

Vysoká škola: strojní a textilní Liberec

Katedra: obrábění a ekonomiky

Fakulta: strojní

Školní rok: 1968/69

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Ladislava D i e s y

odbor strojírenská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Kinematika tvorby třísky

Pokyny pro vypracování:

- 1) Shrnutí dosavadních poznatků
- 2) Sledování vlivu zpevnění povrchové vrstvy na směr odchodu třísky a rozložení složek řezné síly dosud známým způsobem
- 3) Sledování vlivu zpevněné povrchové vrstvy na směr odchodu třísky v oblasti kořenu třísky
- 4) Srovnání obou způsobů vyhodnocování úhlu odchodu třísky

Autorské právo se řídí směrnicemi MSK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 1962-Věstník MSK XVIII, sešit 24 ze dne 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I, STUDENTSKÁ 2

V 67/1969

Rozsah grafických laboratorních prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

Zerev: Vopresy mechaniki processa rezanja metallov, Mašgiz, Moskva 1956

Kraus J.: Řezné síly a směr odchodu třísky při soustružení, VŠST Liberec
DP 68

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. Jan Š á l e k CSc

Konzultanti: Ing. Robert K v a p i l

Datum zahájení diplomové práce: 16. října 1968

Datum odevzdání diplomové práce: 30. června 1969



Dras
Prof.Ing. Jaroslav D r a s k ý CSc
vedoucí katedry

H
Prof.Ing. Cyril H ě s c h l
děkan

V Liberci

dne

15. čárna

1969

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojírní		DP ST - 688/69

O B S A H

1. Úvod	4
2. Měření řezných sil při soustružení	6
2.1. Teorie měření řezných sil	6
2.2. Řezné síly při soustružení	6
2.3. Závislost řezných sil na řezných podmínkách ..	7
2.3.1. Závislost řezných sil na řezné rychlosti	7
2.3.2. Závislost řezných sil na posuvu	8
2.3.3. Závislost řezných sil na hloubce řezu ..	9
2.4. Měření řezných sil	10
2.4.1. Upevňování dynamometru	11
2.5. Provádění zkoušek	16
2.6. Řezné podmínky	16
2.6.1. Výsledky měření řezných sil	17
2.7. Vyhodnocení měření řezných sil	29
3. Teorie odchodu třísky při soustružení	30
3.1. Význam směru odchodu třísky	30
3.2. Geometrie v rovině odchodu třísky	30
3.2.1. Úhly $\angle \eta$ a $\angle \zeta$ v rovině odchodu třísky ...	31
3.3. Činitelé ovlivňující směr odchodu třísky	32
3.3.1. Vliv řezných podmínek na směr odchodu třísky	32
3.3.2. Vliv geometrie nástroje na směr odchodu třísky	33
3.4. Závislost složek řezných sil na směr odchodu třísky	34
3.5. Měření směru odchodu třísky v závislosti na v , s a t	37
3.5.1. Měření směru odchodu třísky	37
3.5.2. Uspořádání zařízení pro měření směru odchodu třísky a měření řezných sil	38
3.5.3. Použitý filmový materiál	39
3.5.4. Výsledky měření odchodu třísky, grafy, tabulky	39
3.5.5. Výsledky měření úhlu odchodu třísky ...	41
3.6. Zjišťování směru odchodu třísky v oblasti kořenu třísky	42
3.6.1. Příprava kořenu třísky pro měření směru odchodu třísky	42
3.6.2. Směr odchodu třísky v oblasti kořenu třísky. Naměřené hodnoty	43
3.7. Vyhodnocení směru odchodu třísky	44

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST - 688/69

4. Zpevnění povrchové vrstvy obráběného materiálu	46
4.1. Teorie	46
4.2. Vliv deformace struktury v oblasti tvoření třísky na stav povrchové vrstvy materiálu při obrábění	48
4.2.1. Dosavadní výzkumy	49
4.3. Provádění zkoušek	59
4.3.1. Metalografický výbrus, leštění a leptání	60
4.3.2. Měření mikrotvrdomosti zpevněné vrstvy	60
4.3.3. Cejchování mikrotvrdoměru	61
4.3.4. Výsledky měření zpevnění povrchové vrstvy materiálu	66
4.3.5. Výsledky měření mikrotvrdomosti povrchové vrstvy materiálu	75
4.4. Vyhodnocení zpevnění povrchové vrstvy obrábě- ného materiálu	90
5. Vliv zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr od- chodu třísky	93
5.1. Graf závislosti směru odchodu třísky na zpev- nění povrchové vrstvy	94
5.2. Vyhodnocení vlivu zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky	103

S e z n a m p ř í l o h

1. Mikrofotografie
2. Fotografie směru odchodu třísky
3. Přípravek

Seznam použité literatury:

1. Kraus: Řezné síly a směr odchodu třísky při seustružení
2. Černý: Výzkum odchodu třísky DP-64
3. N.N. Zerev: Voprosy mehaniki processa rezanija
metallov / Moskva 1956 /
4. A.I. Isajev: Process obrazovaniya poverchnostnoye sloja
metallov rezanijem / Moskva 1952 /

Autorské právo se řídí směrnice MSK pro státní
 vědecké zkoušky č. 1, 31 727/62411/2 ze dne
 1. 10. 1952. Vášník MSK XVII, sešit č. 12
 3. 10. 1952 g 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra	obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP	ST - 688/69
<u>1. Ú v o d</u> Tato práce obsahuje zjišťování vlivu zpevněné povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky při soustružení. Vzhledem k tomu, že zpevněná povrchová vrstva vzniklá při procesu obrábění je důležitým činitelem ovlivňujícím oblast použití obrobku (součásti), zaměřil jsem se při zjišťování vlivu zpevněné povrchové vrstvy na směr odchodu třísky při jemnějších řezných podmínkách (posuvy 0,051; 0,08; 0,1; 0,15; 0,2mm/ot, hloubky řezu 0,5; 1; 1,5mm, a řezné rychlosti $v=50$; 100; 147 m/min). K obrábění bylo použito nože s destičkou ze slitutého karbidu Sl. Jeho použití je výhodné pro vysoké řezné rychlosti ($v=100$ a 147m/min). První část práce (2.kap.) se zabývá měřením řezných sil při soustružení. Druhá část (3.kap) obsahuje měření směru odchodu třísky a zahrnuje též dosavadní poznatky. Třetí část (4.kap.) pojednává o vlivu řezných podmínek na zpevnění povrchové vrstvy materiálu. Čtvrtá část (5.kap.) je zaměřena na zjišťování vlivu zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky. Kapitola shrnuje výsledky měření z dvou předešlých kapitol a obsahuje vzájemnou závislost zpevnění povrchové vrstvy materiálu a směru odchodu třísky. Výsledky svého měření jsem ve většině případech našel možnost porovnat s teoretickými údaji uvedenými v literatuře, protože v oblasti jemného obrábění nebylo dosud měření prováděno.			

Považuji za vhodné použít mých výsledků jako výchozího bodu měření v tomto oboru při další práci na problému. K tomuto účelu je podle mého mínění počet měření, jeho způsob i způsob zpravoání výsledků vyhovující.

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST-688/69

2. Měření řezných sil při soustružení

2.1. Teorie měření řezných sil

Měření řezných sil při obrábění kovů má praktický i teoretický význam. Teoretické poznatky o řezných silách umožňují upřesnit teorie o procesu řezání. V praxi jsou zase poznatky o řezných silách důležité při konstrukci nástrojů, při volbě řezných podmínek, při výpočtech a konstrukce obráběcích strojů.

Přesnost obrábění je ovlivněna m.j. tuhostí systému stroj-nástroj-obrobek. Nedostatečná tuhost tohoto systému je příčinou deformací a chvění, které mají nepříznivý vliv na přesnost rozměrů obráběného předměru i na jakost jeho povrchu.

2.2. Řezné síly při soustružení

Při soustružení působí na nůž výsledná řezná síla P , kterou lze rozložit na tři složky P_x , P_y , P_z (obr. č. 2.1.)

obr. č. 2.1.

-6-

- a) Na složku P_z , která leží ve směru řezné rychlosti V_z .
- b) Na složku P_y , která je kolmá na V_z a má radiální směr k ose obrobku.
- c) Na složku P_x , která má směr posuvu (axiální řezná síla). Její velikost je třeba znát při výpočtu posuvového mechanismu.

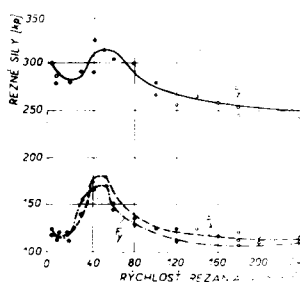
Mezi výslednou řeznou silou a jejími složkami platí vztah:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

2.3. Závislost řezných sil na řezných podmínkách

2.3.1. Závislost řezných sil na řezné rychlosti

S rostoucí řeznou rychlostí se značně zvyšuje teplota řezání v oblasti tvoření třísky. Řezná rychlost přímo ovlivňuje velikost deformační rychlosti. Zvětšuje-li se řezná rychlost, zmenšuje se oblast deformovaného materiálu. Vliv řezné rychlosti na velikost složek řezných sil je znázorněno na obr.č.2.2.



obr. č. 2.2.

2.3.2. Závislost řezných sil na posuvu

Experimentálně určená závislost složek řezných sil na posuvu a hloubce řezu se dá vyjádřit vztahy:

$$P_z = c_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot s^{y_{pz}} \quad (\text{kp})$$

$$P_y = c_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot s^{y_{py}} \quad (\text{kp})$$

$$P_x = c_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot s^{y_{px}} \quad (\text{kp})$$

Velikost konstant c_p je závislá na celé řadě činitelů, které platí jen pro určitý rozsah řezné rychlosti, úhlu čela, úhlu nastavení. Totéž platí i pro exponenty x_p a y_p .

Pro závislosti sil na posuvu při hloubce řezu konstantní platí:

$$P_z = c_1 \cdot s^{y_{pz}} \quad (\text{kp})$$

$$P_y = c_2 \cdot s^{y_{py}} \quad (\text{kp})$$

$$P_x = c_3 \cdot s^{y_{px}} \quad (\text{kp})$$

Převedeme-li tyto rovnice do logaritmických souřadnic, dostaneme rovnice přímek se směrnici y_p :

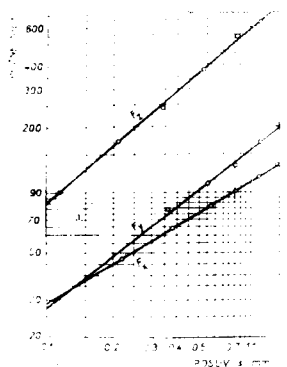
$$\log P = \log c + y_p \cdot \log s$$

Pro ocel: $y_{pz} \approx 0,75$

$$y_{py} \approx 0,6$$

$$y_{px} \approx 0,65$$

Vliv posuvu na velikosti P_x , P_y a P_z je znázor-
něn na obr. č. 2.3.



obr. č. 2.3.

2.3.3. Závislost řezných sil na hloubce řezu

Pro konstantní hodnotu posuvu vyplývají z před-
cházejících rovnic vztahy:

$$P_z = c_4 \cdot t^{x_{pz}} \quad (\text{kp})$$

$$P_y = c_5 \cdot t^{y_{py}} \quad (\text{kp})$$

$$P_x = c_6 \cdot t^{y_{px}} \quad (\text{kp})$$

V logaritmických souřadnicích představují tyto
rovnice přímku se směrnici x_p :

$$\log P = \log c + x_p \cdot \log t$$

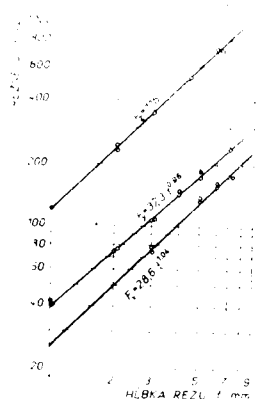
Pro ocel:

$$x_{pz} \approx 1$$

$$y_{py} \approx 0,9$$

$$y_{px} \approx 1,1$$

Vliv hloubky řezu na velikosti složek P_x , P_y a P_z znázorňuje obr. č. 2.4.



obr. č. 2.4.

2.4. Měření řezných sil

Pro měření složek řezných sil byl použit třísložkový dynamometr (konstrukce K00 VŠST v Liberci). Pracuje na principu deformace měrného elementu, na který působí měřená síla. Na deformační elementy jsou nalepeny tenzometrické odporové snímače. Deformace měrného elementu vyvolává změnu odporu tenzometru. Dynamometr je tedy elektrický, odporový (tenzometrický).

Princip přístroje spočívá v tom, že vodič, který je připevněn na deformační element, mění s deformací tohoto elementu svůj odpor. Změna odporu je lineárně závislá na deformaci (Bližší popis dynamometru viz lit.1.).

Zapojení snímačů v dynamometru zaručuje teplotní kompenzaci a kompenzaci vlivu ostatních složek řezné síly.

Signál ze snímačů dynamometru je vyveden na aparaturu TDA - 3 a je měřen třemi mA-metry (obr.č. 2.5.)



obr. č. 2. 5.

Princip práce dynamometru je následující:

Při soustružení budou působit řezné síly na snímače prostřednictvím nože, zvláštního nožového držáku a deformačního elementu. Odporové snímače (tenzometry) jsou zapojeny do můstku (Weastonův můstek). Deformací deformačního elementu snímače se mění odpor snímače, poruší se rovnováha Weastonova můstku a vychýlí se ručička galvanometru (popř. mA-metru). Výchylka je úměrná působící síle.

2.4.1. Cejchování dynamometru.

K cejchování velikosti složek řezných sil sloužil mechanický třmenový siloměr a zvláštní třmen, který se upevnil šrouby na přední stěnu dynamometru. Správná poloha třmenu byla zajištěna dvěma kolíky.

Vě směru působení složek řezných sil jsou v tělese třmenu šrouby, kterými se přenáší síla z mechanického třmenového siloměru na náhradní nůž, upnutý v nožovém držáku dynamometru.

(obr. č. 2.6.)



obr. č. 2.6.

Při cejchování složek řezných sil bylo naměřeno:

P_x, P_z 1 dílek = 2,82 kp

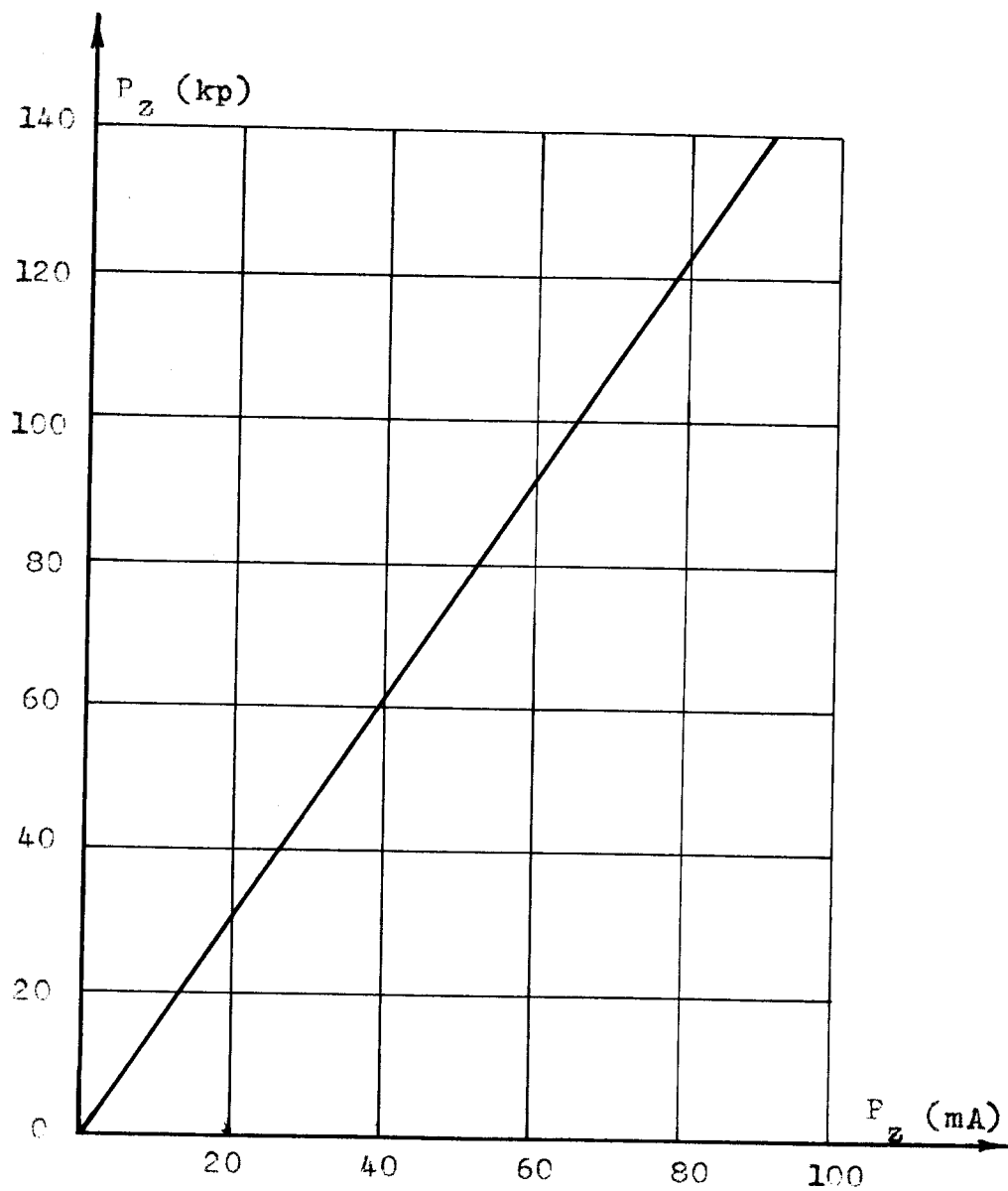
P_y 1 dílek = 5,64 kp

K sestrojení cejchovacích křivek slouží hodnoty z tabulky č. 2.1., které jsme získali při cejchování.

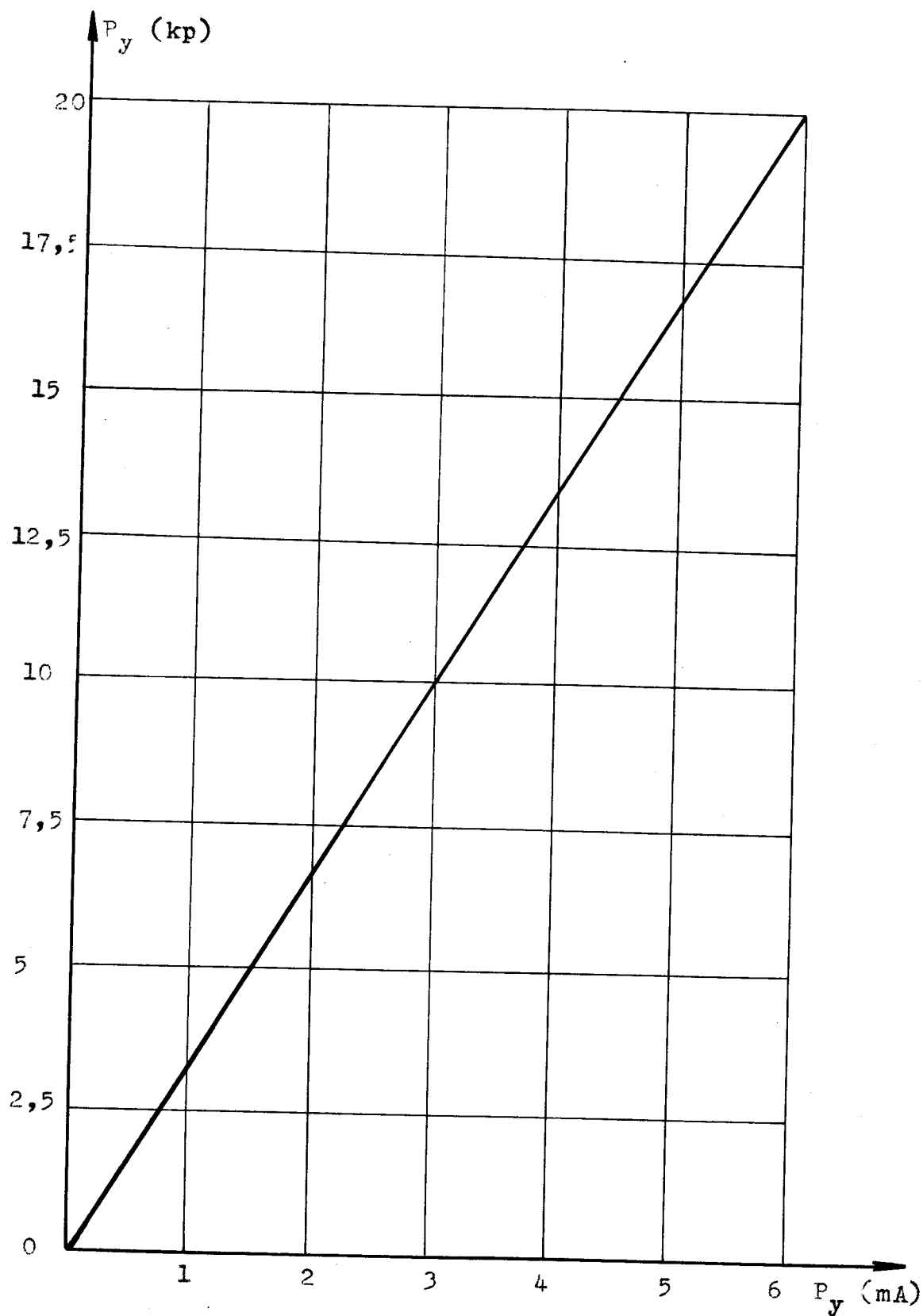
Tabulka č. 2.1.

P_z			P_x			P_y		
dílky	mA	kp	dílky	mA	kp	dílky	mA	kp
10	23	33	12	30	40,9	5	8	28,2
20	45	68,3	21	54	71,6	10	17	56,4
30	66	102,3	32	79	109,6	15	21,5	84,6
40	89	136,6	38	95	129,5			

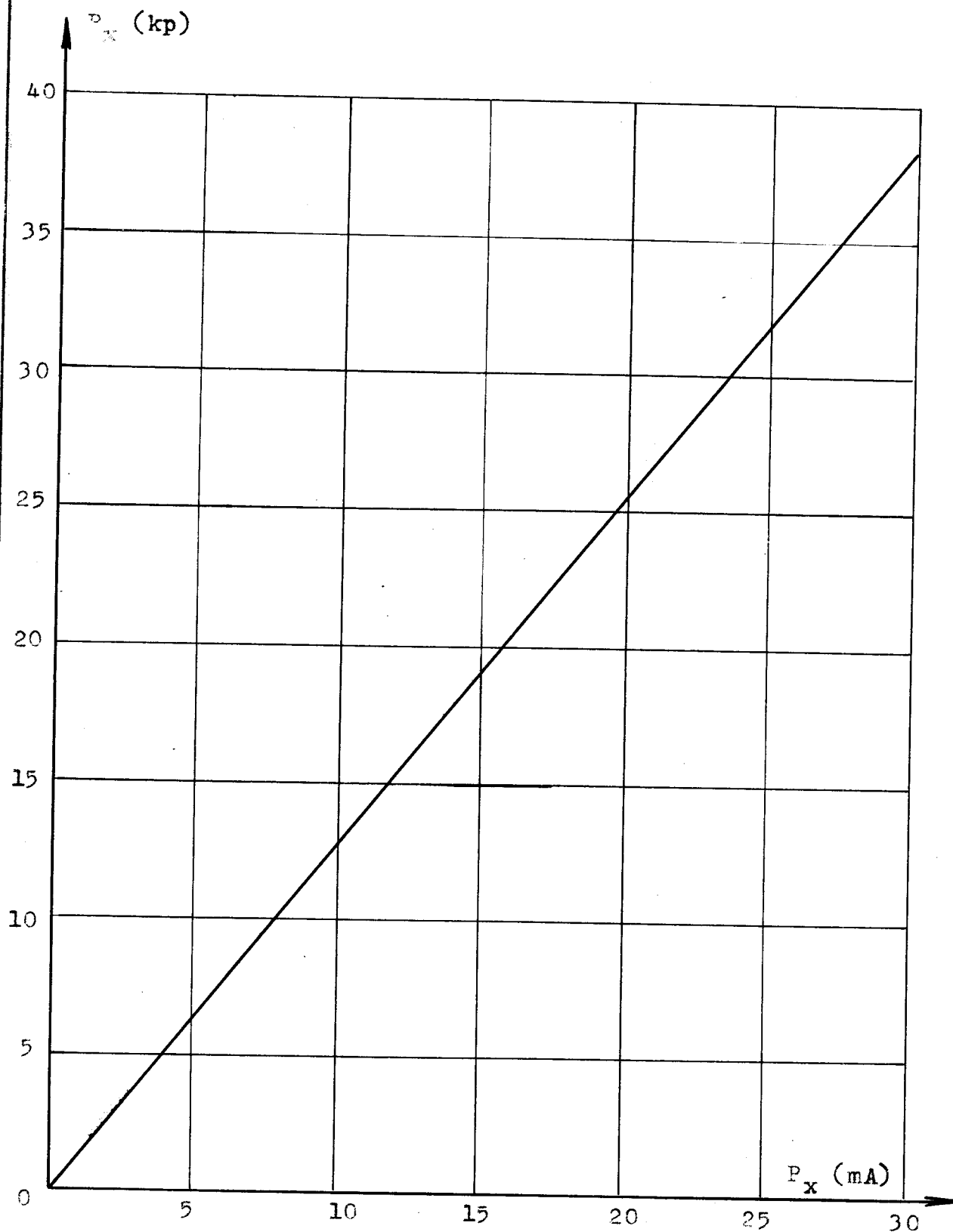
Cejchovní křivka pro sílu P_z



Část cejchovní křivky pro sílu P_y



Část cejchovní křivky pro sílu P_x



2.5. Provádění zkoušek

Zkoušky vlivu řezných podmínek na velikosti složek řezných sil byly prováděny na soustruhu SU - 50, na jehož příčný suport byl, po sejmutí nožového držáku s otočnou deskou, připevněn již popsáný dynamometr.

Obráběným materiálem byla ocel 12060.1.

Byly použity nástroje s připájenými destičkami ze slinutého karbidu S1. Bylo vyrobeno celkem 5 stejných nožů s následující geometrií:

$$\alpha = 8^{\circ}$$

$$\gamma = 10^{\circ}$$

$$\lambda = 0^{\circ}$$

$$\kappa = 60^{\circ}$$

$$\kappa_v = 30^{\circ}$$

$$r = 0,3 \text{ mm}$$

Průřez tělesa nože byl 32 x 32 mm.

2.6. Řezné podmínky

Řezné podmínky byly zvoleny následovně:

v / m/min. /	50,2; 100,4; 147
s / mm/ot. /	0,051; 0,08; 0,1; 0,15; 0,2
t / mm /	1,5; 1; 0,5

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojná		DP ST - 688/69

2.6.1. Výsledky měření řezných sil

$v = 50,2 \text{ m/min.}; t = 0,5 \text{ mm}$

s (mm/ot)	P _z		P _y		P _x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	18,5	(23)'	0,7	2,2	4,2	5,5
0,08	20	30	0,8	2,6	4,8	6
0,1	23	35,5	0,9	2,8	6,5	8,3
0,15	33	49,5	1,2	3,6	9,5	12
0,2	40,5	62,5	1,4	4,7	14,8	17,8

$v = 50,2 \text{ m/min.}; t = 1 \text{ mm}$

s (mm/ot)	P _z		P _y		P _x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	18,	28	0,5	2,1	4,8	6
0,08	25,5	39,5	0,9	2,8	7,6	9,7
0,1	31	47,5	0,99	3,1	9,9	11,5
0,15	43,5	66	1,5	5,05	12,2	15,5
0,2	56	84,5	1,8	5,9	16,3	21

$v = 50,2 \text{ m/min.}; t = 1,5 \text{ mm}$

s (mm/ot)	P _z		P _y		P _x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	24	36	0,99	3,2	5,3	7
0,08	33	49,5	1,2	4,3	8,2	10,5
0,1	39,4	59	1,4	4,8	10,6	13,5
0,15	53	81,5	2,2	7,5	15,7	19,9
0,2	68	104	2,7	9,3	21	27

$v = 100,4 \text{ m/min.}; t = 0,5 \text{ mm}$

s (mm/ot)	P _z		P _y		P _x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	14,2	21,5	0,4	1,8	4,5	5,7
0,08	19	29,5	0,7	2,2	5,3	7
0,1	22	34	0,9	3,2	7	9
0,15	31	48	1,3	3,8	11	14
0,2	39	60,5	1,6	5,3	14,8	18,3

 $v = 100,4 \text{ m/min.}; t = 1 \text{ mm}$

s (mm/ot)	P _z		P _y		P _x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	17,8	28,5	0,7	2,3	4,9	6,2
0,08	25,5	38,5	0,8	2,7	6,9	8,9
0,1	30	46	1	3,4	9,5	12
0,15	42	64	1,6	5,25	13,7	17,5
0,2	52,5	81	1,9	6,5	16,9	21,5

 $v = 100,4 \text{ m/min.}; t = 1,5 \text{ mm}$

s (mm/ot)	P _z		P _y		P _x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	24,5	36,5	1,3	3,8	6,7	8,5
0,08	32	48,5	1,55	5,2	9,9	11,5
0,1	38	58	2,1	6,7	11	14
0,15	51,5	79,5	2,45	8,6	16,9	21,7
0,2	64,5	99	2,6	9,2	22,2	28,5

$v = 147 \text{ m/min.}; t = 0,5 \text{ mm}$

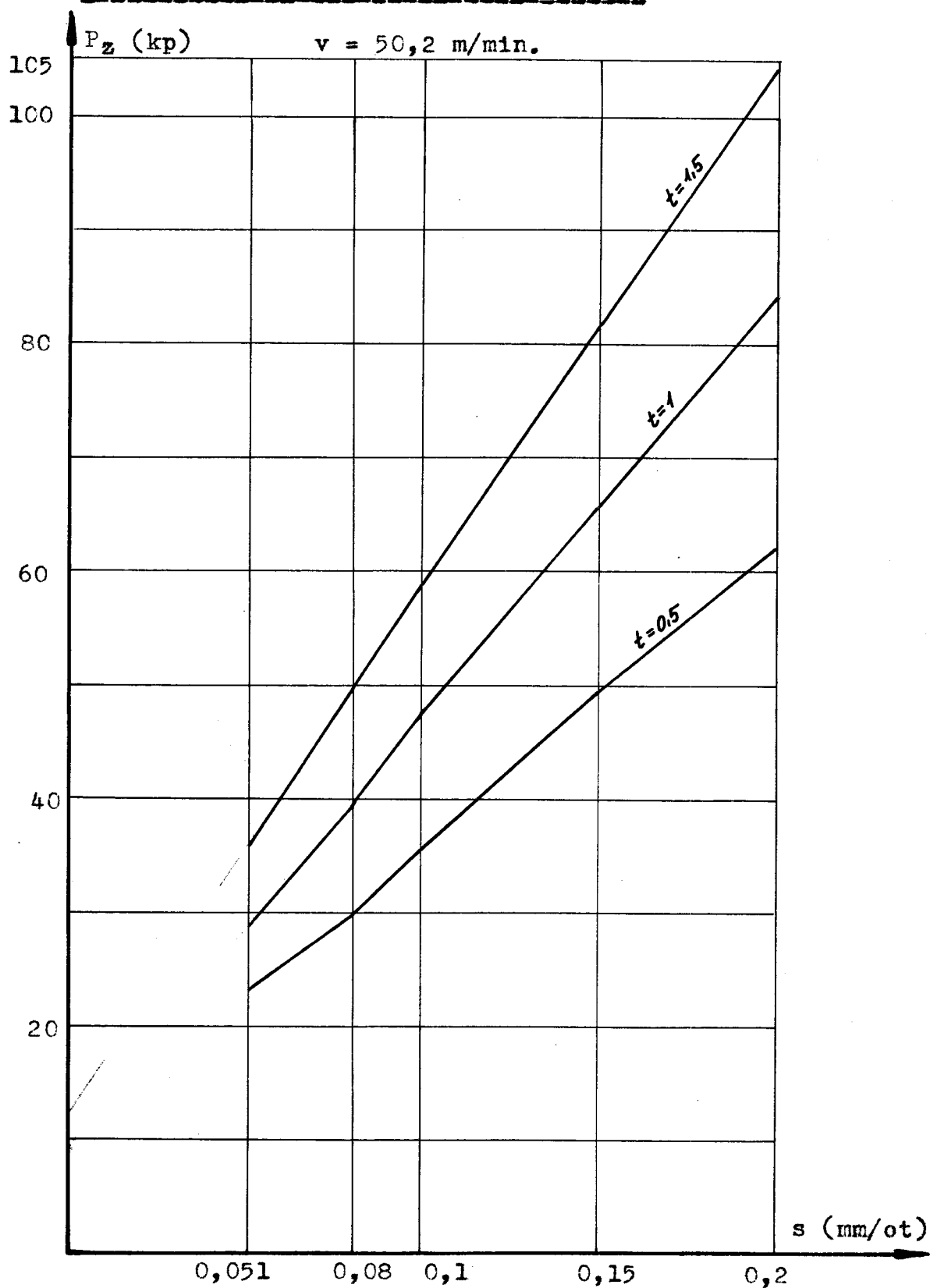
s (mm/ot)	P_z		P_y		P_x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	14	21	0,6	1,99	5,4	6,8
0,08	21	27,5	0,8	2,6	6,2	8
0,1	28	32,4	0,99	3,2	7,3	9,5
0,15	28,5	43	1,35	4,54	11,8	15
0,2	35	53,5	2	6,6	14,9	18,9

