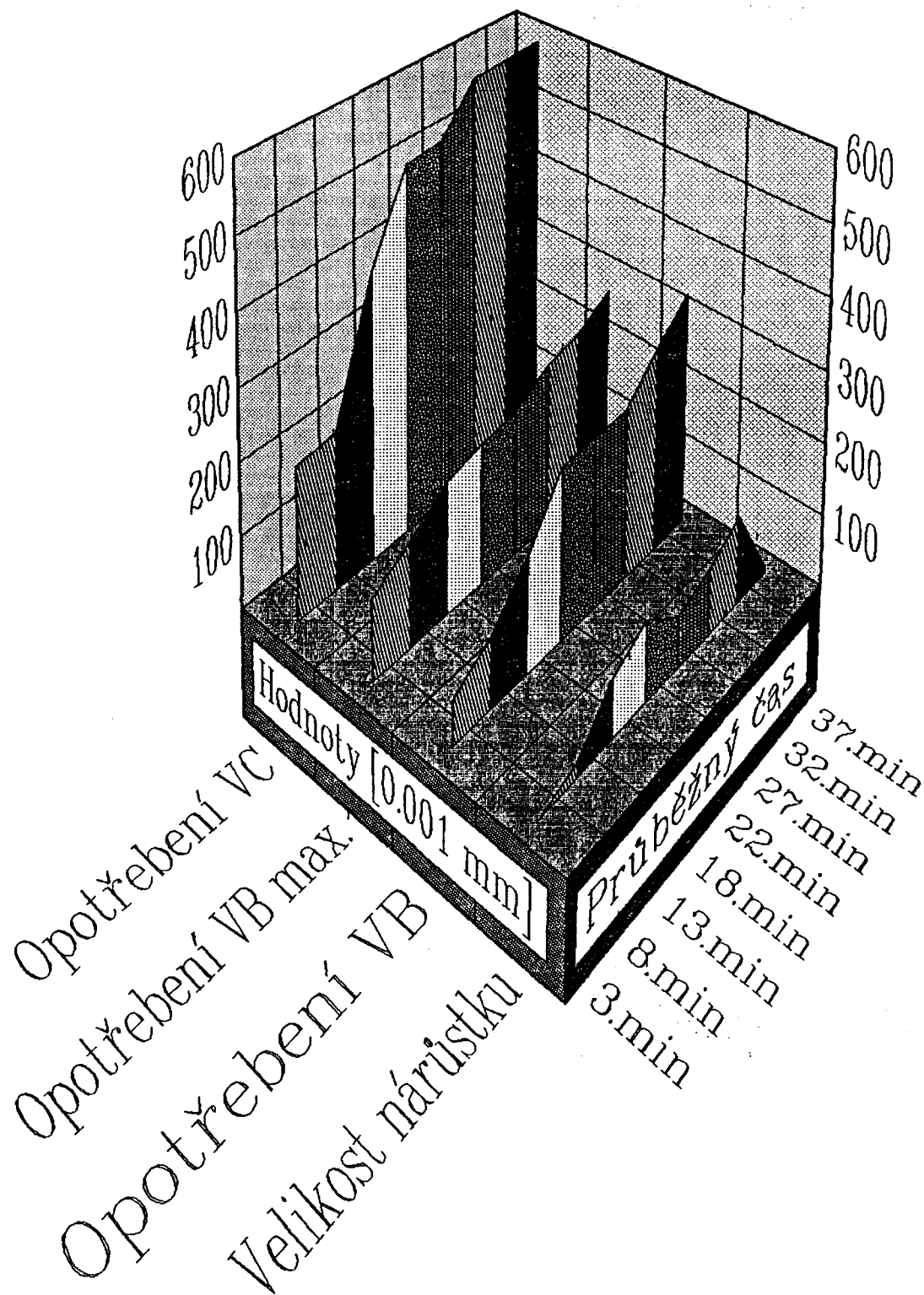


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 10

úhel čela = + 12

mat. 422420

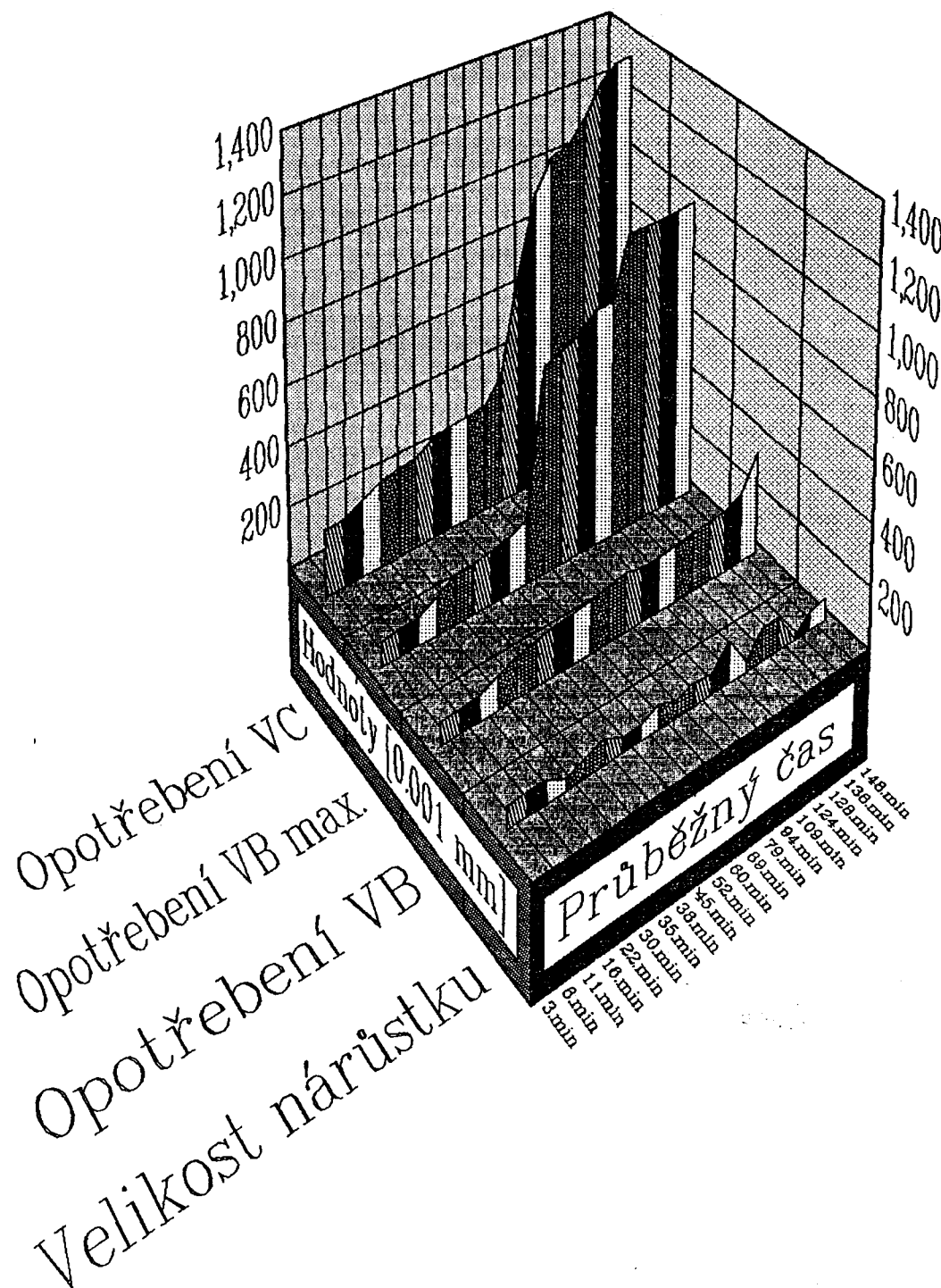


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 11

úhel čela = - 6

mat. 422420

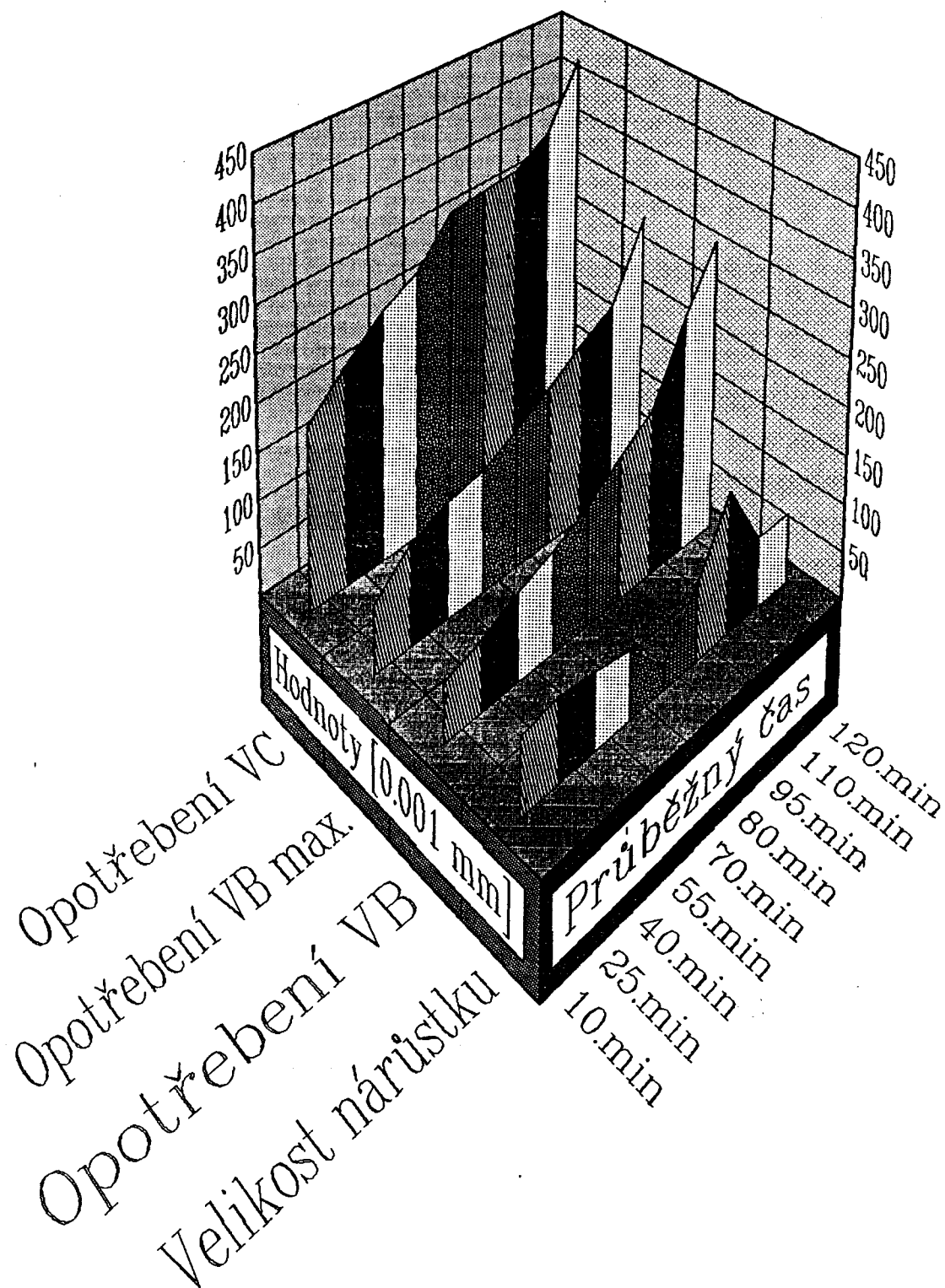


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 33 \text{ m/min}$

Příloha číslo 12

úhel čela = - 6

mat. 422420

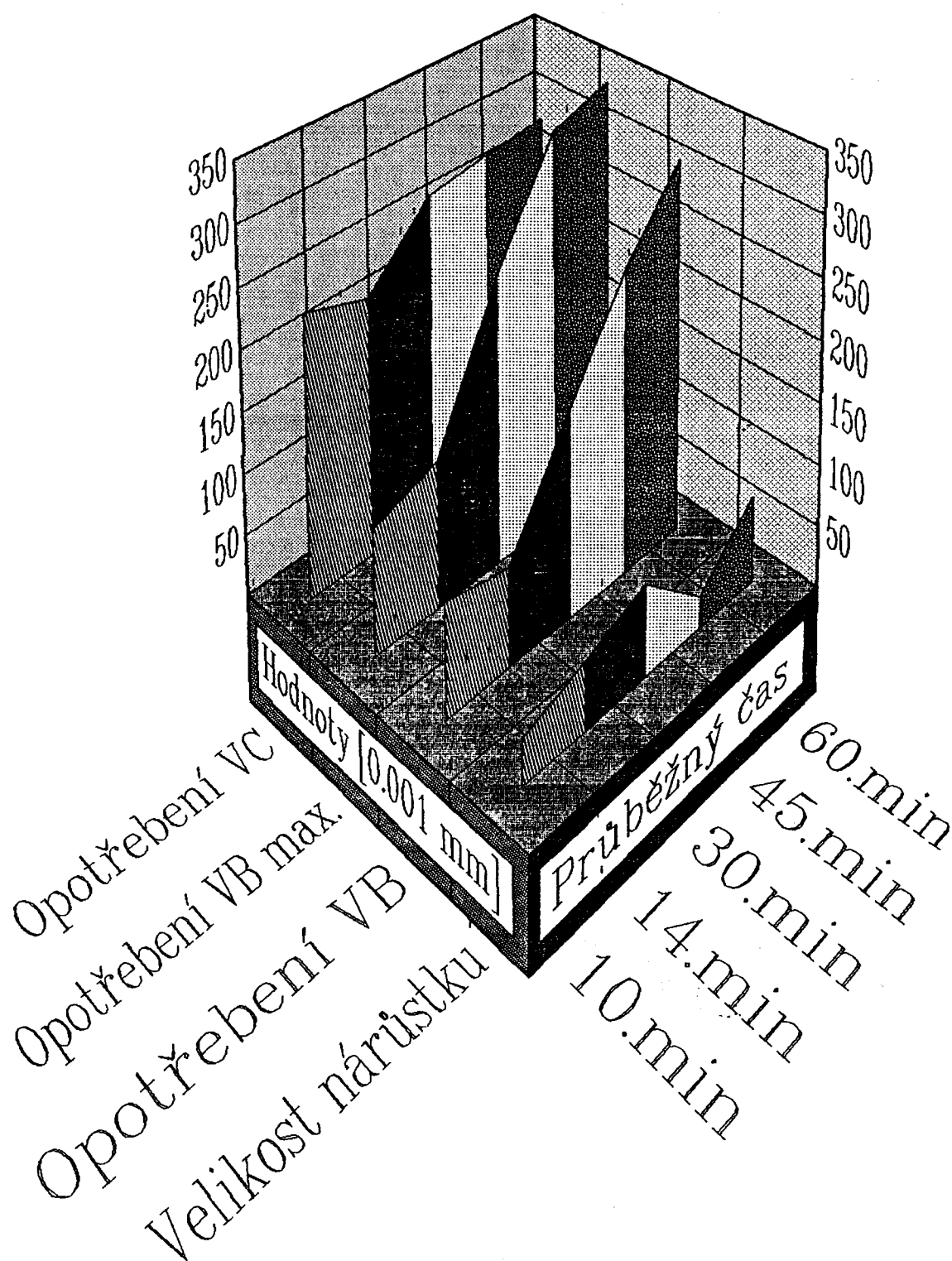


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 13

úhel čela = + 12

mat. 422420

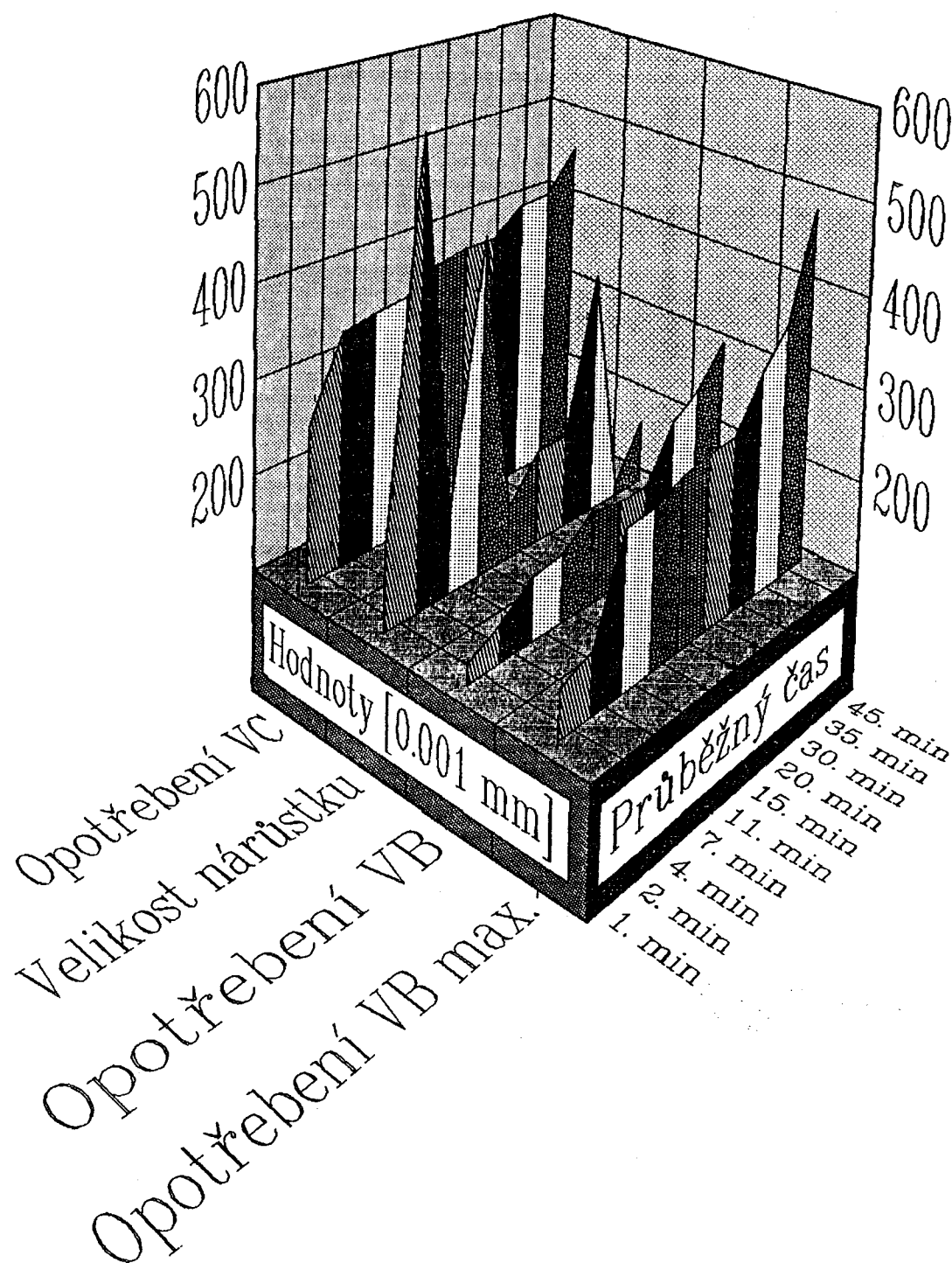


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 20 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 14

úhel čela = - 6

mat. 15260.3

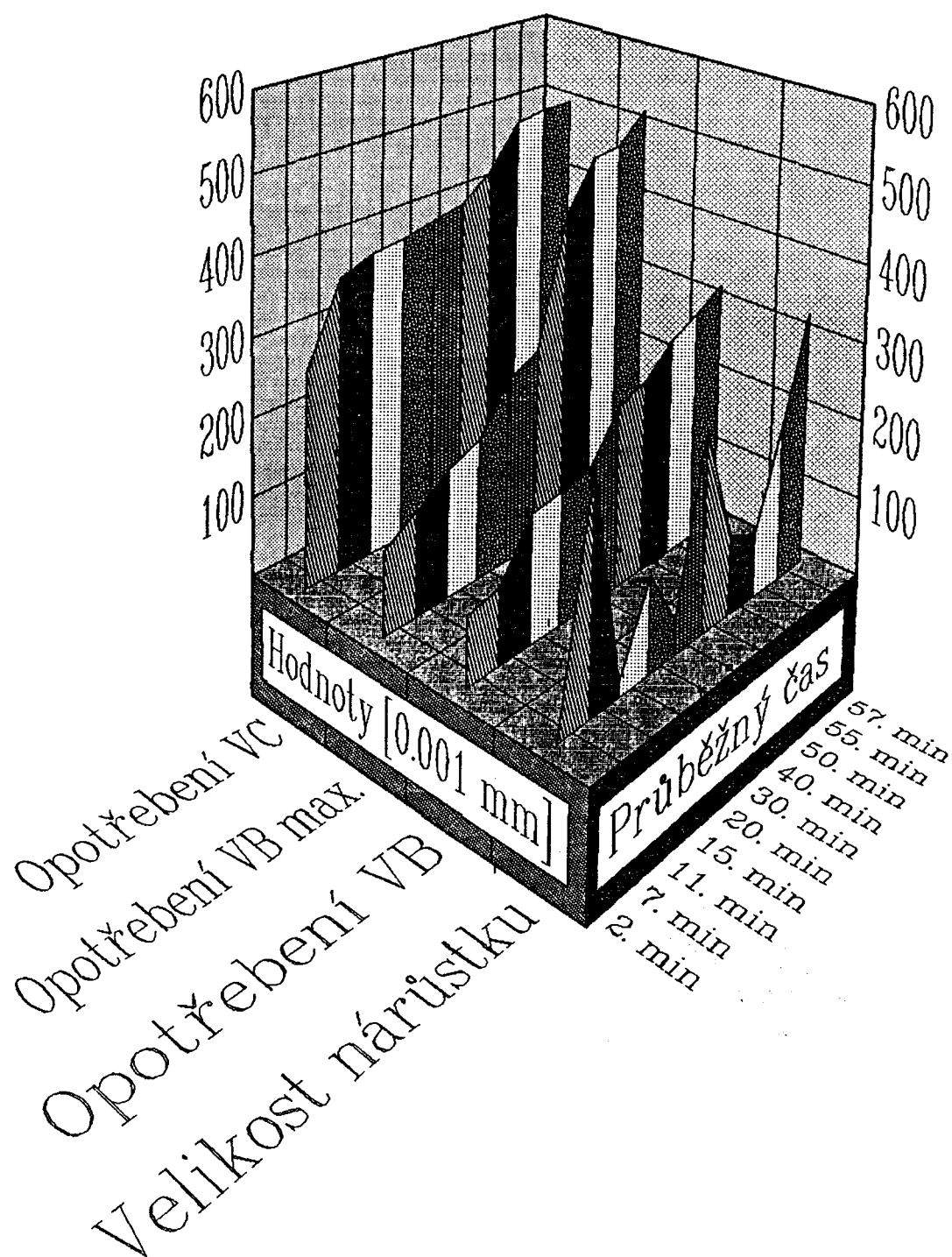


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 20 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 15