 $v = 147 \text{ m/min.}; t = 1 \text{ mm}$

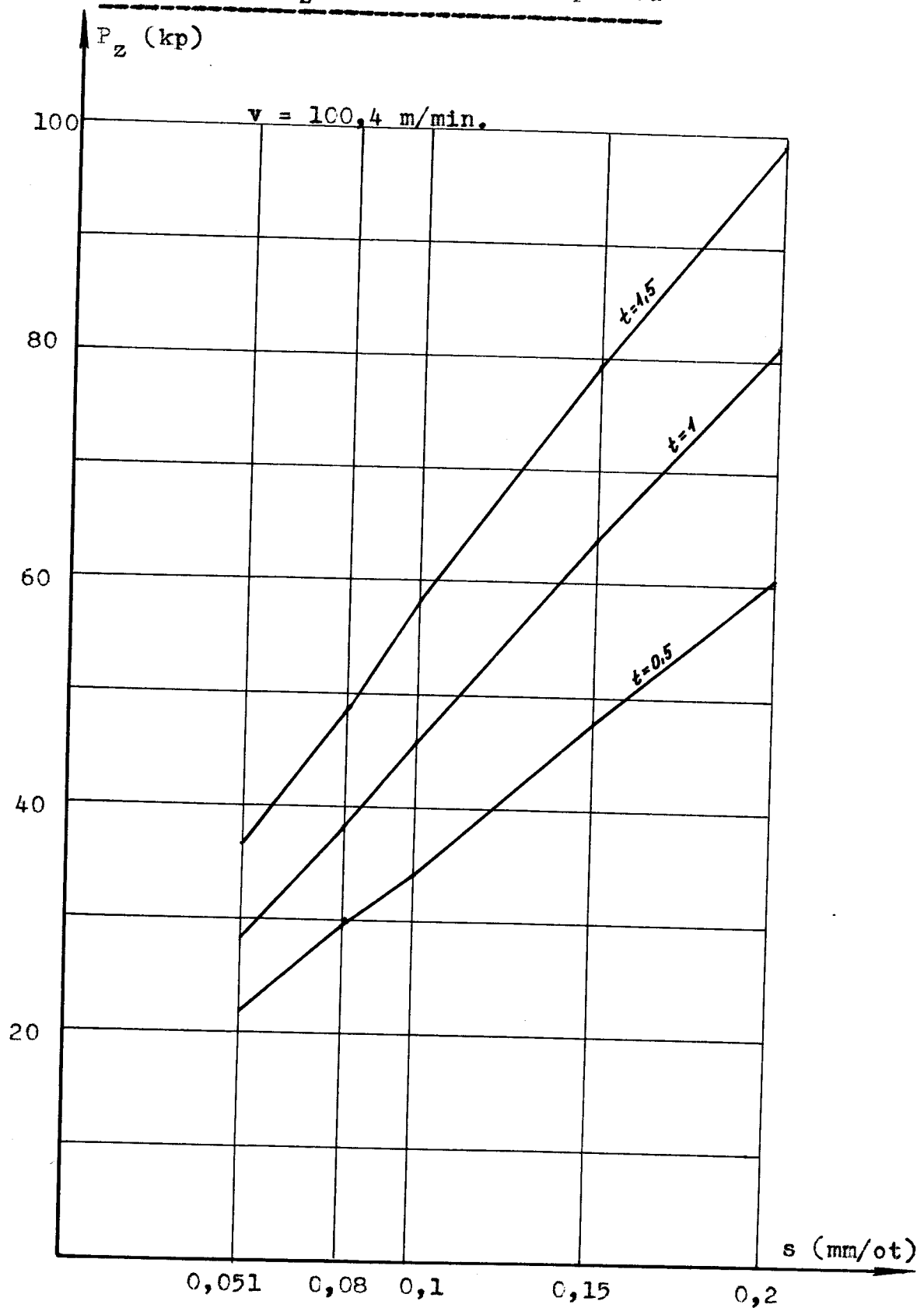
s (mm/ot)	P_z		P_y		P_x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	18	27	0,8	2,6	6,7	8,5
0,08	24,5	36,5	1,1	3,7	9,5	12
0,1	28	43,4	1,4	4,7	11,6	14,8
0,15	38,5	59,7	2,1	6,7	15,1	19,3
0,2	48,5	74,5	2,4	7,7	18,8	24

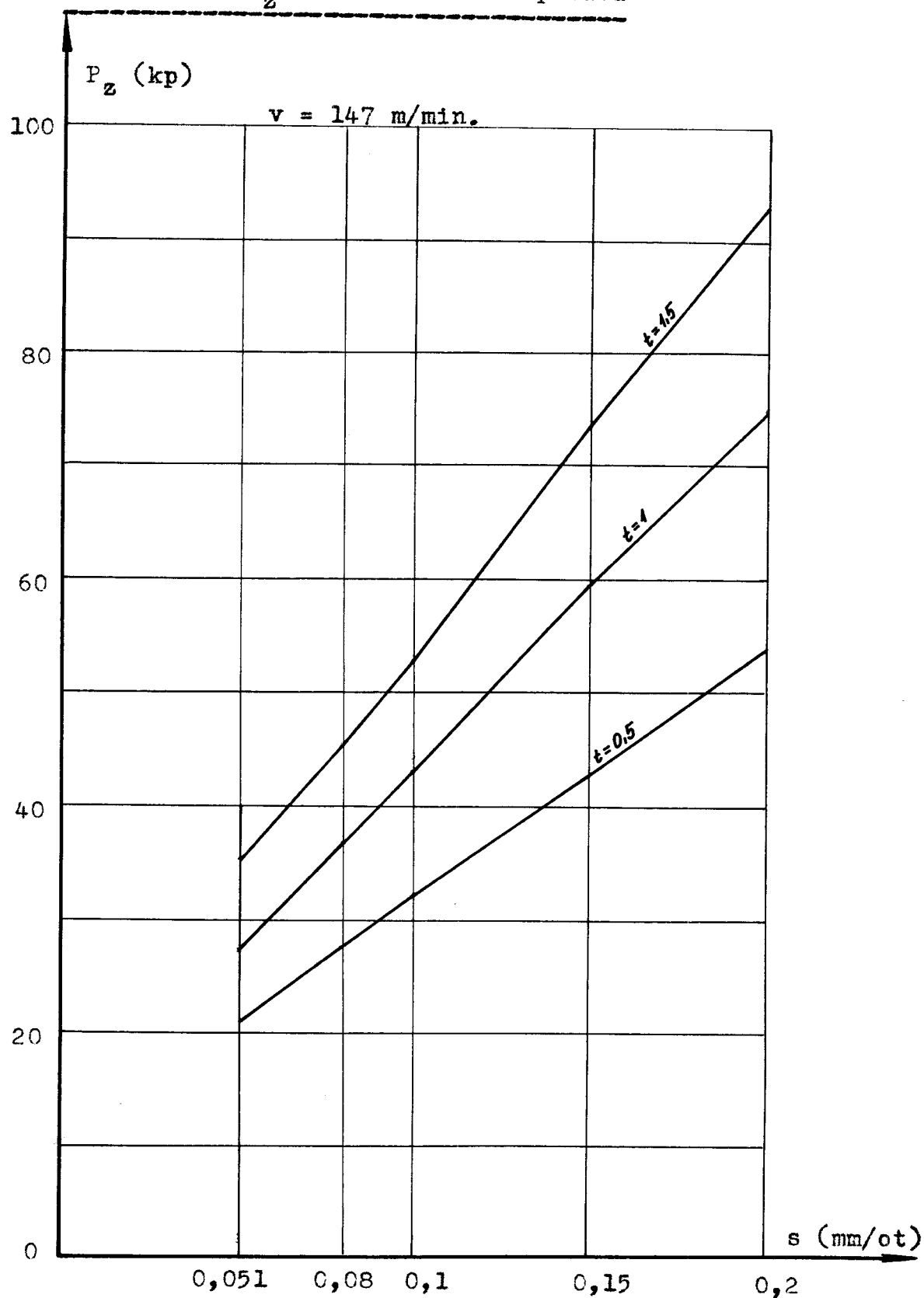
 $v = 147 \text{ m/min.}; t = 1,5 \text{ mm}$

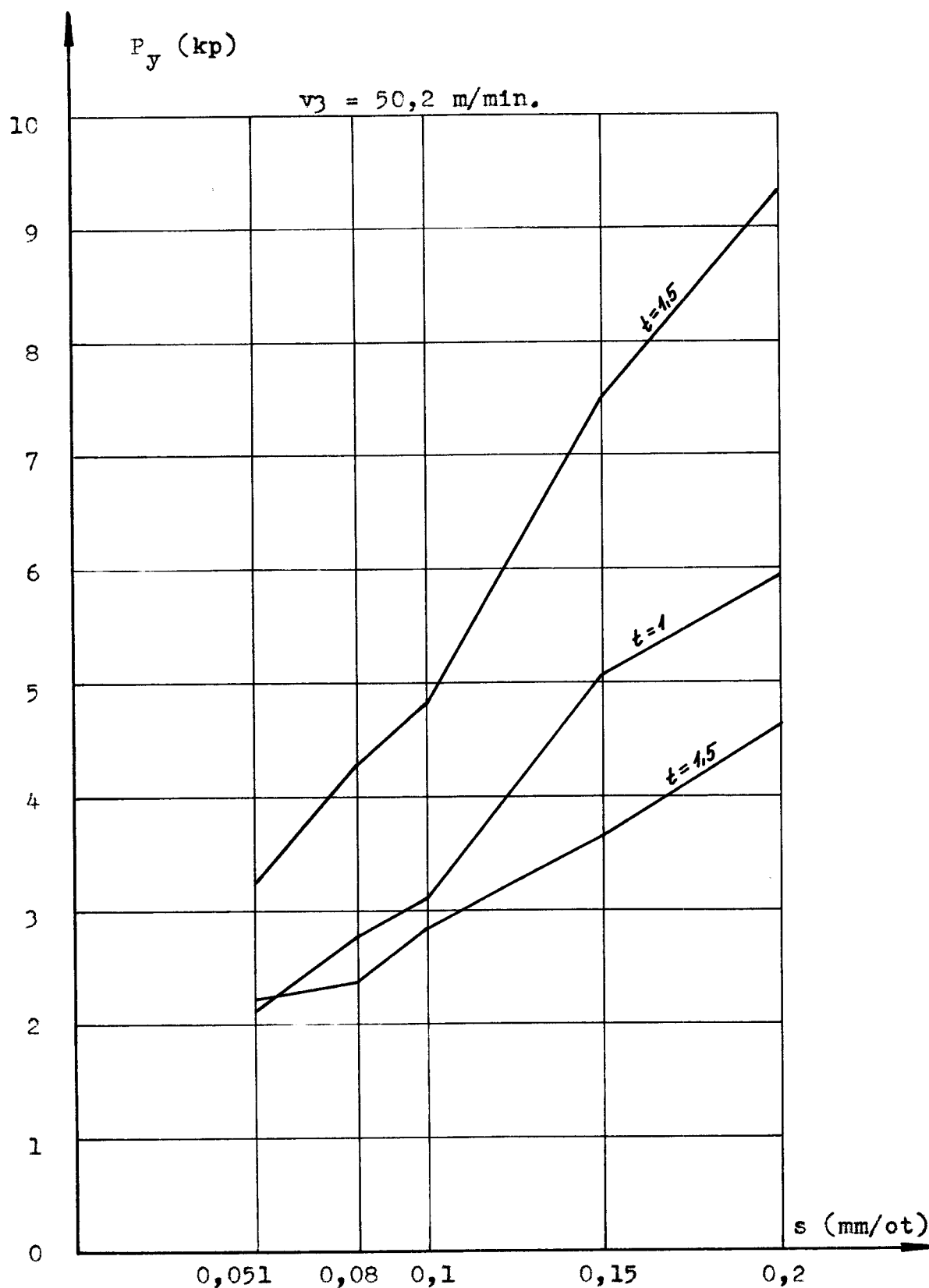
s (mm/ot)	P_z		P_y		P_x	
	mA	kp	mA	kp	mA	kp
0,051	23	35	1,2	3,6	7	9
0,08	29,5	45	2,1	6,8	10,7	13,7
0,1	34	52,5	2,4	8,2	14	18
0,15	47,5	73,5	2,6	8,9	17,3	24,8
0,2	61	93	2,9	9,9	24,7	31,5

Průběhy sil P_z v závislosti na posuvu

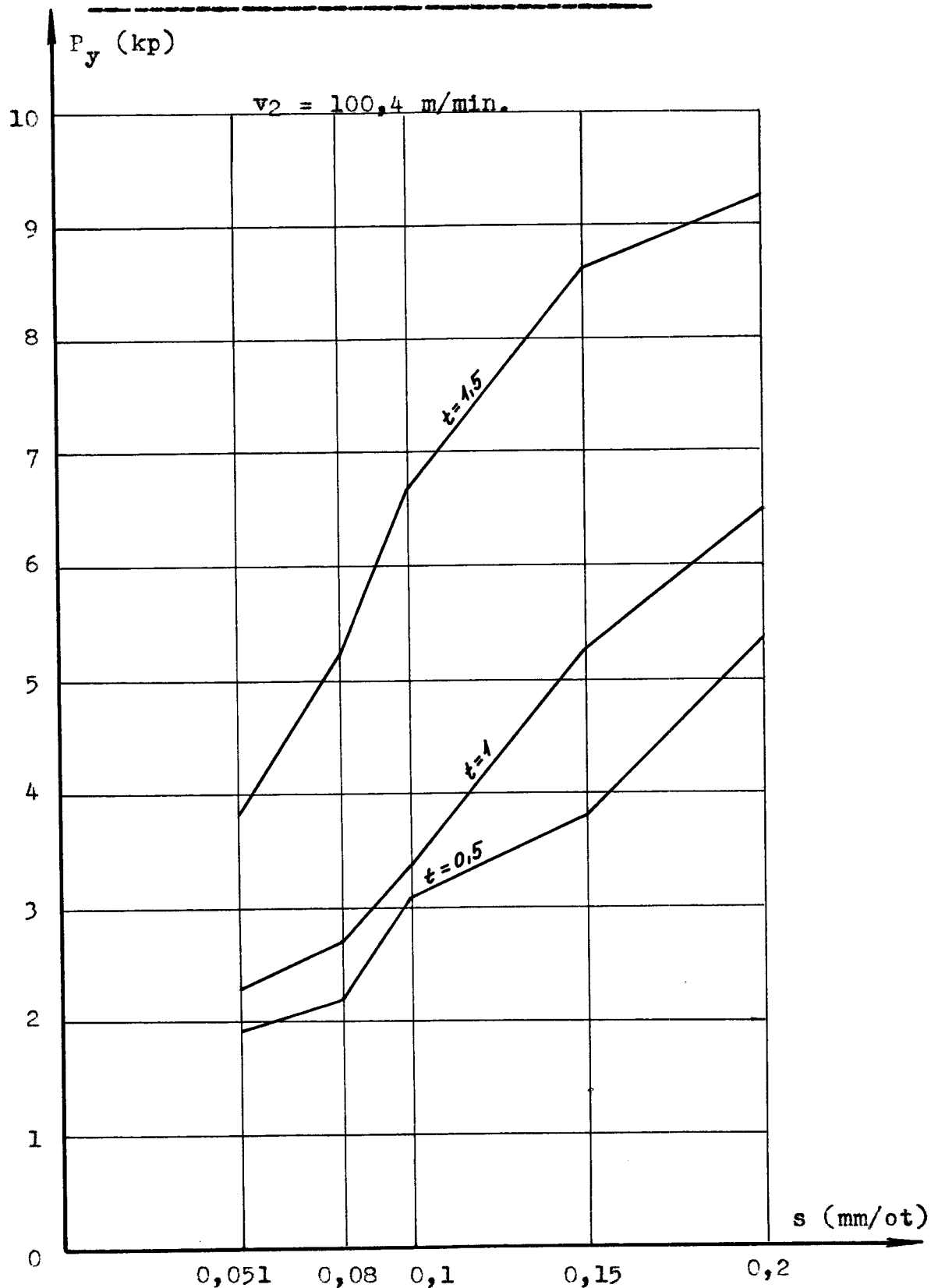
Průběhy sil P_z v závislosti na posuvu



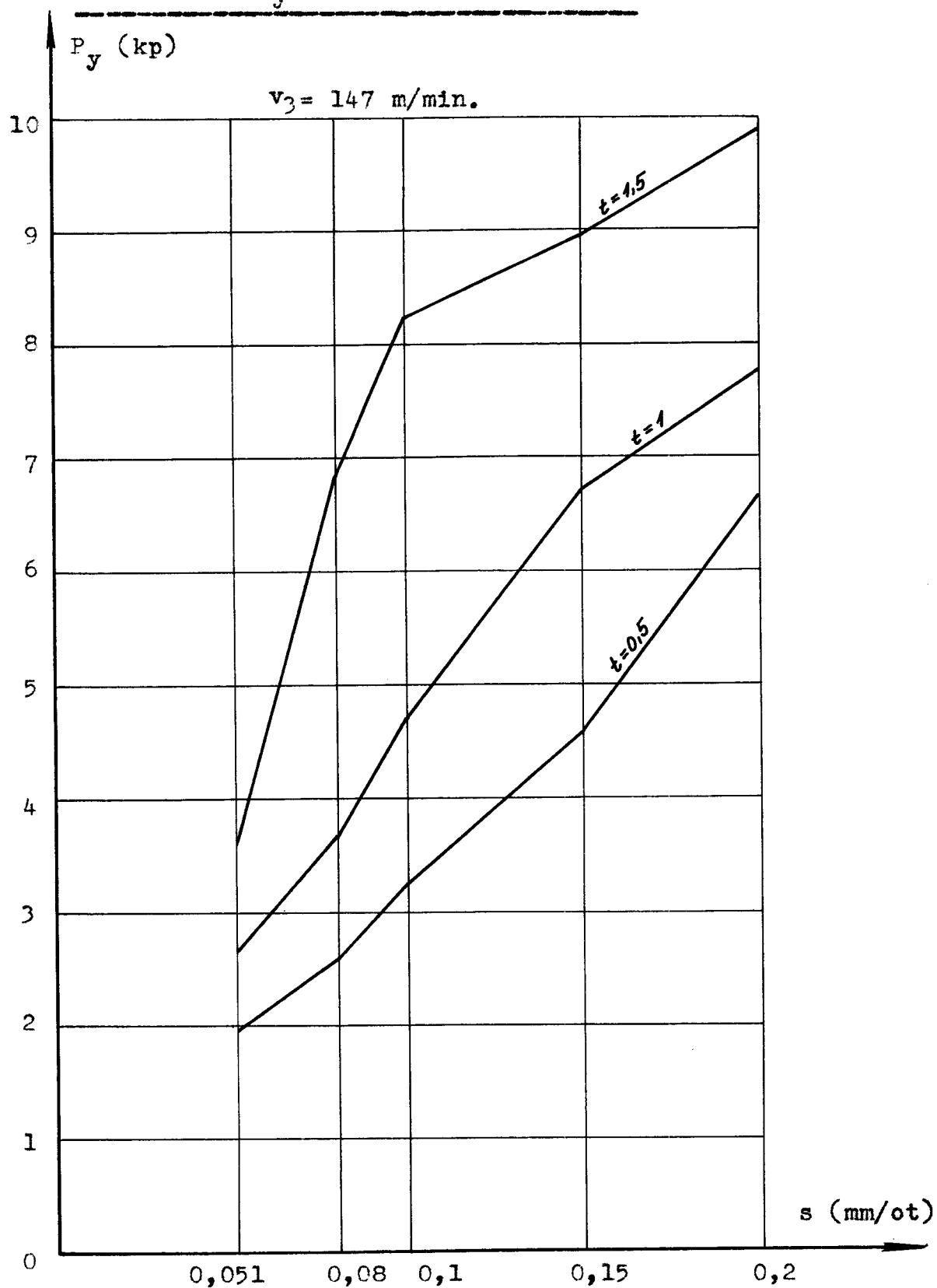
Průběhy sil P_z v závislosti na posuvu

Průběhy sil P_y v závislosti na posuvu

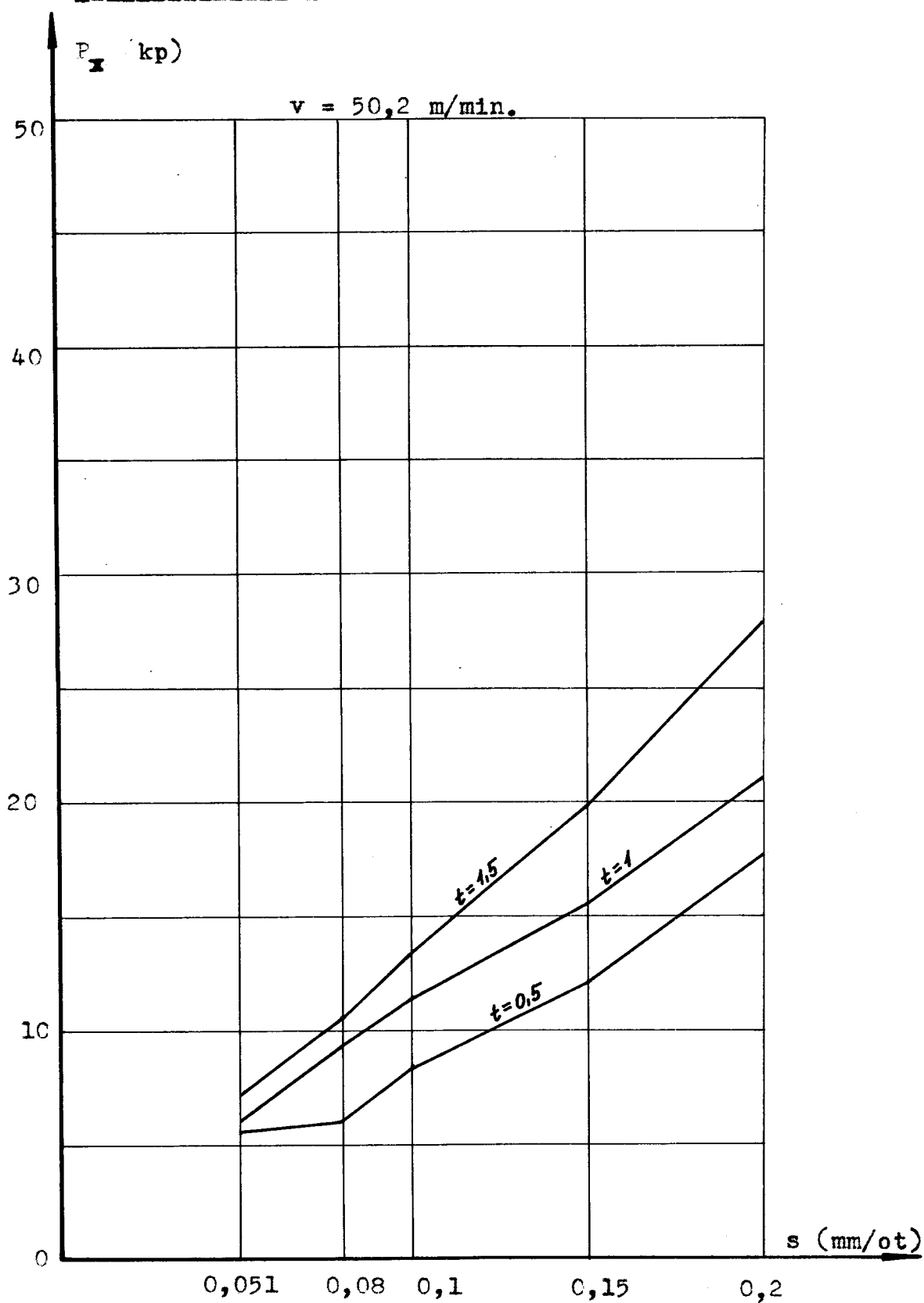
Průběhy sil P_y v závislosti na posuvu

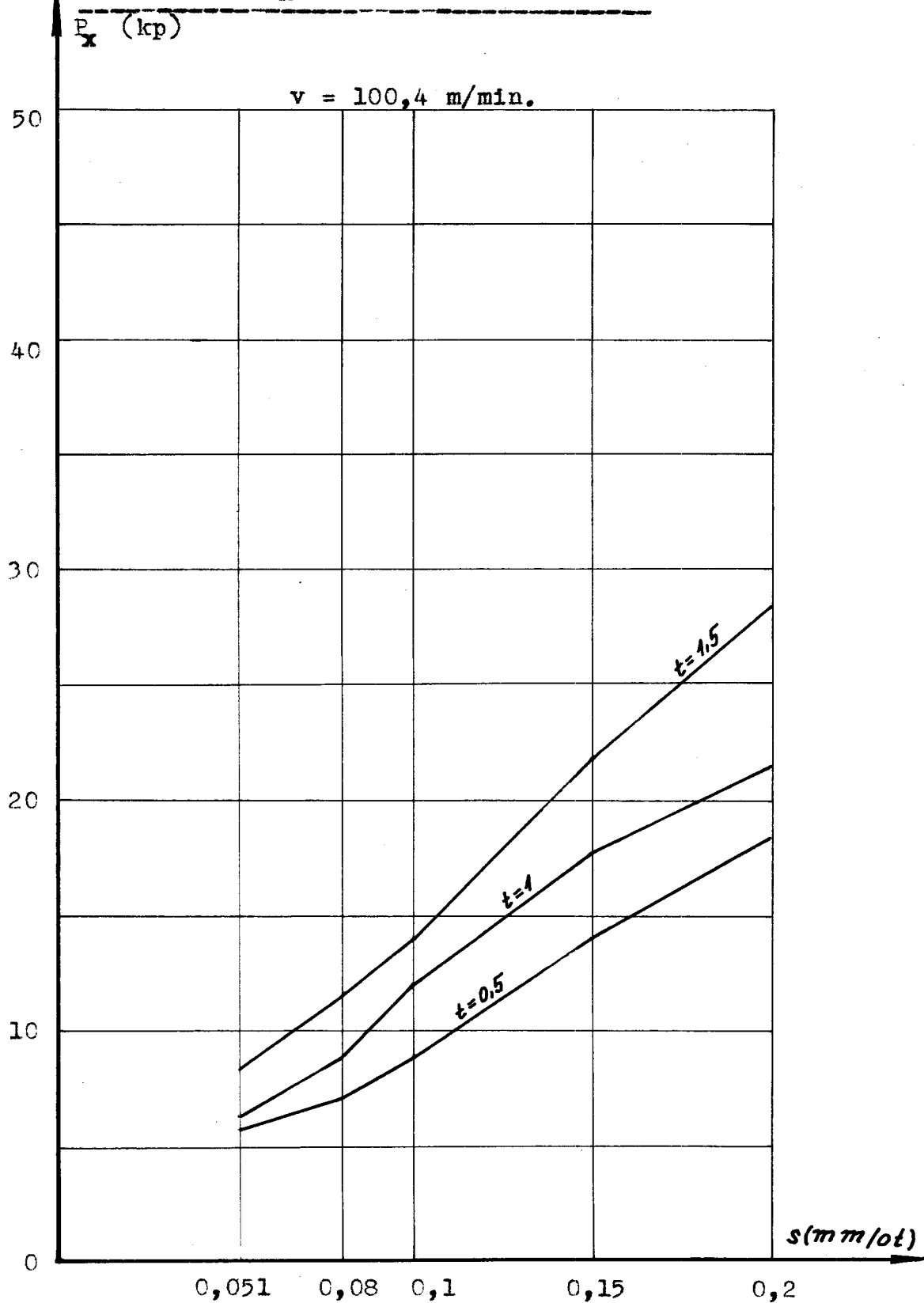


Průběhy sil P_y v závislosti na posuvu

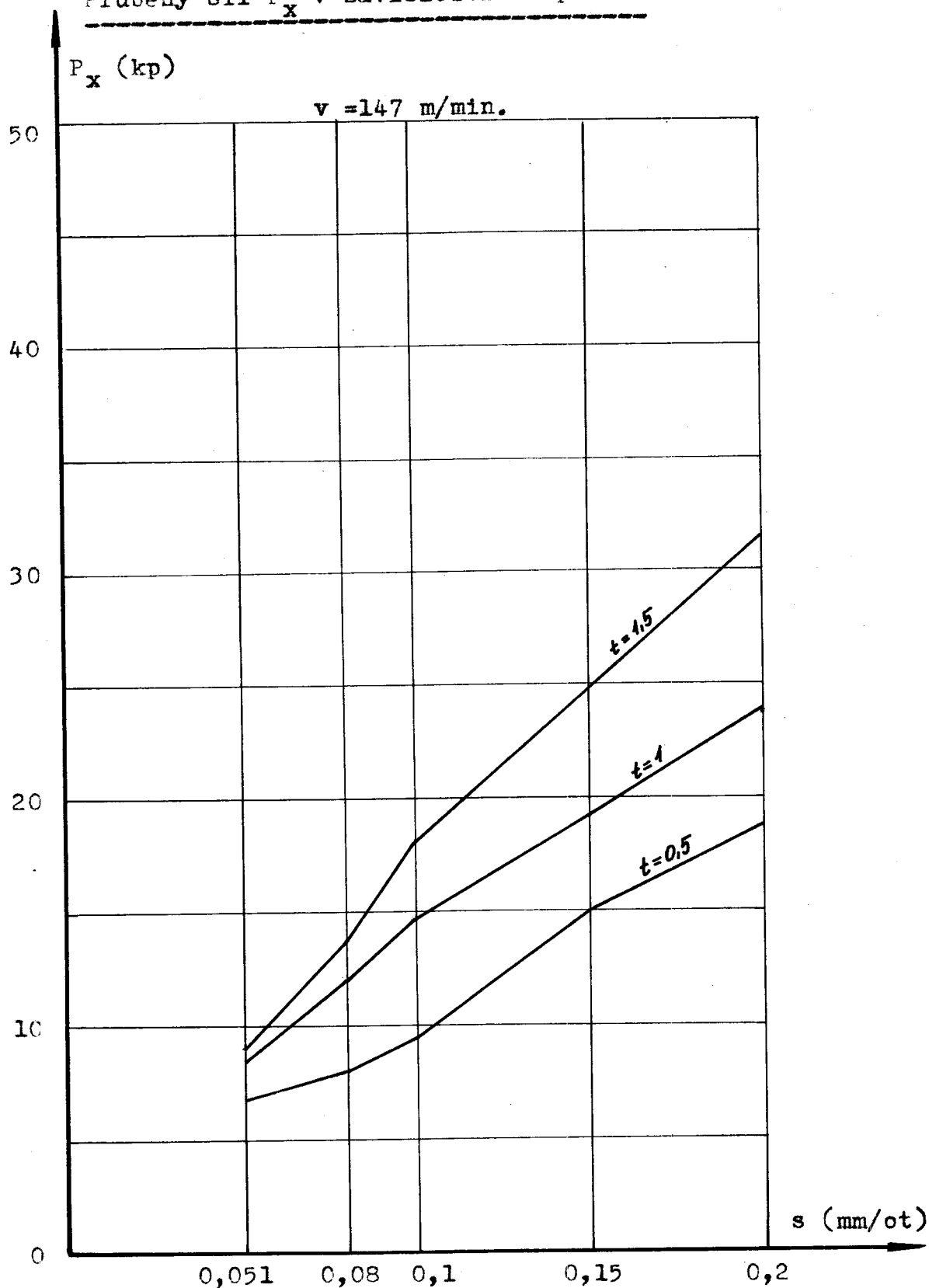


Průběhy sil P_x v závislosti na posuvu



Průběhy sil P_x v závislosti na posuvu

Průběhy sil P_x v závislosti na posuvu



VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST - 688/69
2.7. <u>Vyhodnocení měření řezných sil</u> Měření řezných sil přineslo výsledky podobné těm, které jsou uvedeny v literatuře (prof. Příkryl: Teorie obrábění). Síla P_z při $v = \text{konst.}$, $t = \text{konst.}$ v závislosti na posuvu rostla přímkově. Síly P_x a P_y (zvláště P_y) dosti kolísaly, ale přesto je z grafů zřejmý jejich lineární průběh v závislosti na posuvu. Z hlediska velikosti složek řezných sil při $t = \text{konst.}$, $s = \text{konst.}$, z grafů vyplývá, že složky P_z, P_y, P_x s rostoucí řeznou rychlostí ($v = 50,2$; $100,4$; 147 m/min) klesají. <i>podle odporové rovnice L. 8a9</i>		
-29-		

3. Teorie odchodu třísky při soustružení

3.1. Význam směru odchodu třísky

Směr odchodu třísky je důležitou charakteristikou řezného procesu, a je určen úhlem odchodu třísky. Úhel odchodu třísky tvoří vektor rychlosti odcházející třísky s kolmicí k ostří. Tento úhel je ovlivněn různými činiteli, které jsou vyvolané procesem obrábění. Hlavní činitelé ovlivňující směr odchodu třísky jsou zejména řezné podmínky, geometrie nástroje, druh obráběného materiálu.

Dosud užívaná geometrie nástroje nevystihuje přesné poměry, které nastávají při obrábění. Je zřejmé, že skutečným poměrům více odpovídá geometrie, která je měřena v rovině odchodu třísky. Kdybychom mohli předpokládat geometrii v rovině odchodu třísky za skutečnou, znamenala by znalost této roviny možnost konstrukce nástrojů pro určité poměry a také možnost výpočtu řezných sil, protože výsledná řezná síla bude působit právě v rovině odchodu třísky. Znalost směru odchodu třísky je důležitá u nástrojů, u nichž je nesnadné odvádění třísky a tam, kde by odcházející tříska poškozovala obrobený povrch při konečném opracování.

3.2. Geometrie v rovině odchodu třísky

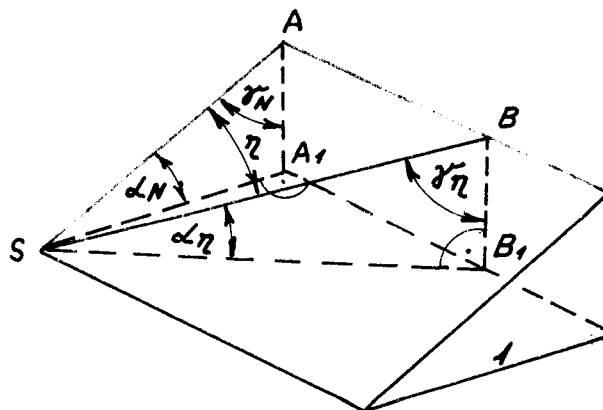
Se směrem odchodu třísky souvisí otázka velikosti skutečného úhlu čela nástroje. V počátku zóny tvoření třísky se zdá, že by se skutečný úhel čela měl měřit ve směru relativního pohybu materiálu vůči nástroji, t.j. ve směru řezné rychlosti. Potom se ale tříska odklání po čele a tím se také bude měnit

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra	obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP	ST - 688/69

skutečná velikost úhlu čela. V konečné fázi tvorby třísky bude tento úhel ve směru řezné rychlosti.

Úhel hřbetu nemá vliv na směr odchodu třísky. Skutečný úhel hřbetu se bude měřit pravděpodobně ve směru řezné rychlosti.

Velikosti úhlů γ_η a α_η v rovině odchodu třísky vyplývají z obr. 3.1. Rovina odchodu třísky je dána vektorem řezné rychlosti a vektorem odcházející třísky.



obr.č. 3.1.

3.2.1. Úhly γ_η a α_η v rovině odchodu třísky

Dle obr. č. 3.1. lze vypočítat úhly γ_η a α_η ; protože výpočet těchto úhlů je již v literatuře popsán (lit.1.), odvození neprovedeme. Výsledné vztahy pro úhly γ_η a α_η jsou:

$$\cos \gamma_\eta = \cos \gamma_N \cdot \cos \eta$$

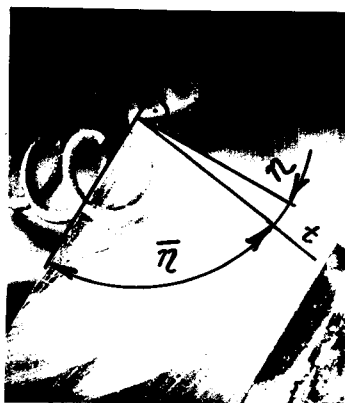
$$\sin \alpha_\eta = \sin \alpha_N \cdot \cos \eta$$

3.3. Činitelé ovlivňující směr odchodu třísky

Při volném obrábění třísky odchází ve směru kolmém k řezné hraně. U třírozměrného obrábění třísky odchází pod úhlem η k normále hlavního břitu.

Platí vztah:
$$\eta + \bar{\eta} = \frac{\pi}{2}$$

$\bar{\eta}$ - úhel, který svírá směr odcházející třísky s hlavním břitem, měřený ve směru hlavního úhlu nastavení v rov. x . (obr. č. 3.2.)



obr. č. 3. 2.

3.3.1. Vliv řezných podmínek na směr odchodu třísky

Podle předcházejících prací (lit.1,2) má největší vliv na směr odchodu třísky velikost posuvu s , a hloubka řezu t (popř. jejich poměr $\frac{s}{t}$). Řezná rychlost má na η vliv menší.

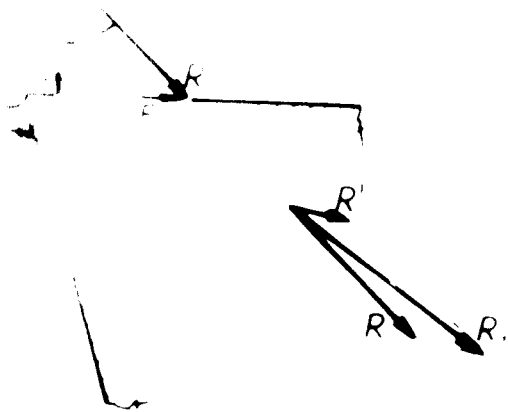
S průřezem třísky se mění modul průřezu v ohybu W_0 . Třísky se pak snaží ohýbat tak, aby se osa ohybu ztotožnila s osou, k níž má průřez třísky nejmenší W_0 .

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST - 688/69
Z předchozích prací (lit. 1. a 2.) je sice zřejmé, že se zvětšujícím se poměrem $\frac{s}{t}$ se zvětšuje i úhel odchodu třísky η, ale pravděpodobně bude závislý (při stejném poměru $\frac{s}{t}$) i na velikosti průřezu třísky. Při stejném $\frac{s}{t}$ a při $F_1 \ll F_2$ (F je průřez třísky) se bude tříska 1 pětovat po průřezu více než tříska 2. Toto pětování určitě bude mít vliv i na směr odchodu třísky η.		
3. 3. 2. <u>Vliv geometrie nástroje na směr odchodu třísky</u>		
Z prvků geometrie nástroje mají největší vliv na směr odchodu třísky ty, které určují polohu čela: úhel sklonu břitu (λ) úhel čela (γ) úhel nastavení (α)		
Tříska se snaží odcházet ve směru <u>maximálního</u> spádu čela, protože deformační práce je v tomto případě minimální.		
Úhel odchodu třísky roste se vzrůstajícím úhlem sklonu břitu λ (největší vliv na směr odchodu třísky). Směr odchodu třísky je určen působením normálních sil na plochy třísky. Boční síly, které vznikají sklonem břitu λ, působí na odcházející třísku nejvíce. Čím vyšší je normální boční síla, tím větší je i vychýlení třísky (lit.3).		
Vliv vedlejšího úhlu nastavení, vlastností obráběného materiálu a koeficient tření na čele nástroje		

nemají velký vliv na směr odchodu třísky.

3. 4. Závislost složek řezných sil na směr odchodu třísky

Výsledná řezná síla působí v rovině odchodu třísky. Rozložíme-li tuto sílu podle obr. č. 3.2., pak výslednice R sil N a F na čele nástroje musí být v rovnováze s výslednicí složek řezných sil P_z , P_y , P_x . Síly vznikající na hřbetu nástroje jsou zanedbatelně malé.



obr. č. 3.2

Platí:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2}$$

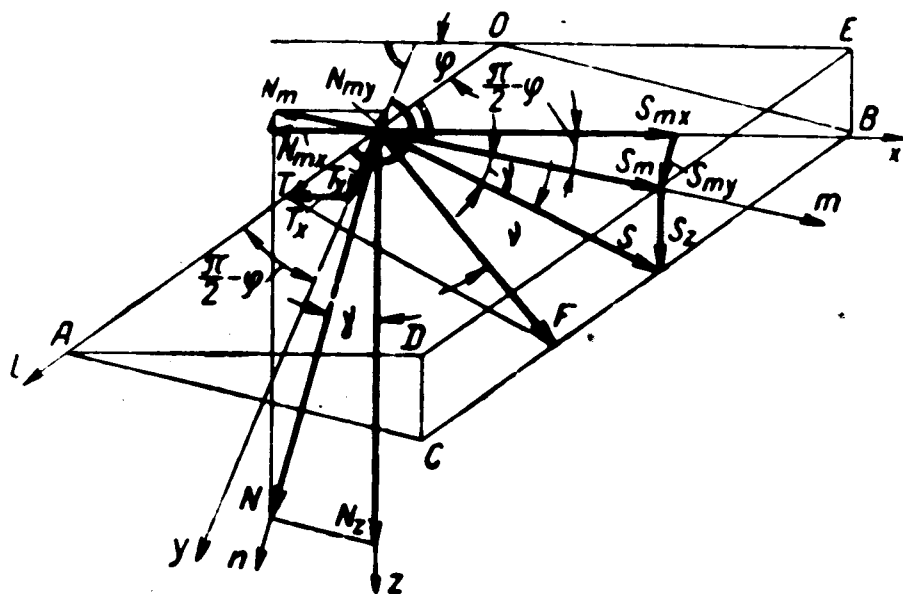
$$F = \operatorname{tg} \tau \cdot N$$

$$R = \sqrt{N^2 + (\operatorname{tg} \tau \cdot N)^2} = N \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \tau}$$

$\operatorname{tg} \tau = \mu$součinitel tření třísky po
čele nástroje

Z těchto vztahů vyplývá, že směr odchodu třísky bude mít vliv na jednotlivé složky řezných sil, hlavně na P_x a P_y .

Rovnováha složek sil P_x , P_y , P_z s třecí a normální složkou (T a N) na čele je na obr. č. 3.3.



obr. č. 3.3.

Kde φ - hlavní úhel nastavení
 ψ - úhel odchodu třísky

V pravouhlé souřadnicové soustavě XYZ má osa Z směr řezné rychlosti v_z , a osa X směr posuvu s . Orientace pomocného pravouhlého systému lmn je taková, že osa n je kolmá na rovinu čela a osa l je proložena hlavním ostřím. Ze schematu podle Zoreva vyplývají pro složky řezných sil tyto vztahy:

$$P_z = N \cdot \cos \gamma + F \cdot \cos \nu \cdot \sin \gamma$$

$$P_y = F \cdot \cos \nu \cdot \cos \gamma \cdot \cos \varphi + F \cdot \sin \nu \cdot \sin \varphi - N \sin \gamma \cdot \cos \varphi$$

$$P_x = F \cdot \cos \nu \cdot \cos \gamma \cdot \sin \varphi - F \cdot \sin \nu \cdot \cos \varphi - N \cdot \sin \gamma \cdot \sin \varphi$$

Platí:

$$F = \operatorname{tg} \tau \cdot N = \mu \cdot N$$

Potom:

$$\frac{P_x}{P_z} = \frac{\mu \cdot \cos \nu \cdot \cos \gamma \cdot \sin \varphi - \mu \cdot \sin \nu \cdot \cos \varphi - \sin \gamma \cdot \sin \varphi}{\cos \gamma + \mu \cdot \cos \nu \cdot \sin \gamma}$$

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{\mu \cdot \cos \nu \cdot \cos \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi - \mu \cdot \sin \nu - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\mu \cdot \cos \nu \cdot \cos \gamma + \mu \cdot \sin \nu \cdot \operatorname{tg} \varphi - \sin \gamma}$$

Z těchto vztahů vyplývá, že při $\lambda = 0^\circ$ závisí složky řezných sil na následujících parametrech:

- úhlu čela γ
- hlavním úhlu nastavení λ
- úhlu odchodu třísky η (ν)
- koeficientu tření na čele μ

Pro slinutý karbid: $\mu \approx 0,6$

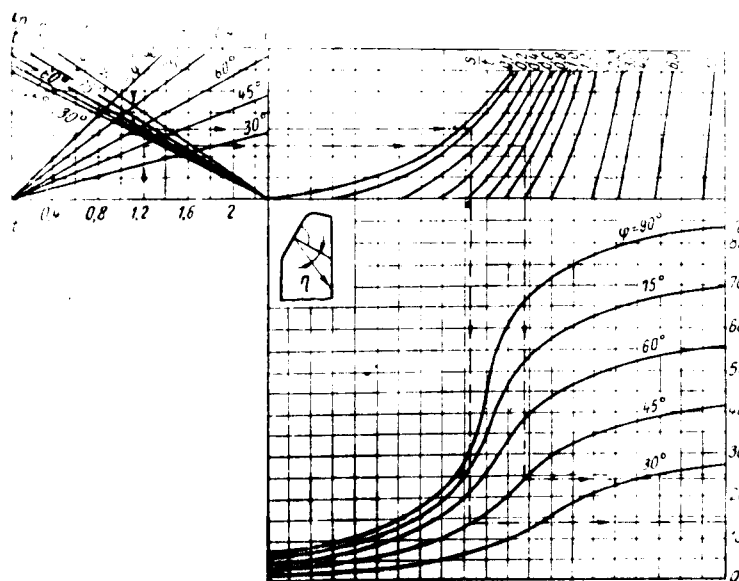
Pro rychlořeznou ocel: $\mu \approx 0,8$

Z předcházejících vzorců vyplývá vztah pro úhel odchodu třísky:

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{P_y \cdot \sin \gamma - P_x \cdot \cos \varphi}{P_z \cdot \sin \gamma - (P_y \cdot \cos \varphi + P_x \cdot \sin \varphi) \cdot \cos \gamma}$$

Pro stanovení směru odchodu třísky (podle Zoreva) je uveden na obr. č. 3.4. nomogram pro určení

úhlu η při pravouhlém obrábění:



obr. 8. 3.4.

Mě η - úhel odchodu třísky r - poloměr zaoblené
 t - hloubka řezu špičky
 s - posuv φ - hl. úhel nastavení
 l_n - délka řezné hrany

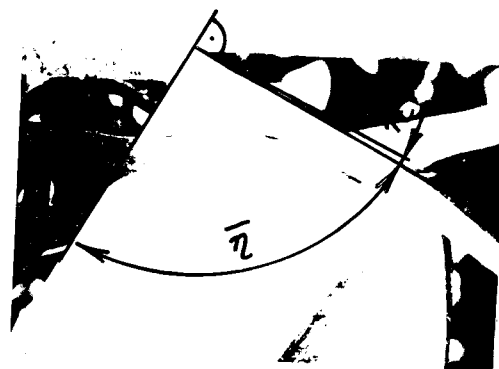
Vzhledem k tomu, že zkoušky směru odchodu třísky byly provedeny s nástrojem s úhlem $\lambda = 0^\circ$ (pravouhlé obrábění), nebudeme se dále zabývat rovnováhou sil při kosoúhlém obrábění ($\lambda \neq 0^\circ$). (Rovnováhu sil při kosoúhlém obrábění viz lit. 1.)

3.5. Měření směru odchodu třísky v závislosti na v, s, t .

3.5.1. Měření směru odchodu třísky

Určování směru odchodu třísky bylo provedeno

z fotografického záznamu. Pro odečtení úhlu odchodu třísky η sloužil profilprojektor ZEISS, který umožnil odečítání úhlů s přesností 10'. Směr odchodu třísky byl měřen přímo z negativu. Pro každé určité řezné podmínky bylo pořízeno 7 snímků. Výsledné hodnoty směru odchodu třísky jsou stanoveny jako aritmetický průměr 7 měření. Způsob odečtení úhlu odchodu třísky η ukazuje obr. č. 3.5.



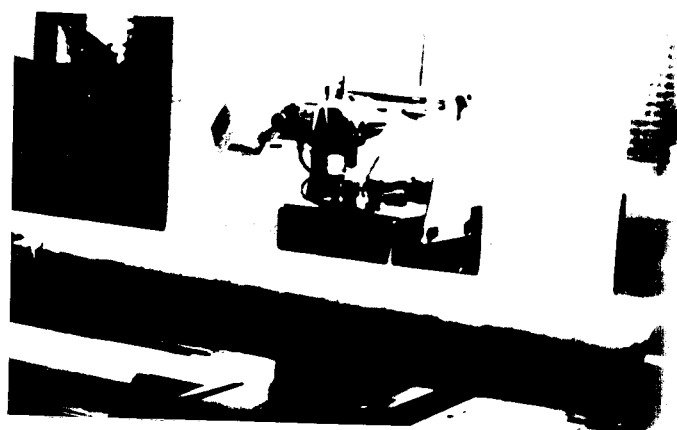
obr. č. 3.5.

V tabulce 3.1. jsou uvedeny naměřené hodnoty směru odchodu třísky v závislosti na řezných podmínkách. Měření složek řezných sil třísložkovým dynamometrem a fotografování směru odchodu třísky probíhalo současně.

3.5.2. Uspořádání zařízení pro měření směru odchodu třísky a měření řezných sil

Měření řezných sil bylo provedeno pomocí dynamometru (popis dynamometru kap. 2.4.....). Fotografování směru odchodu třísky bylo provedeno fotopřístrojem EXA II s mezikroužky (objektiv Tessar 2,8/50).

k osvětlení bylo použito dvou bleskových lamp. Foto-
přístroj a fotoblesky byly uchyceny ve stojanu, který
je součástí dynamometru. Stojan umožňuje posuv foto-
aparátu ve směru optické osy a jeho otáčení kolem
dvou os. Uložení bleskových lamp dovoluje jejich
otáčení kolem tří os. Uspořádání celého zařízení pro
měření rezných sil a směru odchodu třísky obsahuje
obr. š. 3.6.



obr. š. 3.6.

3.5.3. Použitý filmový materiál

Osvětlení břitu pomocí dvou bleskových lamp
umožnilo použít kinofilmu o nízké citlivosti (ORWO
15 Din).

3.5.4. Výsledky měření odchodu třísky, grafy, tabulky

Soustružení bylo prováděno nožem s destičkou ze
slinutého karbidu S4 s touto geometrií:

$$\begin{aligned}\lambda &= 0^\circ \\ \gamma &= 10^\circ \\ \kappa &= 60^\circ \\ \kappa' &= 30^\circ \\ r &= 0,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

Materiál určený k obrábění byl před započítím zkoušek hrubován za těchto řezných podmínek:

$$\begin{aligned}v &= 100 \text{ m/min.} \\ s &= 0,1 \text{ mm/ot.} \\ t &= 1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Soustružení bylo prováděno na soustruhu SU 50.

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP ST - 688/69

3.5.5 Výsledky měření úhlu odchodu třísky

Tabulka č. 3.1

t (mm)	s (mm/ot)	v = 50,2 (m/min)	v = 100,4 (m/min)	v = 147 (m/min)
		η°	η°	η°
1,5	0,051	1°	0°30'	2°30'
1,5	0,08	2°24'	1°52'	4°20'
1,5	0,1	3°17'	2°10'	4°50'
1,5	0,15	3°50'	1°20'	4°80'
1,5	0,2	3°20'	2°50'	5°10'
1	0,051	0°56'	0°23'	1°40'
1	0,08	2°51'	2°	2°10'
1	0,1	5°26'	6°20'	3°30'
1	0,15	8°10'	7°47'	2°36'
1	0,2	8°54'	7°20'	4°20'
0,5	0,051	1°11'	6°10'	- 3°
0,5	0,08	2°12'	12°25'	- 6°50'
0,5	0,1	4°50'	8°30'	- 4°16'
0,5	0,15	7°40'	8°51'	4° 12'
0,5	0,2	12°	9°	7°

Grafické vyhodnocení k této tabulce : odstavec 4.3.4

3.6. Zjišťování směru odchodu třísky v oblasti kořenu třísky

Směr odchodu třísky v oblasti kořenu byl zjišťován pro následující řezné podmínky:

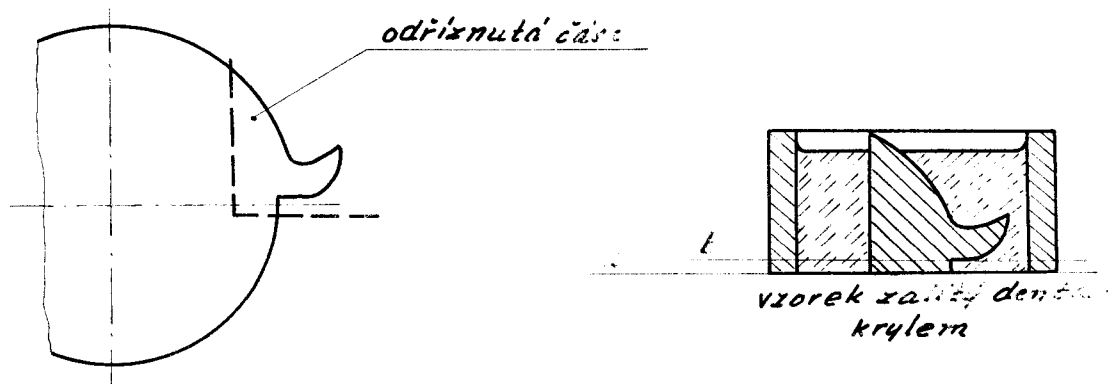
a) $v = 50,2 \text{ m/min.}$
 $s = 0,2 \text{ mm/ot.}$
 $t = 1 \text{ mm}$

b) $v = 50,2 \text{ m/min.}$
 $s = 0,08 \text{ mm/ot.}$
 $t = 1 \text{ mm}$

K získání kořenů třísky bylo použito přerušovače řezu.

3.6.1. Příprava kořenu třísky pro měření směru odchodu třísky

Po získání kořene třísky byl z obráběného materiálu vzorek kořene vyříznut (obr.č. 3.7.)



obr. č. 3.7.

Po vyříznutí vzorku rovnoběžně s čelem nástroje (rovina a) bylo potřeba zalít vzorek do dentakrylu. Po zalití následovalo broušení vzorků na hrubo na brusných papírech o zrnění 80 a 120. Když se přiblížíme k části kořenu třísky, který byl ve styku s čelem nástroje při přerušení řezu, pokračujeme v broušení na metalografických brusných papírech jemně, až se dostaneme k rovině b. (obr. 3.7.) Vzorek je tím připraven k měření směru odchodu třísky v kořenu.

Směr odchodu třísky budeme měřit na profilprojektoru ZEISS.

3.6.2. Směr odchodu třísky v oblasti kořenu třísky. Naměřené hodnoty.

Naměřené úhly odchodu třísky obsahuje tabulka č. 3.2. Směr odchodu třísky na obou vzorcích byl měřen dvakrát, výsledek je tedy aritmetickým průměrem dvou měření.

Tabulka č. 3.2.

řezné podmínky	poměr $\frac{s}{t}$	η°
v=50,2m/min s=0,2mm/ot. t=1 mm	0,2	8°54'
v=50,2m/min s=0,08mm/ot. t=1 mm	0,08	2°54'

3.7. Vyhodnocení směru odchodu třísky

Směry odchodu třísky při různých řezných podmínkách v tabulce č. 3.1. ukazují značné rozptyly. Tabulka č. 3.3. obsahuje výsledky směru odchodu třísky přímým měřením z negativů a měřením směru odchodu v oblasti kořenu třísky při stejných řezných podmínkách. Hodnoty při různých způsobech měření ne-
souhlasí.

Tabulka č.3.3.

v (m/min)	t (mm)	s (mm/ot.)	$\frac{s}{t}$	η°		
				z neg.	kořenu	Zorev
50,2	1	0,2	0,2	8°54'	7°10'	6°
		0,08	0,08	2°54'	3°15'	5°

Směr odchodu třísky měřený v oblasti kořenu třísky odpovídá celkem údajům z literatury. V tabulce č. 3.3. je též srovnávání směru odchodu třísky měřeno v kořenu třísky a z nomogramu (obr. č. 3.5.) podle Zoreva. Pro posuv $s = 0,2 \text{ mm/ot}$ (t.j. $\frac{s}{t} = 0,2$) hodnoty přibližně stejné.

Směr odchodu třísky při $s = 0,08$ (t.j. $\frac{s}{t} = 0,08$) už neodpovídá výsledkům uvedeným v literatuře. Pro tento poměr $\frac{s}{t}$ můžeme provést srovnání z nomogramu (obr. č. 3.5. podle Zoreva) jen přibližně $\frac{s}{t} = 0,1$.

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST - 688/69

Příčiny, které vedly při měření směru odchodu třísky fotografováním k značným rozptylům, nejsou známy. Je možné, že nepřesnosti byly způsobeny násilným odstaňováním třísky při obrábění, která za normálních okolností znemožňovala viditelnost odchodu třísky po čele nástroje při fotografování.

Je možno předpokládat, že pro malé průřezy třísky by bylo lepší pro zjišťování směru odchodu třísky použít měření úhlu odchodu v oblasti kořene třísky.

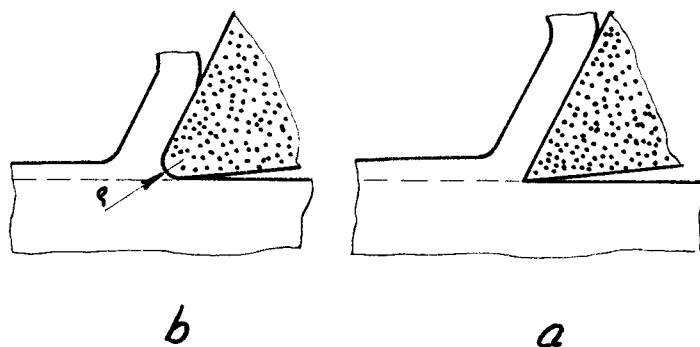
-45-

4. Zpevnění povrchové vrstvy obráběného materiálu

4.1. Teorie

Při třískovém obrábění kovu probíhá kromě toho, že se zdeformuje odebíraná vrstva materiálu (tříska), též plastická deformace pod obrobeným povrchem.

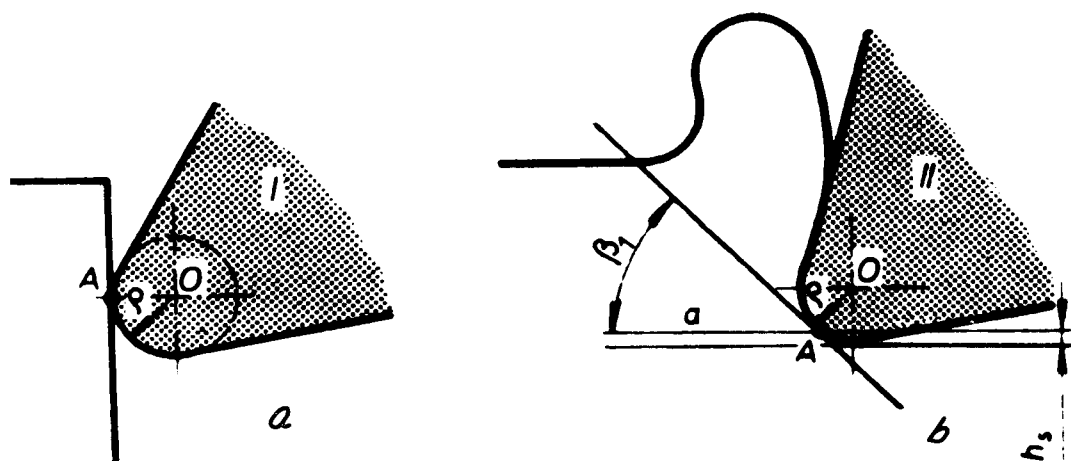
Musíme si uvědomit, že řezný nástroj není ideálně ostrý. Čelo a hřbet nástroje se nestýkají v přímce, ale v určité válcové ploše. (obr.č. 4.1.)



obr. č. 4.1.

- a) obrábění ideálně ostrým nástrojem
- b) obrábění skutečným nástrojem
(r - zaoblení řezné hrany)

Pro představu o obrábění zaobleným nástrojem, všimněme si následujícího obrázku č. 4.2.



obr. č. 4.2.

- a) začátek obrábění
b) průběh obrábění

Na začátku obrábění se nástroj stýká s obrobkem v bodě C. Zde bude I oblast největšího napětí na začátku obrábění. Bod C (největších napětí) se postupně snižuje až zaujme polohu C' ve styku tečny t (se směrnicí odpovídající meznímu úhlu β_1) s poloměrem řezného klínu (obr. č. 4.2.b.). Odřezávaná vrstva materiálu se mění v třísku v oblasti, která leží nad přímkou c. Část kovu, ležící pod touto přímkou se stlačuje nástrojem, přičemž se deformuje a zpevňuje.

Tato teorie neobjasňuje v dostatečné míře zpevnění povrchové vrstvy materiálu a nevysvětluje vliv řezných podmínek na zpevnění povrchové vrstvy.

Při zkoumání příčin zpevnění povrchové vrstvy si musíme též uvědomit, že při obrábění probíhá šíření plastické deformace před řeznou hranou a zatékání plastického materiálu zabrzžděné vrstvy na obrobenou plochu.

Deformace povrchové vrstvy materiálu vyvolává změnu mikrostruktury a změnu některých fyzikálních a mechanických vlastností. Obvykle mluvíme o zpevnění povrchové vrstvy materiálu.

Současné výzkumy povrchové vrstvy materiálu se opírají o strukturální rozborů a o měření mikrotvrdosti v různých místech povrchové vrstvy. Zatím nejužívanější metodou je charakterizovat zpevnění obrobeného povrchu stupněm ztvrdnutí a hloubkou zpevněné vrstvy, t.j. hloubkou, která má větší tvrdost než základní obráběný materiál.

4.2. Vliv deformace struktury v oblasti tvoření třísky na stav povrchové vrstvy materiálu při obrábění

Při obrábění kovů řezným nástrojem se na obrobku vytvoří obrobená plocha; vlastnosti této plochy se podstatně liší od vlastností základního kovu. V závislosti na geometrii, materiálu a dalších činitelů řezného nástroje, tato povrchová vrstva materiálu v různém měřítku bude zdeformovaná.

Hlavní význam deformace povrchové vrstvy materiálu spočívá v tom, že obráběním zdeformovaná povrchová vrstva má jiné vlastnosti, než základní, obráběním neporušená vrstva kovu. Jako každá plastická deformace i tyto deformace povrchové vrstvy mohou způsobit zvýšení meze tečení a změnu houževnatosti materiálu povrchové vrstvy. Vlivem deformací v povrchové vrstvě materiálu vzniknou též vnitřní pnutí. Je pravděpodobné, že výše uvedené změny v povrchové vrstvě obrobku budou mít vliv též na způsob jeho použití.

Prozatím nejsou vypracovány spolehlivé metody pro výzkum vlivu deformace struktury v oblasti tvorby třísky na stav povrchové vrstvy materiálu.

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP ST - 688/69

Největší těžkosti při řešení této otázky jsou v tom, že výzkum tečení materiálu v oblasti tvoření třísky je velmi náročný. Proto se většina badatelů soustřeďuje na matematické zjišťování velikostí sil v této oblasti, ale bez důkladného studia procesu tečení materiálu. Neznáme-li průběh procesu tečení materiálu v oblasti tvoření třísky, nemůžeme dostatečně přesně charakterizovat ani působící síly v povrchově zpevněné vrstvě materiálu.

Při procesu obrábění kovů musíme mimo složitých objemových změn a deformací přihlížet především k vlivu různých činitelů, které způsobují při tomto procesu tečení materiálu. Teprve známe-li tyto vlivy, můžeme použít matematickou teorii plastičnosti a aplikovat ji též na zobecnění při zkoumaném jevu.

A.I. Isajev při sledování zpevnění povrchové vrstvy materiálu vycházel z toho, že podle možností podrobně prozkoumá proces tečení materiálu v obrobené ploše. Deformace v oblasti tvoření třísky zkoumal až potom, když poznal zákonitosti tečení kovu v obrobené ploše a v kovu tvořícím třísku.

4.2.1. Dosavadní výzkumy

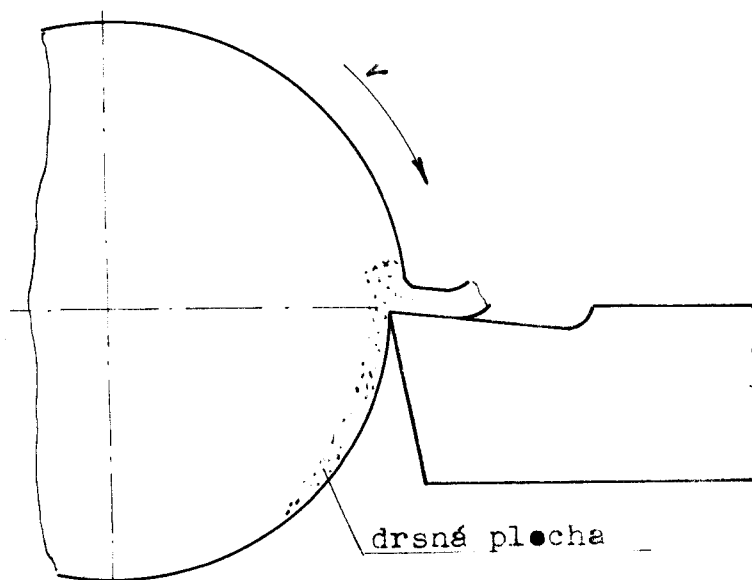
Ruský badatel Usačev v r. 1914 zjistil, že plastická deformace kovu v oblasti tvoření třísky přesahuje střižnou rovinu, jak před nástrojem, tak za nástrojem.

Handwritten notes:
 1. Vliv tečení
 2. Vliv zpevnění
 3. Vliv třísky
 4. Vliv nástroje

- 49 -

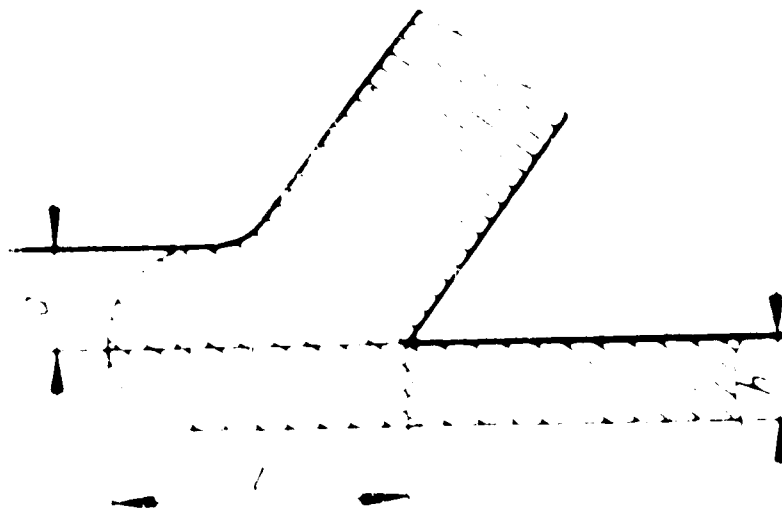
Usačev při svých pokusech sledoval odrazivost světla na čelní ploše leštěné kruhové ocelové desky. Při obrábění soustružnickým nožem totiž zjistil, že leštěná čelní plocha ztrácí lesk a je drsná.

(obr. č. 4.3.) Z tloušťky drsné plochy usuzoval na hloubku plastické deformace.



obr. č. 4.3.

A.M. Rozenberg zveřejnil výsledky svých výzkumů o tvorbě třísky v r. 1929. V pracech se zabýval též rozsahem plastické deformace pod obrobeným povrchem a v oblasti před ostřím nástroje. Rozsah oblasti plastické deformace materiálu zjišťoval metalograficky. Zjišťoval mikrotvrdost struktury kovu a podle ní určil oblast plastické deformace materiálu. (obr. č. 4.5.)



obr. 8. 4. 5.

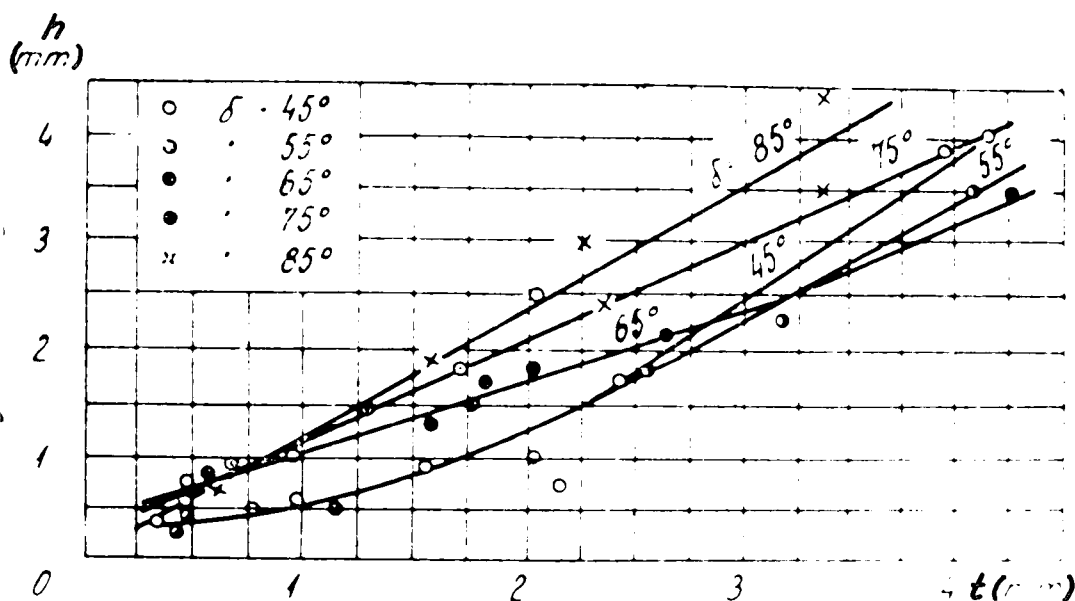
Rozenbergovy závěry jsou stručně uvedeny v tab.
8. 4. 1.