úhel čela = + 12

mat. 15260.3

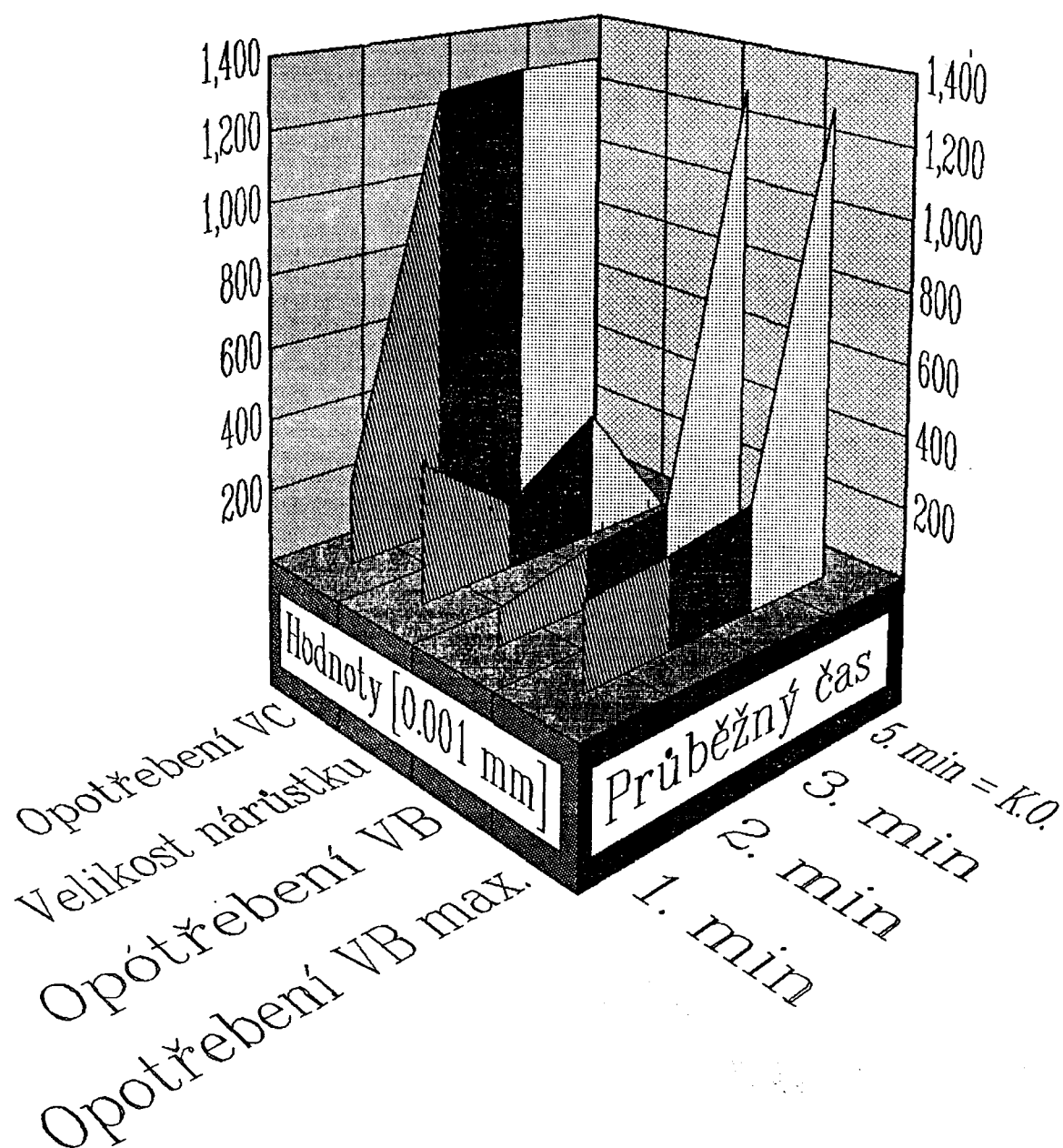


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 16

úhel čela = - 6

mat. 15260.3

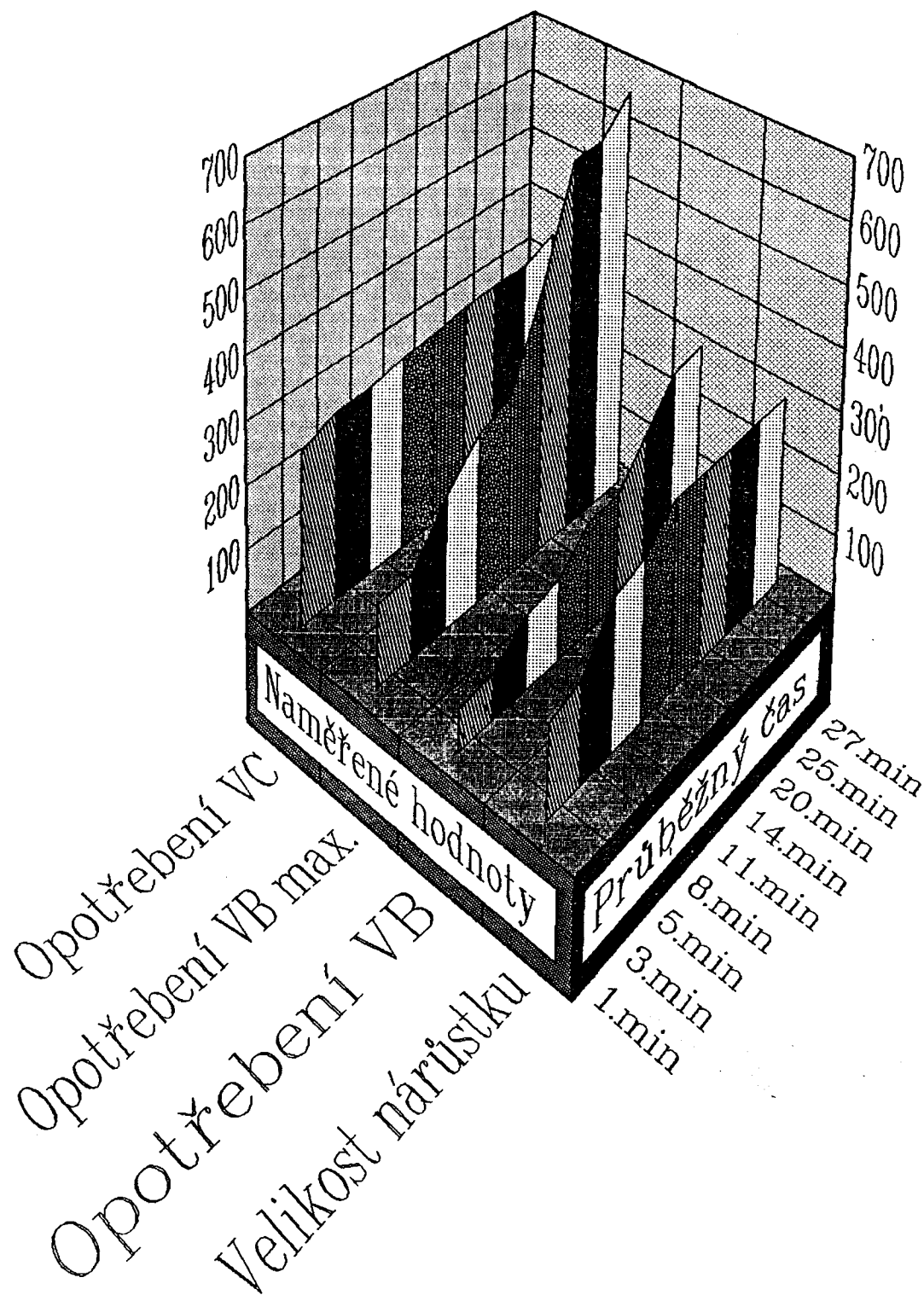


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 17

úhel čela = + 12

mat. 15260.3

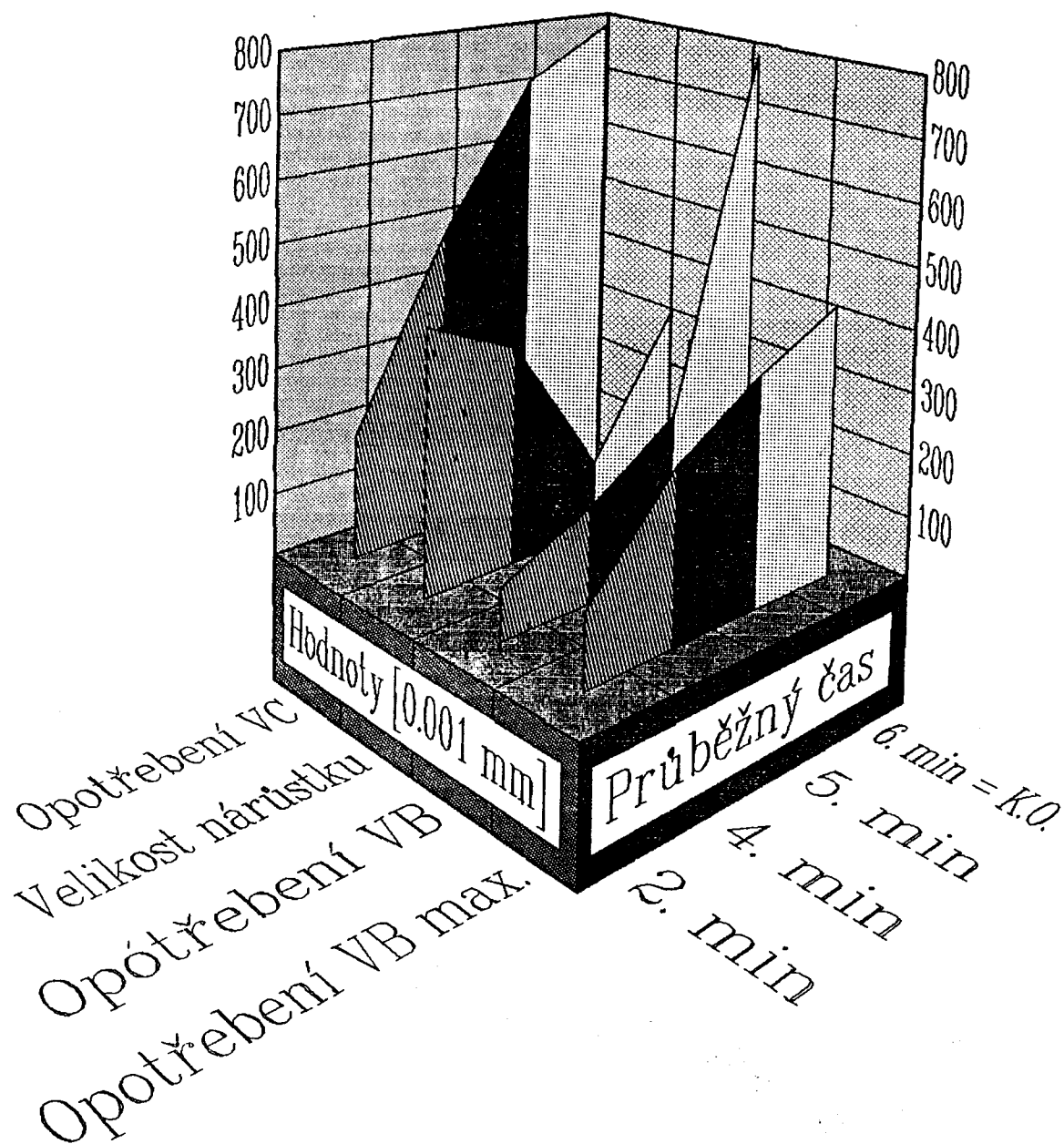


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $v_c = 26 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 18

úhel čela = - 6

mat. 15260.3

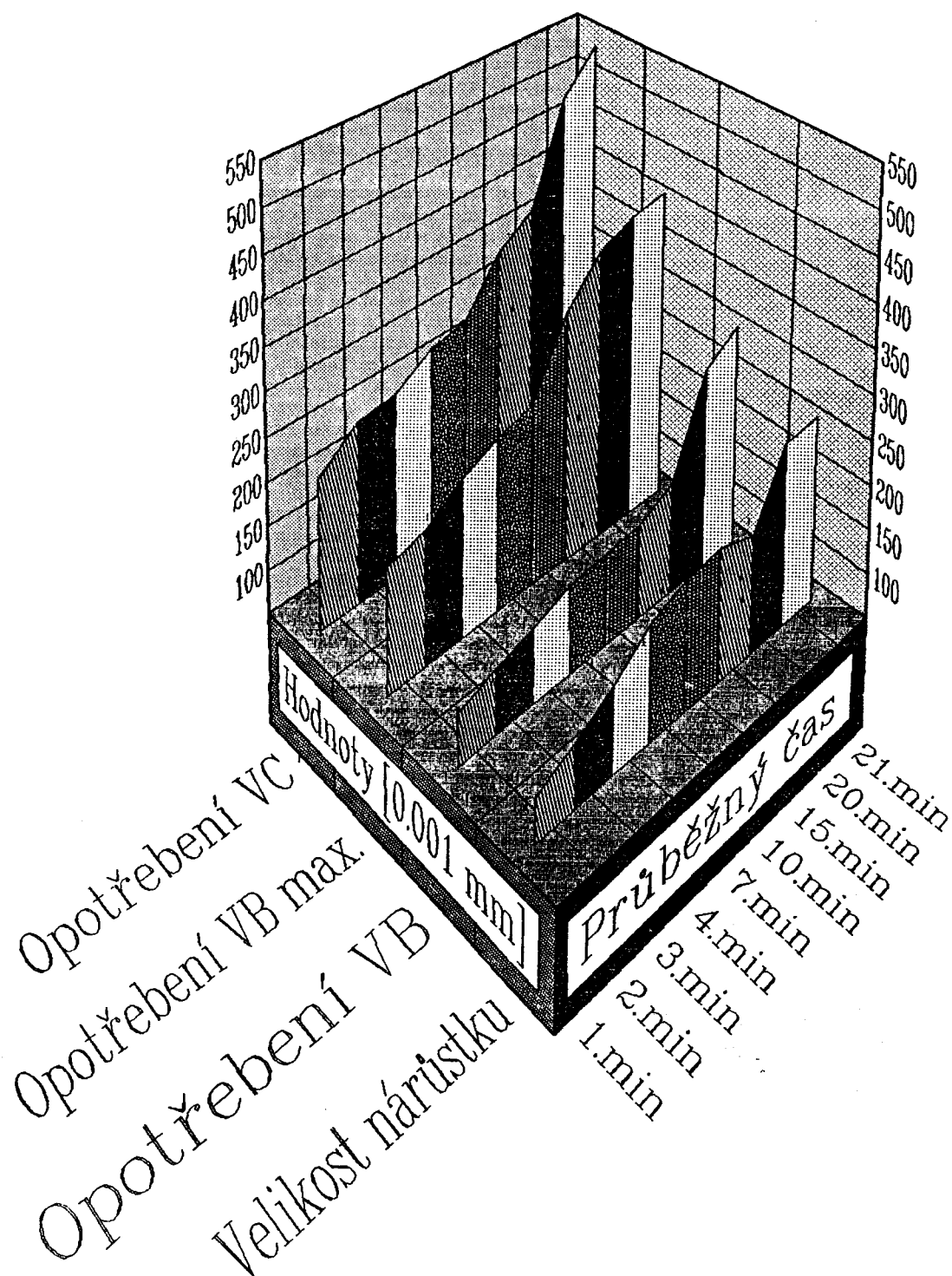


Průběh naměřených hodnot při řezné rychlosti $vc = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 19