Tabulka 8. 4.1.

$\phi = 55^\circ$ (uhel rezu)			$\phi = 85^\circ$ (uhel rezu)		
a (mm) tloušťka třísky	h (mm) def. vrstva	l (mm) rozsah plastické deformace	a (mm) tloušťka třísky	h (mm) def. vrstva	l (mm) rozsah plastické deformace
0,4	0,25	1,5	0,65	0,75	3,6
0,5	0,7	2,7	1,6	1,9	11,5
1,2	0,50	1,9	2,30	3,00	12,5
1,8	1,5	6,0	2,40	2,50	10,0
2,1	3,1	3,5	3,40	4,20	23,5
2,5	1,7	8,0			
2,6	1,8	—			
3,2	2,25	8,5			
4,1	3,50	12,5			

Z pokusů Rozenberga vyplývá, že u ocelí s malým obsahem uhlíku a při malých řezných rychlostech ($v \rightarrow 0$) je rozsah plastické deformace před i pod nástrojem značný (viz h a l v tab.č.1) - obr.č.4.5. Mezi hloubkou řezu (a) a mezi hloubkou zpevněné vrstvy (h) je dle tab. č. 4.1. závislost lineární jen přibližně; vlivem této nelinearity vzniká mezi zákonitou změnou $h=f \cdot (l)$ určitý rozptyl. Např. při úhlu řezu $\phi = 85^\circ$ a hloubce řezu $a = 3,4\text{mm}$ při jednom pokusu bylo naměřeno $h = 4,2\text{mm}$ a při jiném $h = 3,5\text{mm}$. Podle tabulky č. 1 $h = 2,5\text{mm}$ při $a=2,4\text{mm}$. Obr. č. 4.6. znázorňuje závislost $h=f(a)$ podle Rozenberga. Rozdíly se také ukazují, měříme-li hodnotu 1.

Podobné odchylky můžeme zjistit v tab. č. 4.1. Činitelé způsobující výše uvedené odchylky Rozenberg nezjistil. Lze však předpokládat, že tyto odchylky jsou způsobeny změnami v oblasti tvoření třísky.



obr. č. 4.6.

Podle Rozenberga při zvětšení hloubky řezu (a) vzroste hloubka zpevněné vrstvy (h). Rozenberg pouze konstatuje tento jev a nevysvětluje jeho mechanismus.

K.A. Kravčenko a V.N. Ľulenev provedli rentgenografické zkoušky, aby zjistili zpevnění povrchové vrstvy při soustružení mosazi.

Řezné podmínky byly následující:

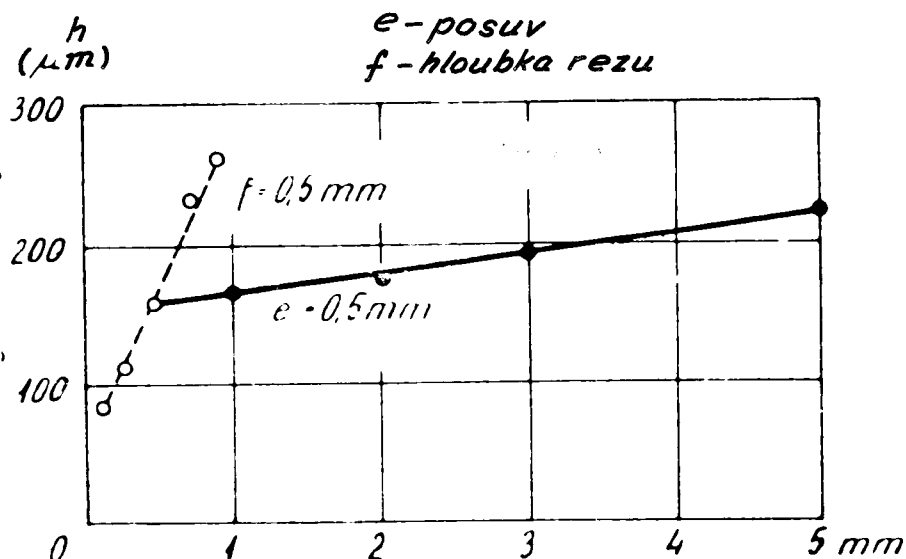
$$v = 5 \div 252 \text{ m/min.}$$

$$S = 0,1 \div 0,9 \text{ mm/ot.}$$

$$t = 0,5 \div 5 \text{ mm}$$

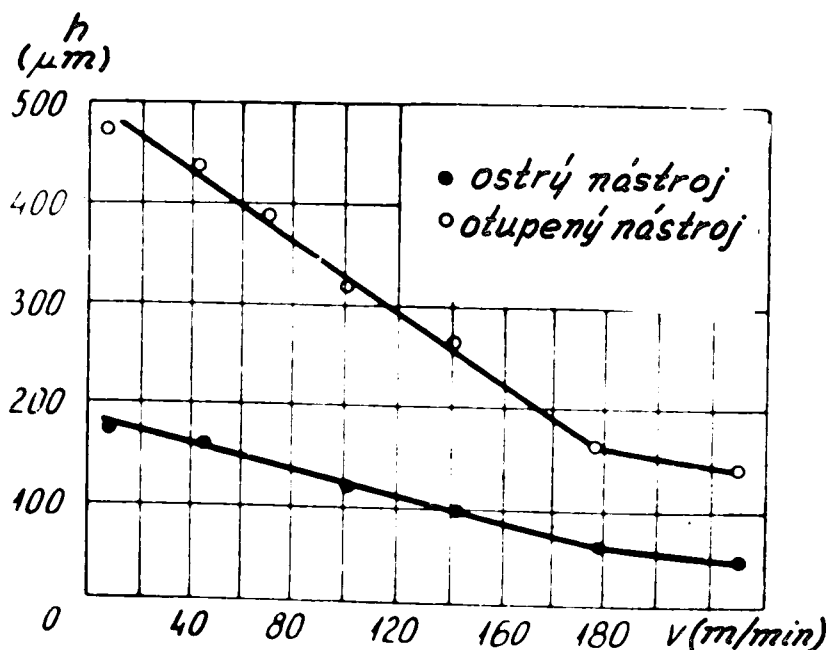
Po soustružení vzorků za uvedených řezných podmínek provedli vyhodnocení rentgenogramů s následujícími závěry:

Velmi jemnozrnná zdeformovaná struktura přímo pod obrobeným povrchem postupně ubývá směrem od povrchu do větší hloubky.



obr. č. 4.7.

Obr. č. 4.7. znázorňuje vliv posuvu (s) a hloubky řezu (t) na hloubku zpevněné vrstvy.



obr. č. 4.8.

Jak je vidět z grafu, na hloubku zpevnění má větší vliv posuv než hloubka řezu. Autoři připomínají, že vliv posuvu na hloubku zpevněné vrstvy je zákonitý a závisí na řezné rychlosti.

Obr. č. 4.8. znázorňuje vliv řezné rychlosti na hloubku zpevněné vrstvy v případě, použijeme-li ostrý nebo otupený soustružnický nůž. Zvýšení řezné rychlosti značně snižuje hloubku zpevněné vrstvy. Přitom hloubka zpevnění je mnohem větší, použijeme-li nástroj otupený.

Vliv řezné rychlosti na hloubku zpevněné vrstvy můžeme vysvětlit takto: zvyšováním řezné rychlosti se zvýší i teplota řezání a tím i teplota obrobenej plochy za nástrojem. Vlivem ohřevu částečně klesá zpevnění (levá strana grafu obr. č. 4.8.)

Při dosažení určité řezné rychlosti bude hloubka zpevnění méně intenzivní (pravá strana křivky - obr. č. 4.8.).

Vliv teploty pravděpodobně nebude hlavním činitelem, který ovlivňuje hloubku zpevnění. Jak dále autoři dokazují, hlavním činitelem jsou změny v podmínkách tečení obráběného materiálu se změnou řezné rychlosti.

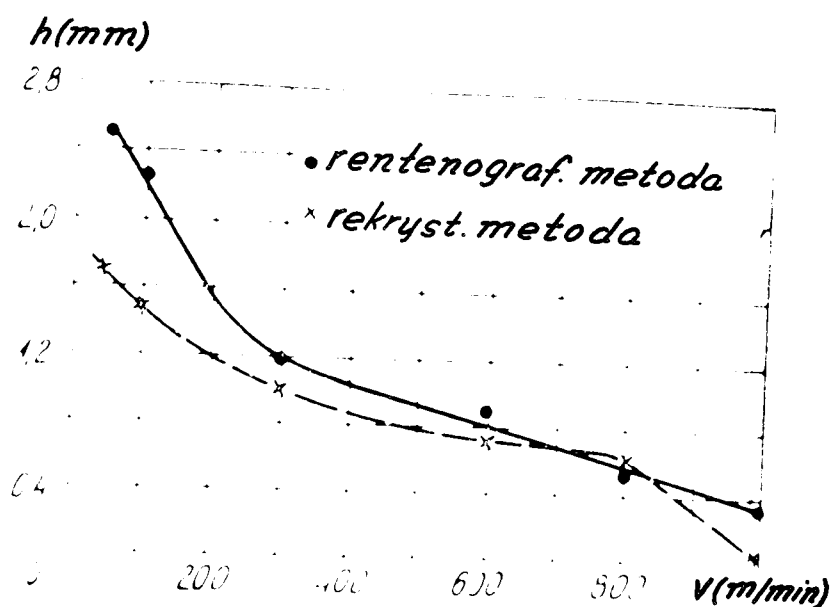
Z prací Kravčenka, Selišského a Tuleněva je nejvýznamnější to, že své výzkumy prováděli v širokém rozsahu řezných podmínek, přičemž dospěli k závěru, že hloubka zpevnění při soustružení mosazi nepřesahuje $h = 0,5\text{mm}$, i když soustružení provádíme otupeným nástrojem. K podobným závěrům došli Tovpeně a Voskresenskij při soustružení oceli, když sledovali hloubku zpevněné vrstvy rentgenograficky.

Větší hloubka zpevnění vrstvy podle prací Rozenbergových je charakteristická pravděpodobně jen pro takové povrchy, které byly obrobena při malých řezných rychlostech, při nichž bylo na čele nástroje pozorováno intenzivní tvoření nárůstků.

Přítomnost nárůstku velmi komplikuje podmínky pohybu obrobeného povrchu po hřbetní části nárůstku. Nárůstek totiž způsobuje intenzivní deformace struktury pod obrobeným povrchem.

Velmi zajímavé jsou práce zpevnění hliníku, které provedl Ždanova v Sibiřském fyziko-technickém výzkumném ústavu způsobem rentgenografickým. Obráběl hliník jednozubovou frézou při $v = 50 \div 1000 \text{ m/min}$. Pokusy ukázaly, že se povrchová krystalická mřížka hliníku při malých řezných rychlostech intenzivně deformuje.

Deformace se zmenšuje se zvyšováním řezné rychlosti. Současně s rentgenografickým měřením zpevnění povrchové vrstvy Ždanov zkoumal hloubku zpevnění i způsobem rekrytalizačním. Výsledky pokusů znázorňuje graf na obr. č. 4.9.



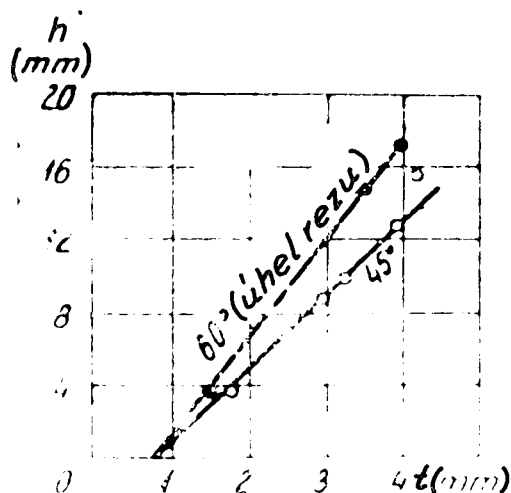
obr. č. 4.9.

V obou způsobech měření bylo shledáno, že hloubka zpevnění se zmenšuje se zvyšováním řezné rychlosti.

Vyhodnocováním rentgenogramů dospěl Ždanov dále k závěru, že při $v < 600$ m/min. v obrobeném povrchu vzniknou tlaková napětí, při $v > 600$ m/min. povrchová napětí již nevzniknou.

N. S. Simanskij poukázal na to, že v případě obrábění cínu hloubka vnikání plastické deformace do obrobeného povrchu velmi záleží na hloubce řezu.

Závislost ukazuje obr. č. 4.10.a.



obr. č. 4. 10.a.

Autor provedl pokusy pro hloubky řezu $t = 1,4 \text{ mm}$. Výsledky by byly zajímavější při menších hloubkách řezu. Je totiž pravděpodobné, že získaná závislost $h = f(t)$ by byla pro menší hloubky řezu a při obrábění pevnějšího materiálu. Velká hloubka zpevnění v případě obrábění cínu (až 16 mm) je charakteristická pro materiály s velkou tvárností za studena a pro velmi malé řezné rychlosti.

J.A. Sudenok zkoumal vliv úhlu řezu na hloubku zpevněné vrstvy. Je velká škoda, že své pokusy provedl pro větší hloubky řezu, od $t = 0,5 \text{ mm}$. Z grafu na obr. č. 4.10.b. vidíme velký vliv úhlu řezu na hloubku zpevněné vrstvy.

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP ST - 688/69

Z výsledků pokusů dříve uvedených můžeme vyvodit následující závěry :

- 1) V procesu obrábění se obrobená povrchová vrstva kovu trvale deformuje.
- 2) Stupeň deformace pod obrobeným povrchem závisí na v , s , úhlu řezu, poloměru špičky nástroje. Vliv hloubky řezu je méně výrazný.
- 3) Mechanismus deformace povrchové vrstvy zatím není prozkoumán. Většina badatelů se shoduje v tom, že zpevnění povrchové vrstvy obráběného materiálu plyne ze vzniku deformačních vln, které se pohybují před čelem nástroje a pronikají pod rovinu řezu.
- 4) O povrchovém napětí, které zůstává pod obrobeným povrchem, zatím nejsou spolehlivé údaje. Podle některých autorů v povrchové vrstvě budou působit napětí tlaková, podle jiných v různých vrstvách pod povrchem budou napětí různá.
- 5) Dřívější četné pokusy umožňují definovat stav obrobeného povrchu, ale neumožňují vysvětlení fyzického procesu, který probíhá při zpevňování povrchové vrstvy materiálu.

$h(\quad)$

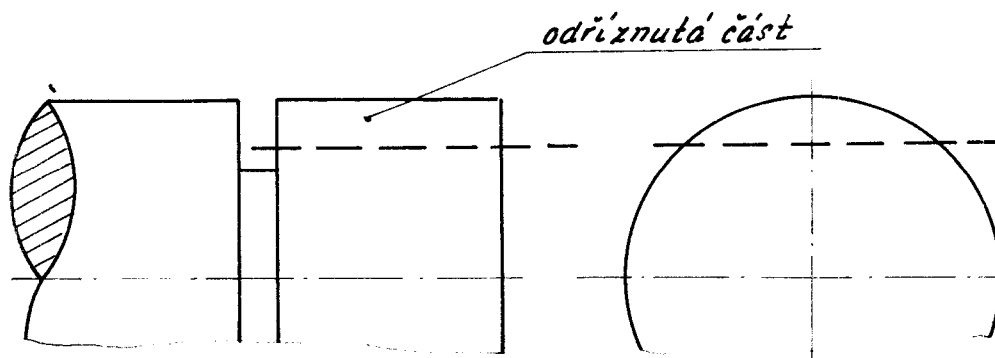
úhel rezu

obr. č. 4.10.b.

4.3. Provádění zkoušek

Vzhledem k tomu, že hloubka zpevněné vrstvy je malá (několik desítek μm), měříme mikrotvrdost na šikmém řezu obrobeneho povrchu.

Po soustružení při uvedených řezných podmínkách, pro každou řeznou podmínku byl vyříznut jeden vzorek podle obr. č. 4.11. z obrobeneho materiálu.

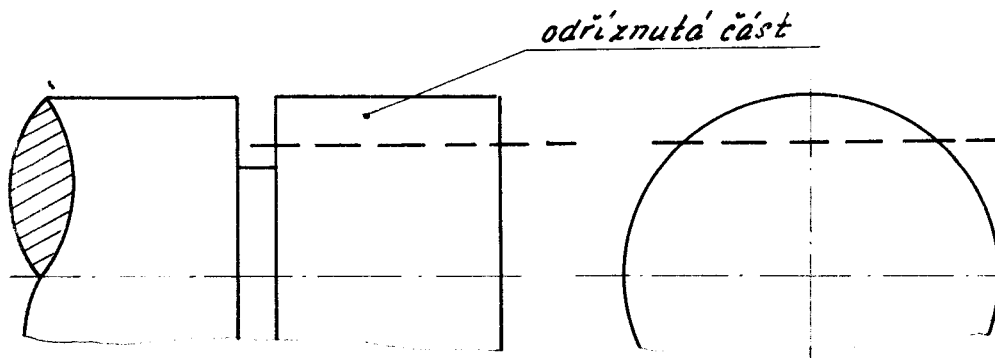


obr. č. 4.11.

4.3. Provádění zkoušek

Vzhledem k tomu, že hloubka zpevněné vrstvy je malá (několik desítek μm), měříme mikrotvrdost na šikmém řezu obrobeneho povrchu.

Po soustružení při uvedených řezných podmínkách, pro každou řeznou podmínku byl vyříznut jeden vzorek podle obr. č. 4.11. z obrobeneho materiálu.

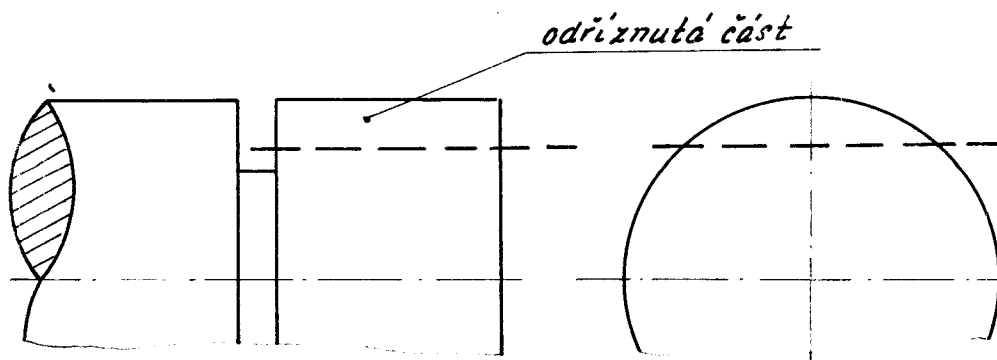


obr. č. 4.11.

4.3. Provádění zkoušek

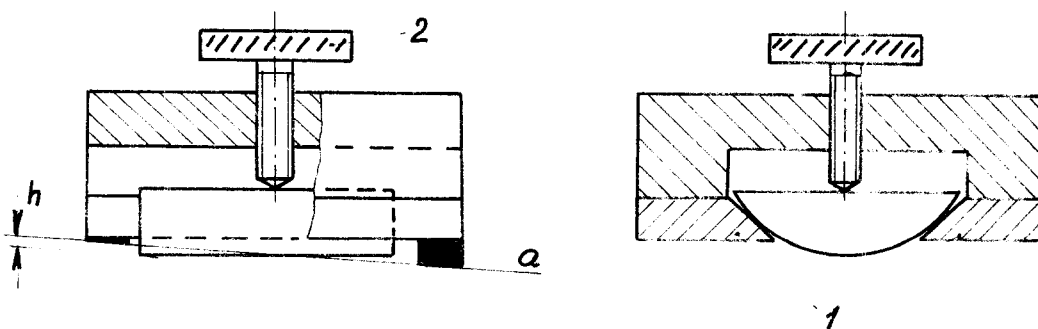
Vzhledem k tomu, že hloubka zpevněné vrstvy je malá (několik desítek μm), měříme mikrotvrdost na šikmém řezu obrobeneho povrchu.

Po soustružení při uvedených řezných podmínkách, pro každou řeznou podmínku byl vyříznut jeden vzorek podle obr. č. 4.11. z obrobeneho materiálu.



obr. č. 4.11.

Odříznutý vzorek se dá do přípravku podle obr. č. 4.12 a šroubem (2) se dotáhne, až vzorek se opře o prizmatickou část přípravku (1). (přípavek viz příloha č. 3.)



obr. č. 4.12.

VŠST Liberec	Kinematika	obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	Katedra DP ST - 688/69
Přípravek je proveden tak, že mezi opěrnou rovinou přípravku (opěrná plocha přípravku je vytvořena z plátků slinutého karbidu) a mezi povrchem vloženého vzorku je úhel 1°. Vzorek můžeme posunout v přípravku tak, aby část válcové plochy vzorku sahala pod opěrnou rovinu přípravku v libovolné míře h. V přípravku provedeme broušení vzorku postupně na smirku o zrnění 120 a 280. Broušení provádíme tak dlouho, až odbrousíme část vzorku vyčnívající pod opěrnou rovinu přípravku. V konečné fázi bude broušený přípravek s opěrnou plochou a obroušená plocha vzorku sedět na smirku. Část válcové plochy vzorku bude tedy odbroušena pod úhlem 1° a s tím je vytvořen šikmý řez. Následuje pak provedení metalografického výbrusu šikmé plochy, leštění, leptání. 4.3.1. <u>Metalografický výbrus, leštění a leptání</u> Vzorky byly broušeny na metalografických brusných papírech postupně od papíru č.0 až 5/0. Po pečlivém dobroušení na brusném papíru 5/0 vzorky byly leštěny na leštičce v 20%-ním roztoku spinelinu. Pak následuje leptání 3%-ním nitalem, pro zviditelnění struktury. Vzorky jsou tím připraveny k mikroskopickému porovnání a k měření mikrotvrdomosti zpevněné povrchové struktury. 4.3.2. <u>Měření mikrotvrdomosti zpevněné vrstvy</u> K měření mikrotvrdomosti byl použit Zeisův metalografický mikroskop NEOPHOT II s upraveným objektivem, který využívá k měření mikrotvrdomosti Hanemanova		

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP ST - 688/69

principu. V čočce objektivu je zabudován diamantový Vickersův jehlan.

Při zjišťování mikrotvrdomosti Hanemanovým mikrotvrdoměrem nejprve zamíříme na určitou strukturní složku. Přitom slouží Hanemanův mikrotvrdoměr jako normální objektiv, kterým zaostřujeme obvyklým způsobem. Potom přiblížíme objektiv k upevněnému vzorku. V tom okamžiku zmizí obraz struktury a objeví se obraz stupnice zatížení, která se začne pohybovat, když se vrchol Vickersova diamantového jehlanu dotkne vzorku. Pohyb stupnice pozorujeme okulárem a tlak $5 \div 100$ g vyvozujeme natáčením točítka hrubého posuvu. Pak oddálíme objektiv až se znovu objeví obraz struktury s vtiskem.

Z velikosti úhlopříčky vtisku u v μm a zatížení P v gramech vypočteme mikrotvrdomost v kg/mm^2 podle vzorce:

$$H_{vm} = \frac{P}{F} = \frac{1855 \cdot P}{u^2}$$

(Podrobnosti jsou uvedeny v Zeissově prospektu s přesným návodem k použití, způsobem cejchování a ošetřování Hanemanova mikrotvrdoměru).

4.3.2.
Cejchování mikrotvrdoměru

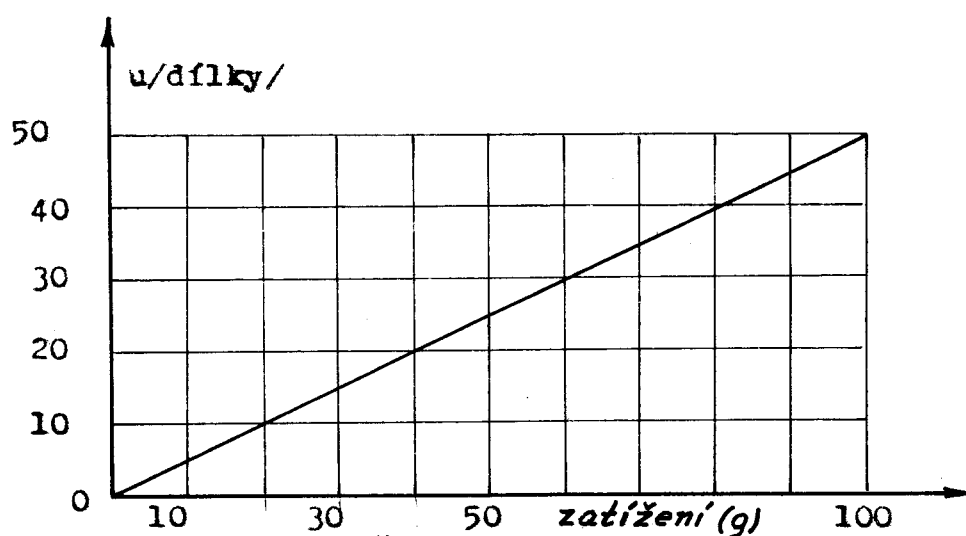
Před měřením mikrotvrdomosti provádíme cejchování přístroje. Cejchování provádíme pro zatížení 5, 10, 20, 50 a 100 g. Určitému zatížení odpovídá určitý počet dílků na stupnici, podle které nastavíme požadované zatížení.

Tabulka č. 4.2. obsahuje údaje, podle kterých sestavíme cejchovací křivku.

Tabulka č.4.2.

zatížení/g/	5	10	20	50	100
u /dílků/	2,6	5,1	10,0	23,8	49,5

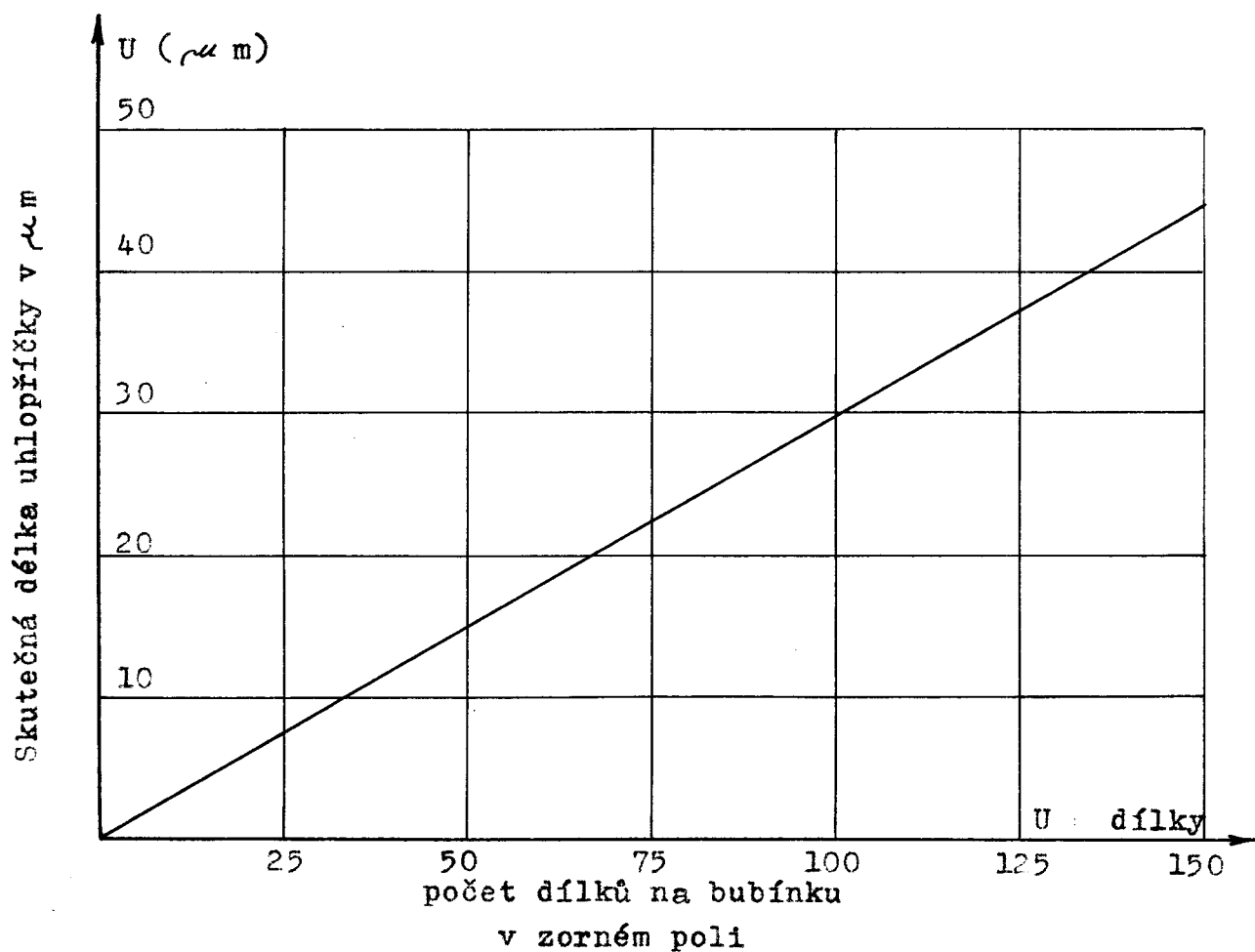
Obrázek č.4.13. znázorňuje cejchovací křivku mikrotvrdoměru.



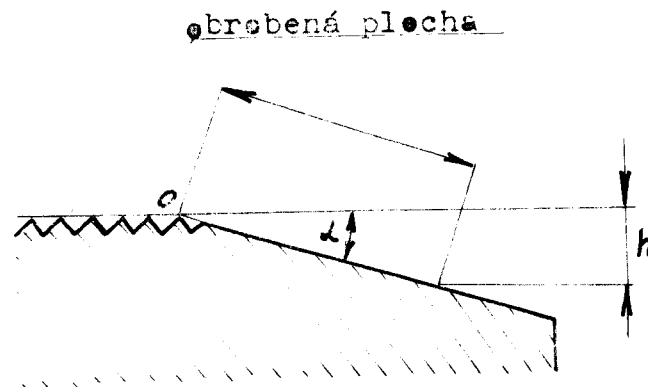
obr. č. 4.13.

Pro měření mikrotvrdosti struktury zvolíme zatížení 50 g dobu 30". Po odlehčení měříme úhlopříčku vtisku, kterou odečteme v dílcích v okuláru a na bubínku okulárové hlavičky. Pro přepočet počtu dílků v okuláru na m slouží graf na obr.č.4.14.

Mikrotvrdost v závislosti na hloubce pod obrobeným povrchem měříme na šikmém řezu. Posunutím vzorku ve směru s o určitou míru h_s dostaneme do hloubky h pod obrobeným povrchem obr. č. 4.15.



obr. č. 4.14.



obr. č. 4.15.

Hloubku pod obrobeným povrchem určujeme obecně ze vztahu:

$$h = h_s \cdot \sin \alpha$$

kde $\alpha = 1^\circ$

Vzhledem k tomu, že struktura obráběného materiálu (ocel 12060.1) je feriticko-perlitická, s převládajícím perlitem, měříme zpevnění perlitu.

Měření mikrotvrdosti zpevněné povrchové vrstvy bylo prováděno pro následující řezné podmínky:

$$v = 50,2 \text{ m/min.}$$

$$v = 100,4 \text{ m/min}$$

$$v = 147 \text{ m/min.}$$

pro posuvy $s = 0,051; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20 \text{ mm/ot.}$
a hloubky řezu $t = 1,5; 1,0; 0,5 \text{ mm}$

Z naměřených hodnot sestojíme graf závislosti $H_{vm} = f(s)$ při $v = \text{konst}$ a $t = \text{konst}$.

Nástroj (soustružnický nůž) s destičkou slinutého karbidu S1 má následující geometrii:

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra	obrábění a ekonomiky
Fakulta	tvorby třísky	DP	ST - 688/69
strojní			

$\kappa = 60^\circ$
 $\kappa_r = 30^\circ$
 $\gamma = 10^\circ$
 $\lambda = 8^\circ$
 $r = 0,3 \text{ mm}$

Materiál určený k obrábění byl před započatím zkoušek hrubován za těchto rezných podmínek:

$v = 100 \text{ m/min.}$
 $s = 0,1 \text{ mm/ot.}$
 $t = 1 \text{ mm}$

Soustružení bylo prováděno na soustruhu SU 32.

-65-

4.3.4.