úhel čela = + 12

mat. 15260.3

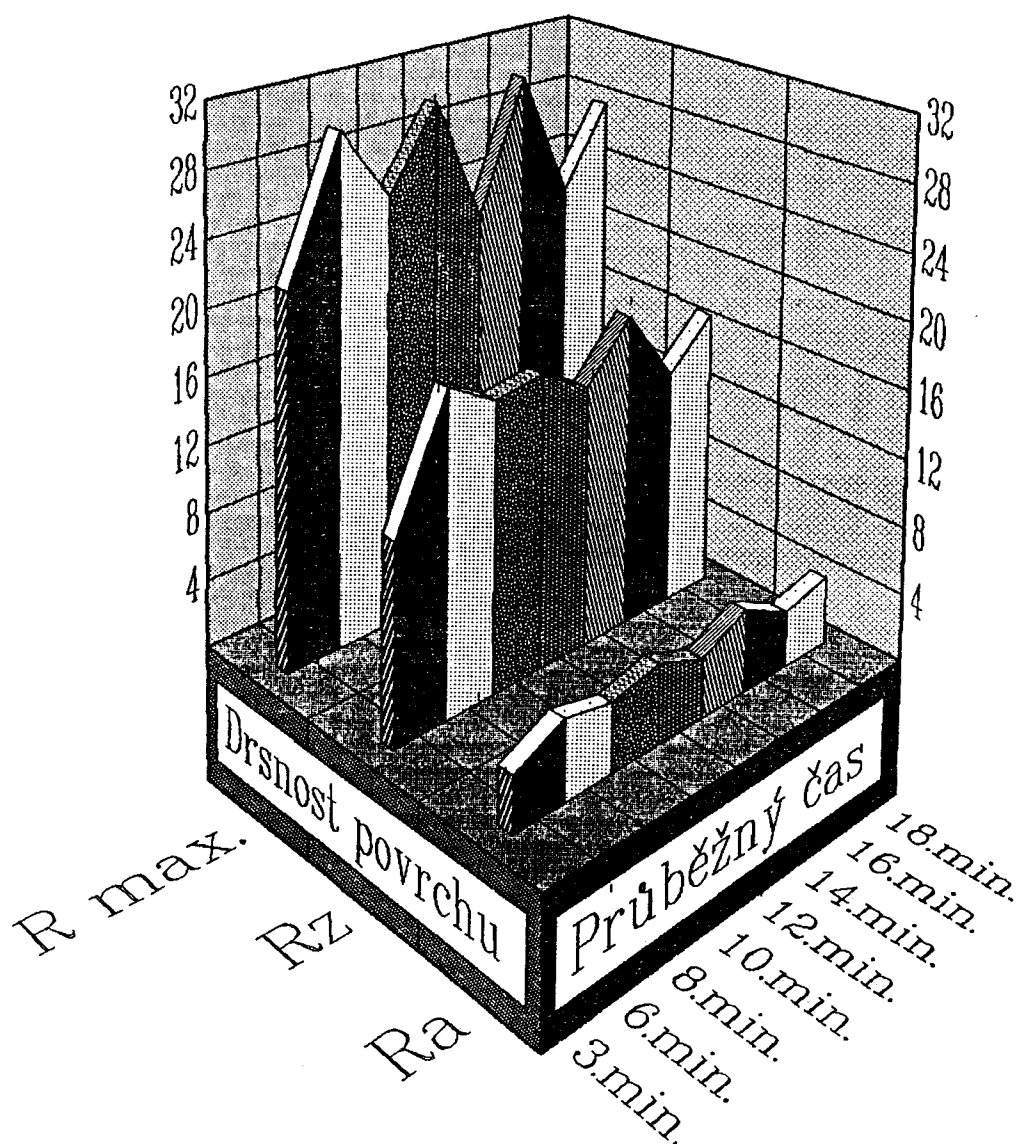


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 42 \text{ m/min}$

Příloha číslo 1a

úhel čela = - 6

mat. 12050.9

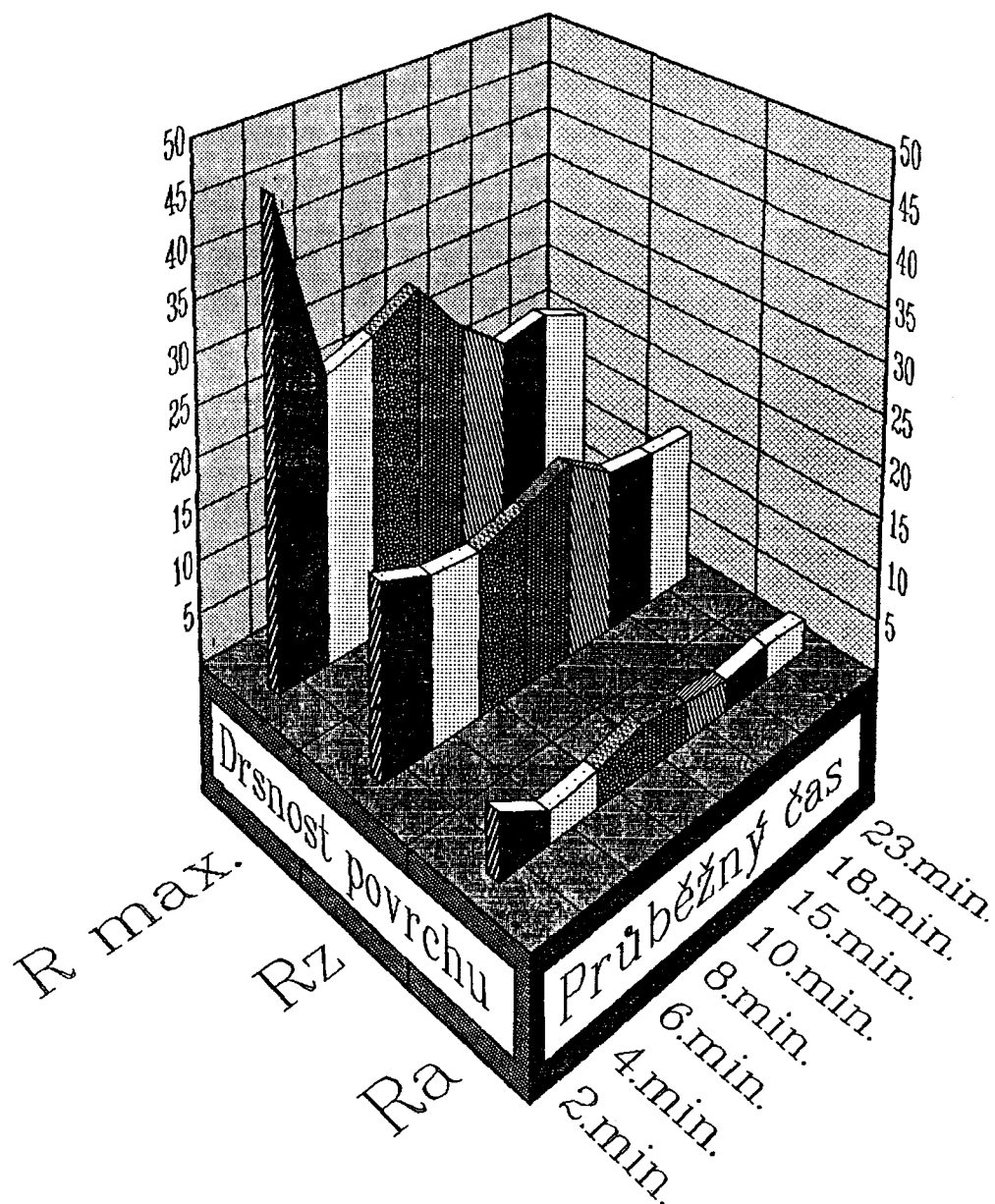


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 42 \text{ m/min}$

Příloha číslo 2a

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

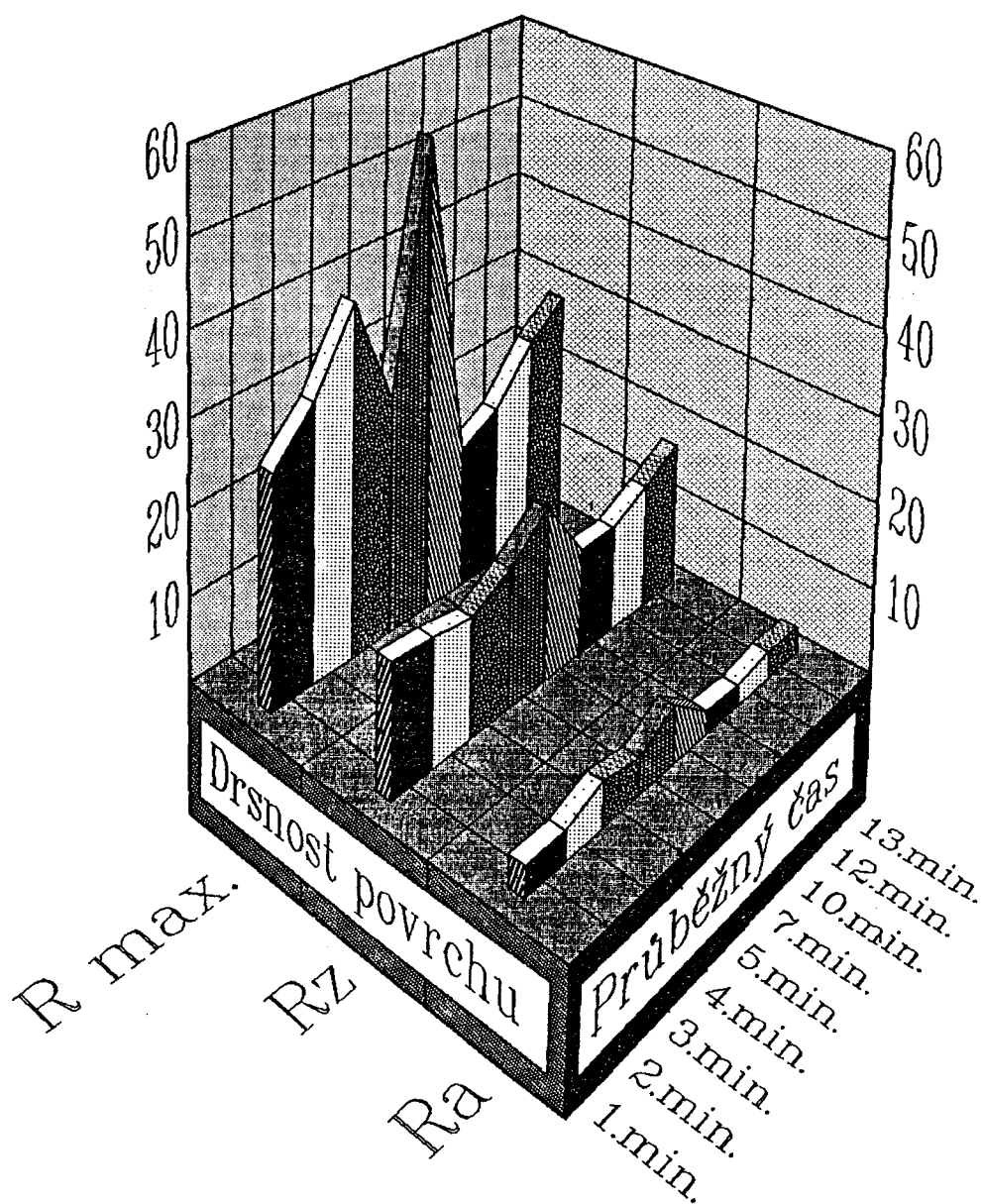


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 48 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 3a

úhel čela = - 6

mat. 12050.9

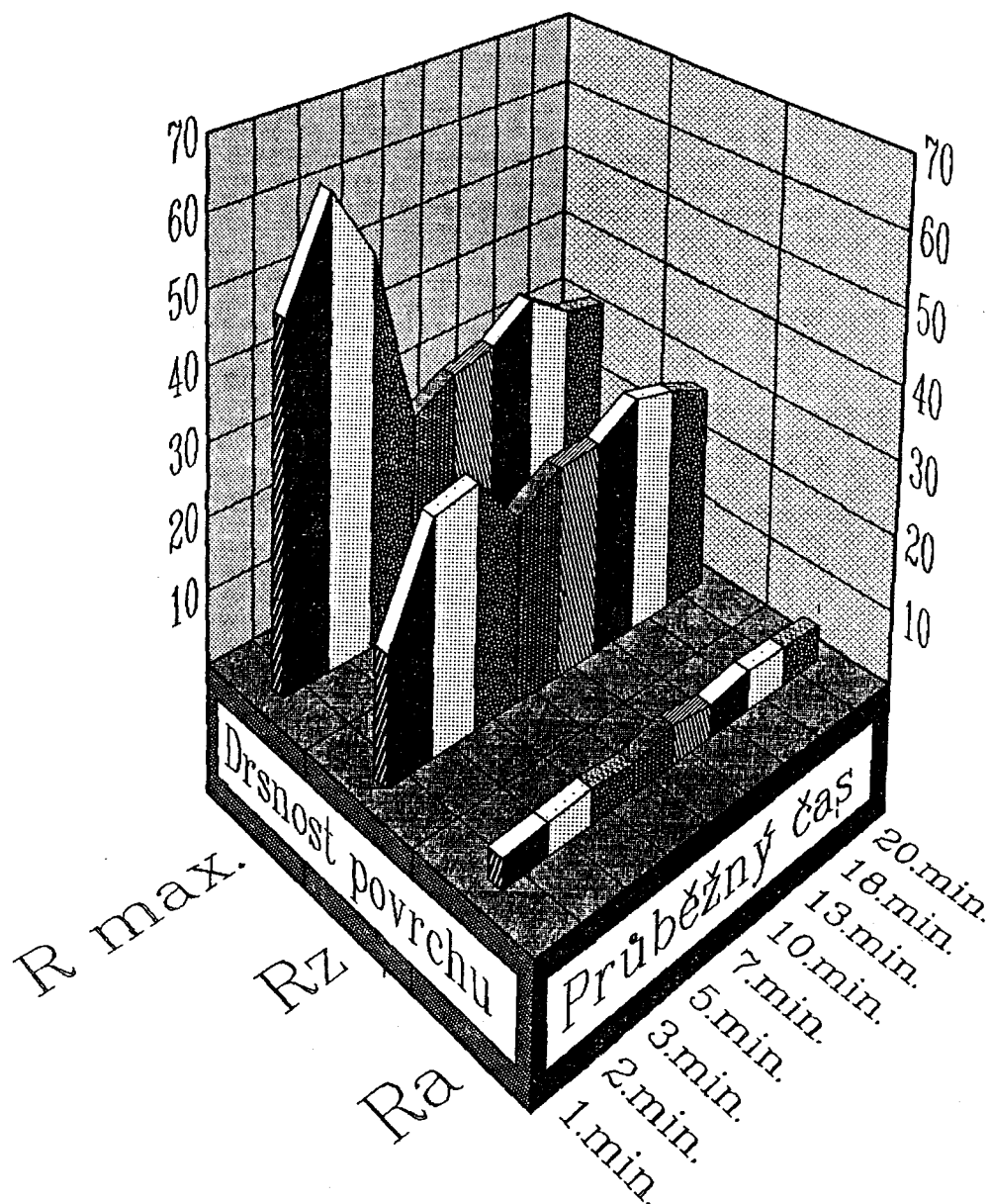


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 48 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 4a

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

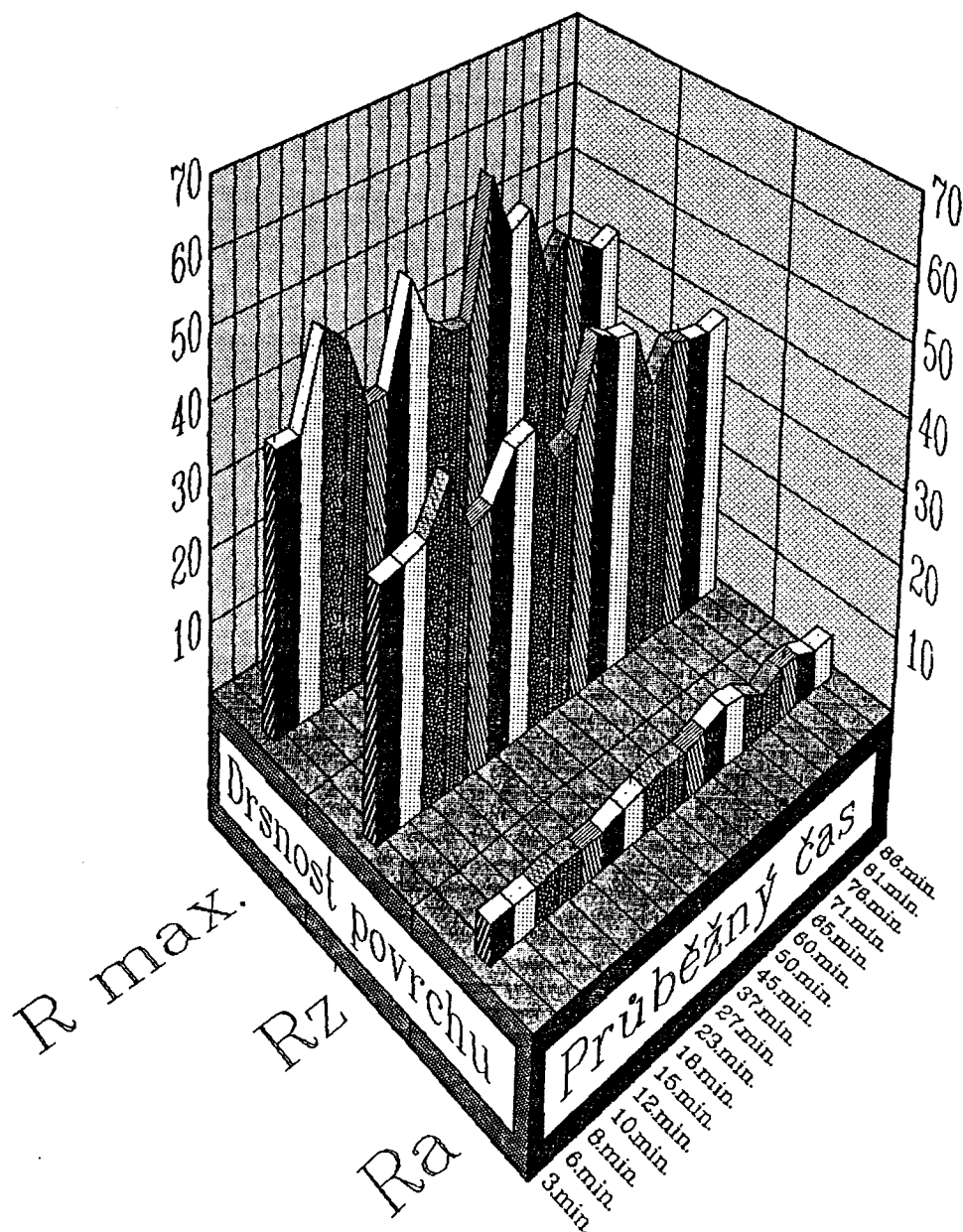


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 5a

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

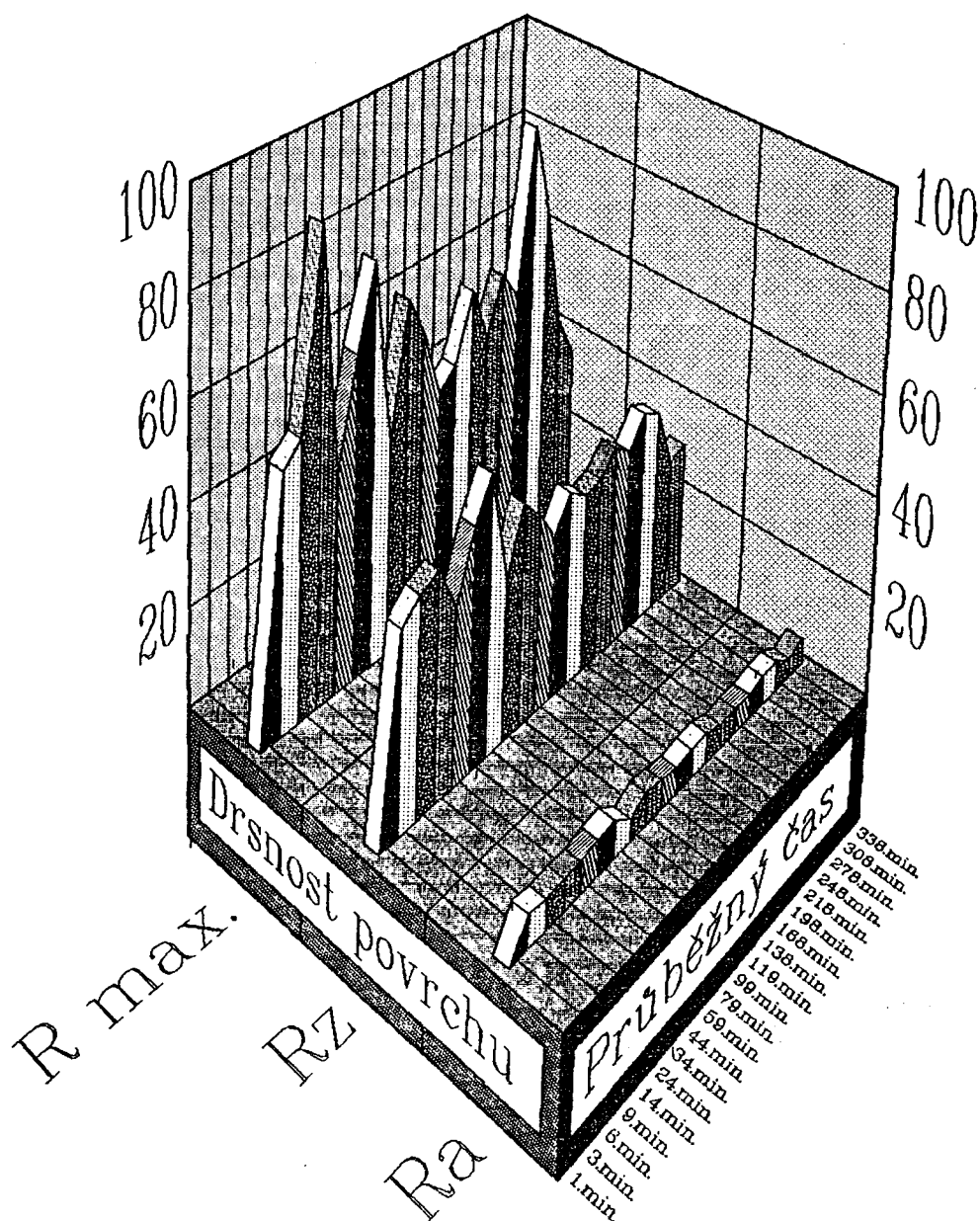


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 30 \text{ m/min}$

Příloha číslo 6a

úhel čela = + 12

mat. 12050.9

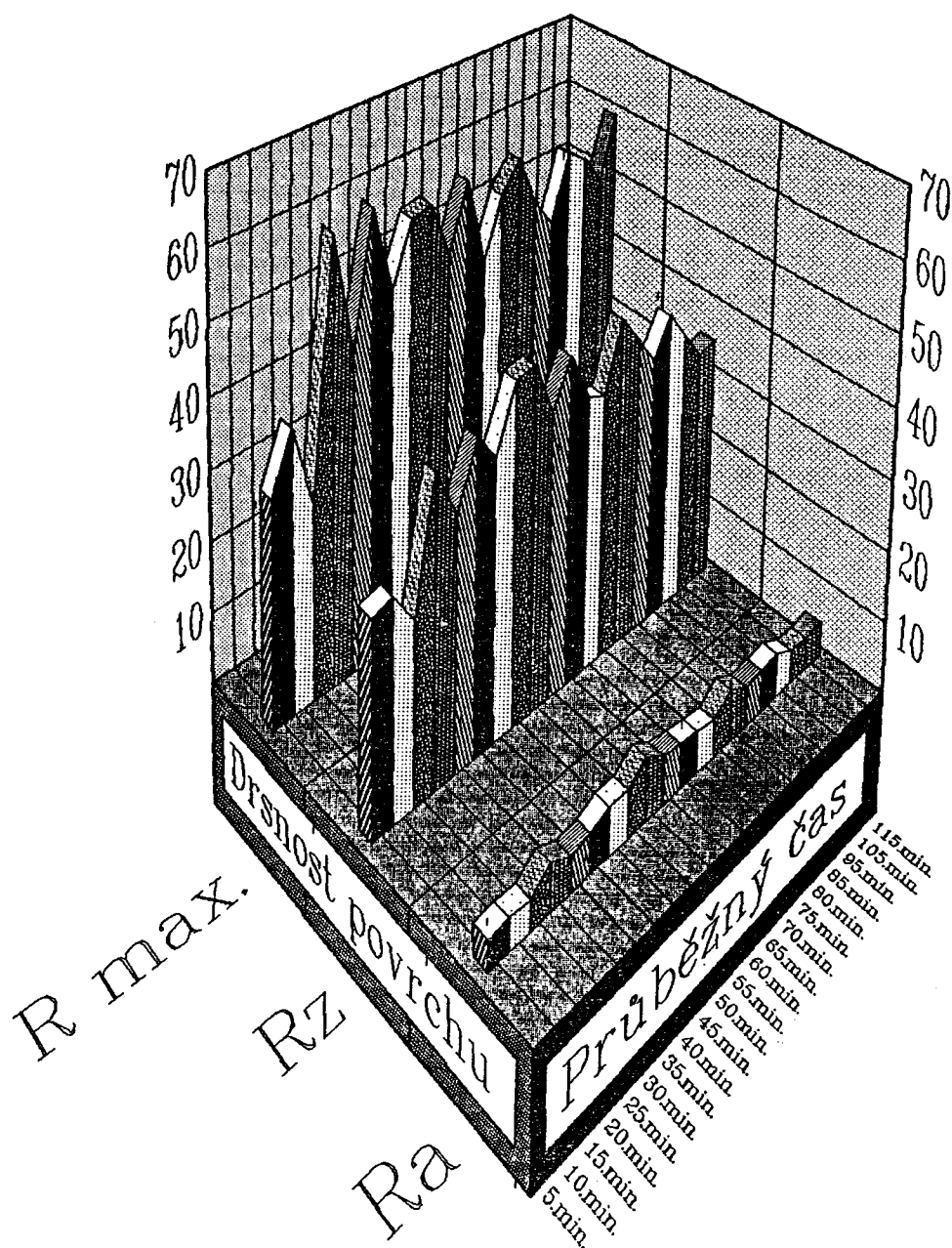


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 30 \text{ m/min}$

Příloha číslo 7a

úhel čela = - 6

mat. 12050.9

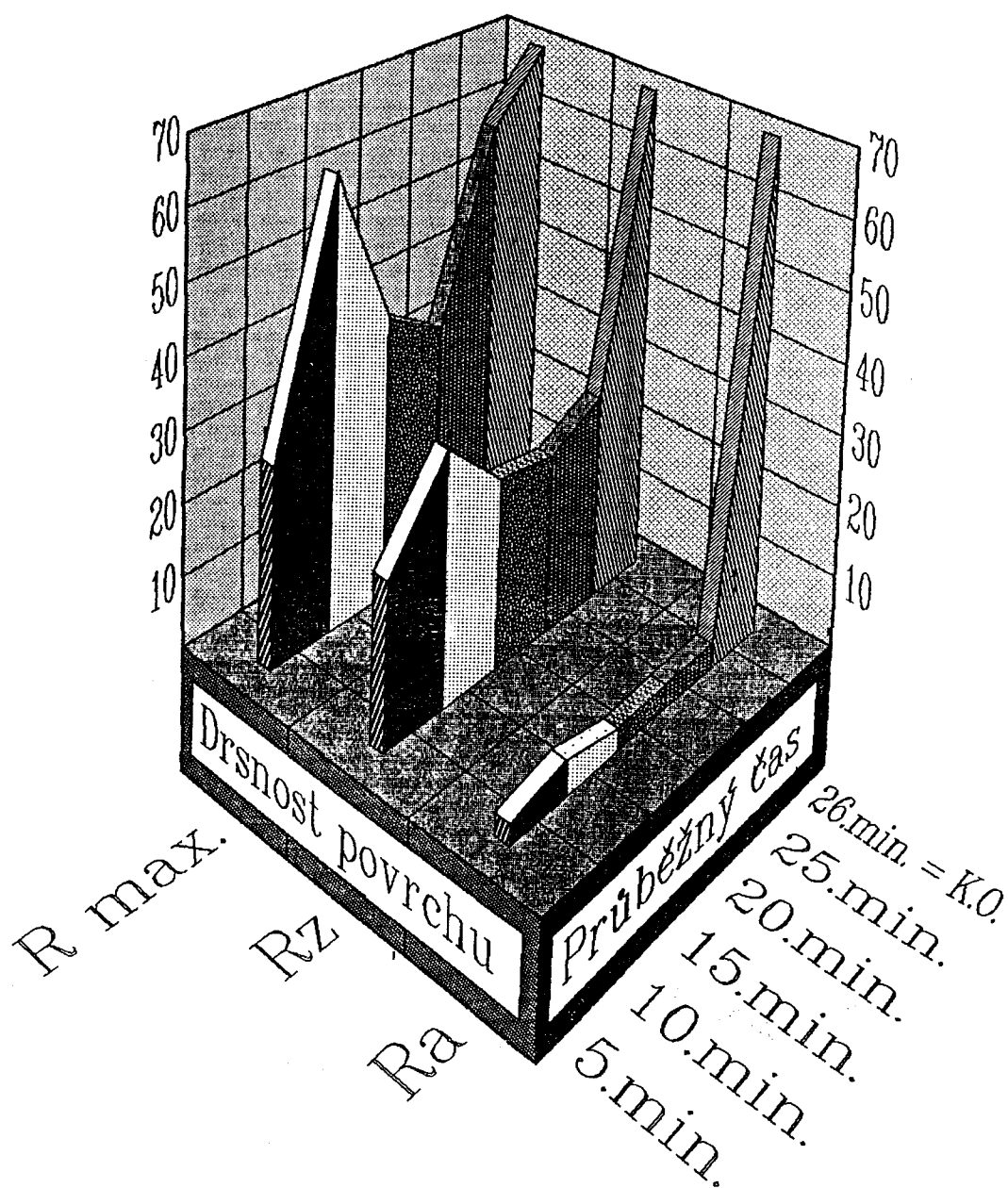


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 42 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 8a

úhel čela = + 12

mat. 422420

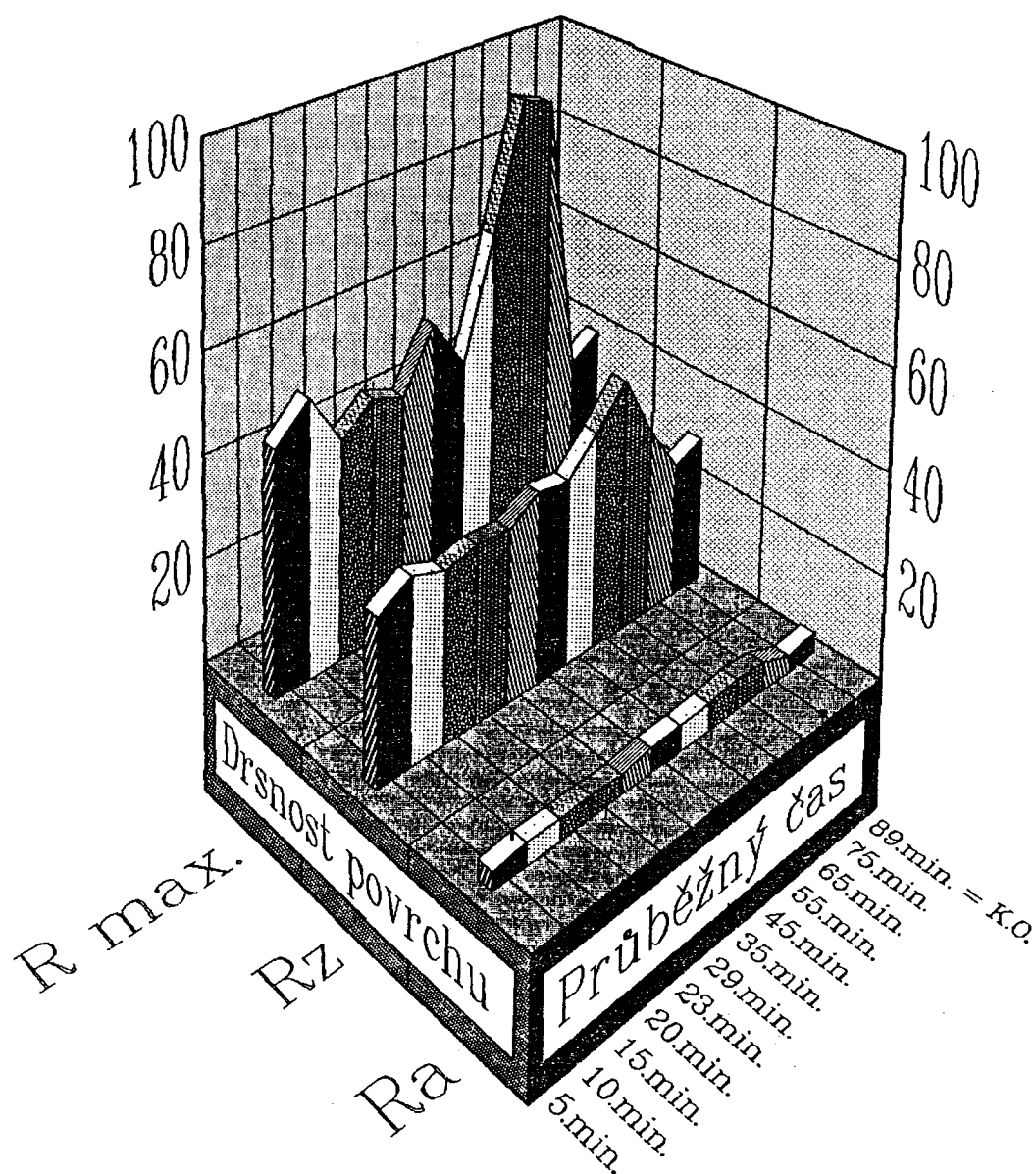


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 9a

úhel čela = - 6

mat. 422420

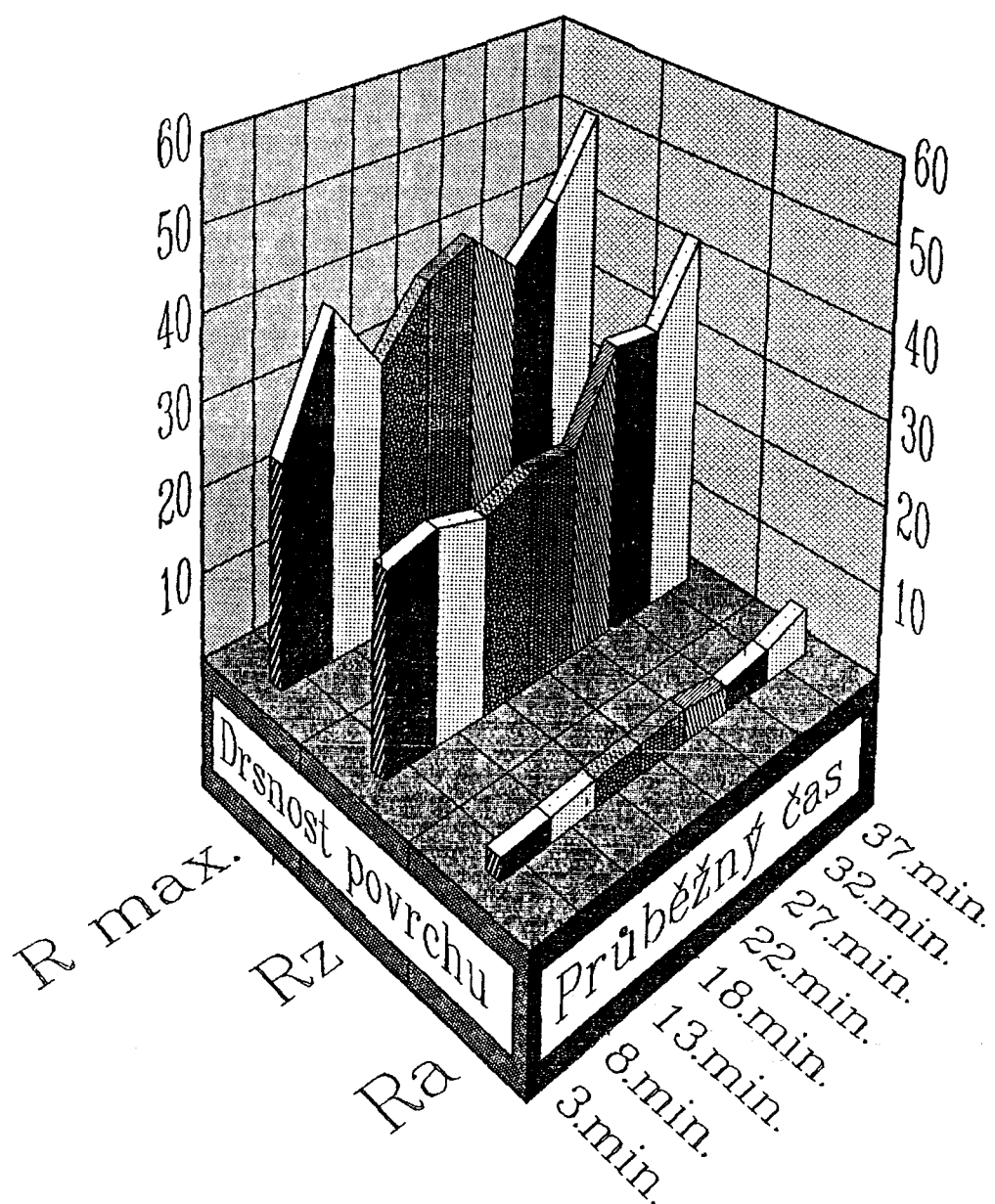


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 10 a

úhel čela = + 12

mat. 422420

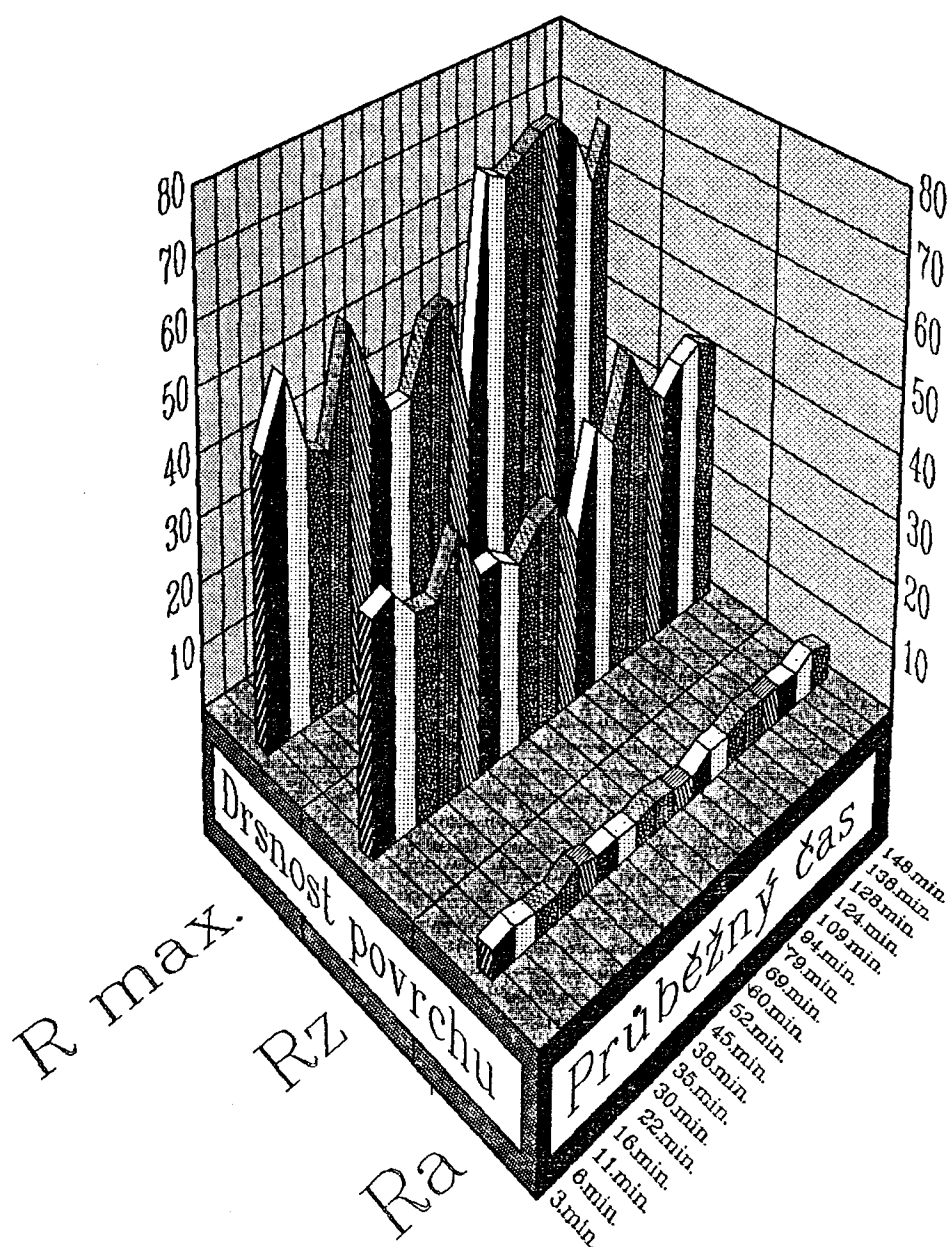


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 11 a

úhel čela = - 6

mat. 422420

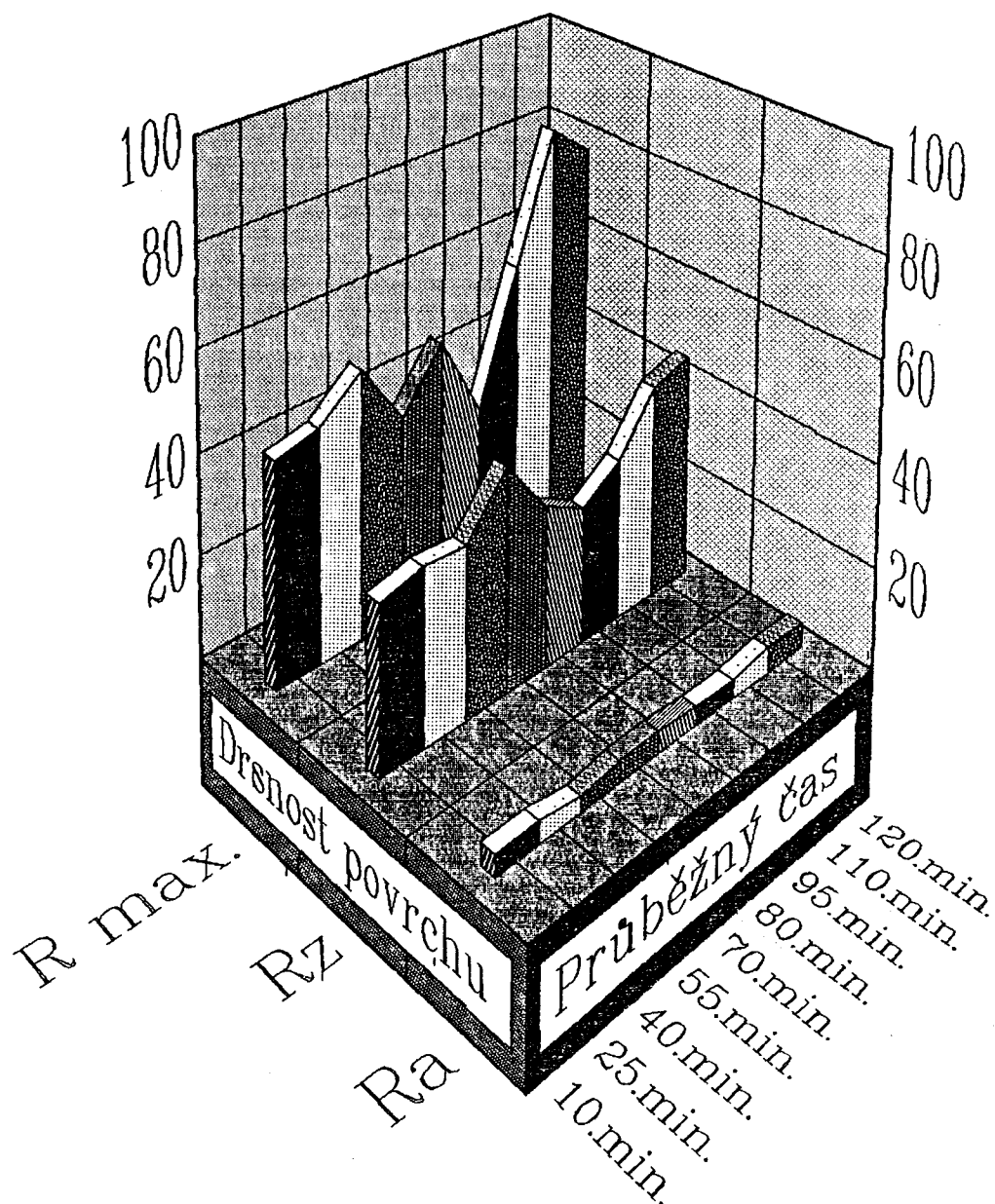


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 33 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 12 a