Výsledky měření zpevnění povrchové vrstvy materiálu

 $v = 50,2 \text{ m/min};$ $s = 0,06 \text{ mm/ot};$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u (μm)	$H_{V_{10}}$ kp/mm ²	u dílky	u (μm)	$H_{V_{10}}$ kp/mm ²	u dílky	u (μm)	$H_{V_{10}}$ kp/mm ²
1.	1,7	53,5	16,9	324	54	17	320	53,5	16,9	324
2.	3,4	57,7	18,2	280	57,5	18	286	54,9	17,2	313
3.	5,6	62	19,5	380	60,5	19	256	57,5	18	286
4.	6,9	60,5	19	259	63,5	20	231	59	18,5	271
5.	8,7	63,5	20	231	62	19,5	234	62,3	19,6	241
6.	10,4	62	19,5	234	63,5	20	231	63	19,9	234
7.	12	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231
8.	13,9		20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

 $v = 50,2 \text{ m/min};$ $s = 0,072 \text{ mm/ot};$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u (μm)	$H_{V_{10}}$ kp/mm ²	u dílky	u (μm)	$H_{V_{10}}$ kp/mm ²	u dílky	u (μm)	$H_{V_{10}}$ kp/mm ²
1.	1,7	54,9	17	289	57,5	18	286	54	17	289
2.	3,4	59	18,5	271	57,7	18,2	280	56	17,6	299
3.	5,6	62	19,5	234	59	18,5	271	57,5	18	286
4.	6,9	61	19,2	251	63,5	20	231	58,2	18,3	277
5.	8,7	63,5	20	231	62,8	19,8	236	60,5	19	259
6.	10,4	63,5	20	231	63,5	20	231	60,5	19	259
7.	12	62,7	19,7	239	62,7	19,7	239	63,5	20	231
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

$v = 50,2 \text{ m/min};$ $s = 0,1 \text{ mm/ot};$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u μm	$H_{V_{1000}}^2$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{1000}}^2$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{1000}}^2$ kp/mm ²
1.	1,7	55,7	17,5	306	58,2	18,3	277	54,9	17,2	313
2.	3,4	57,5	18	286	59	18,5	271	59,5	18,7	292
3.	5,6	59	18,5	271	60,5	19	256	58,2	18,3	277
4.	6,9	63,5	20	231	62,7	19,7	239	60,5	19	259
5.	8,7	62	19,5	234	63,5	20	231	61,7	19,4	246
6.	10,4	63,5	20	231	62,8	19,8	236	62,3	19,6	241
7.	12	62,7	19,7	239	63,5	20	231	63,5	20	231
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

 $v = 50,2 \text{ m/min};$ $s = 0,145 \text{ mm/ot};$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u μm	$H_{V_{1000}}^2$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{1000}}^2$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{1000}}^2$ kp/mm ²
1.	1,7	57,5	18	286	60,5	19	259	55,7	17,5	306
2.	3,4	58,2	18,3	277	62	19,5	234	57	17,9	289
3.	5,6	59	18,5	271	62,7	19,7	239	57	17,9	289
4.	6,9	63,5	20	231	63	19,9	234	60,7	19,1	254
5.	8,7	63,5	20	231	63,5	20	231	62,8	19,8	236
6.	10,4	62	19,5	234	62,8	19,8	236	63,5	20	231
7.	12	63,5	20	231	63,5	20	231	63	19,9	234
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

$v = 50,2 \text{ m/min};$ $s = 0,2 \text{ mm/ot};$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u μm	$H_{V_{10}}$ kp/mm^2	u dílky	u μm	$H_{V_{10}}$ kp/mm^2	u dílky	u μm	$H_{V_{10}}$ kp/mm^2
1.	1,7	56,8	17,8	292	57,7	18,2	280	54	17	320
2.	3,4	57,5	18	286	60,5	19	259	56,8	17,8	292
3.	5,6	58,2	18,3	377	61,7	19,4	246	56,8	17,8	292
4.	6,9	59	18,5	271	62,8	19,8	236	60	18,9	259
5.	8,7	63,5	20	231	63,5	20	231	62	19,5	234
6.	10,4	63,5	20	231	62,8	19,8	236	62,8	19,8	236
7.	12	60,5	19	259	63,5	20	231	63,5	20	231
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

$v = 100,4 \text{ m/min.}$ $s = 0,06 \text{ mm/ot;}$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
		u dílky	u mm	$H_{V_{10}} \text{ mm}^{-2}$	u dílky	u mm	$H_{V_{10}} \text{ mm}^{-2}$	u dílky	u mm	$H_{V_{10}} \text{ mm}^{-2}$
1.	1,7	54	17	320	62	19,5	249	52,5	16,5	340
2.	3,4	55	17,3	309	55,7	17,5	302	53	16,7	332
3.	5,6	60,5	19	259	59,5	18,7	265	60,5	19	259
4.	6,9	62,7	19,7	239	59	18,5	271	62	19,5	234
5.	8,7	63,5	20	231	54,9	17,2	310	62,8	19,8	236
6.	10,4	60,5	19	259	59,5	18,7	265	63,5	20	231
7.	12	62	19,5	234	63,5	20	231	62	19,5	243
8.	13,9	62	19,5	234	63,5	20	231	63,5	20	231

 $v = 100,4 \text{ m/min.}$ $s = 0,072 \text{ mm/ot;}$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
		u dílky	u μm	$H_{V_{10}} \text{ mm}^{-2}$	u dílky	u μm	$H_{V_{10}} \text{ mm}^{-2}$	u dílky	u μm	$H_{V_{10}} \text{ mm}^{-2}$
1.	1,7	49,5	15,5	386	57,5	18	286	53,2	16,8	328
2.	3,4	57,5	18,	286	57,7	18,2	280	54	17	320
3.	5,6	59,2	18,6	268	57,7	18,2	280	55,7	17,5	302
4.	6,9	57,7	18,2	280	57,5	18	286	61,5	19,3	249
5.	8,7	59,2	18,6	268	62,7	19,7	239	57,7	18,2	280
6.	10,4	60,5	19	259	62,7	19,7	239	63,5	20	231
7.	12	60,5	19	259	63,5	20	231	62	19,5	234
8.	13,9	62,7	19,7	239	63,5	20	231	63,5	20	231

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra	obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP	ST - 688/69

$v = 100,4 \text{ m/min}; \quad s = 0,1 \text{ mm/ot};$

		$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
	$h(\mu\text{m})$	u dílky	u μm	H_{Vm} kp/mm^2	u dílky	u μm	H_{Vm} kp/mm^2	u dílky	u μm	H_{Vm} kp/mm^2
1.	1,7	52,2	16,3	349	66,7	21	210	54	17	320
2.	3,4	57,5	18	286	62	19,5	234	55,7	17,5	302
3.	5,6	62	19,5	234	62	19,5	234	57,5	18	286
4.	6,9	59	18,5	271	57,5	18	286	59,5	18,7	259
5.	8,7	60,5	19	259	59	18,5	271	63,5	20	231
6.	10,4	62,7	19,7	239	62	19,5	234	62	19,5	234
7.	12	63,5	20	231	59,5	18,7	265	63,5	20	231
8.	13,9	63,5	20	231	62	19,5	234	63,5	20	231

$v = 100,4 \text{ m/min}; \quad s = 0,145 \text{ mm/ot};$

		$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
	$h(\mu\text{m})$	u dílky	u μm	H_{Vm} kp/mm^2	u dílky	u μm	H_{Vm} kp/mm^2	u dílky	u μm	H_{Vm} kp/mm^2
1.	1,7	59,5	18,7	259	63,5	20	231	54,2	17,3	309
2.	3,4	59	18,5	271	59	18,5	271	55,7	17,5	299
3.	5,6	63,5	20	231	59	18,5	271	58,2	18,3	277
4.	6,9	62,7	19,7	239	62	19,5	234	59	18,5	271
5.	8,7	62	19,5	234	63,5	20	231	62,7	19,7	239
6.	10,4	63,5	20	231	62	19,5	234	63,5	20	231
7.	12	62,7	19,7	239	62,7	19,7	239	62	19,5	234
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

$v = 100,4 \text{ m/min}; \quad s = 0,2 \text{ mm/ot};$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
		u dílky	u μm	$H_{V_{100}}^2$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{100}}^2$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{100}}^2$ kp/mm ²
1.	1,7	57,5	18	286	60,5	19	256	57,5	18	286
2.	3,4	59,5	18,7	265	65,2	20,5	220	59	18,5	271
3.	5,6	62	19,5	234	62	19,5	234	60,5	19	256
4.	6,9	63,5	20	231	62	19,5	234	62,8	19,8	236
5.	8,7	62	19,5	234	65	20,2	227	63,5	20	231
6.	10,4	62,7	19,7	239	63,5	20	231	62,7	19,7	239
7.	12	63,5	20	231	65,2	20,5	220	63,5	20	231
8.	13,9	62,7	19,7	239	65,2	20,5	220	63,5	20	231

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP ST -- 688/69

$v = 147 \text{ m/min.} \quad z = 0,06 \text{ mm/ot.}$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u m	H_{Vm} kp/mm ²	u dílky	u m	H_{Vm} kp/mm ²	u dílky	u m	H_{Vm} kp/mm ²
1.	1,7	62,8	19,8	236	60	18,9	259	62	19,5	243
2.	3,4	59,2	18,6	268	54,9	17,2	313	58,6	18,4	274
3.	5,2	60	18,9	259	57	17,9	284	57,7	18,2	280
4.	6,9	62	19,5	243	60	18,9	259	62,8	19,8	236
5.	8,7	63,5	20	231	62,8	19,8	236	63	19,9	234
6.	10	62,8	19,8	236	63	19,9	234	62,8	19,8	236
7.	12	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231
8.	13,9	63	19,9	234	63,5	20	231	63	19,9	234

$v = 147 \text{ m/min.} \quad s = 0,072 \text{ mm/ot.}$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5\text{mm}$			$t = 1\text{mm}$			$t = 0,5\text{mm}$		
		u dílky	u m	H_{Vm} kp/mm ²	u dílky	u m	H_{Vm} kp/mm ²	u dílky	u m	H_{Vm} kp/mm ²
1.	1,7	62,7	19,7	239	57,5	18	286	61,7	19,4	246
2.	3,4	60,7	19,1	254	56	17,6	299	59	18,5	271
3.	5,2	63	19,9	234	57	17,9	289	58,6	18,4	274
4.	6,9	62,8	19,8	236	59,5	18,7	259	63	19,9	234
5.	8,7	63,5	20	231	63	19,9	234	62,8	19,8	236
6.	10	63	19,9	234	63,5	20	231	62,7	19,7	239
7.	12	63,5	20	231	63	19,9	234	63,5	20	231
8.	13,9	63,5	20	231	63	19,9	234	63,5	20	231

$v = 147 \text{ m/min.}$ $s = 0,1 \text{ mm/ot.}$

	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
		u dílky	u m	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²	u dílky	u m	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²	u dílky	u m	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²
1.	1,7	62,3	19,6	241	59,2	18,6	268	62,8	19,8	236
2.	3,4	62,8	19,8	236	55	17,3	309	62,7	19,7	239
3.	5,6	63	19,9	234	61	19,2	251	63	19,9	234
4.	6,9	63	19,9	234	62,8	19,8	236	62,8	19,8	236
5.	8,7	63,5	20	231	63	19,9	234	63	19,9	234
6.	10,4	62,8	19,8	236	63,5	20	231	63,5	20	231
7.	12	63	19,9	234	62,8	19,8	236	63	19,9	234
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

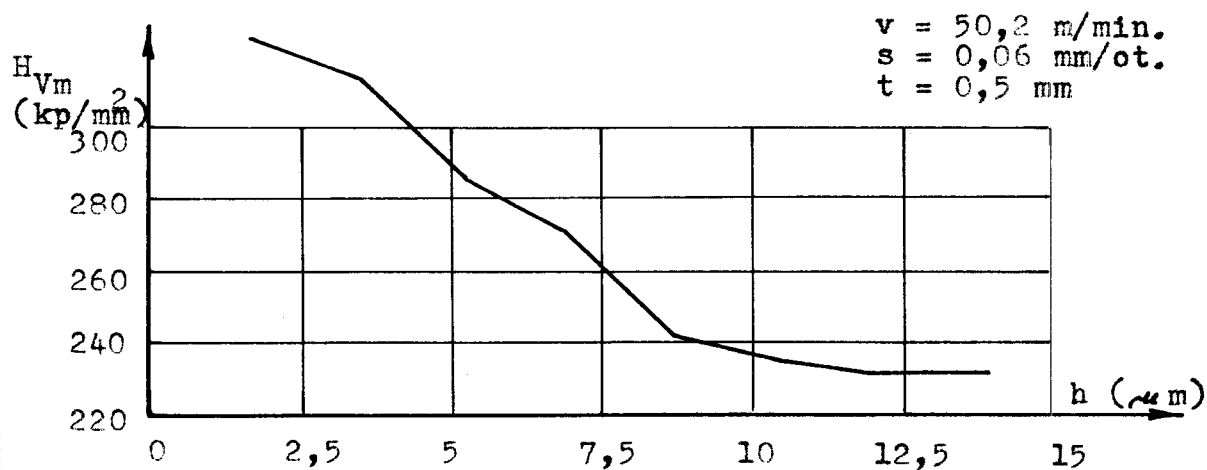
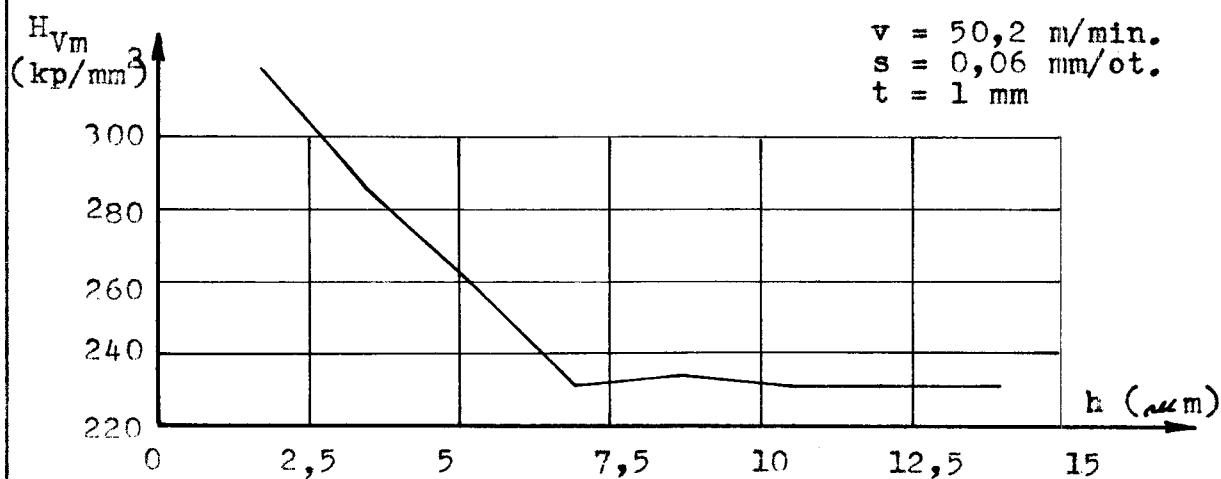
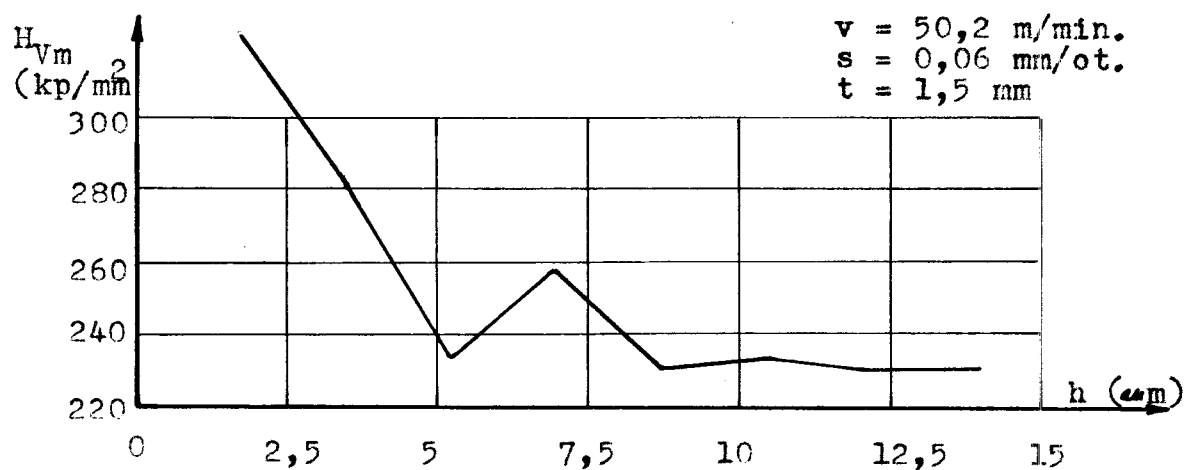
 $v = 147 \text{ m/min.}$ $s = 0,145 \text{ mm/ot.}$

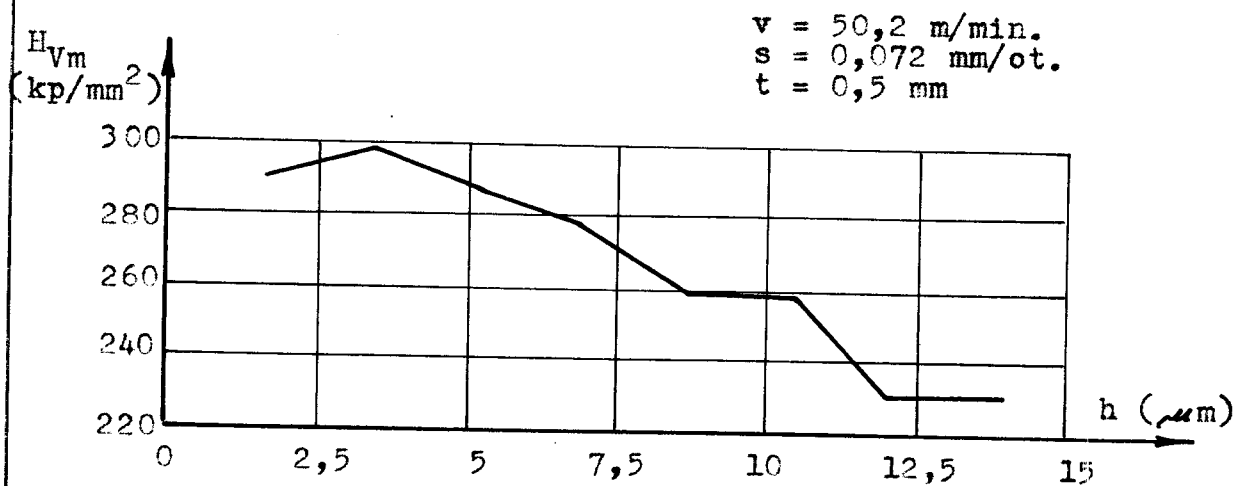
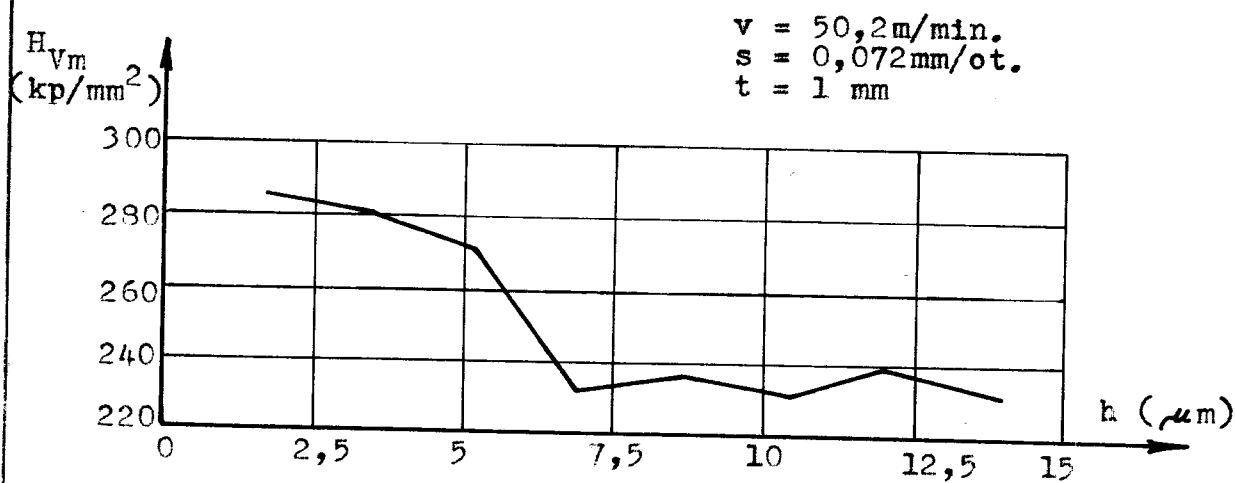
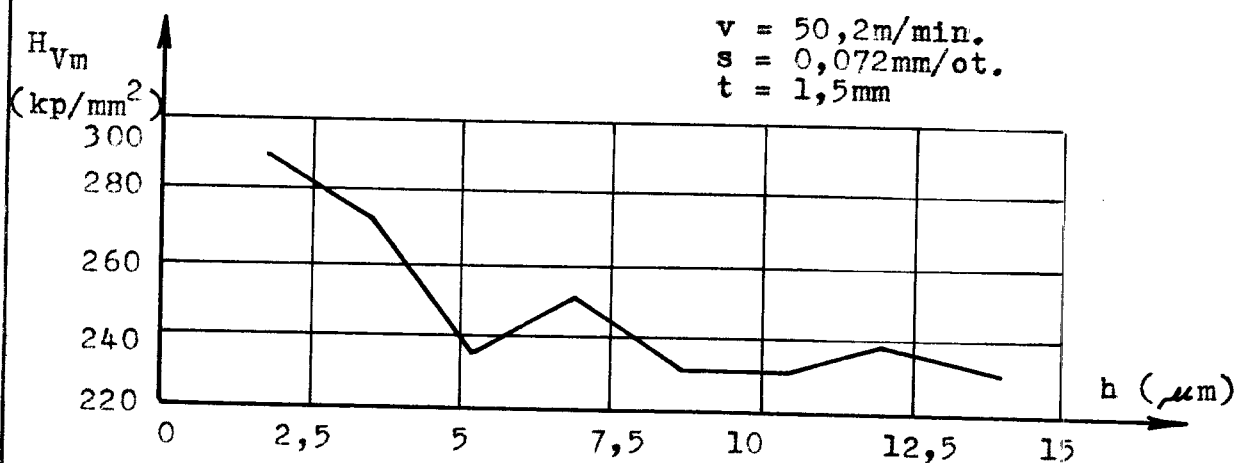
	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
		u dílky	u m	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²	u dílky	u m	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²	u dílky	u m	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²
1.	1,7	57,5	18	286	59,5	18,7	259	60,5	19	256
2.	3,4	54	17	299	55,7	17,5	299	62	19,5	243
3.	5,6	57	17,9	289	62,3	19,6	241	62,7	19,7	239
4.	6,9	59,2	18,6	268	63	19,9	234	62,8	19,8	236
5.	8,7	63	19,9	234	63	19,9	234	63,5	20	231
6.	10,4	63,5	20	231	63,5	20	231	63	19,9	234
7.	12	62,8	19,8	236	62,8	19,8	236	63	19,9	234
8.	13,9	63,5	20	231	63,5	20	231	63,5	20	231

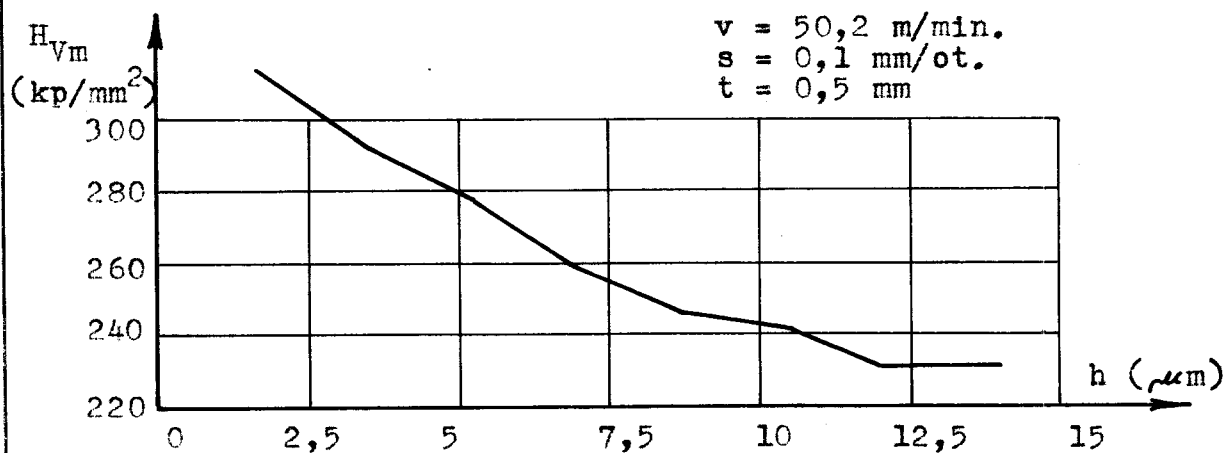
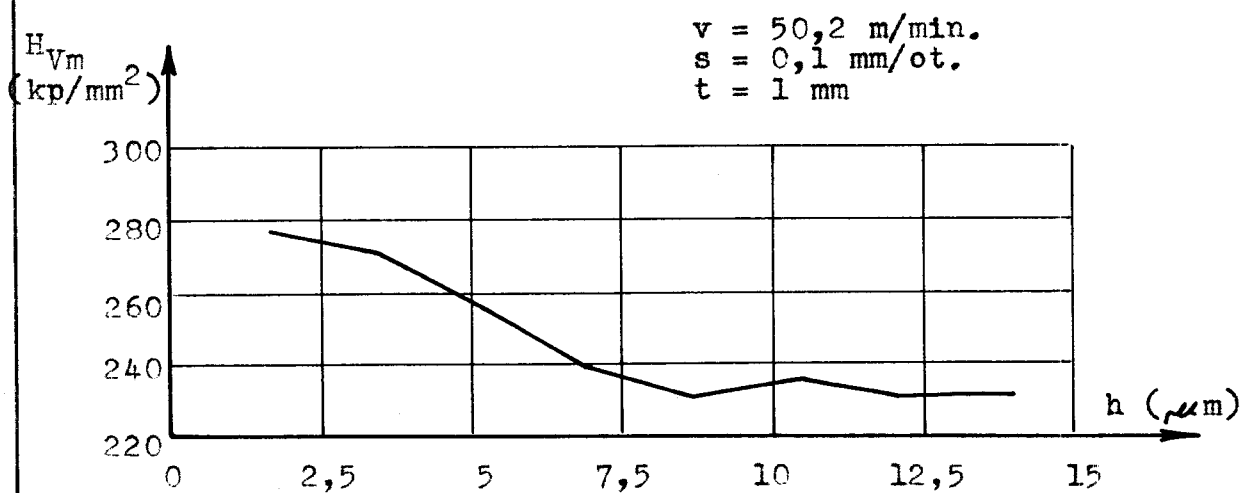
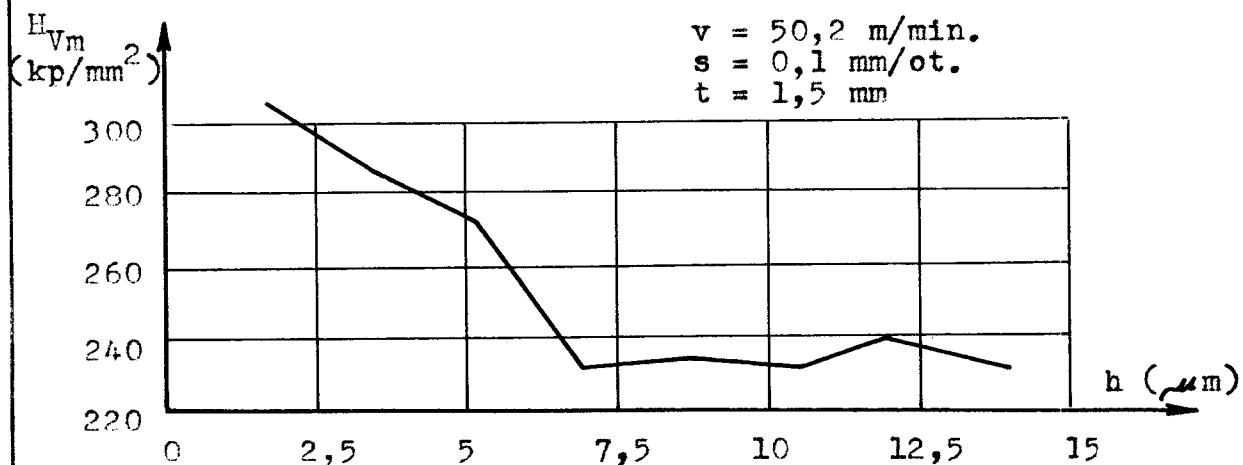
VŠST Liberec	Kinematika	Katedra	obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvorby třísky	DP	ST - 688/69

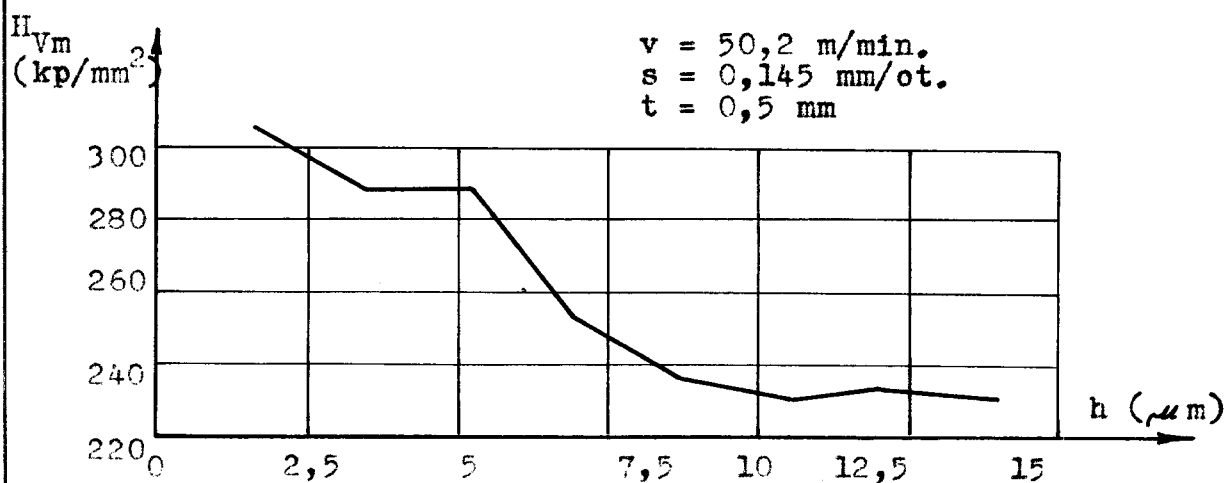
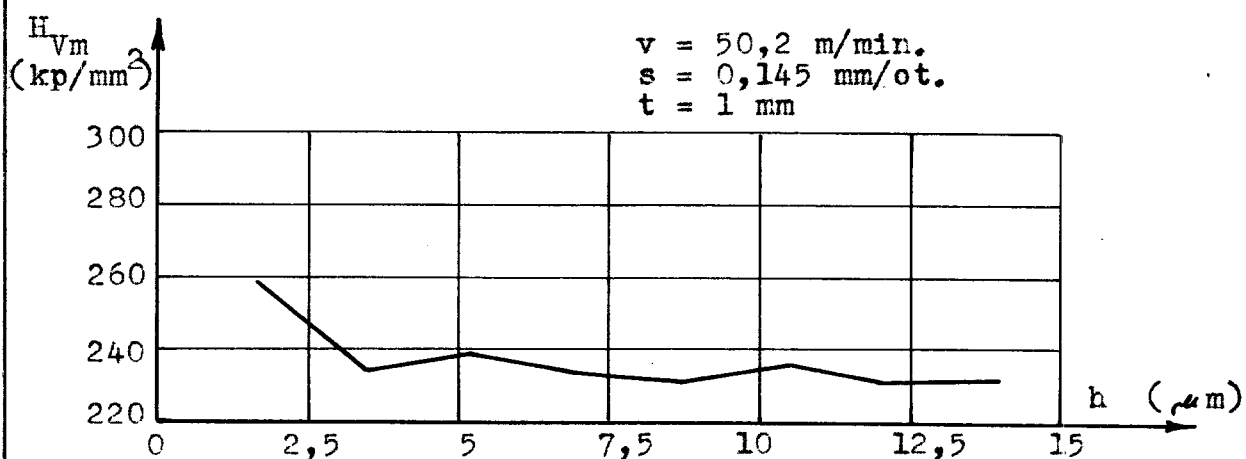
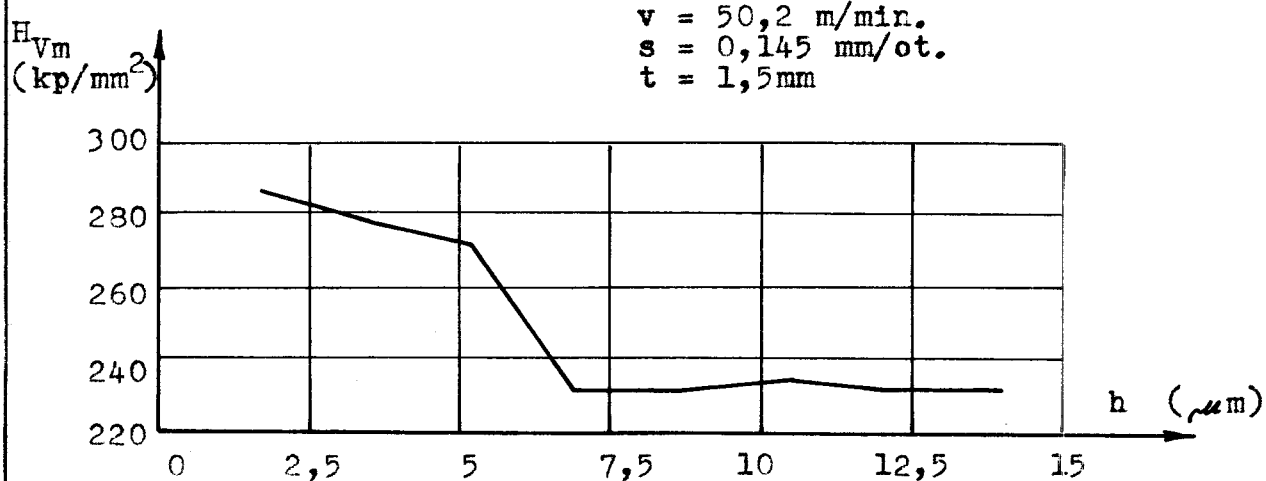
$v = 147 \text{ m/min}$ $s = 0,2 \text{ mm/ot}$;

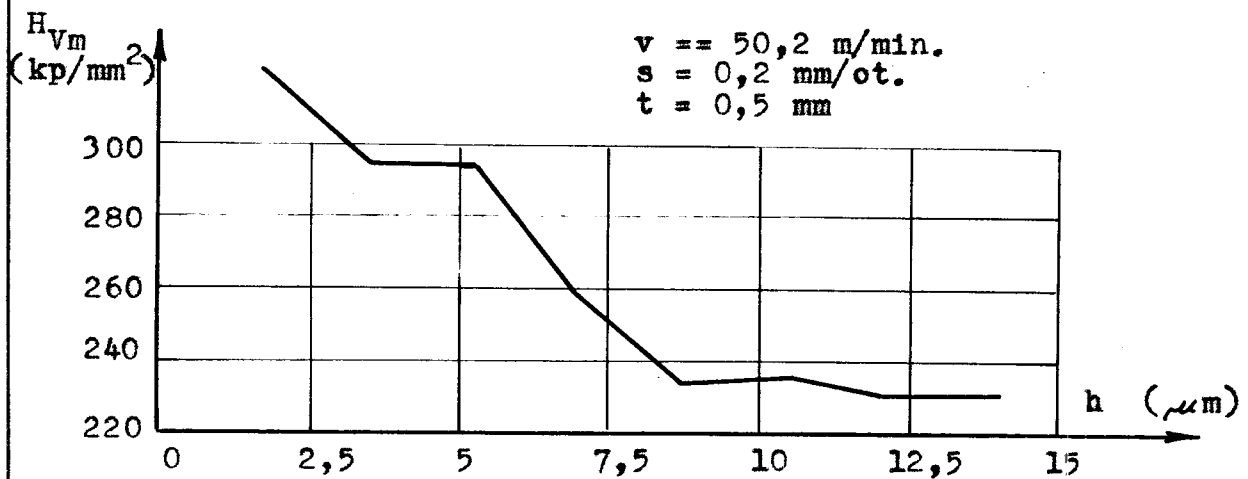
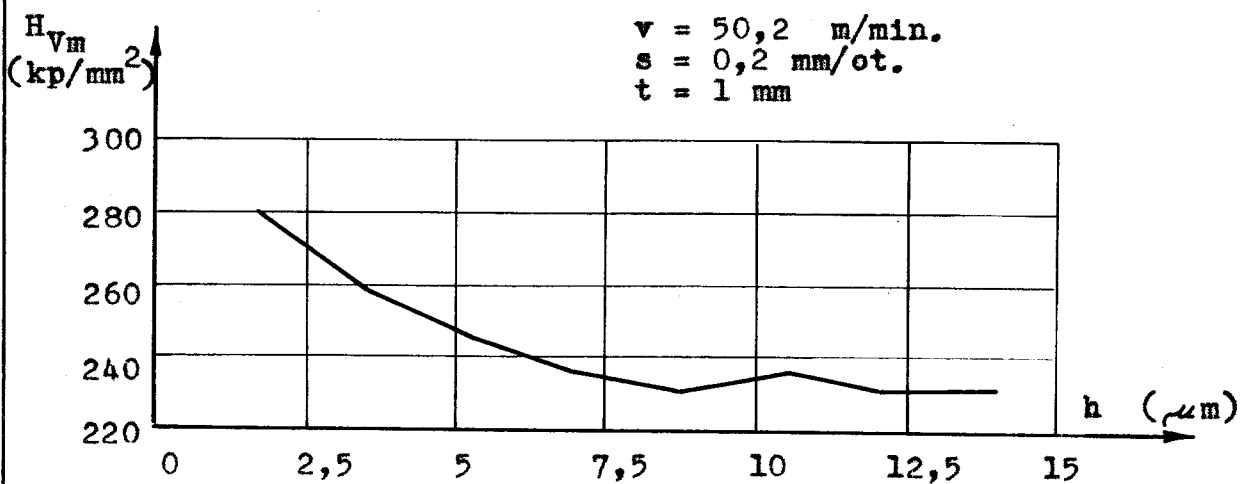
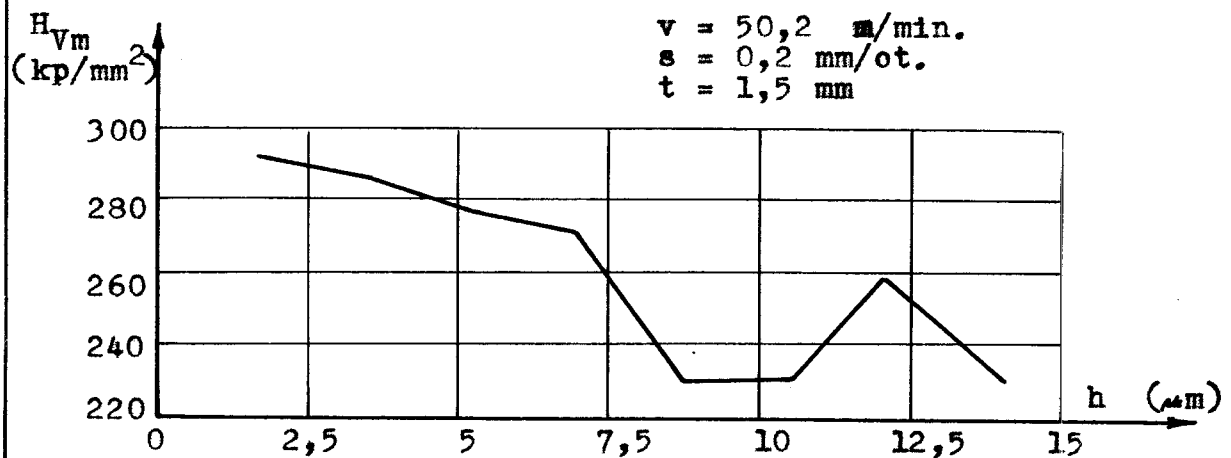
	$h(\mu\text{m})$	$t = 1,5 \text{ mm}$			$t = 1 \text{ mm}$			$t = 0,5 \text{ mm}$		
		u dílky	u μm	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²	u dílky	u μm	$H_{V_{m2}}$ kp/mm ²
1.	1,7	62,3	19,6	241	60,5	19	259	63,5	20	231
2.	3,4	55,7	17,5	302	57,5	18	286	57,6	18,1	283
3.	5,6	56,8	17,8	292	57,7	18,2	280	60	18,9	259
4.	6,9	59,7	18,8	262	63	19,9	234	62,7	19,7	239
5.	8,7	62,8	19,8	236	62,8	19,8	236	62,8	19,8	236
6.	10,4	63,5	20	231	63	19,9	234	63,5	20	231
7.	12	63,5	20	231	63,5	20	231	63	19,9	234
8.	13,9	63,5	20	231	63	19,9	234	63	19,9	234

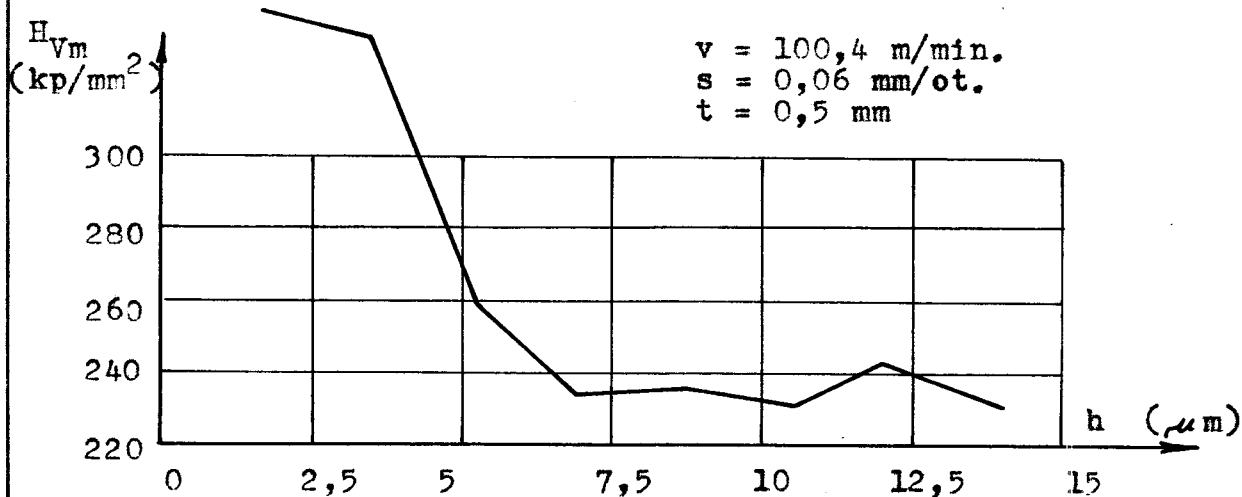
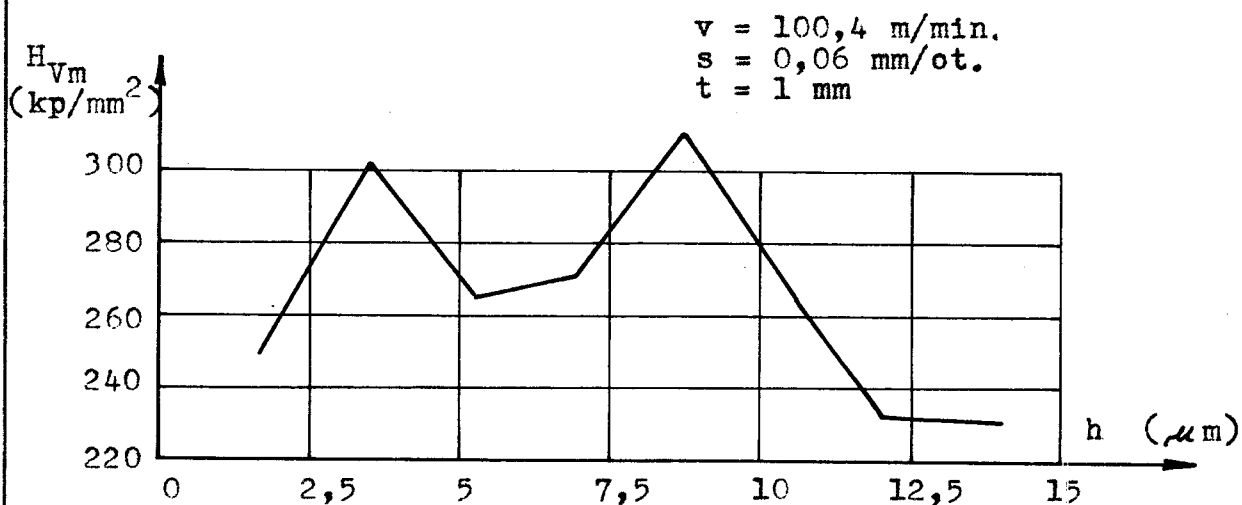
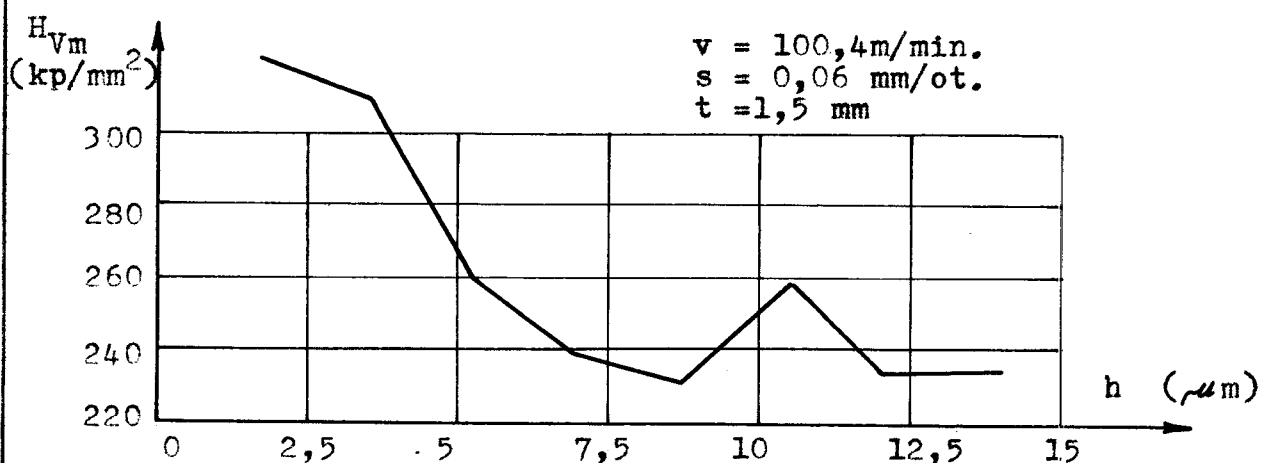
4.3.5. Výsledky měření mikrotvrdosti povrchové vrstvy materiálu

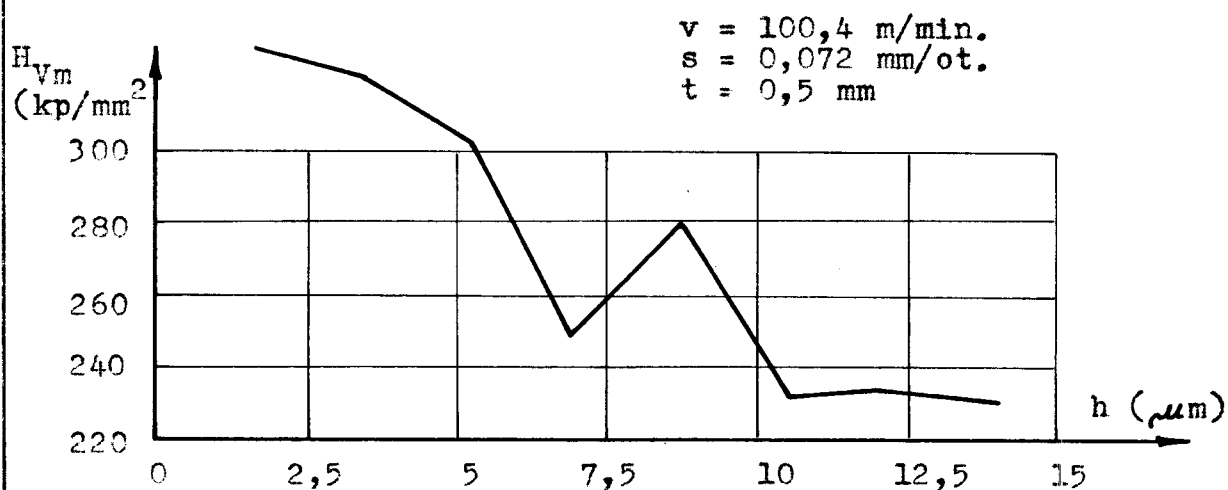
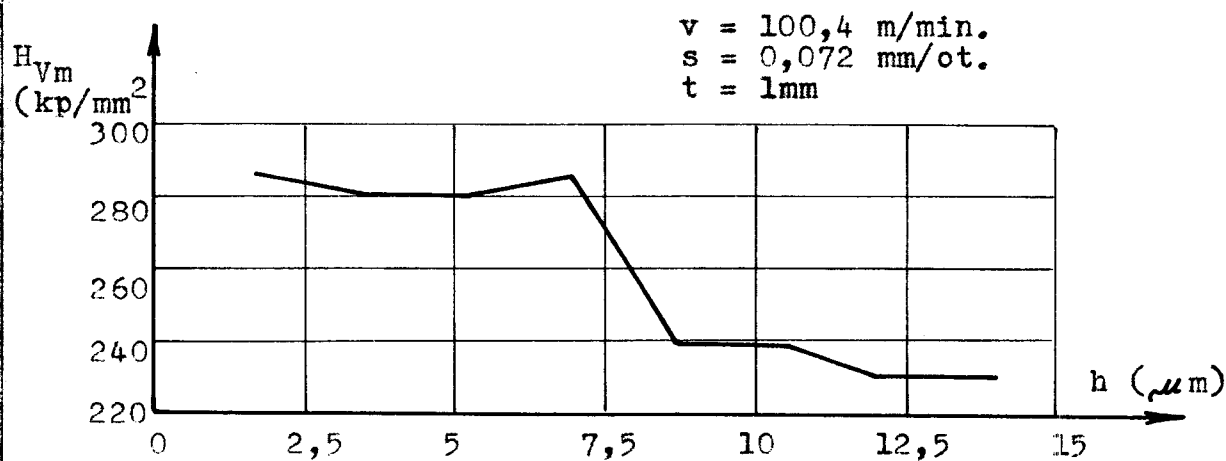
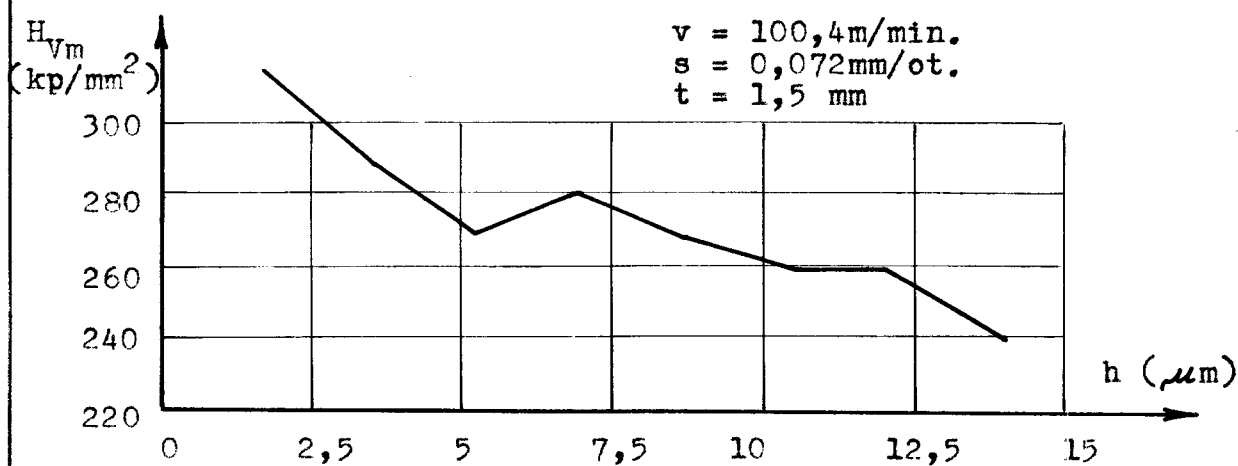


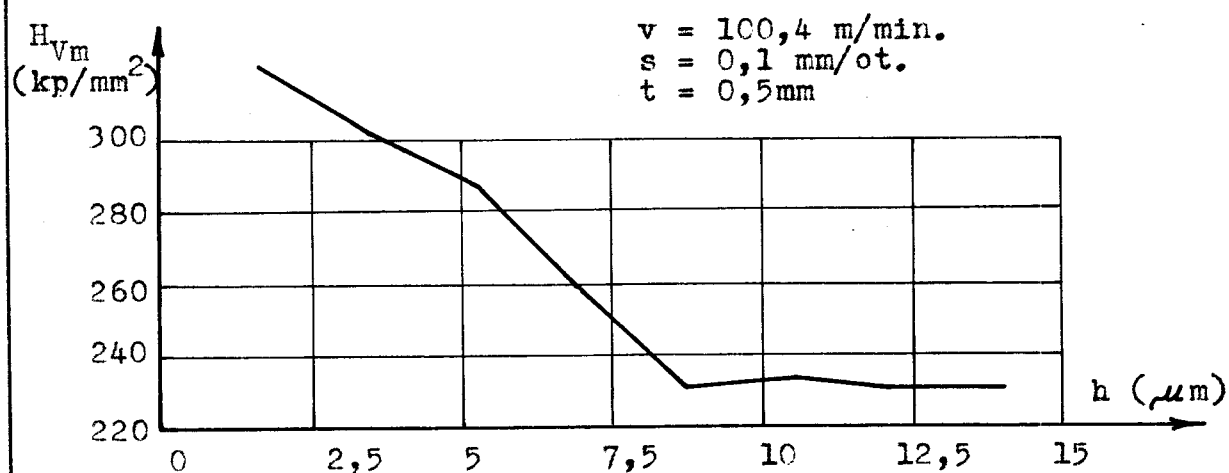
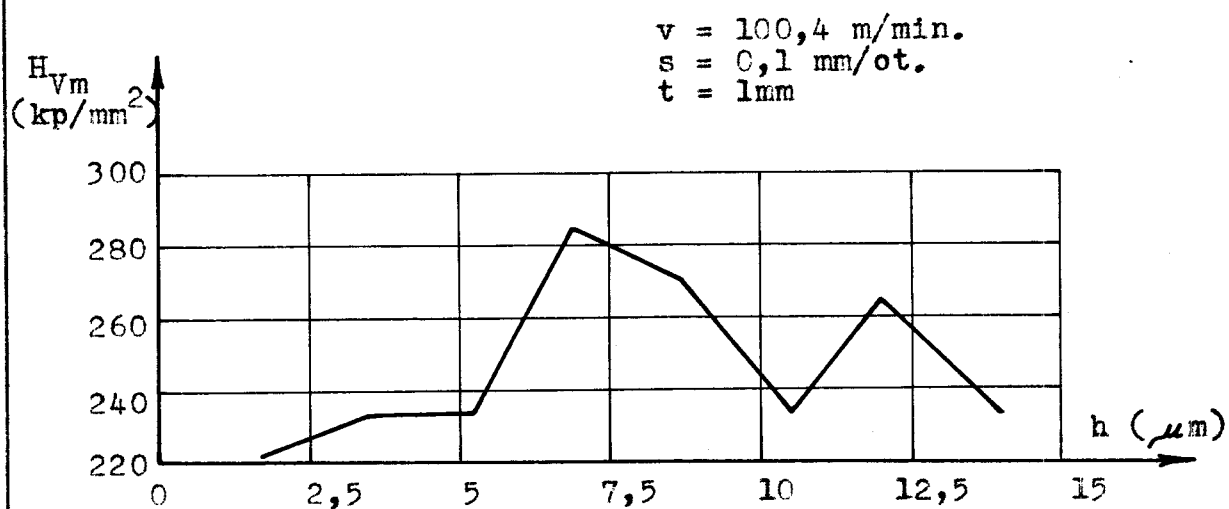
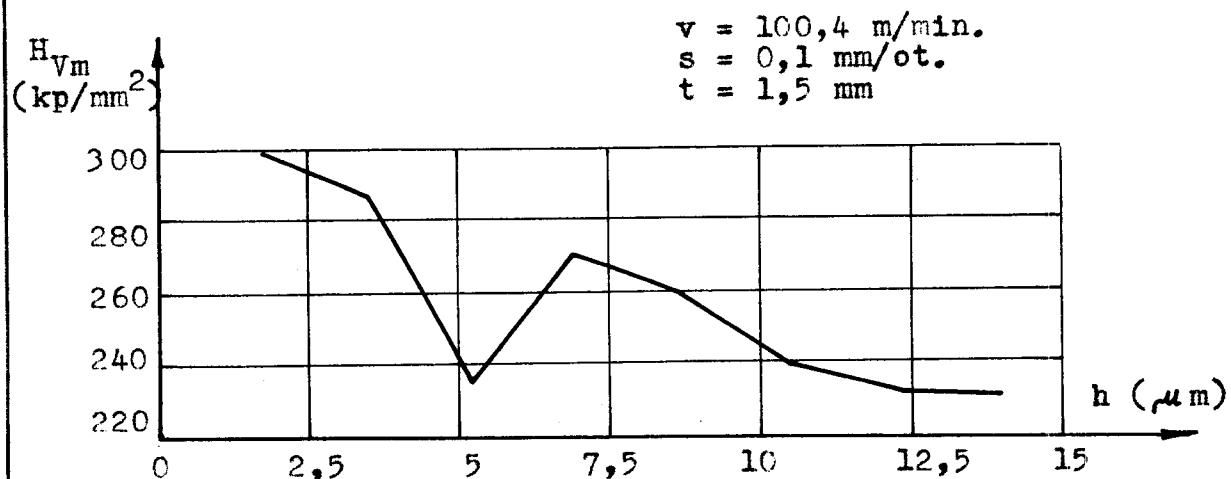


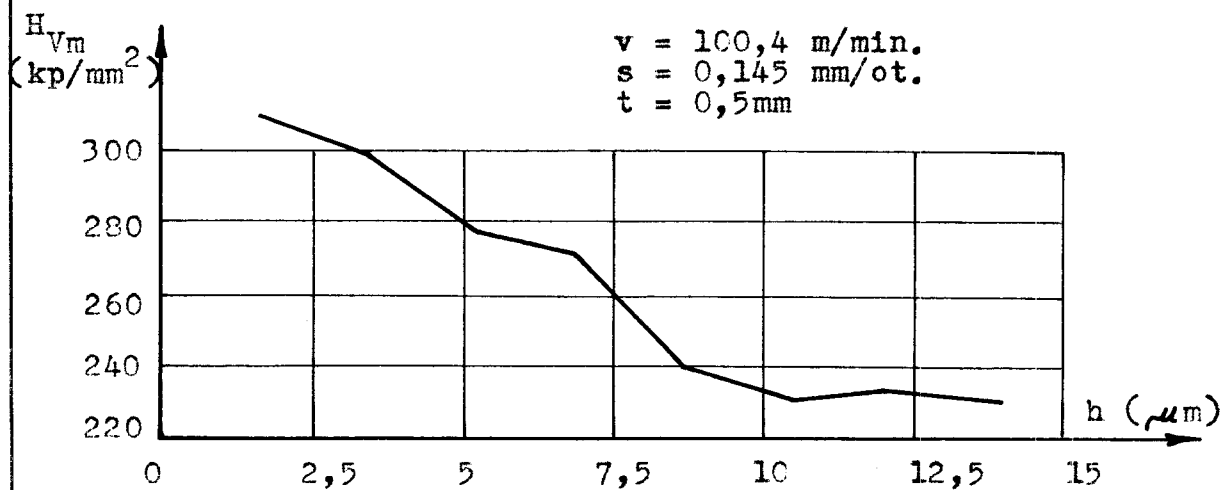
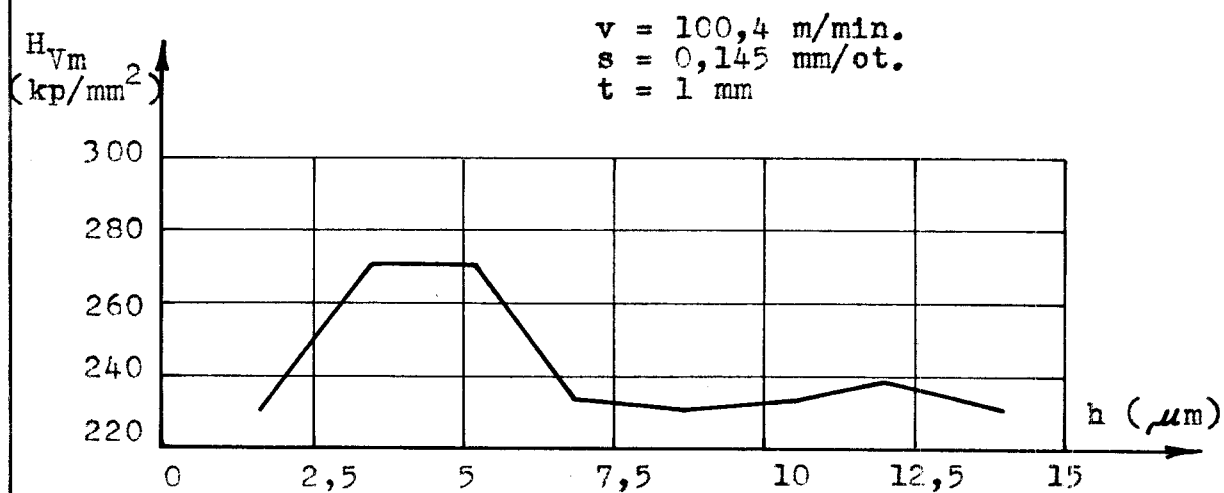
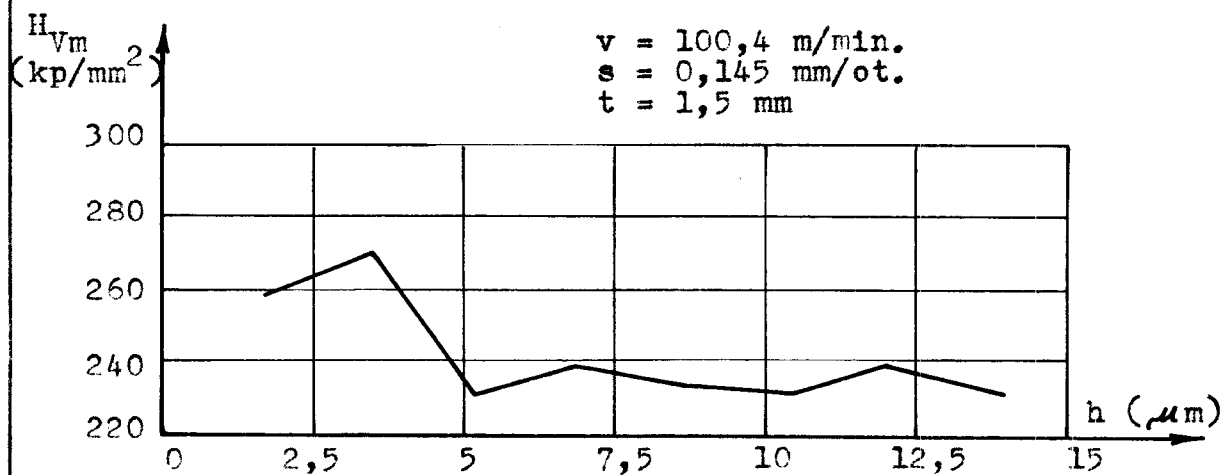


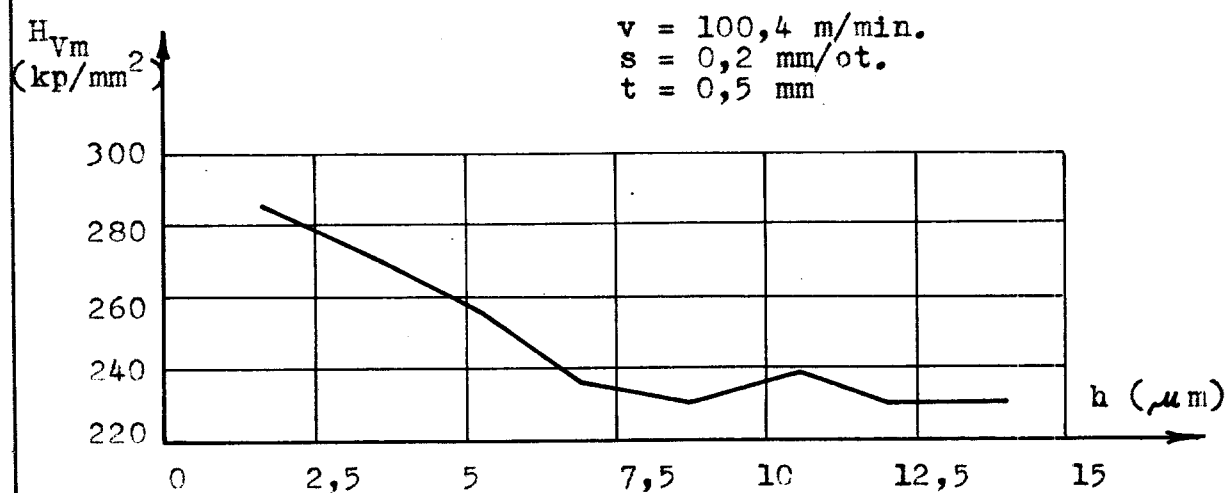
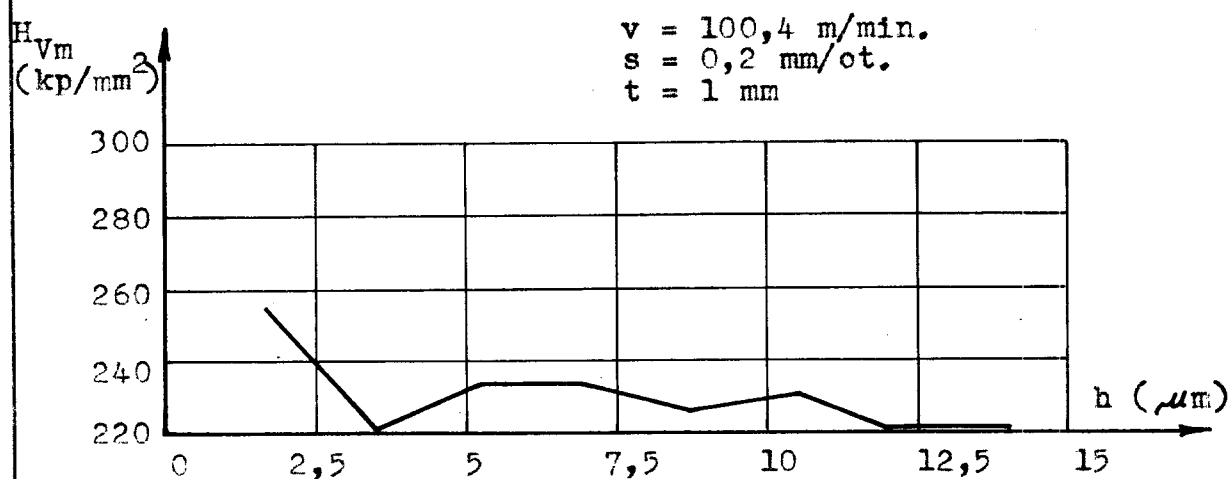
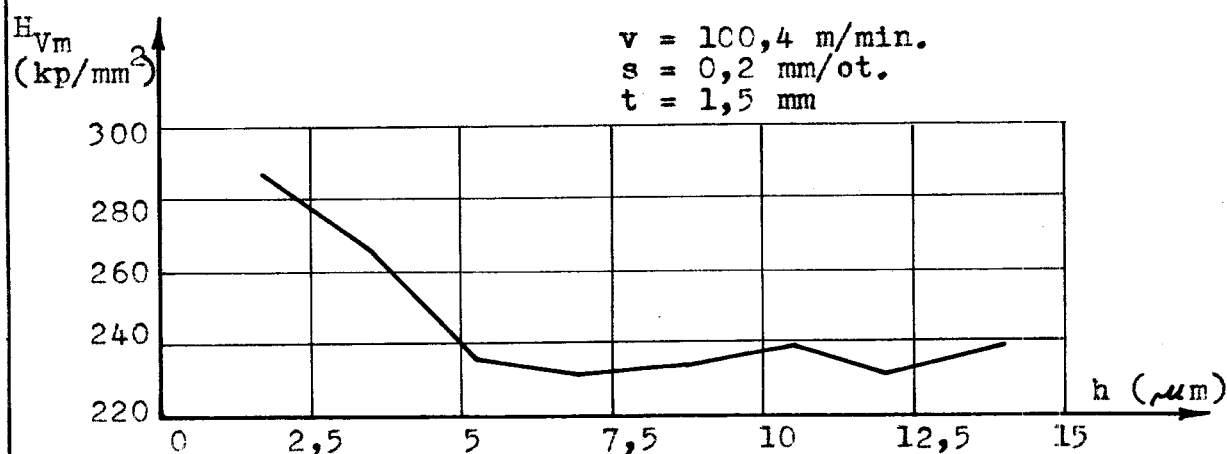