úhel čela = - 6

mat. 422420

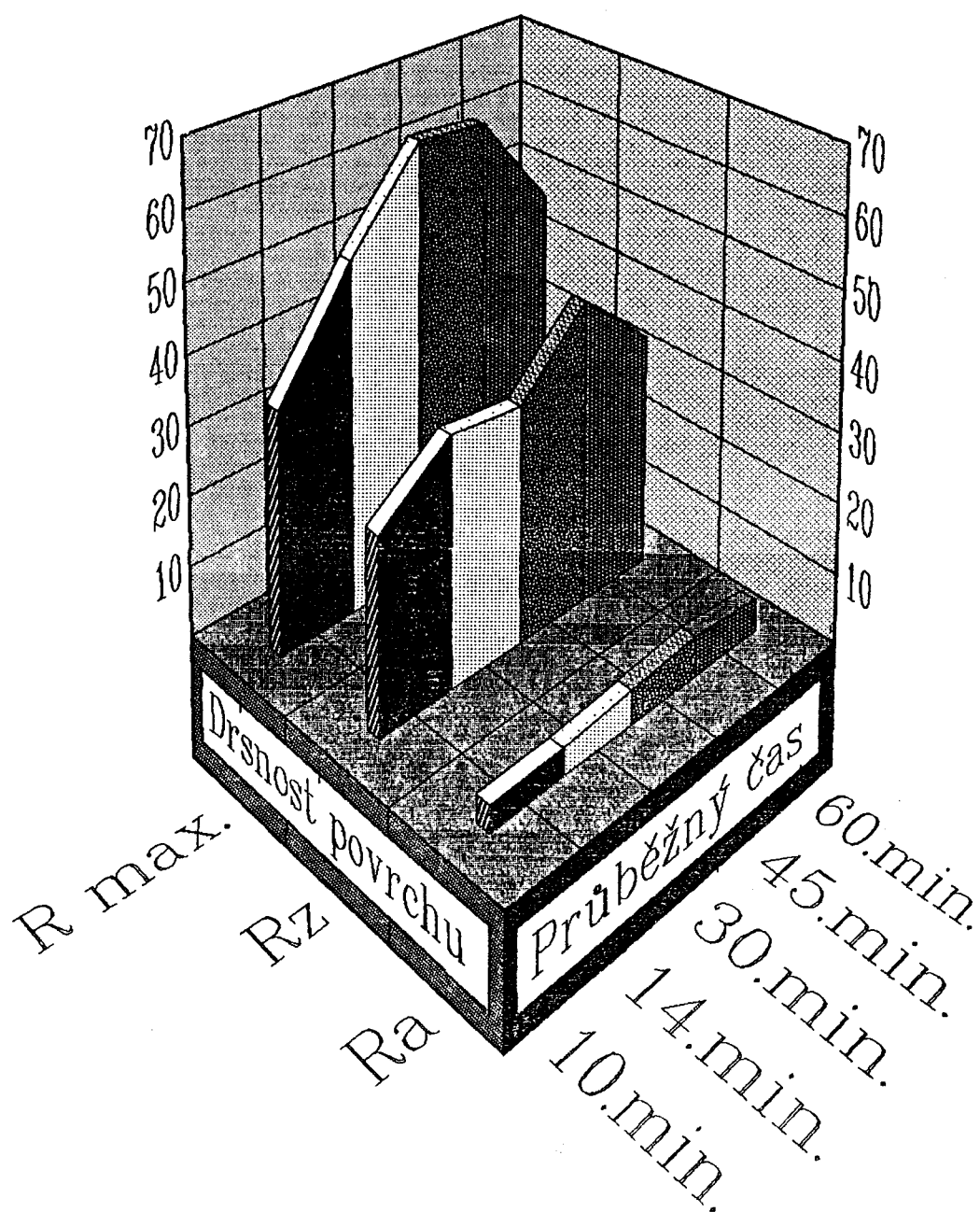


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 13 a

úhel čela = + 12

mat. 422420

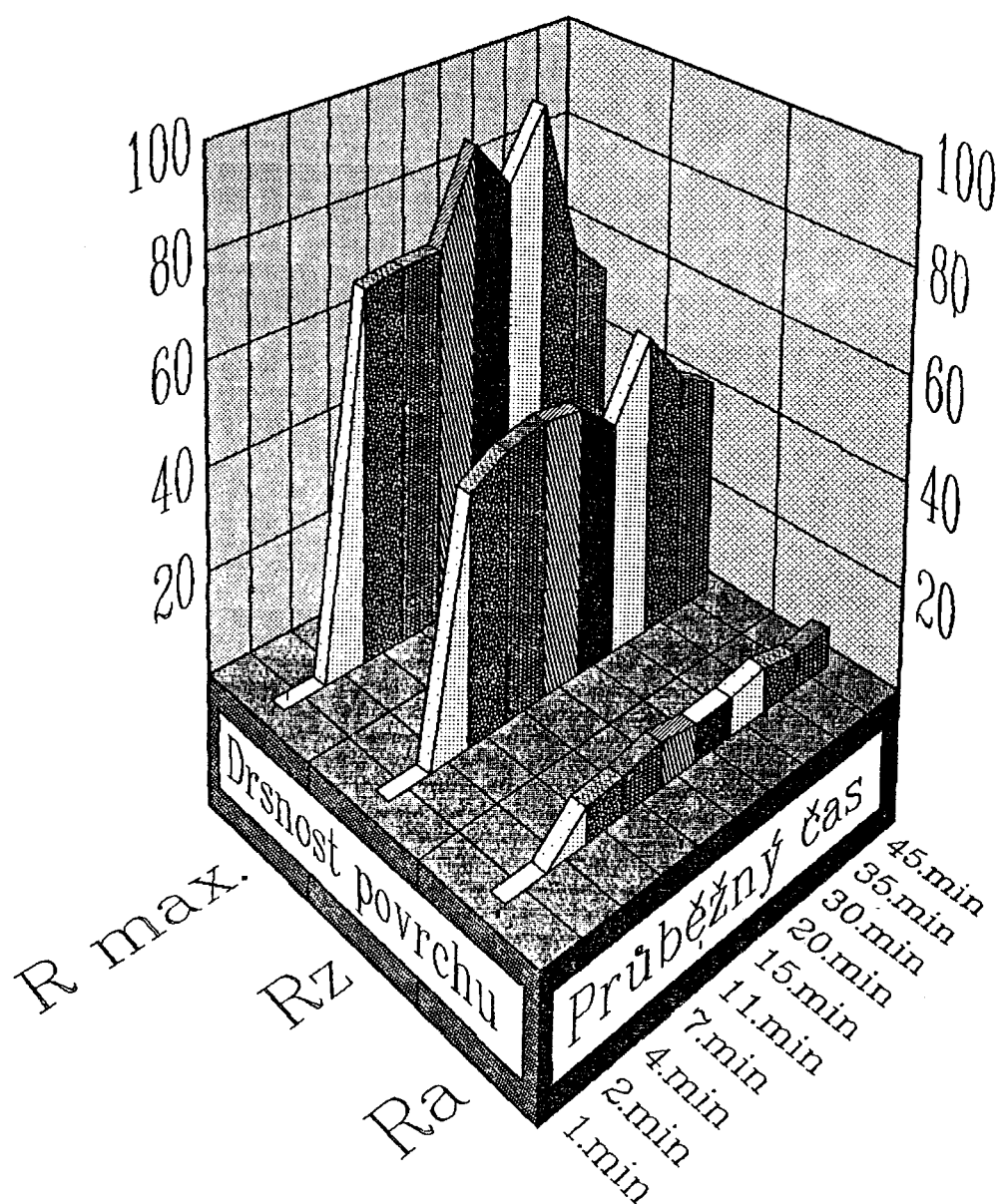


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 20 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 14 a

úhel čela = - 6

mat. 15260.3



Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 20 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 15 a

úhel čela = + 12

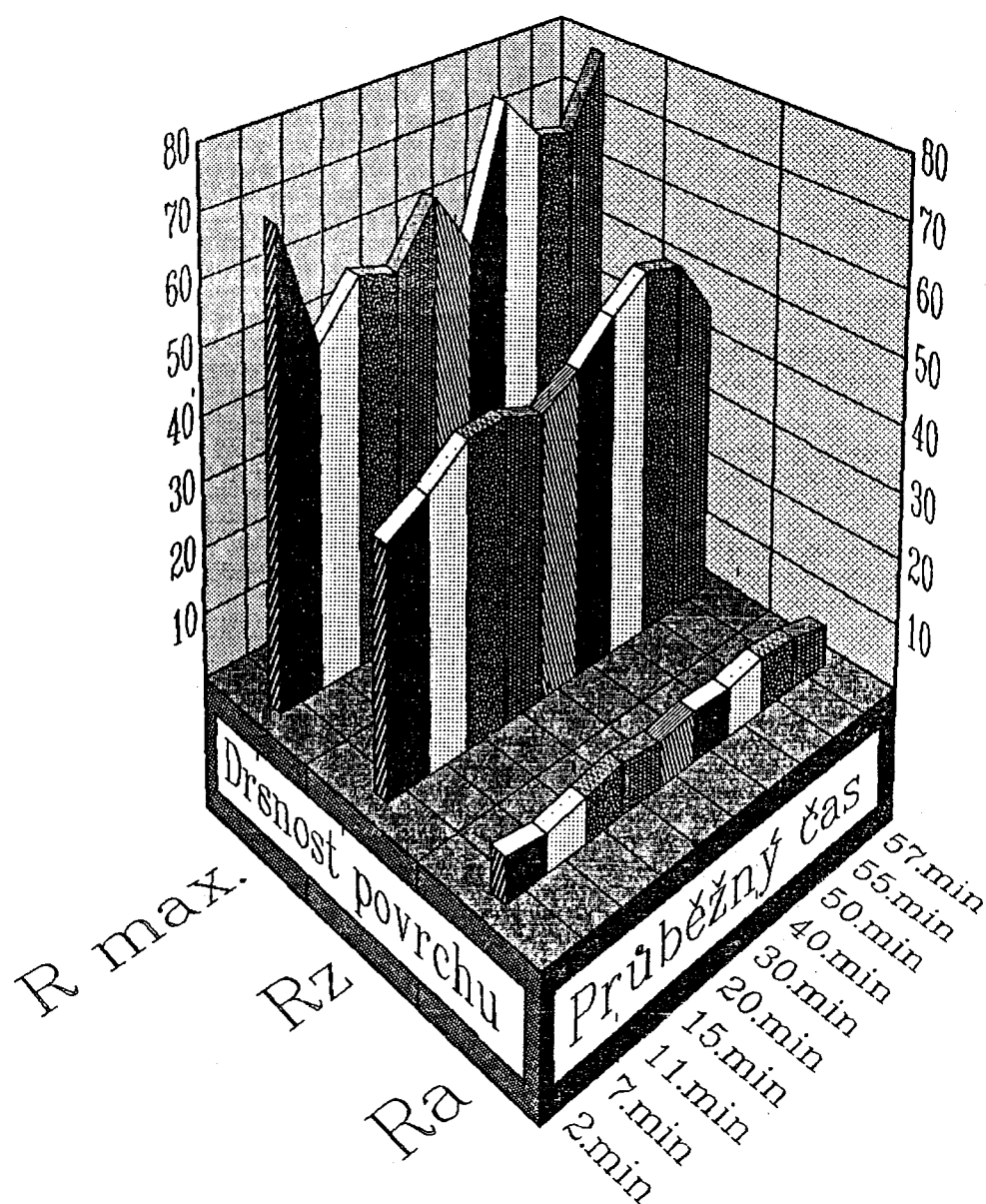
mat. 15260.3

Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 20 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 15 a

úhel čela = + 12

mat. 15260.3

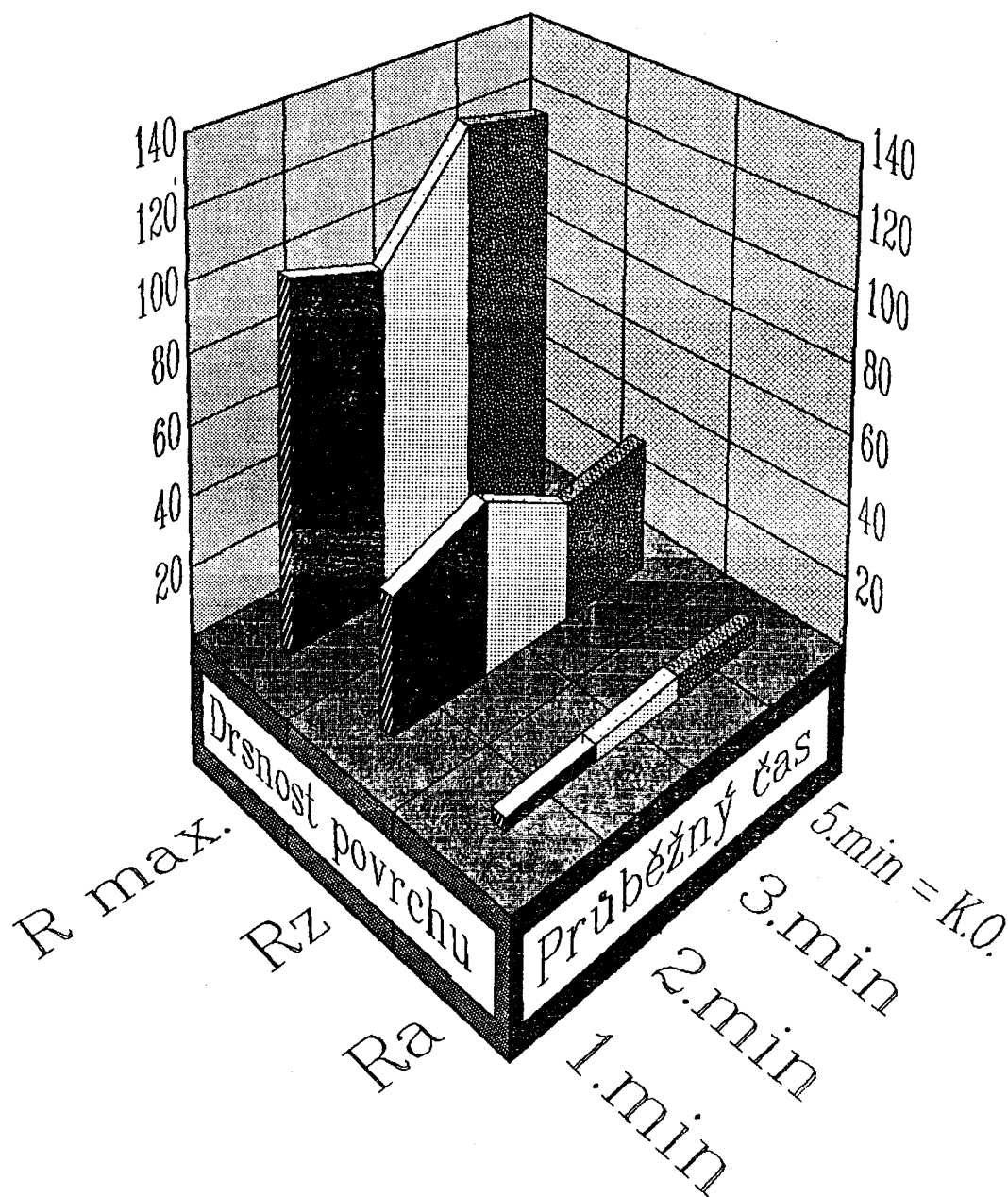


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 16 a

úhel čela = - 6

mat. 15260.3

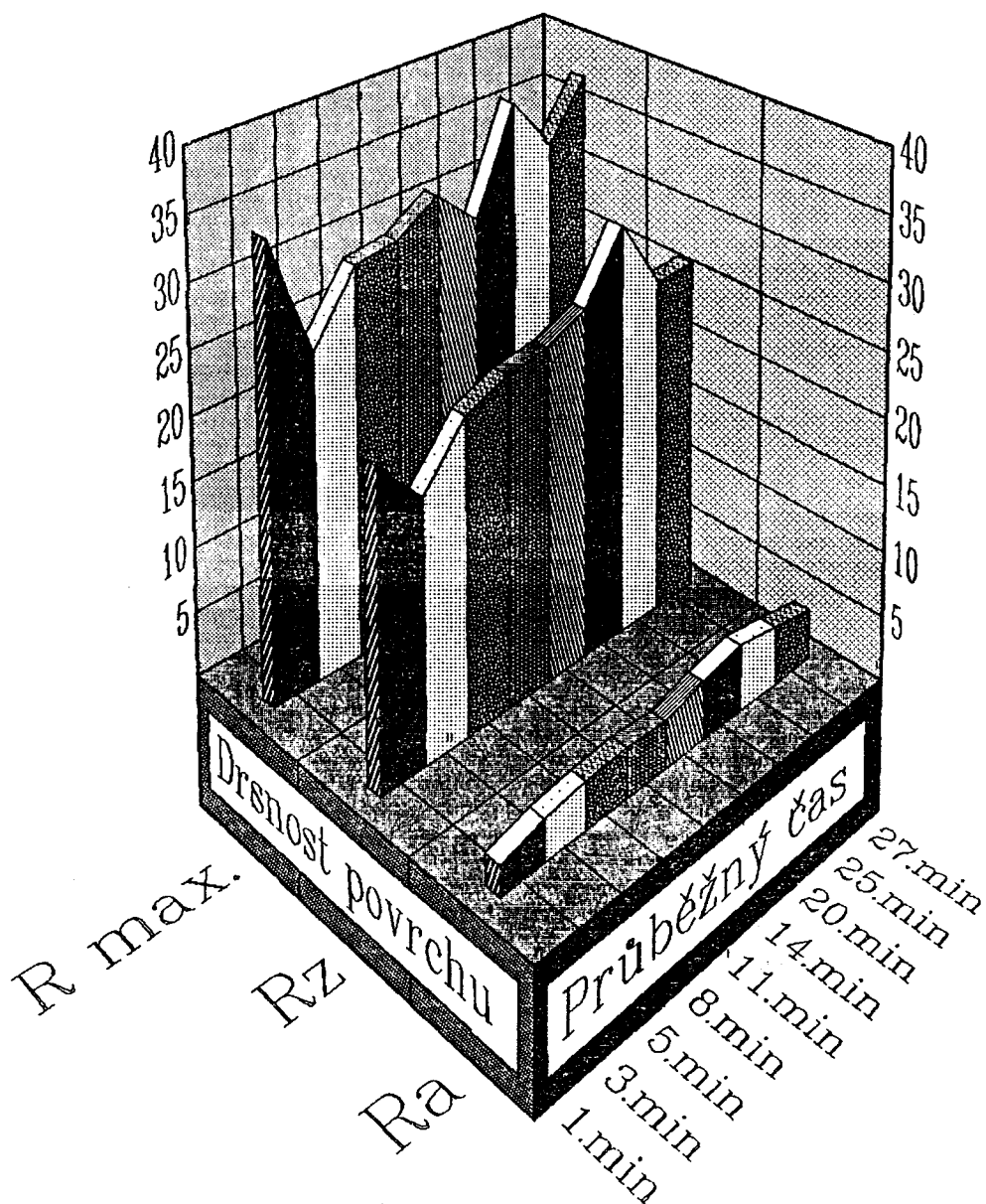


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 30 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 17 a

úhel čela = + 12

mat. 15260.3

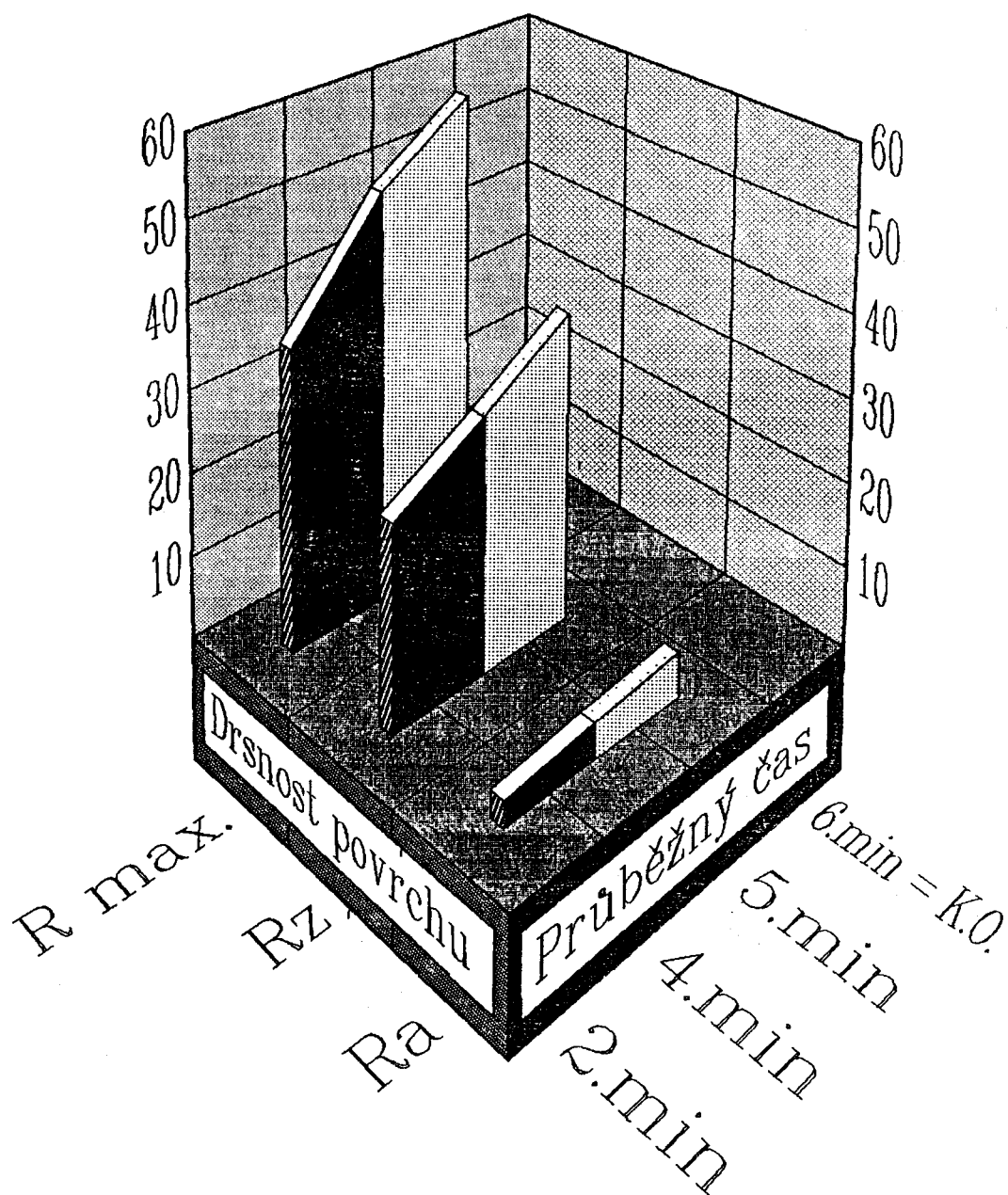


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 26 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 18 a