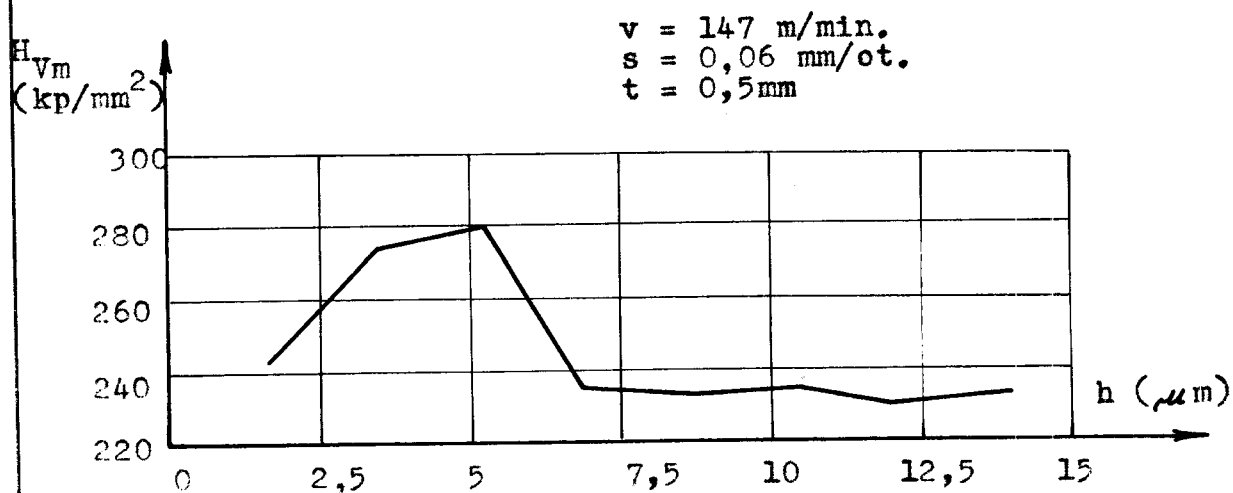
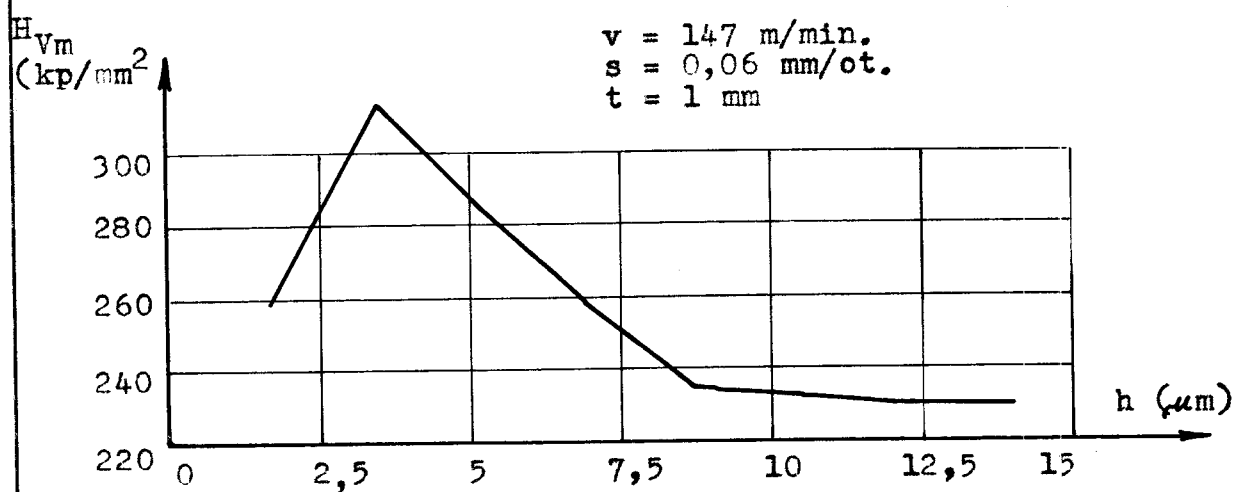
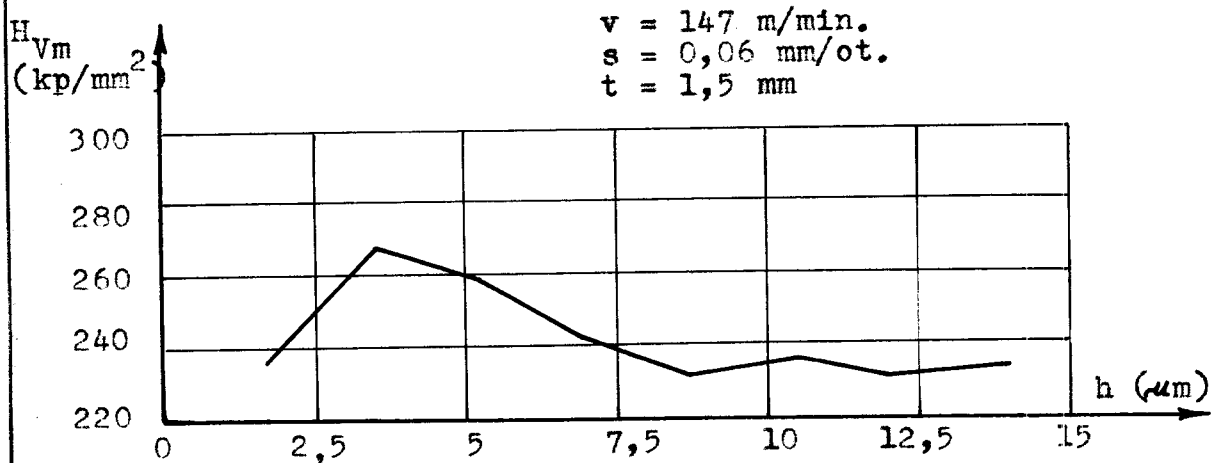


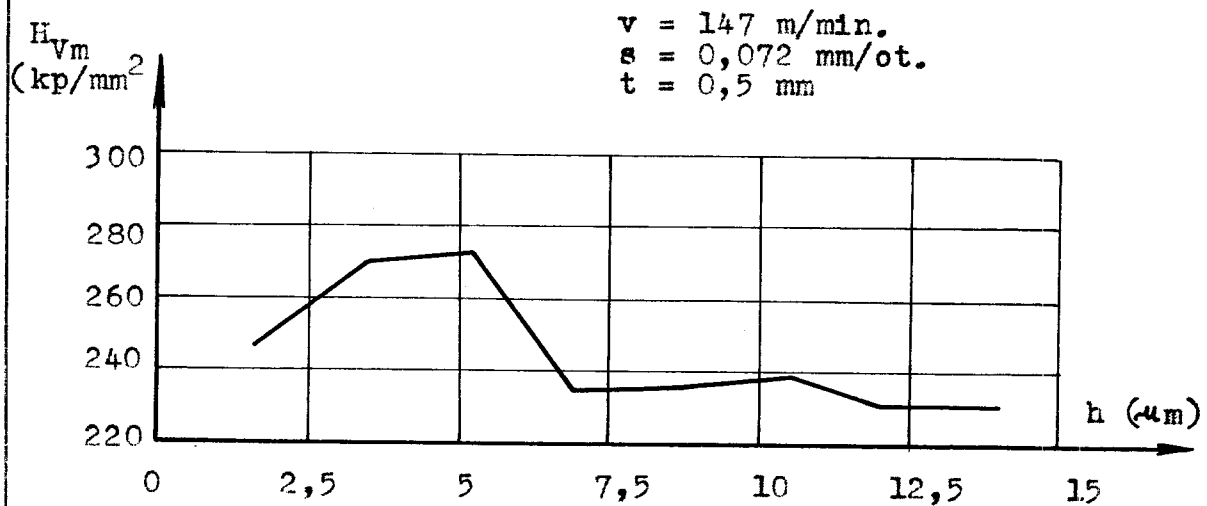
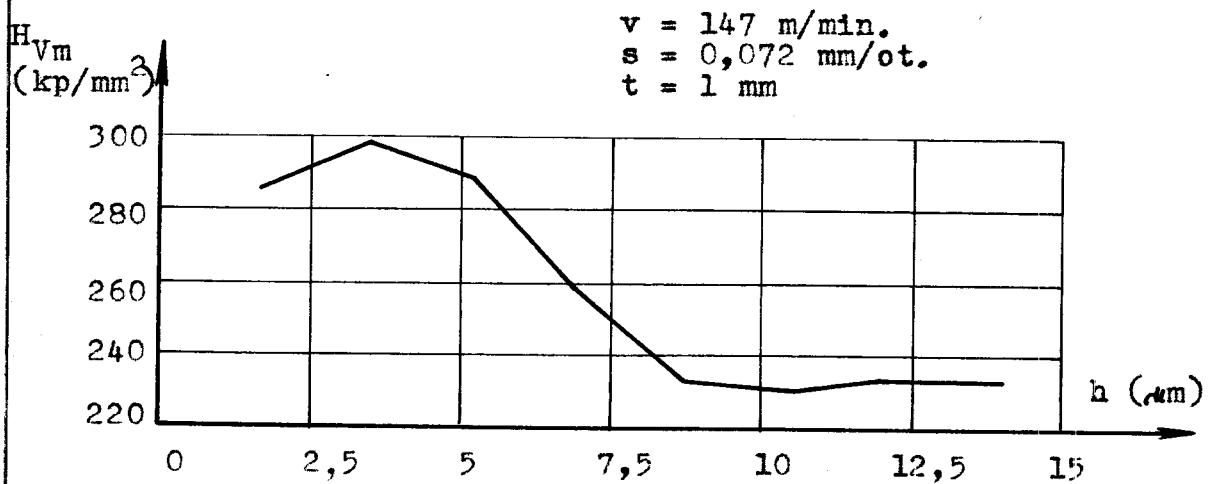
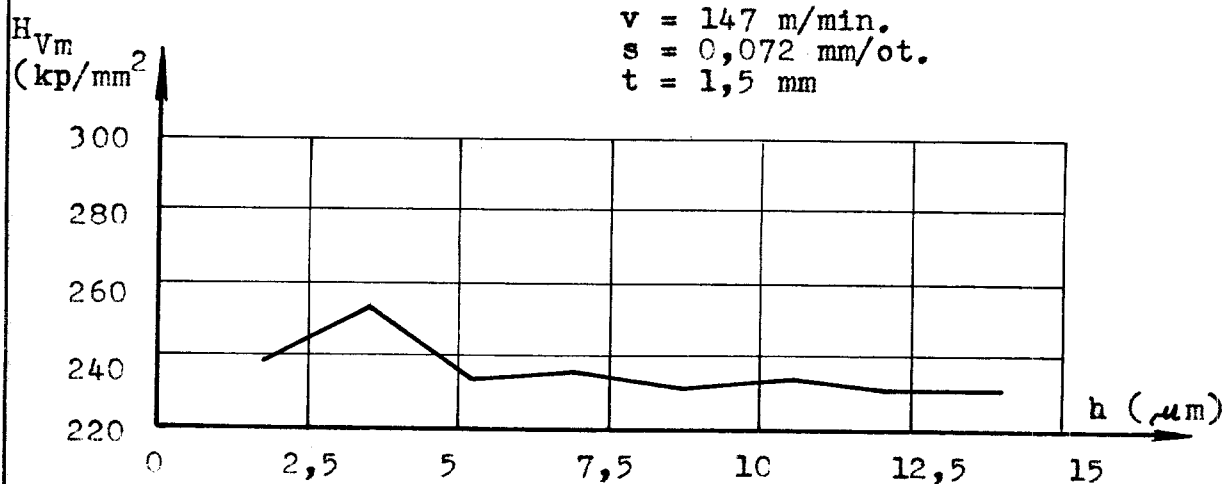


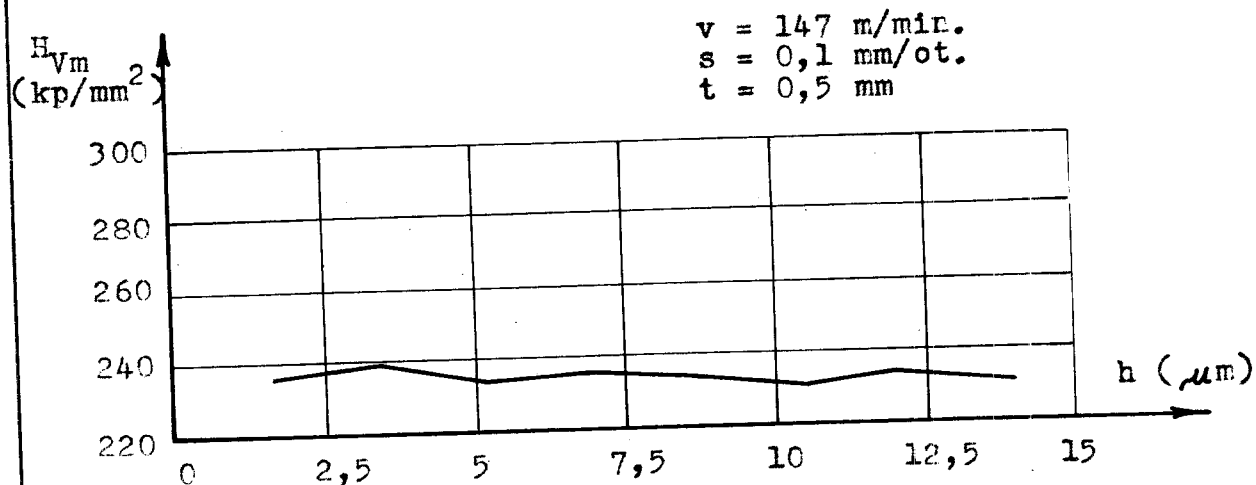
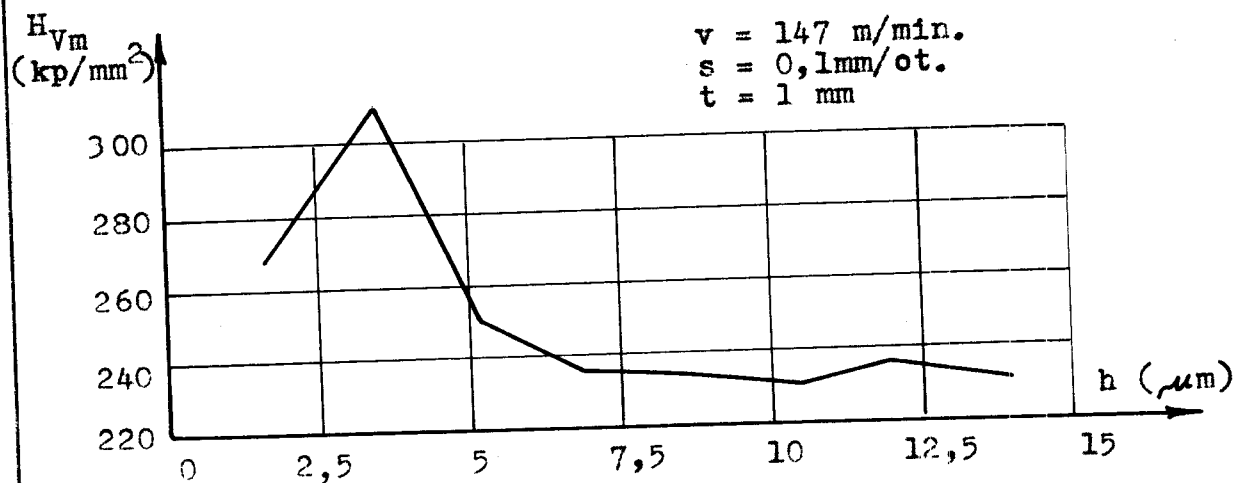
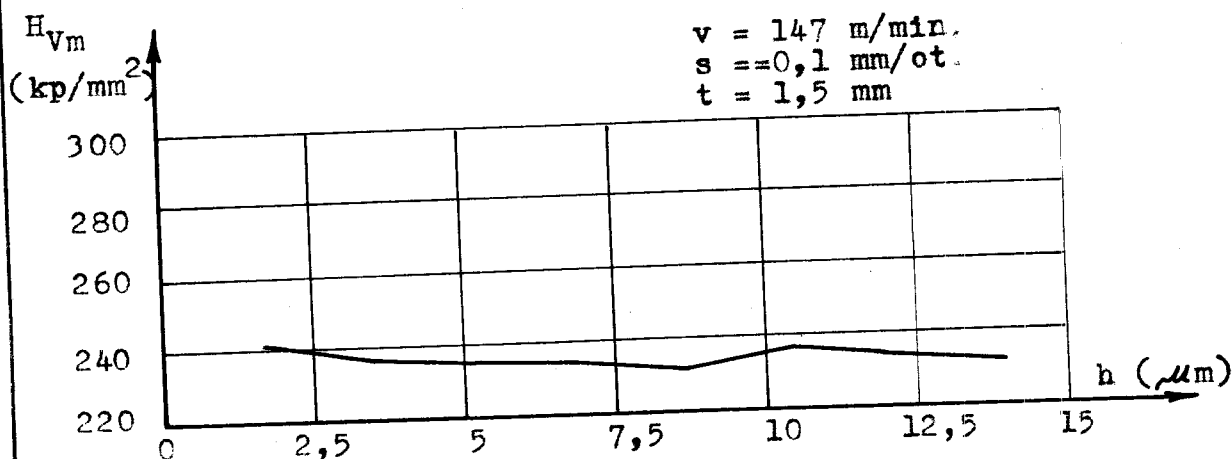


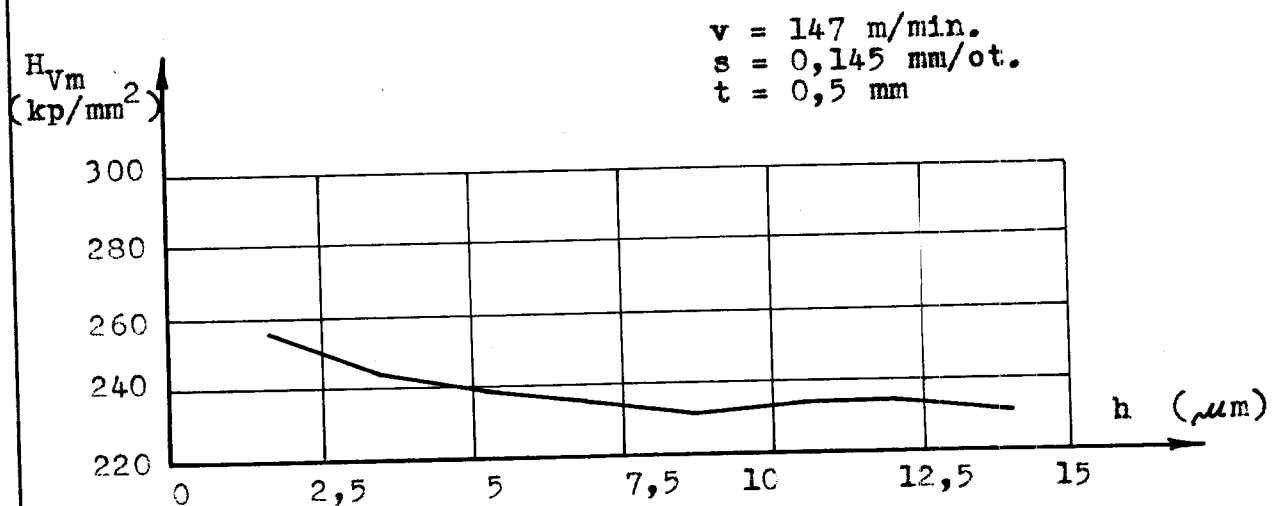
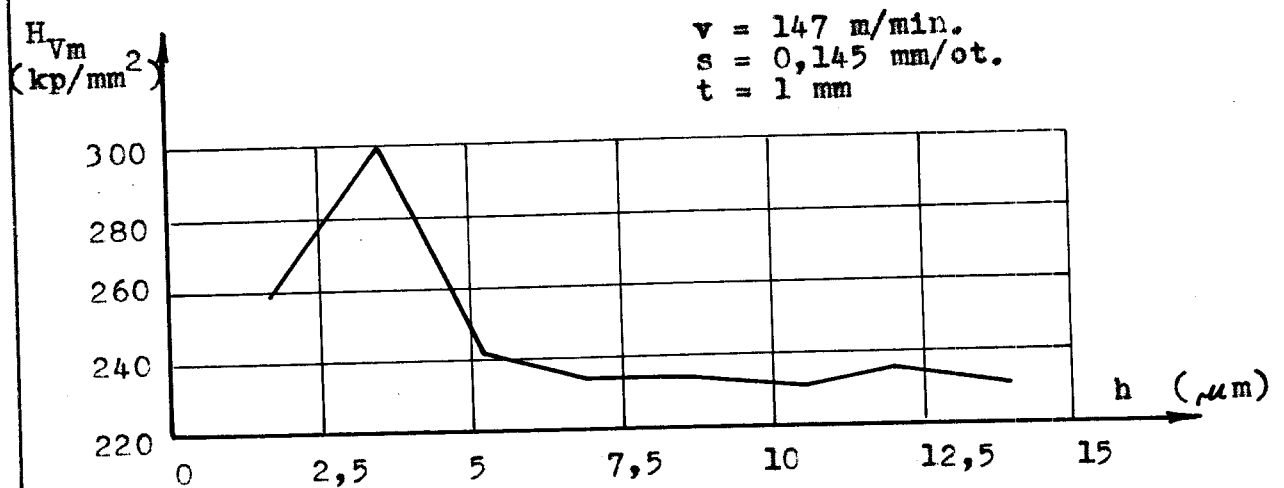
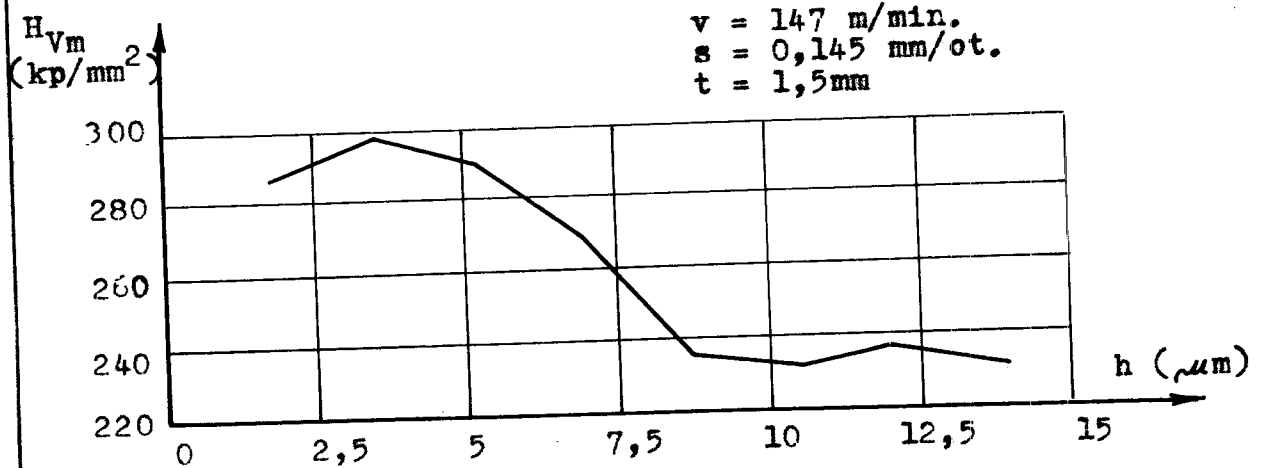


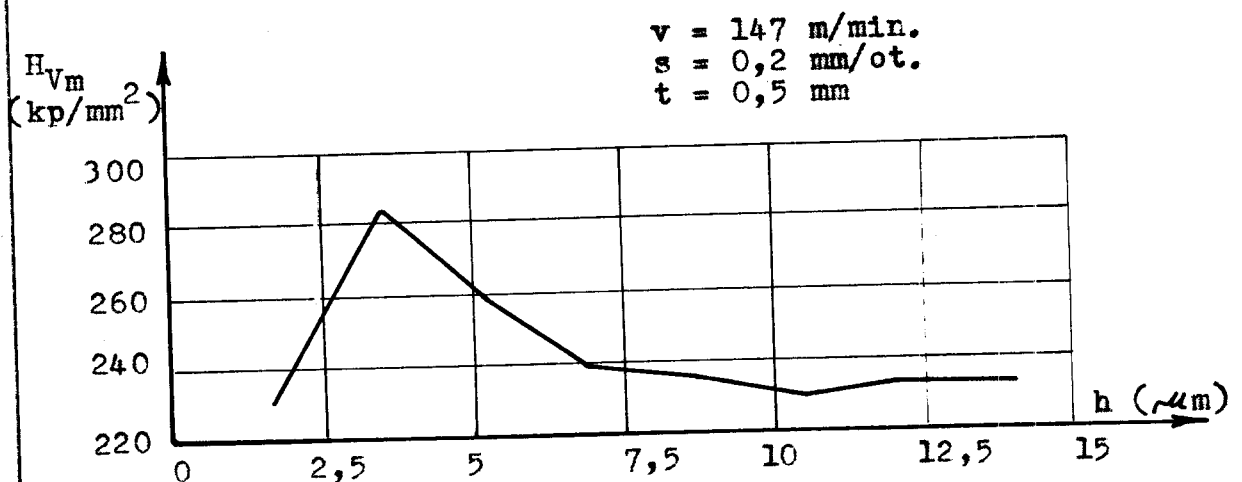
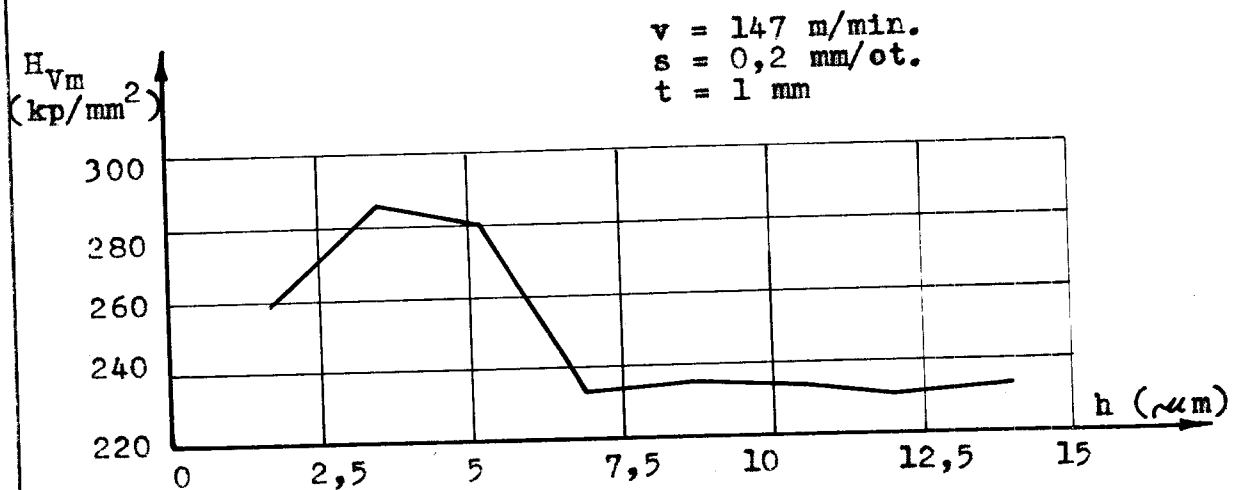
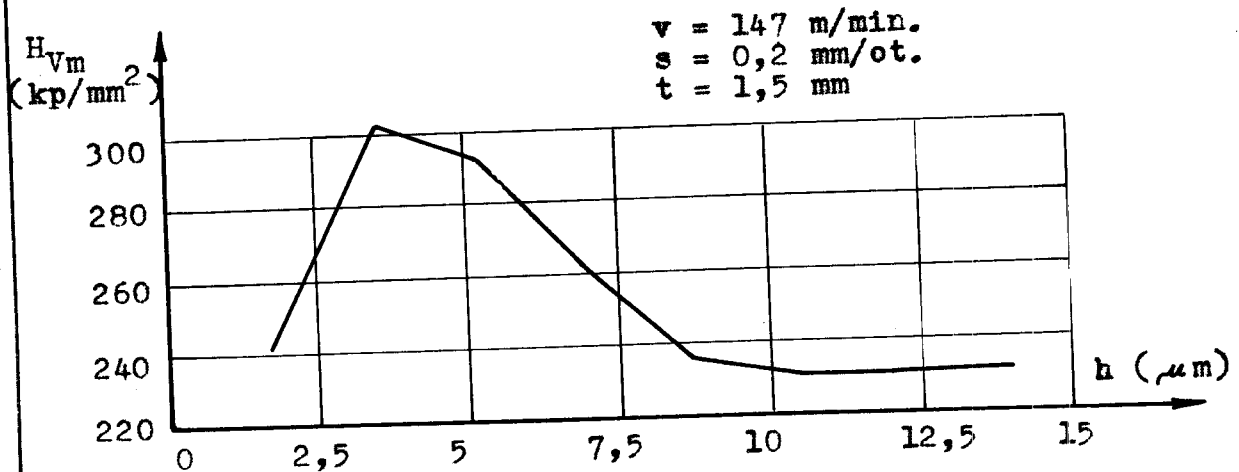












4.4. Vyhodnocení zpevnění povrchové vrstvy obráběného materiálu

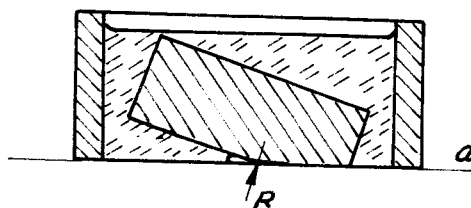
Při měření mikrotvrdomosti v závislosti na řezných podmínkách nebylo dosaženo takových výsledků, které by odpovídaly literárním údajům. Mikrotvrdomosti perlitu ve všech případech měřené v závislosti na hloubce zpevněné vrstvy kolísají v malých mezích. Tvrdomosti na obrobeném povrchu jen málo přesahují tvrdost základního materiálu. Přitom šikmé řezy válcového povrchu pro měření a také broušení vzorků byly prováděny velmi pečlivě.

Hrubé broušení vzorků bylo prováděno na smirku ručně, aby byl vyloučen vliv brusného kotouče (v případě broušení na strojní brusce) na zpevnění a vliv vysoké teploty na vzorky. Tyto okolnosti by jinak velice ovlivnily zpevnění povrchové vrstvy.

Při broušení vzorků na metalografických brusných papírech a při jejich leštění na leštičce nastaly určité komplikace. Šikmé řezy válcového povrchu byly broušeny v první fázi pokusů pod úhlem 3° a vzorky zalévány dentakrylem. Při metalografickém broušení a leštění vzorků (které byly zalévány dentakrylem) nastalo zakulacení na rozhraní válcového povrchu a šikmého řezu. (obr. č. 4.16.) Proto nebylo možno měřit mikrotvrdomost povrchové vrstvy.

R - zakulacení

a - rovina broušení

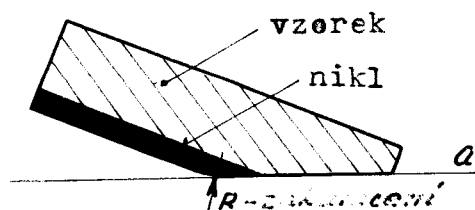


obr. č. 4.16.

V další fázi pokusů přípravek na hrubé broušení vzorků byl přebroušen na úhel 1° a šikmé řezy na vzorcích byly dále prováděny pod tímto úhlem. Toto opatření také nevedlo k výsledku, znovu nastalo dříve popsané zakulacení na rozhraní dvou ploch.

Odstranění dříve popsaného jevu bylo dosaženo po poníkování válcového povrchu vzorků vrstvou niklu 0,015 mm (obr. č. 4.17). Odstoupilo se též od zalévání vzorků dentakrylem po hrubém broušení, byly pořízeny nové vzorky pro veškeré řezné podmínky, hrubé a metalografické broušení vzorků (též leštění) se dělalo v přípravku dříve popsaném v kapitole č.4.3. Bylo tím dosaženo větší přesnosti při broušení.

a- rovina broušení



obr. č. 4.17.

Pro sledování zpevnění vrstvy byly pořízeny též vzorky kolmými řezy válcového povrchu. Tyto vzorky byly zalévány dentakrylem, broušeny na metalografických papírech č. 1/0 ÷ 5/0, leštěny a leptány nitallem po dobu 3 vteřin. Byly pořízeny fotografie mikrostruktury materiálu. Vzhledem k tomu, že ve většině

VŠST Liberec	Kinematika	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní	tvroby třísky	DP ST - 688/69
případech nebyla pozorována zpevněná povrchová vrstva, nebyly pořízeny mikrofotografie pro veškeré řezné podmínky. Mikrofotografie byly pořízeny pro řeznou rychlost $v = 50,2 \text{ m/min}$, kde by měla být zpevněná vrstva nejsilnější a pro největší řeznou rychlost vyskytující se při pokusech ($v = 147 \text{ m/min}$), kde by měla být hloubka zpevněné vrstvy nejmenší. Mikrofotografie jsou v příloze č. 1. (zvětšení 100x).		
- 92 -		

VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST - 688/69

5. Vliv zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky

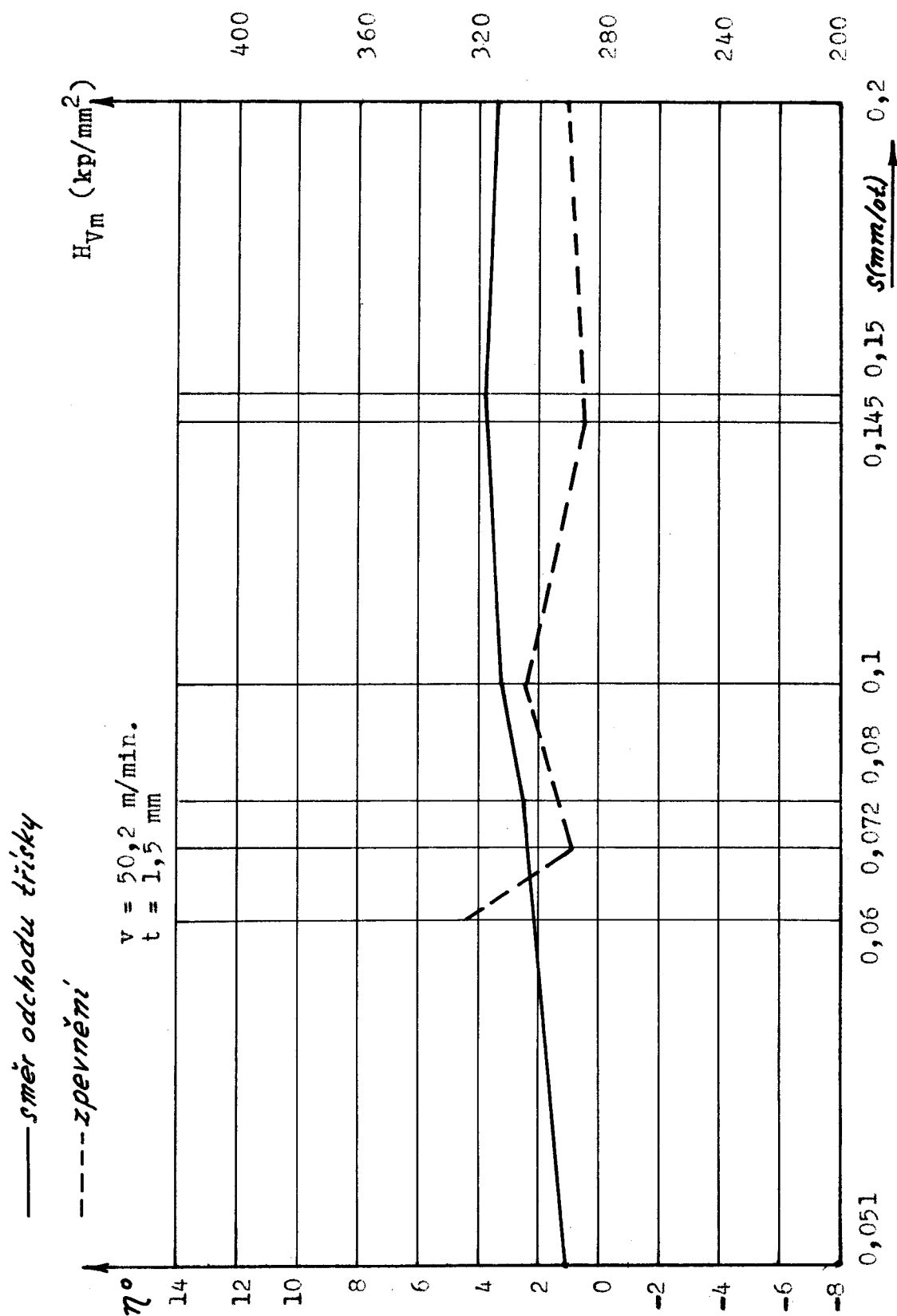
Výsledky měření odchodu třísky z kapitoly č.3 a měření tvrdosti povrchové vrstvy materiálu z kap. č. 4. byly použity pro sestrojení grafů vlivu zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky v závislosti na posuvu.