úhel čela = - 6

mat. 15260.3

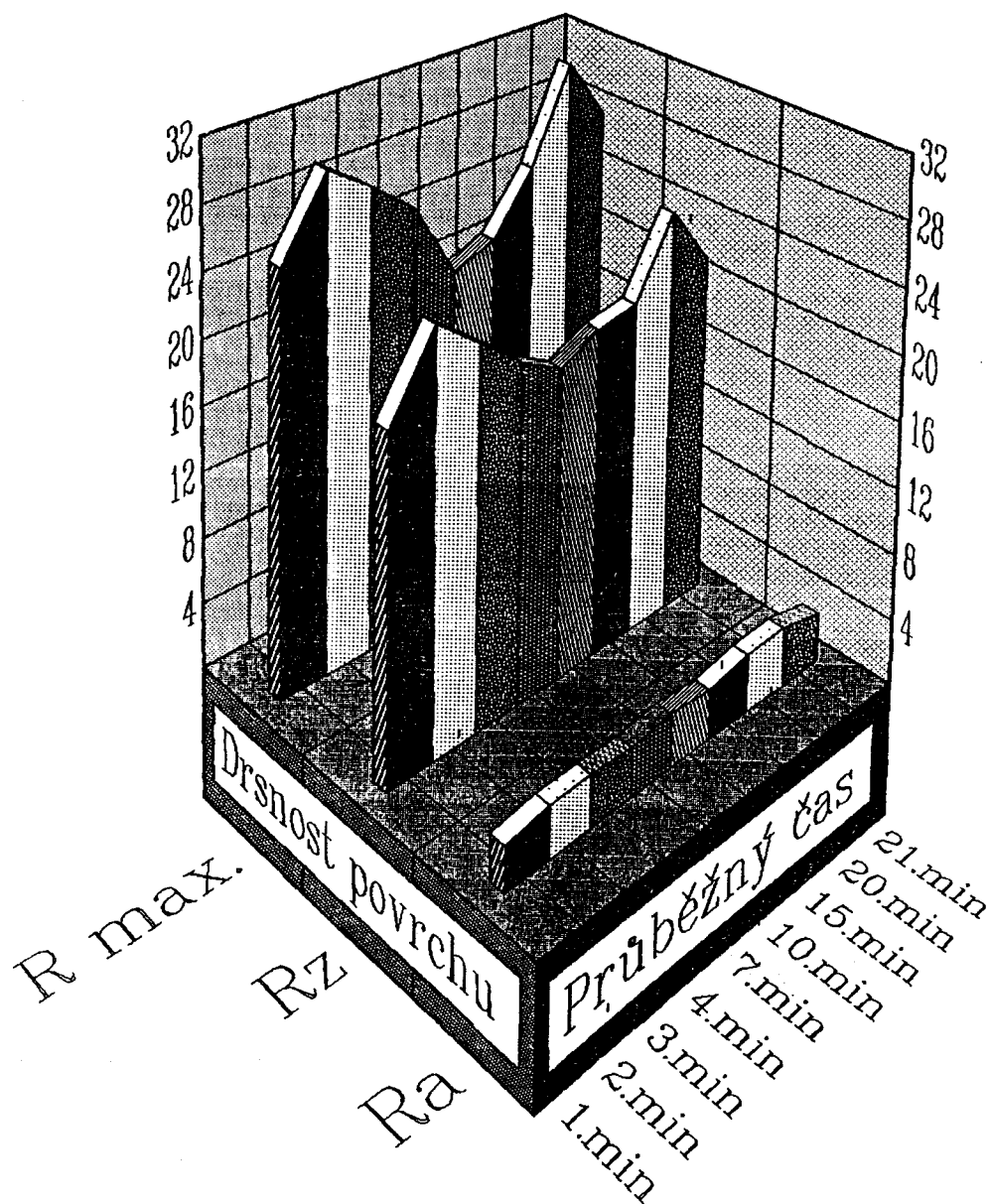


Závislost drsnosti povrchu na čase při $V_c = 36 \text{ [m/min]}$

Příloha číslo 19 a

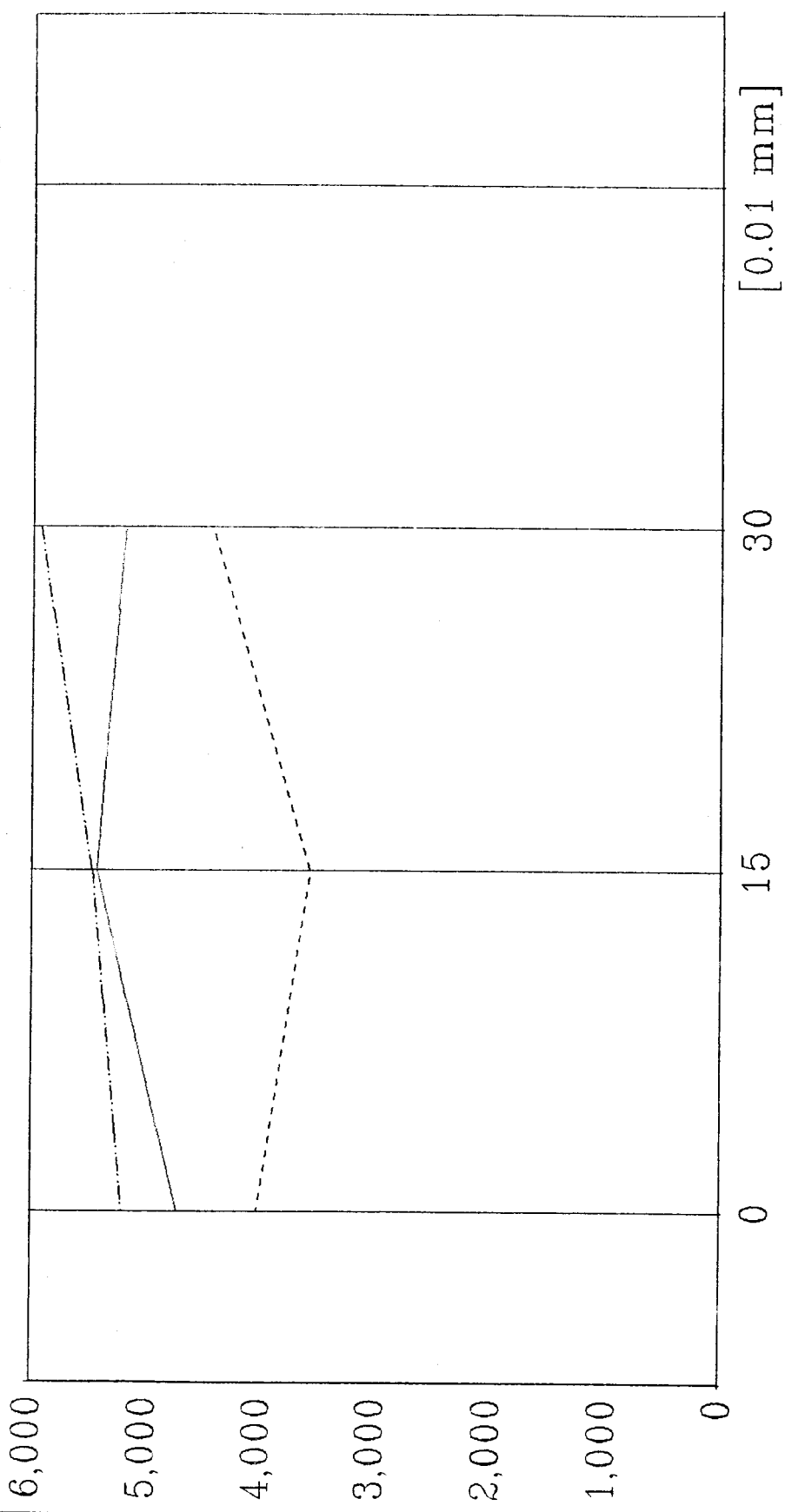
úhel čela = + 12

mat. 15260.3



Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 1b úhel čela = - 6 mat. 12050.9



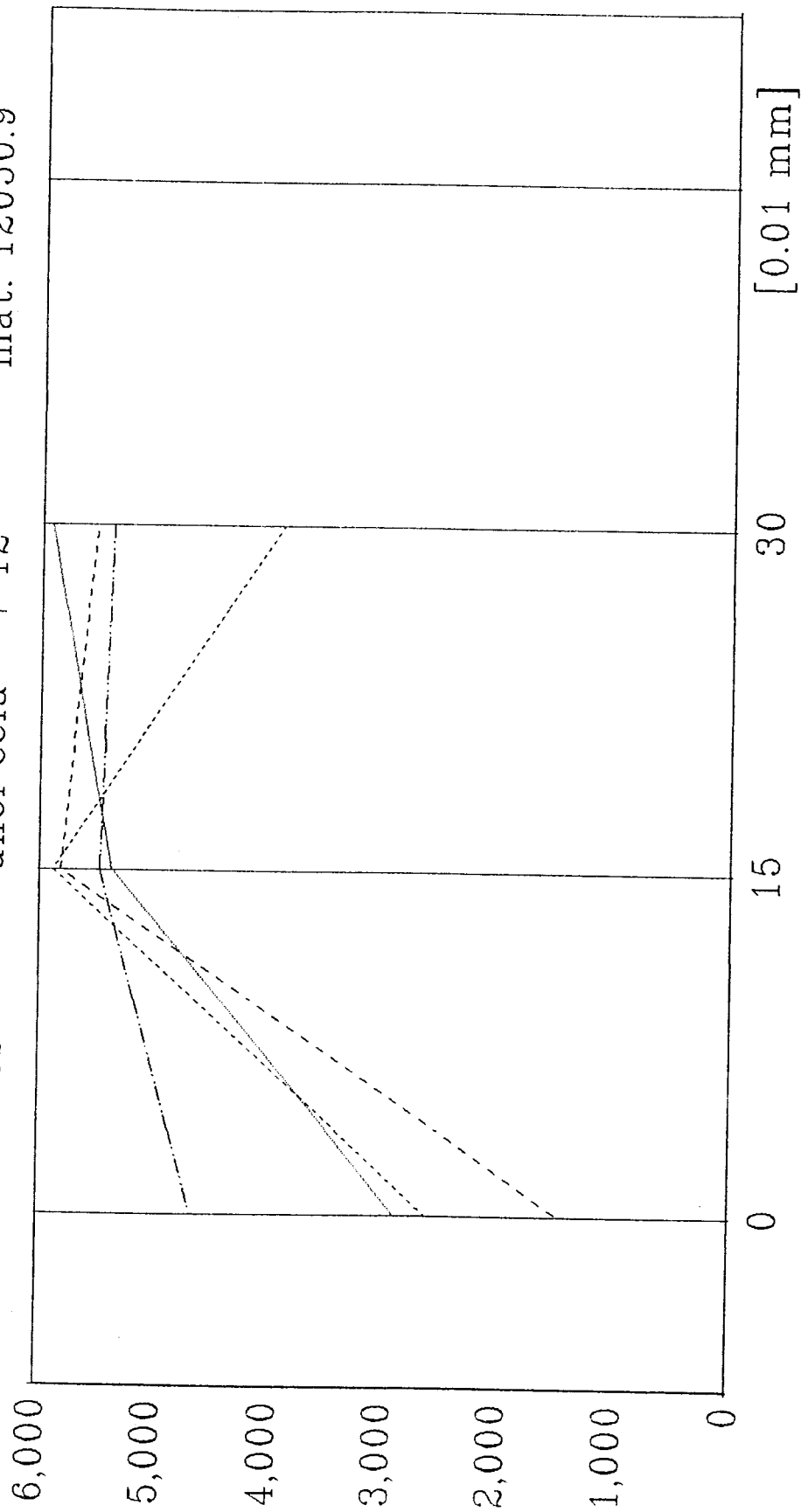
--- vc = 30 m/min — vc = 42 m/min vc = 48 m/min

Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 2b

úhel čela = + 12

mat. 12050.9



--- vc = 30 m/min

-.- vc = 36 m/min

..... vc = 42 m/min

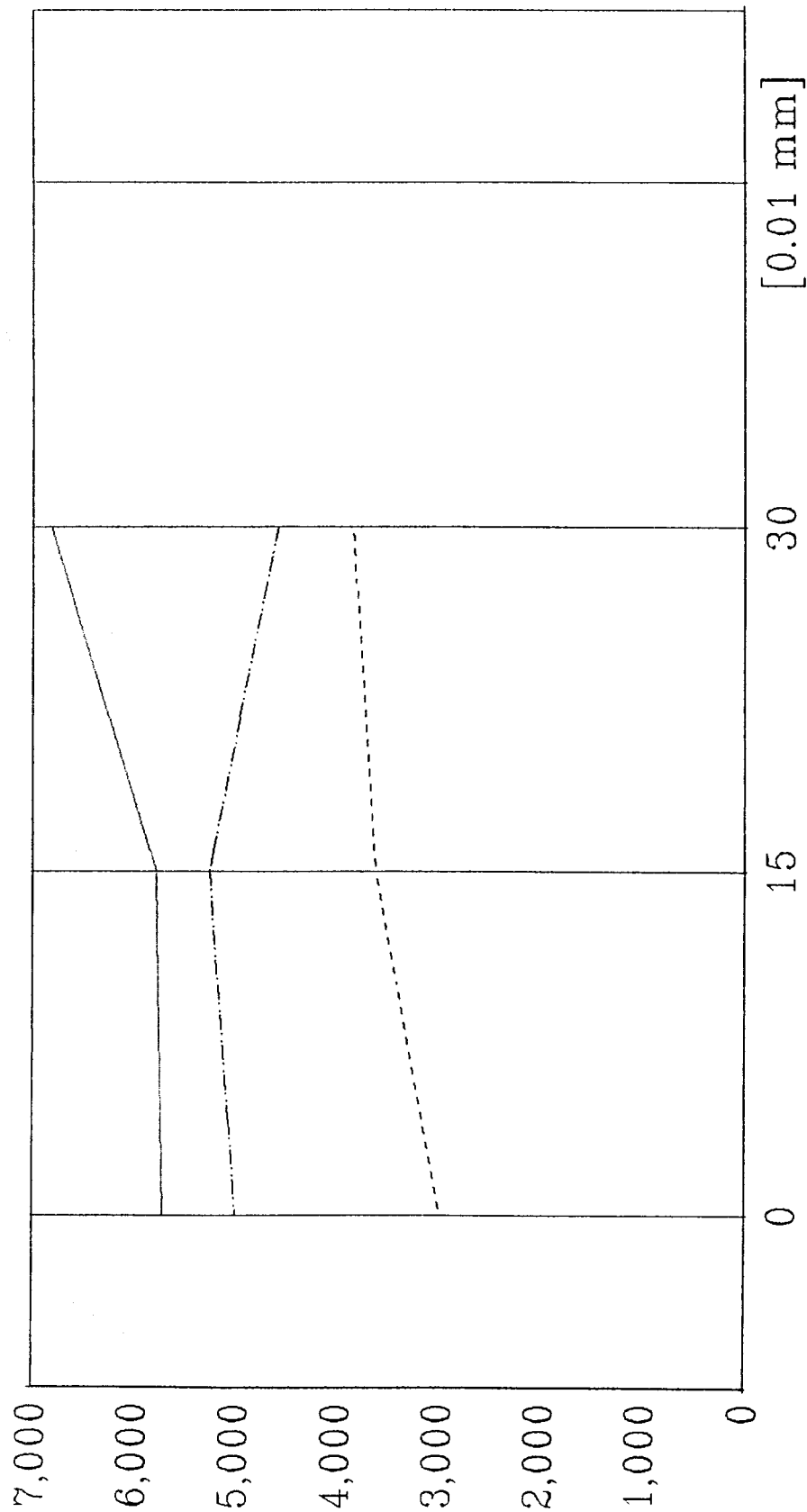
..... vc = 48 m/min

Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 3b

úhel čela = - 6

mat. 15260.3



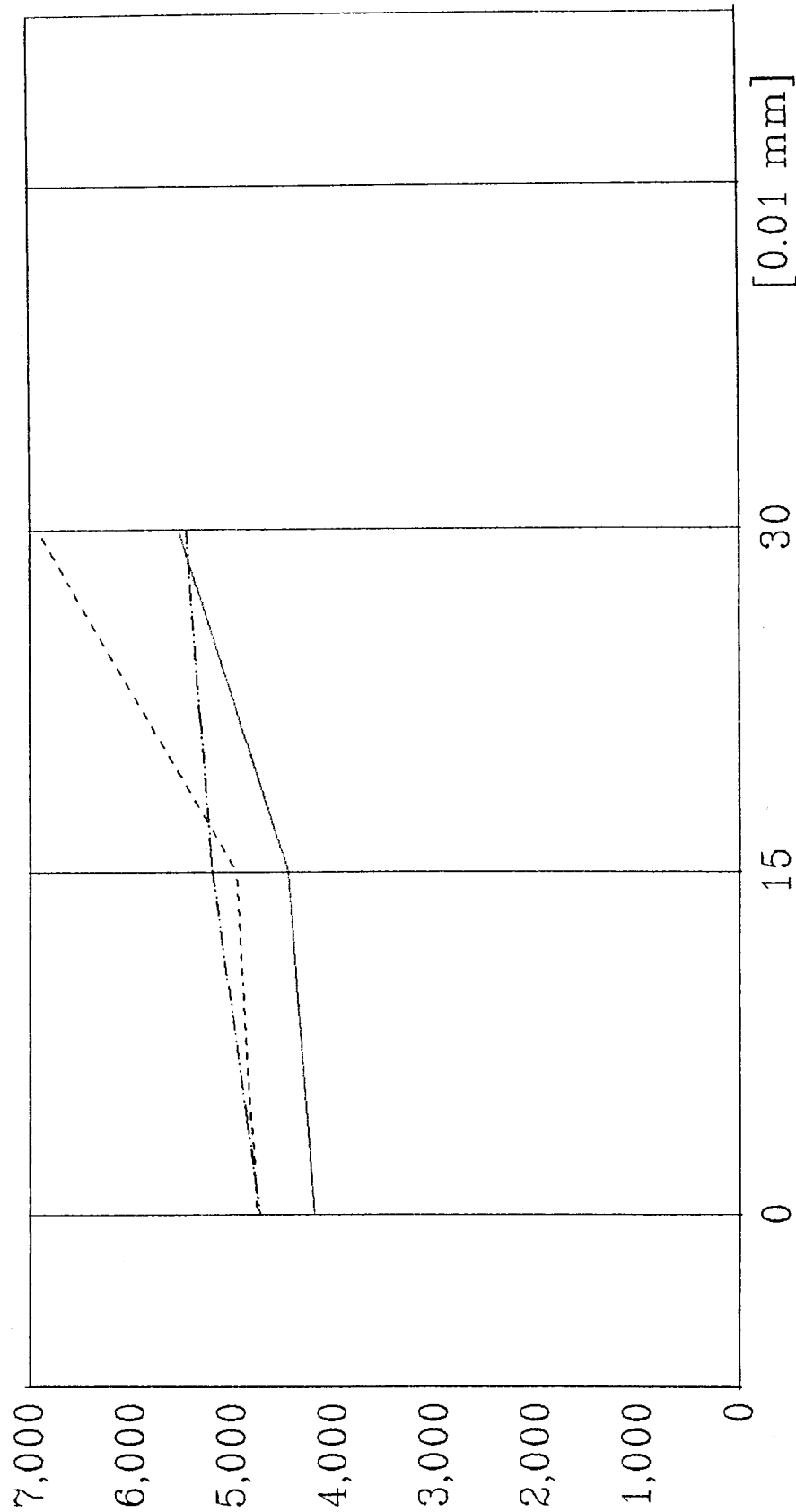
----- vc = 20 m/min — vc = 26 m/min -.- vc = 30 m/min

Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

mat. 15260.3

úhel čela = + 12

Příloha číslo 4b



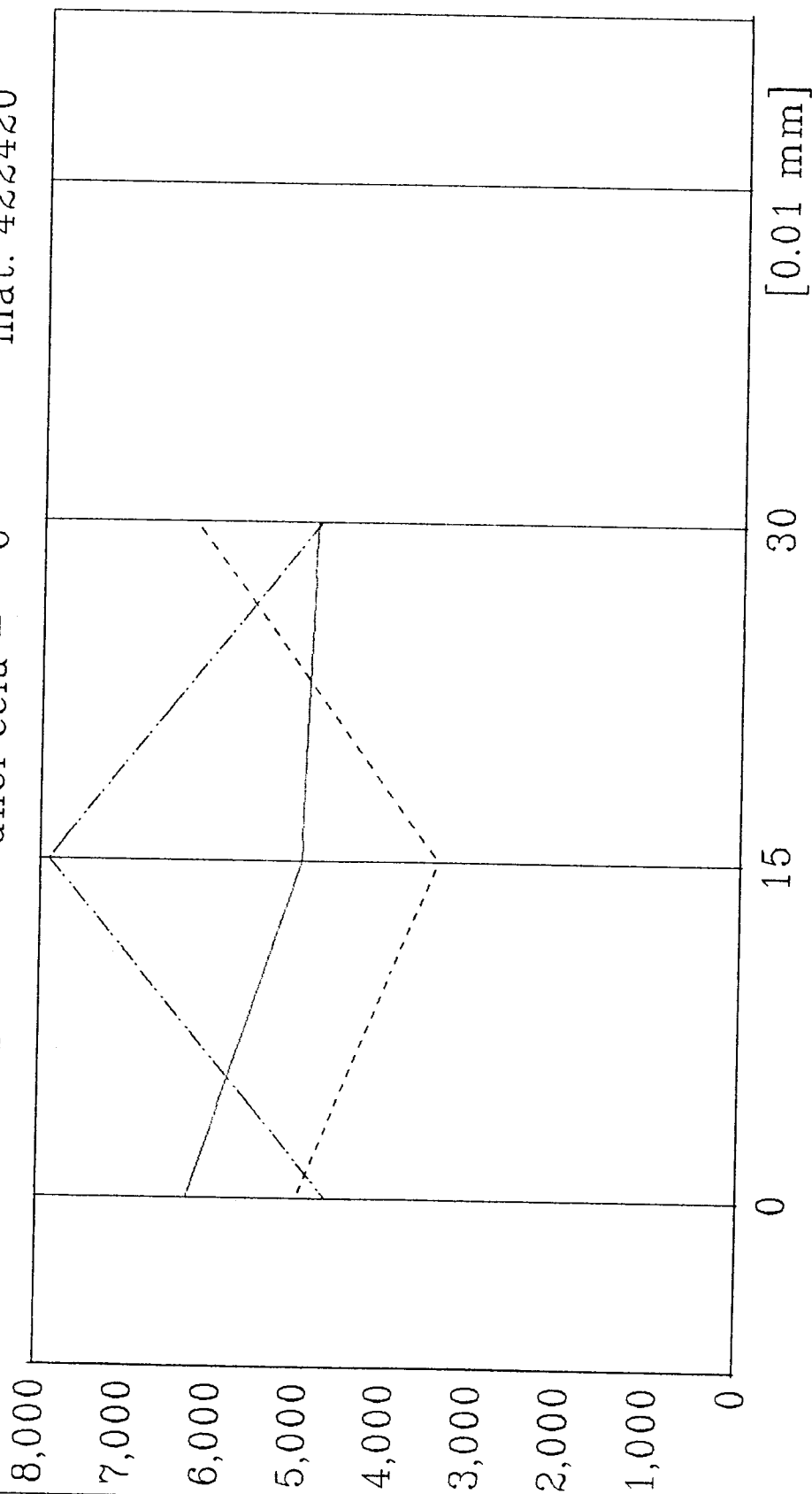
--- vc = 20 m/min — vc = 30 m/min vc = 36 m/min

Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 5b

úhel čela = - 6

mat. 422420



--- vc = 30 m/min

— vc = 33 m/min

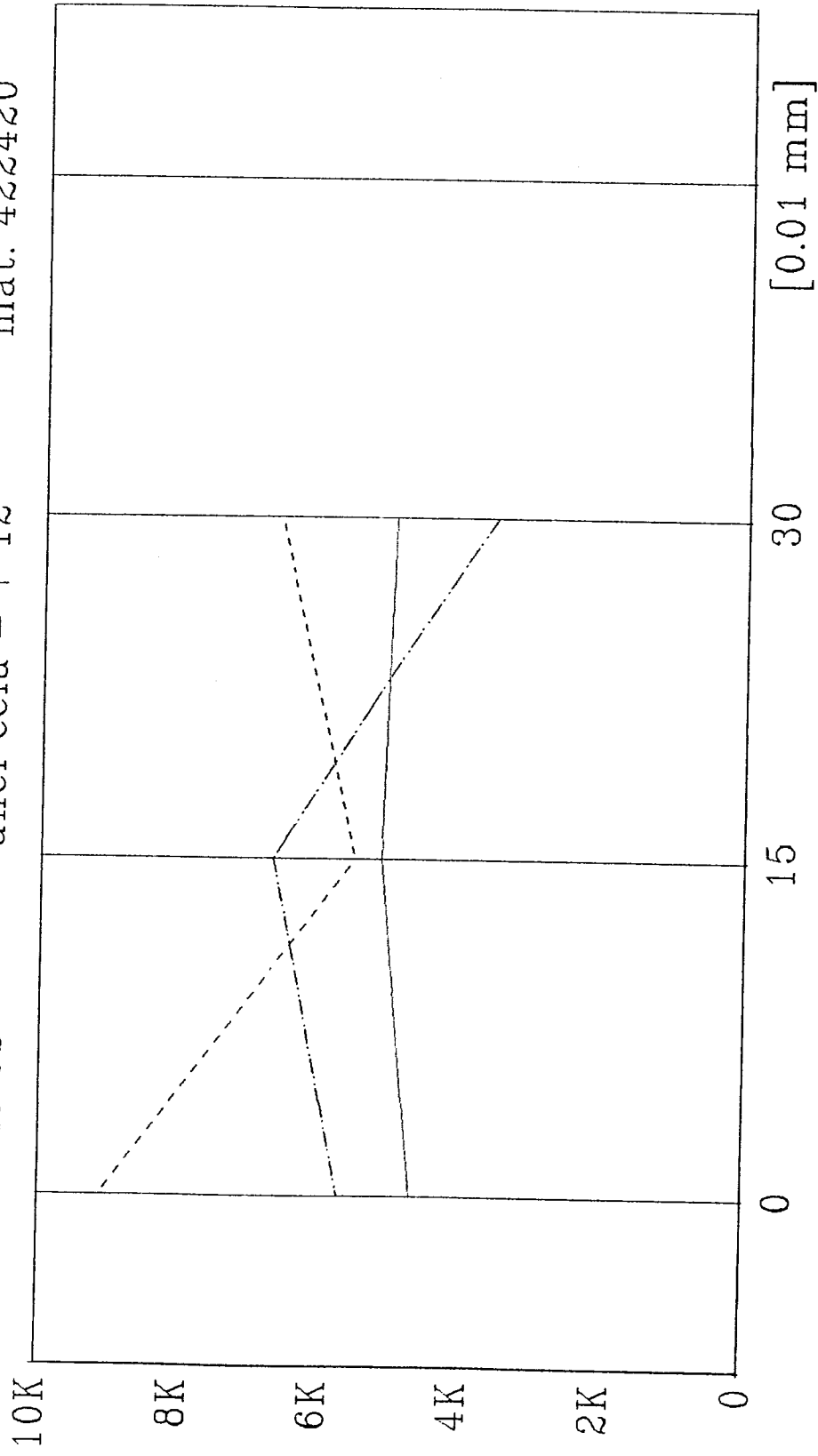
---- vc = 36 m/min

Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 6b

úhel čela = + 12

mat. 422420



--- $v_c = 30 \text{ m/min}$

— $v_c = 36 \text{ m/min}$

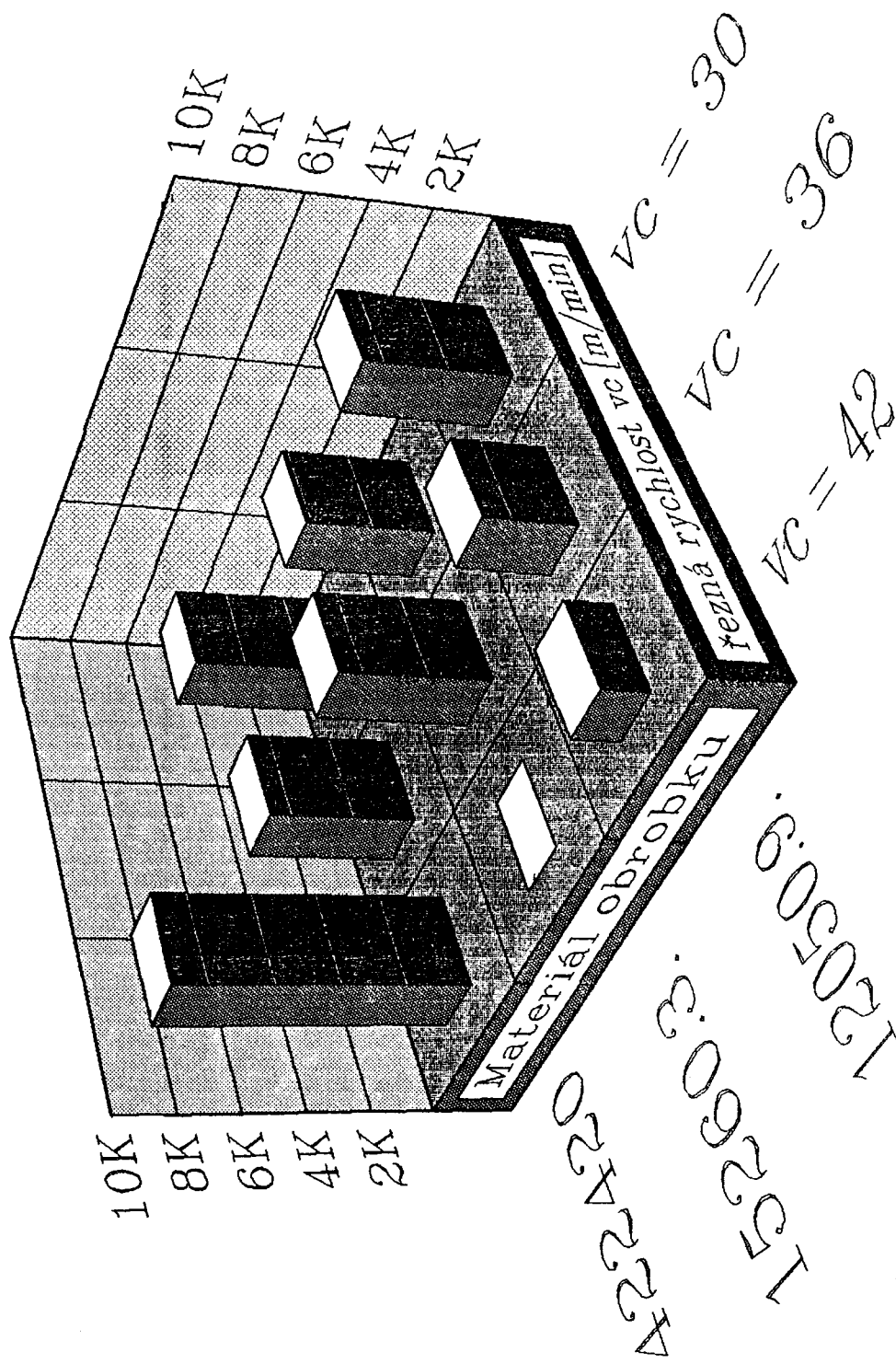
---- $v_c = 42 \text{ m/min}$

Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 1c

úhel čela = + 12

VB = 0.00

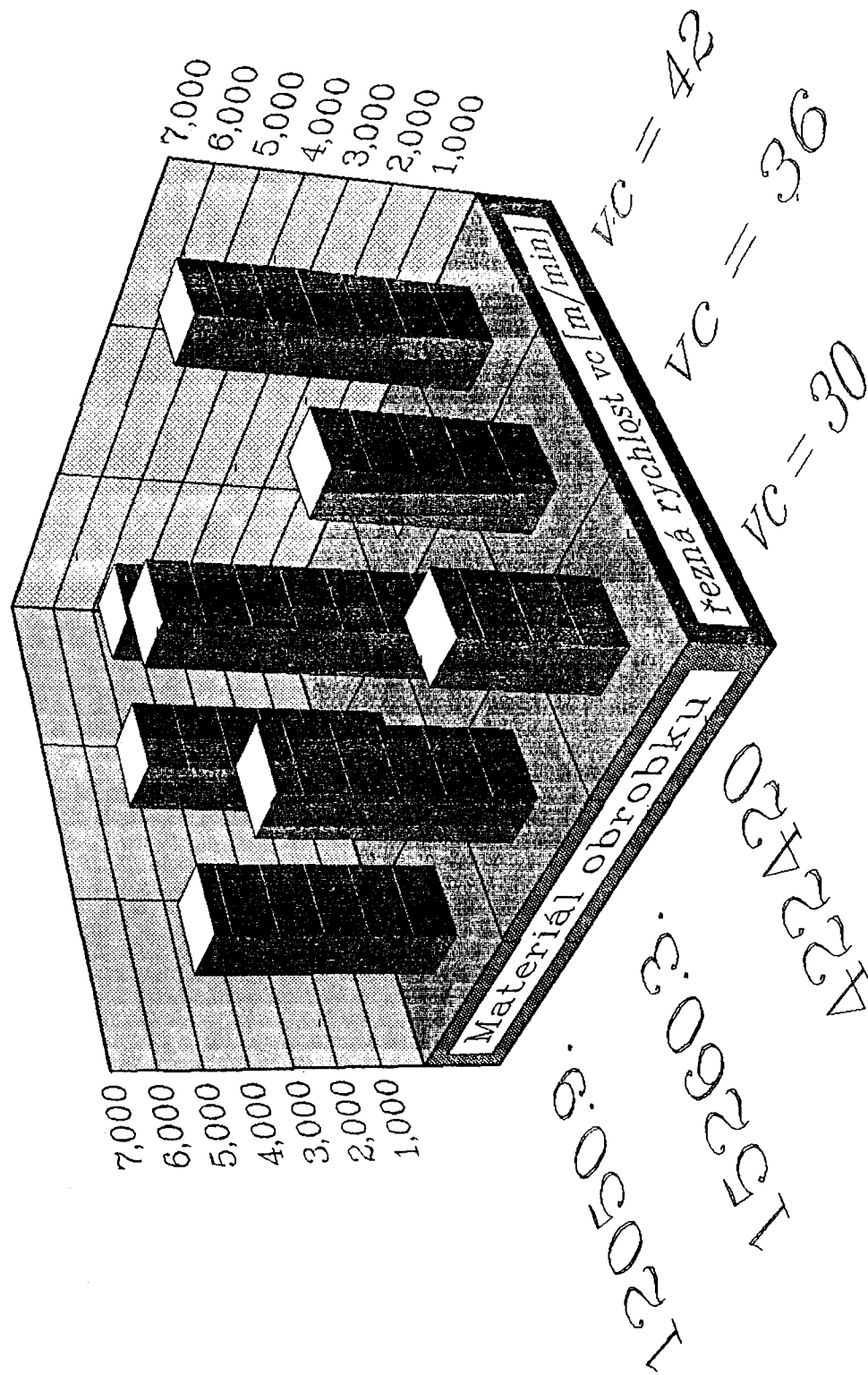


Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 2c

úhel čela = + 12

VB = 0.30

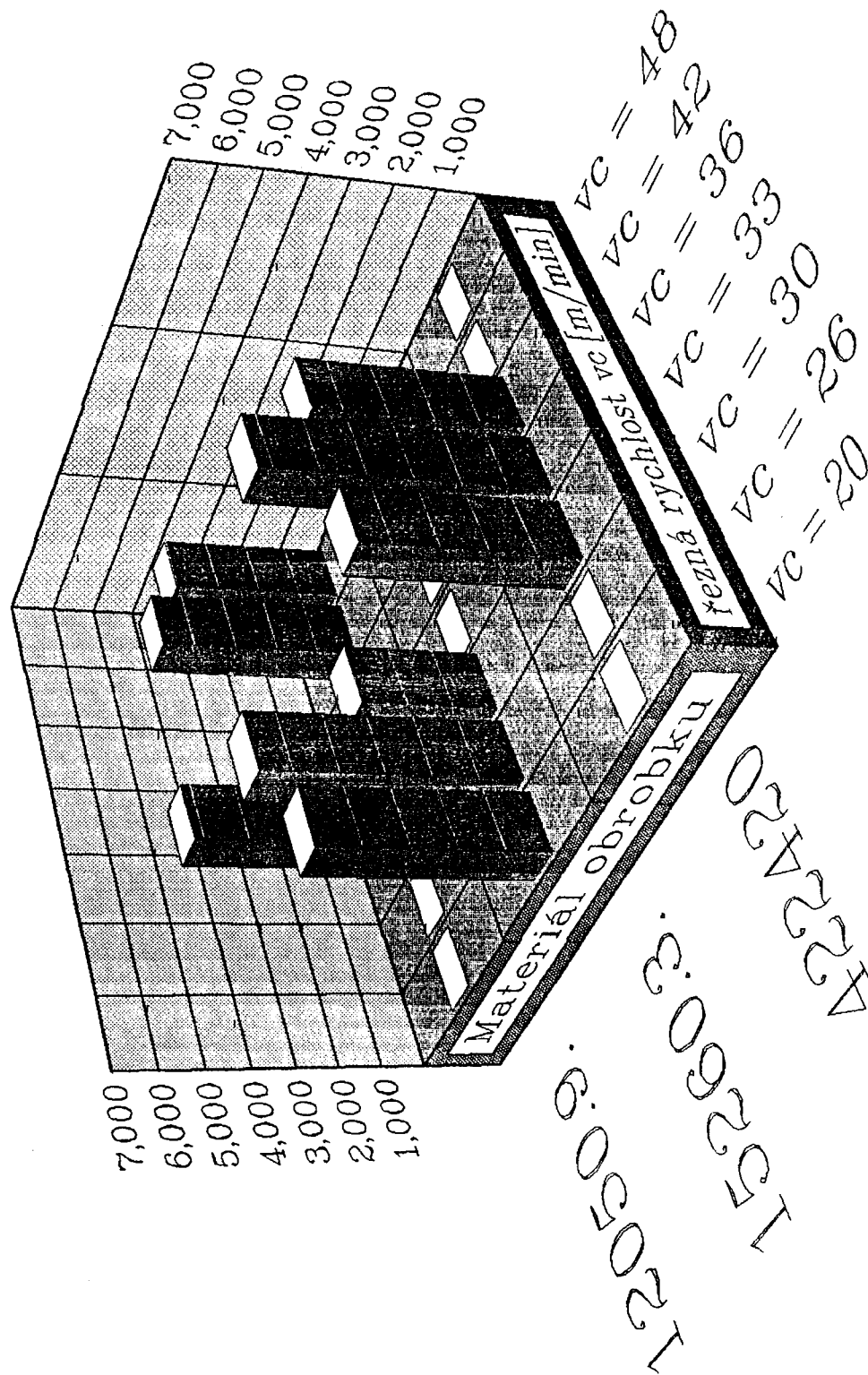


Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. bříty nástroje

Příloha číslo 3c

úhel čela = - 6

VB = 0.00



Střední hodnota signálu AE v závislosti na opotř. břitů nástroje

Příloha číslo 4c

úhel čela = - 6

VB = 0.30

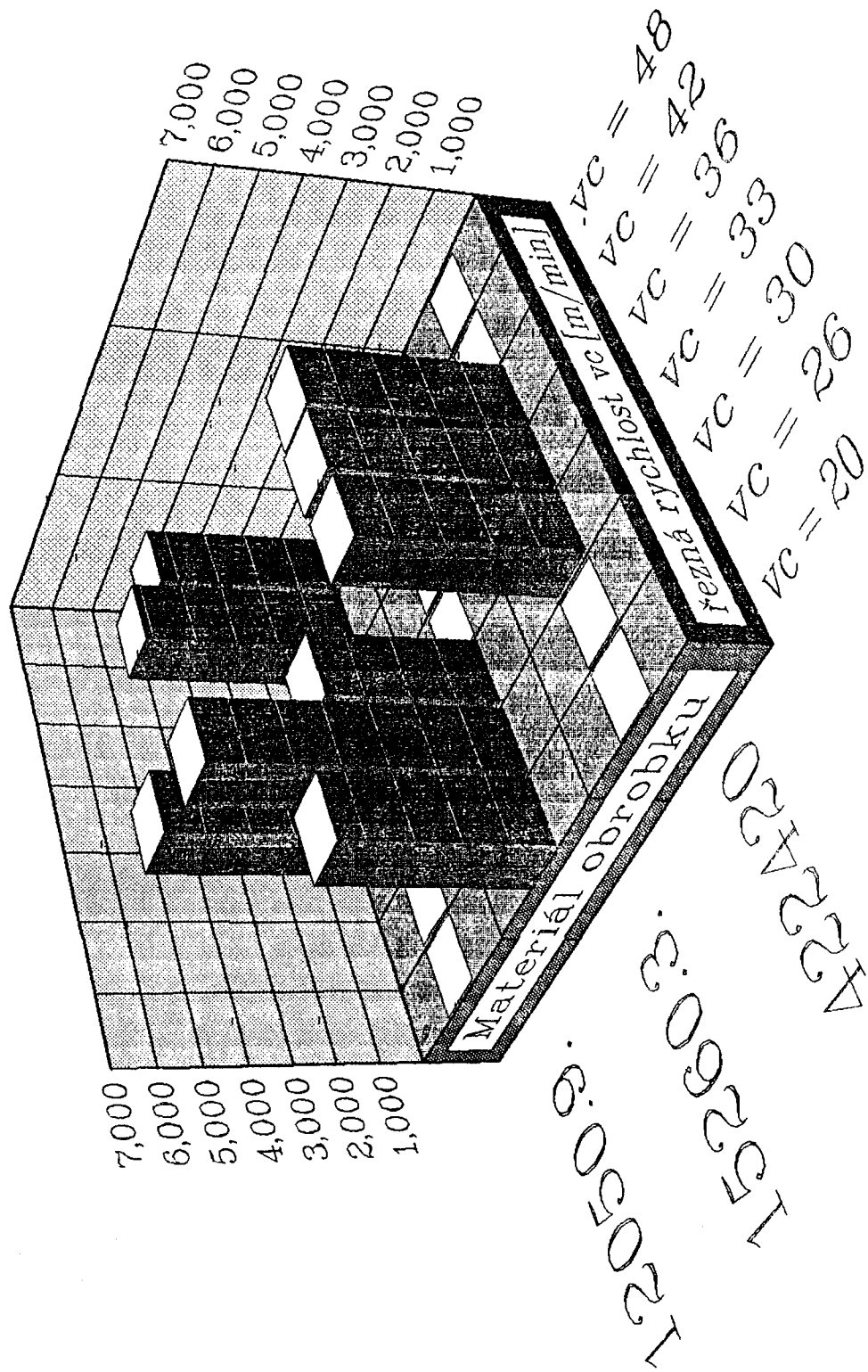


Diagram závislosti VB – t

Příloha K1 úhel čela=+12; VBk = 0.3 mm [=300]; mat. 12050.9

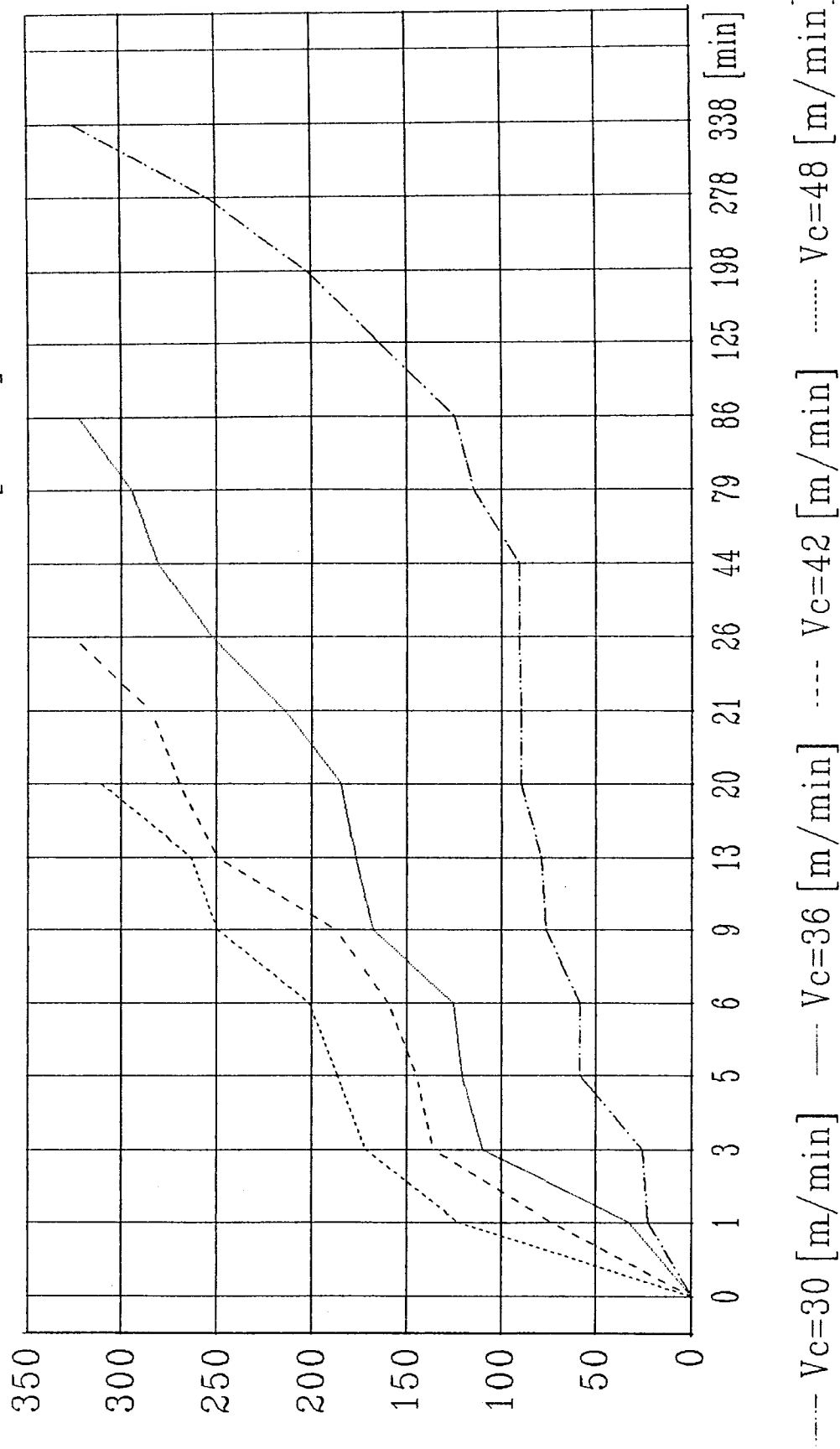
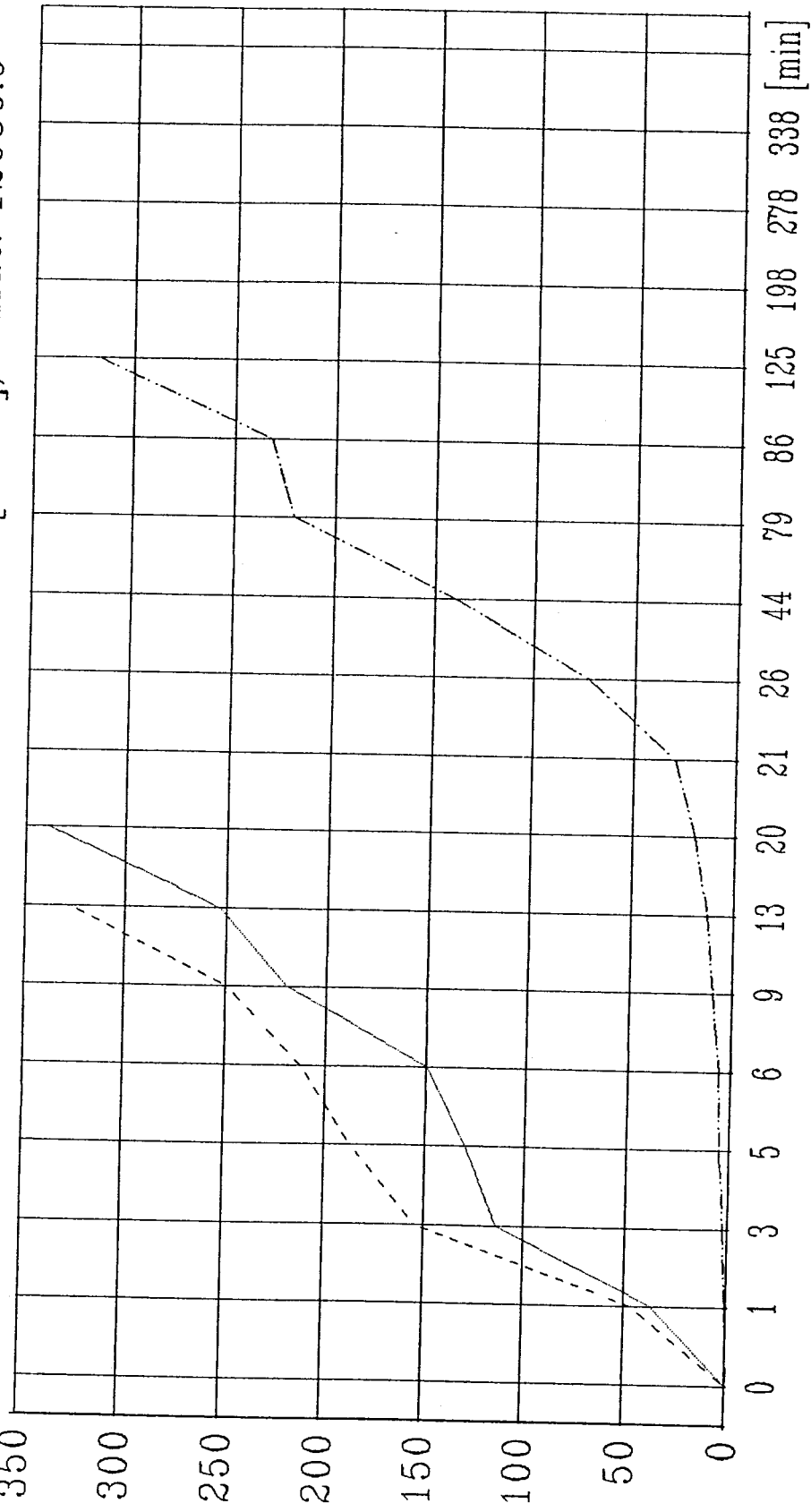


Diagram závislosti VB — t

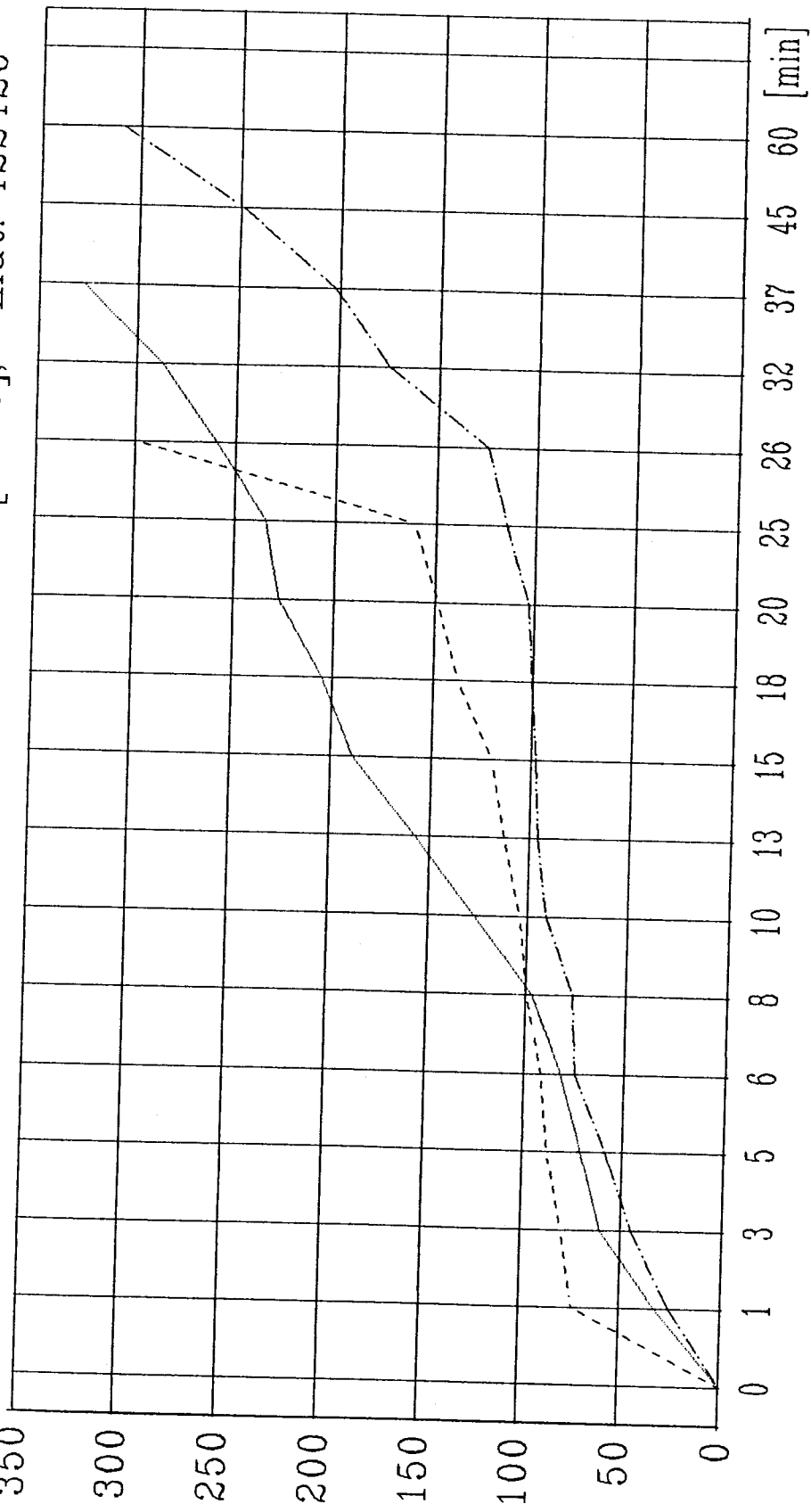
Příloha K2 úhel čela = -6; VBk = 0.3 mm [=300]; mat. 12050.9



--- Vc=30 [m/min] — Vc=42 [m/min] -.- Vc=48 [m/min]

Diagram závislosti VB — t

Příloha K3 úhel čela = +12; VBk = 0.3 mm [=300]; mat. 422420



--- Vc=30 [m/min] — Vc=36 [m/min] -.- Vc=42 [m/min]

Diagram závislosti VB – t

Příloha K4 úhel čela = -6; VBk = 0.3 mm [=300]; mat. 422420

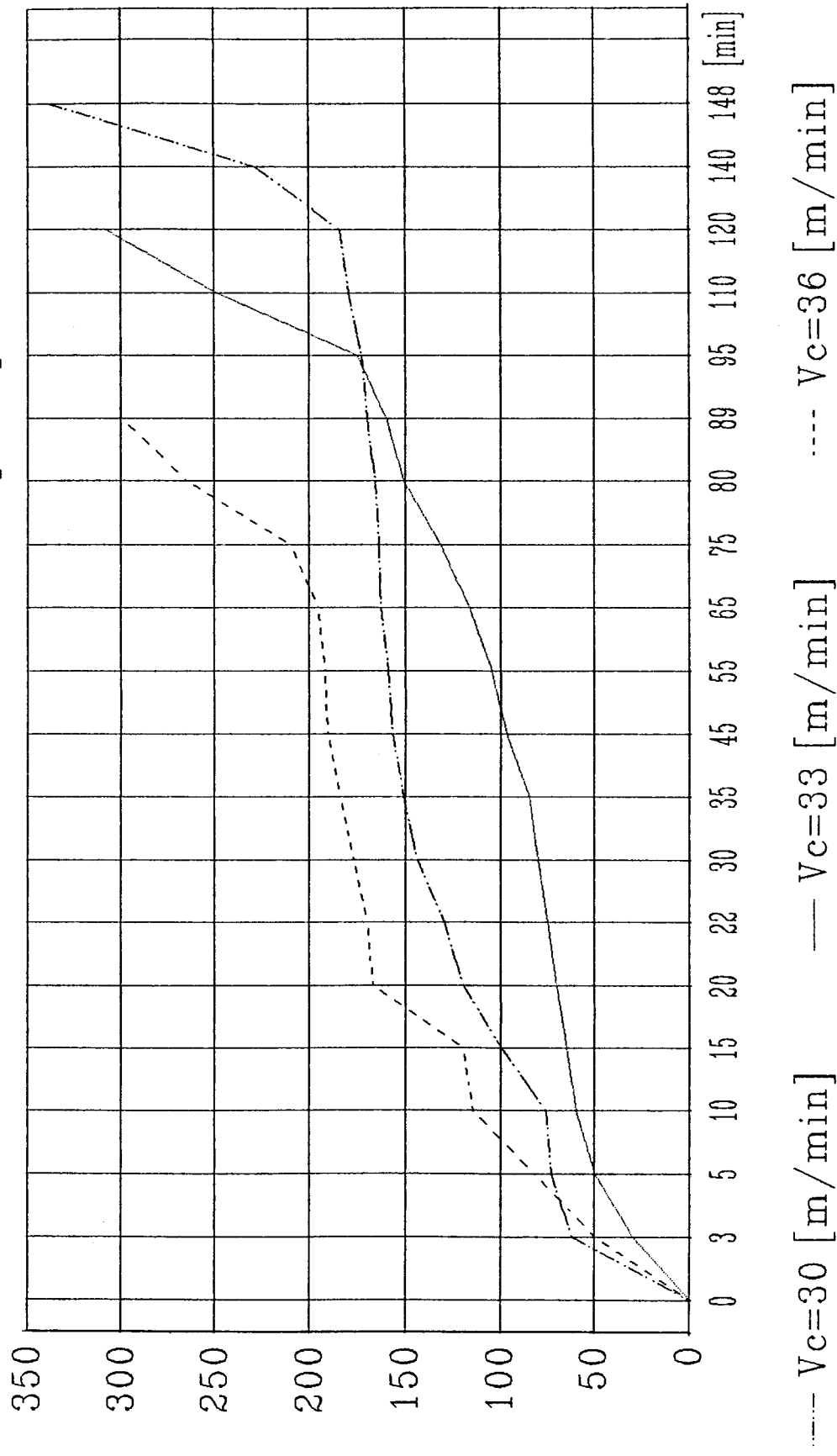
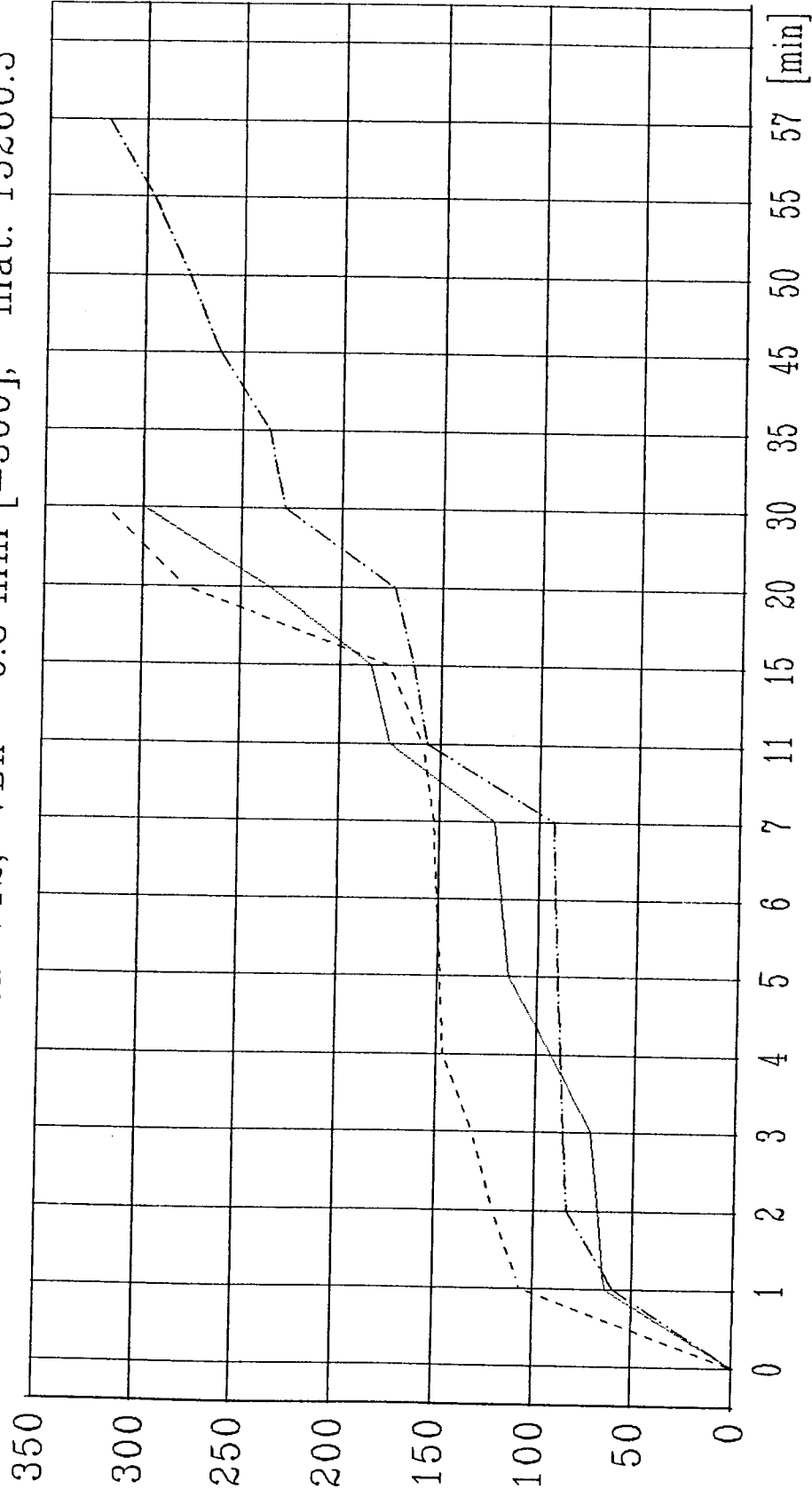


Diagram závislosti VB — t

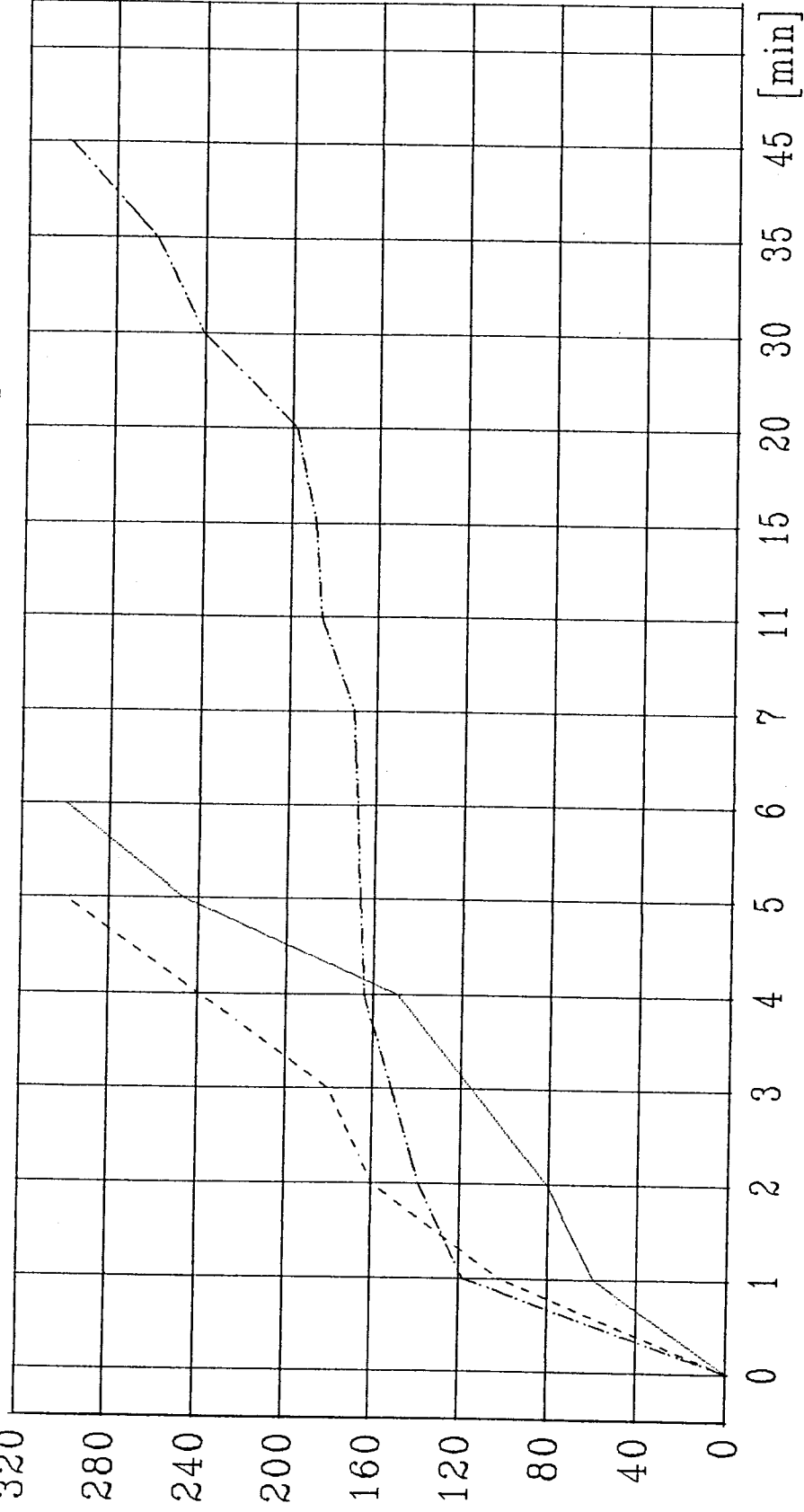
Příloha K5 úhel čela=+12; VBk = 0.3 mm [=300]; mat. 15260.3



--- Vc=20 [m/min] — Vc=30 [m/min] -.- Vc=36 [m/min]

Diagram závislosti VB – t

Příloha K6 úhel čela = -6; VBk = 0.3 mm [=300]; mat. 15260.3



--- Vc=20 [m/min] — Vc=26 [m/min] ---- Vc=30 [m/min]