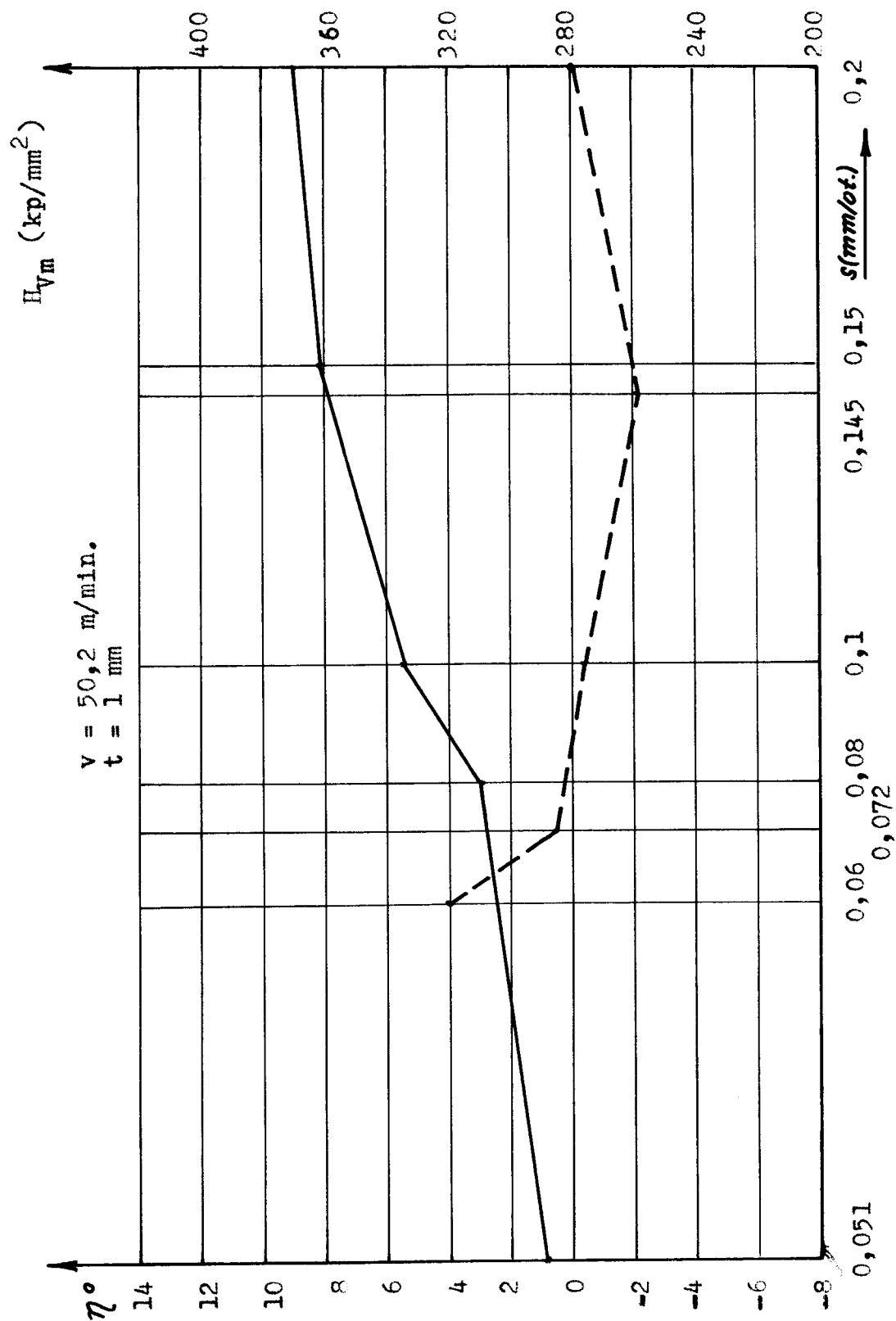
Vzhledem k tomu, že zjišťování směru odchodu třísky probíhalo na soustruhu SU 50, který měl posuvy 0,051; 0,08; 0,01; 0,15; 0,2; a soustružení vzorků pro měření mikrotvrdosti při různých řezných podmínkách na soustruhu SU 32, který neměl některé posuvy stejné jako SU 50, byly hodnoty mikrotvrdosti vynášeny do grafu při přibližných hodnotách posuvu soustruhu SU 50. Tyto posuvy jsou: 0,06; 0,072; 0,145.

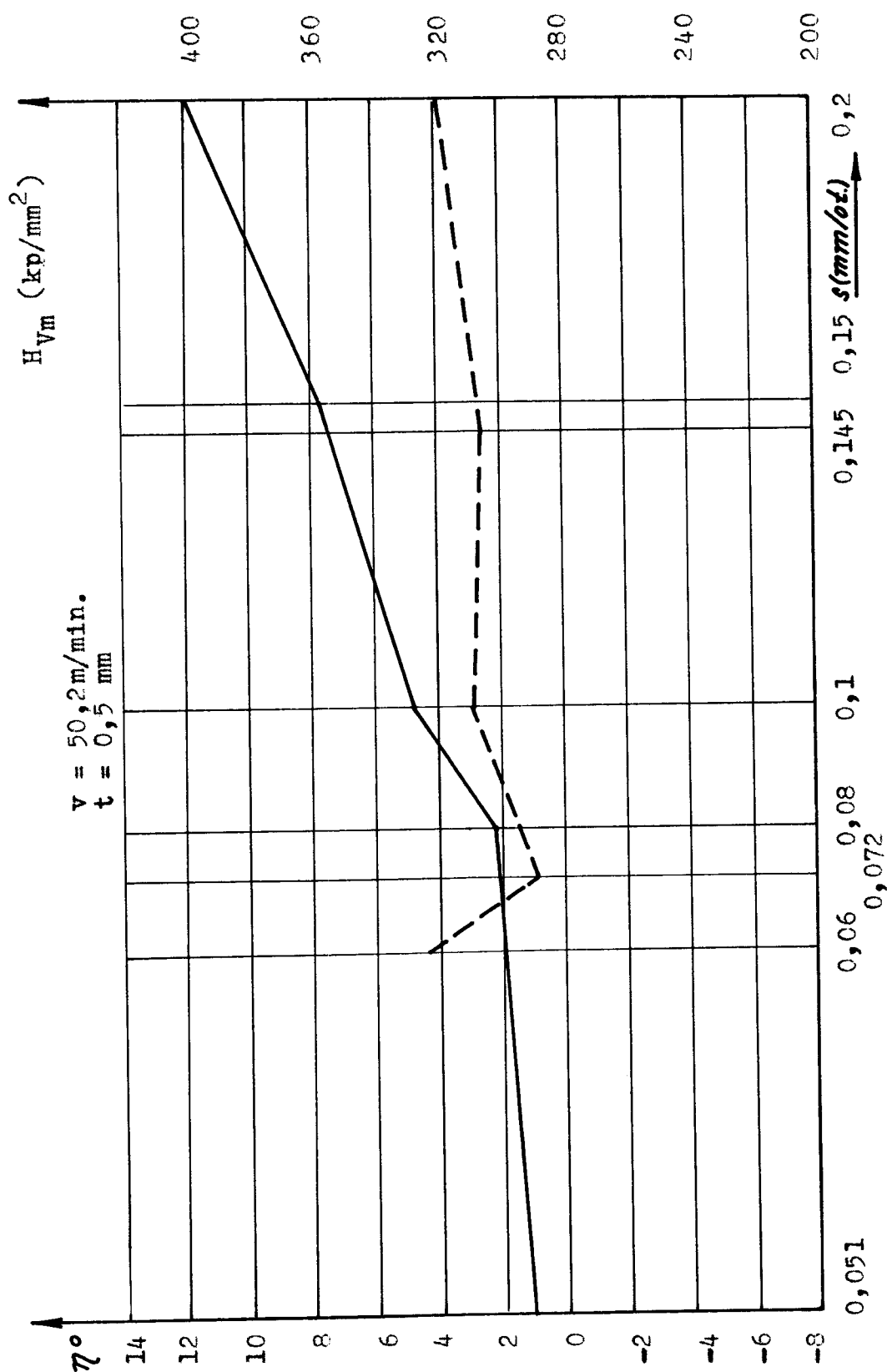
Vliv zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky při $v = \text{konst.}$, $t = \text{konst.}$ v závislosti na posuvu znázorňují následující grafy.

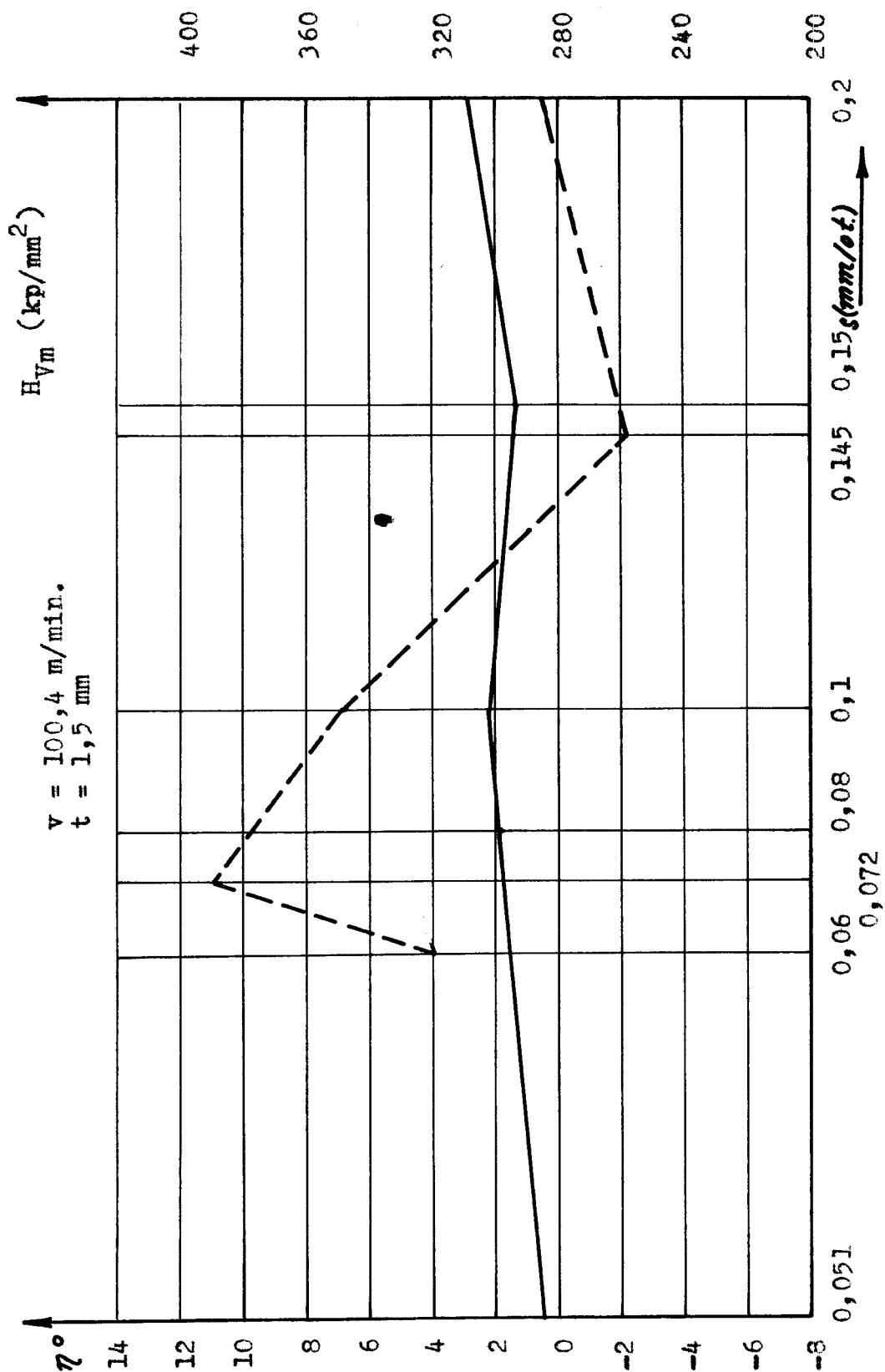
Jako povrch materiálu je označována vrstva, kterou získáme odstraněním 1,7 mm původního materiálu.

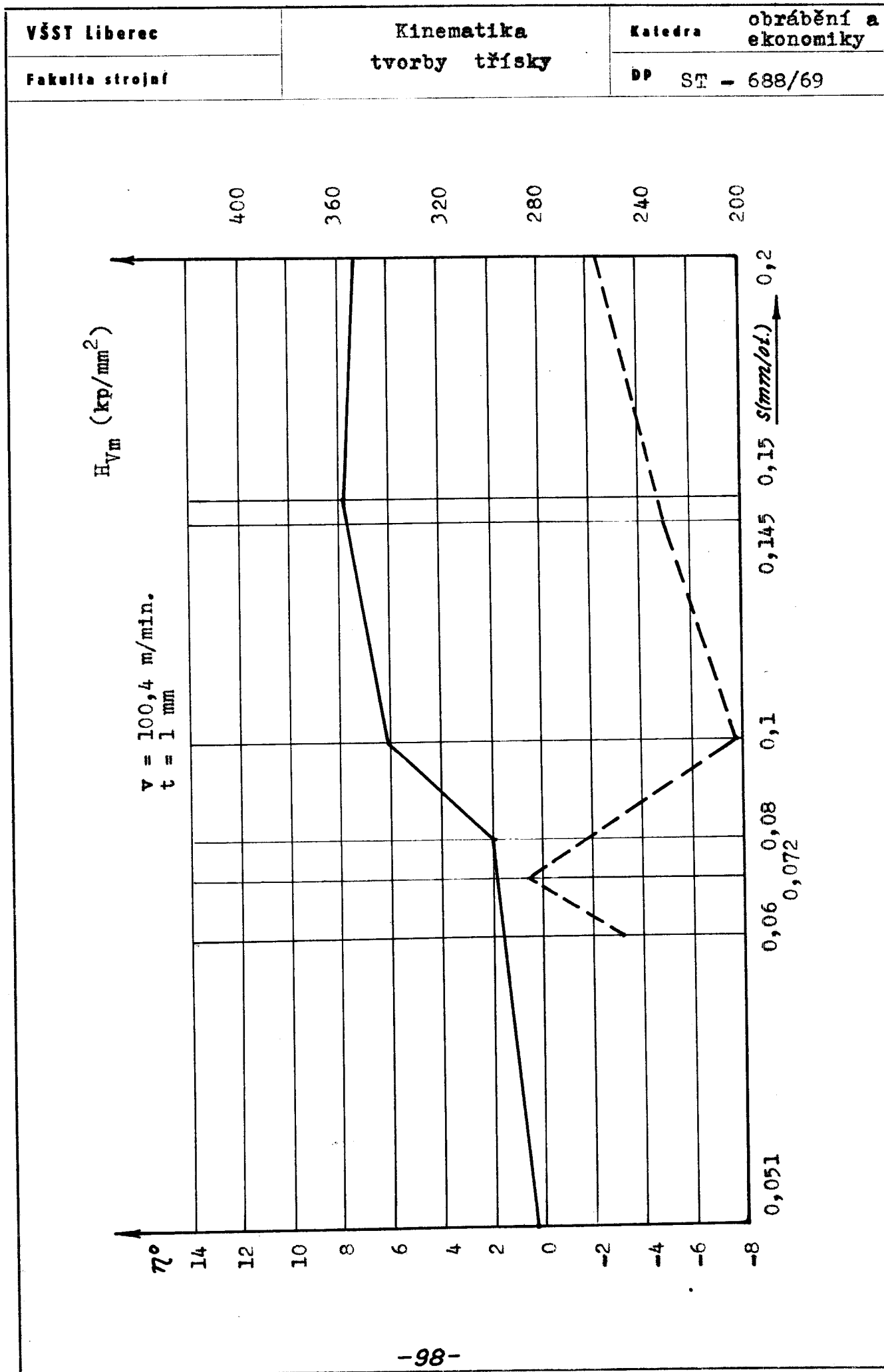
-93-

5.1. Graf závislosti směru odchodu třísky na zpevnění
povrchové vrstvy

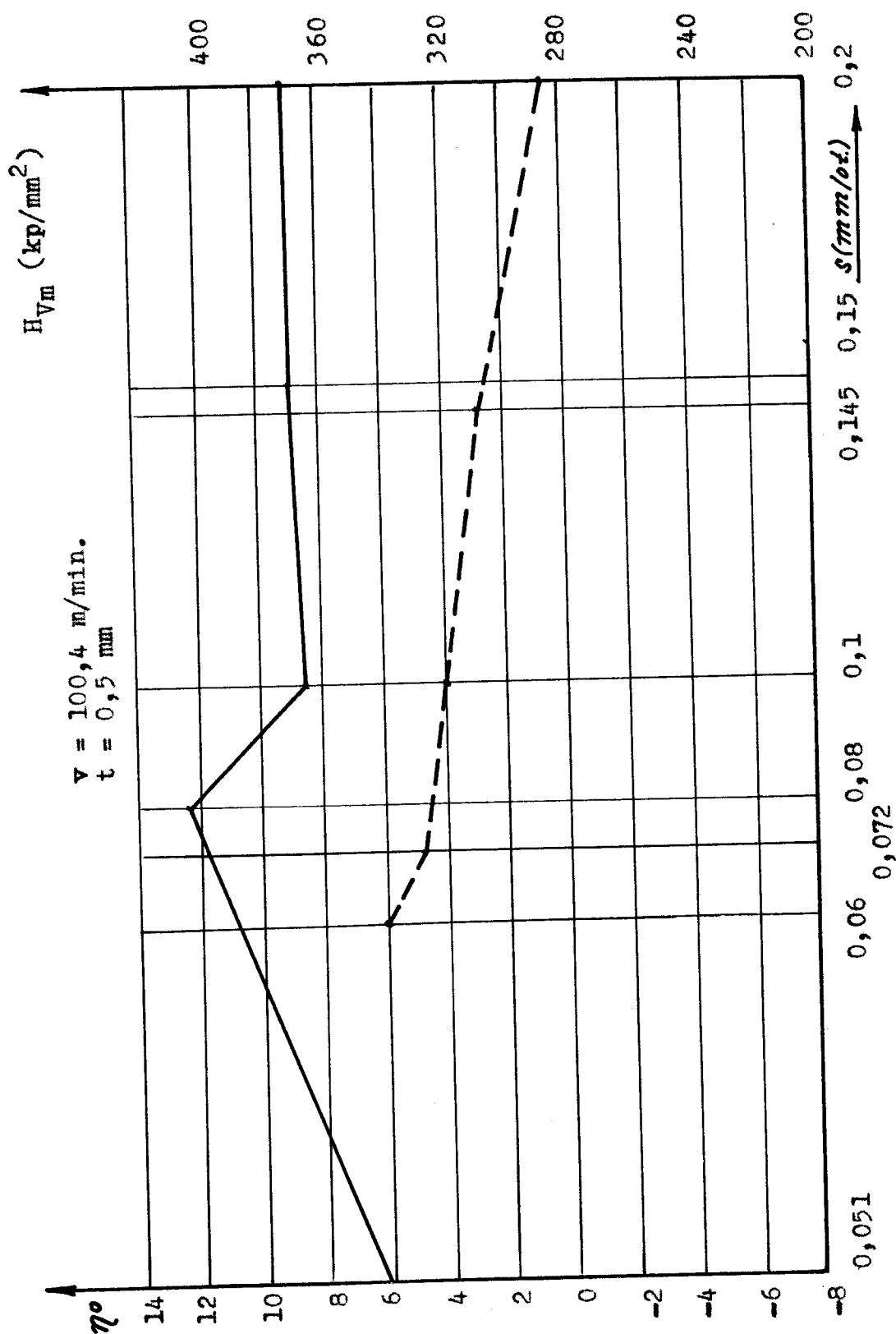


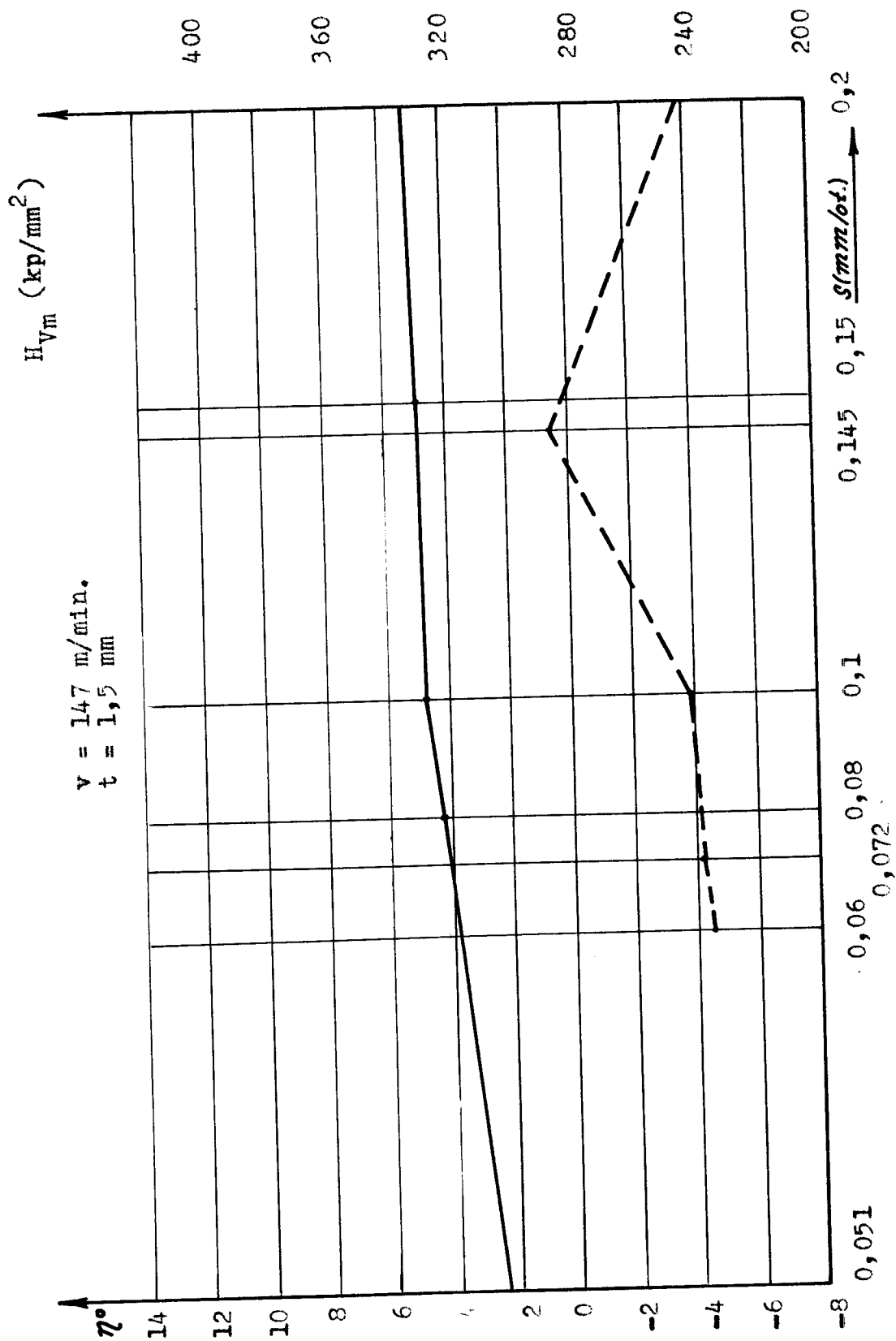


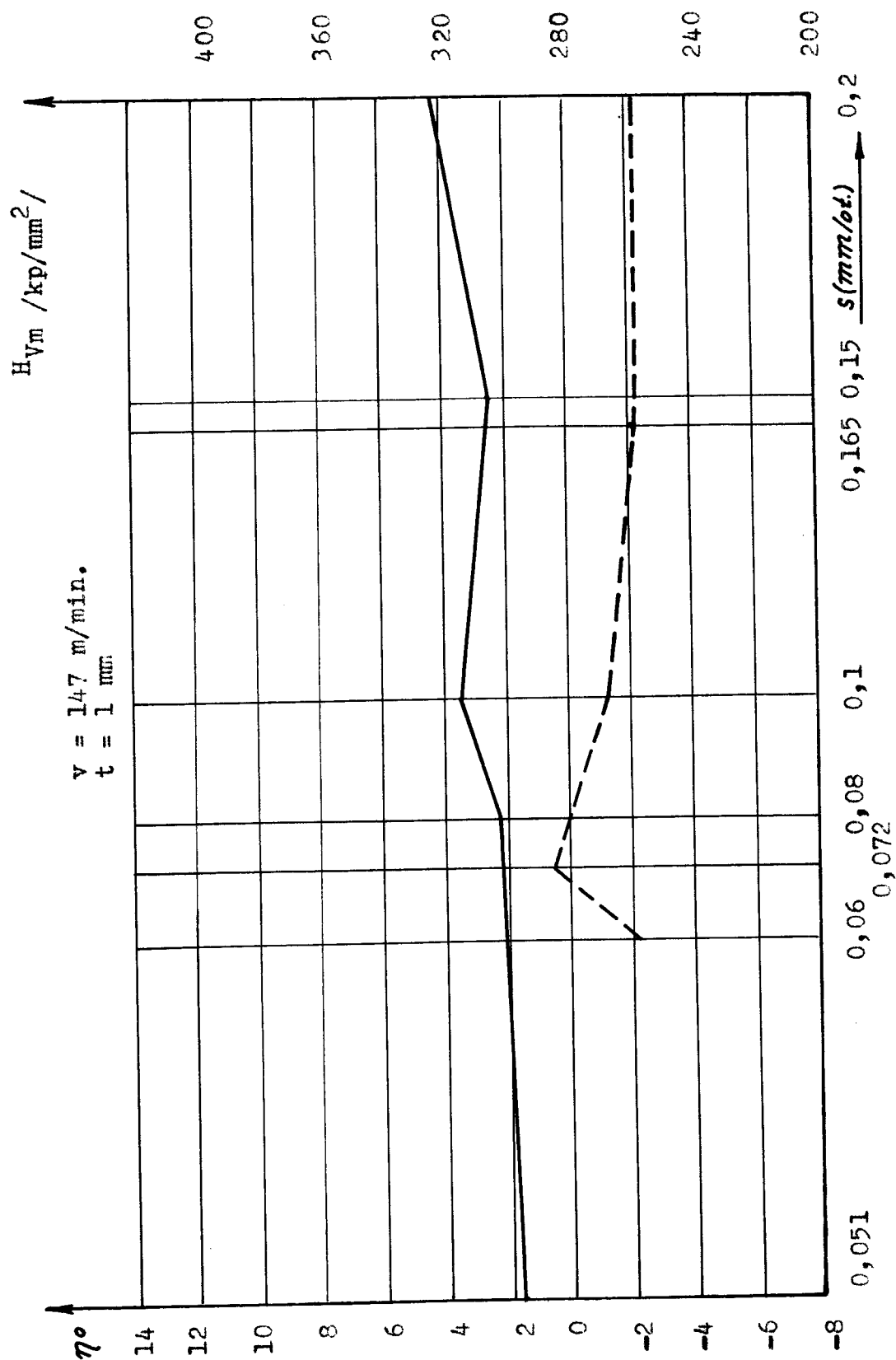


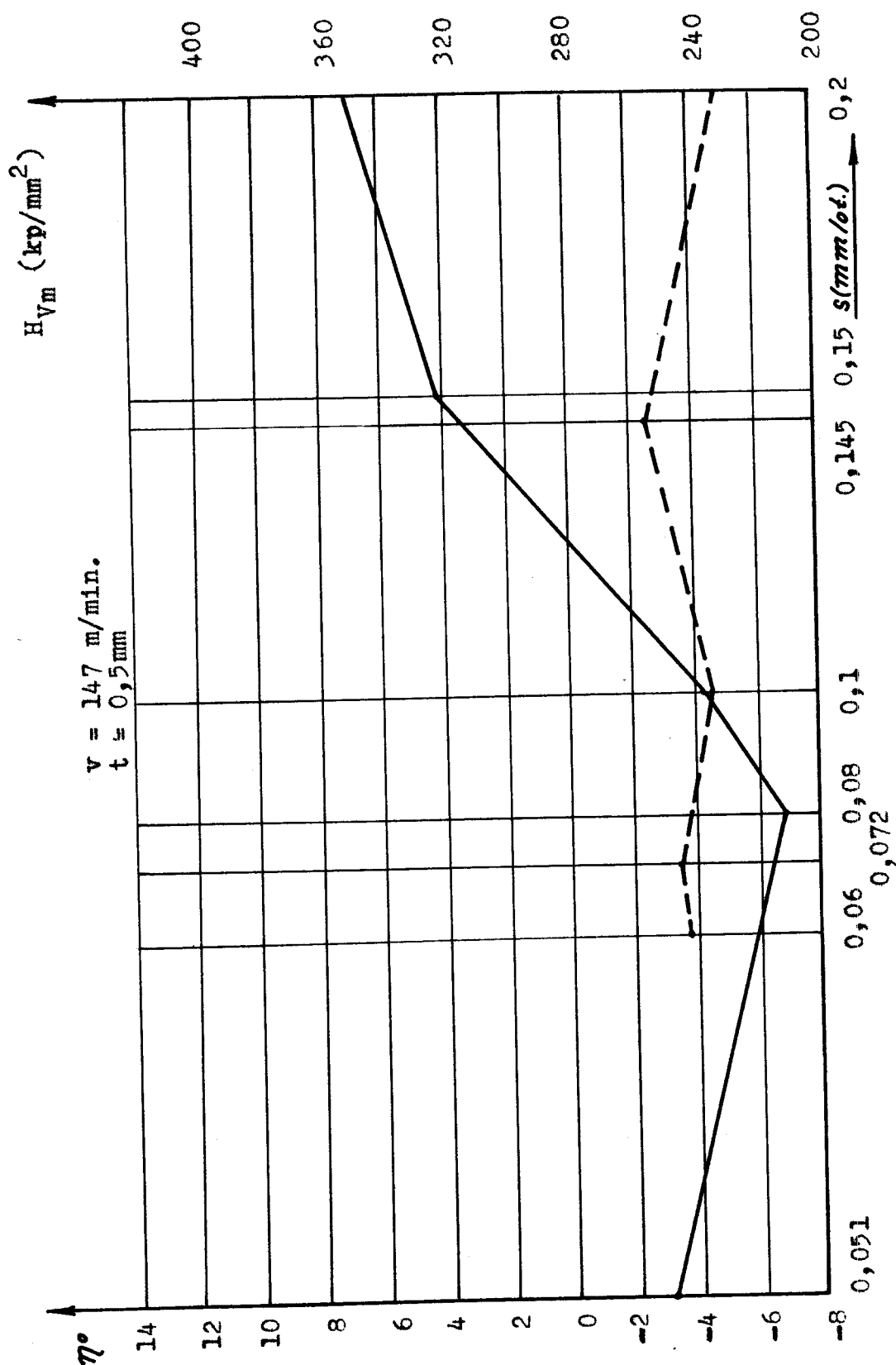


VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP ST - 688/69









VŠST Liberec	Kinematika tvorby třísky	Katedra	obrábění a ekonomiky
Fakulta strojní		DP	ST - 688/69

5.2. Vyhodnocení vlivu zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky

Z grafů je zřejmé, že zvyšováním posuvu při $t = \text{konst.}$ se zvětšuje úhel odchodu třísky. Zvětšením posuvu při $t = \text{konst.}$ se zvětšuje též poměr $\frac{s}{t}$ a tím se mění průřezový modul třísky (W_0), který nejvíce ovlivňuje úhel odchodu třísky.

Úhel odchodu třísky (v závislosti na posuvu) je nejmenší při $t = 1,5 \text{ mm}$ a při $t = 0,5 \text{ mm}$ dosáhne největší hodnoty. Je to v souladu s údaji v literatuře. Z grafů je patrné, že vliv řezné rychlosti při $t = \text{konst.}$ a $s = \text{konst.}$ na směr odchodu třísky je velmi malý.

Zpevnění povrchové vrstvy má při zvyšování posuvu (při $v = 50,2 \text{ m/min}$) klesající tendenci. Podle literatury by měla tvrdost povrchové vrstvy zvětšováním posuvu vzrůstat. Při $v = 50,2 \text{ m/min.}$ a při $t = 0,5; 1; 1,5 \text{ mm}$ tvrdost obrobeného povrchu kolísá v malých mezích, řádově několik desítek kp/mm^2 tvrdosti H_{VM} .

Průběh zpevnění povrchové vrstvy v závislosti na posuvu při $v = 100,4; 147 \text{ m/min}$ vyplynul z výsledků zkoušek jako velmi nepravidelný.

S přihlédnutím k údajům z literatury by se dal vliv zpevnění povrchové vrstvy na směr odchodu třísky vyjádřit následovně: Při $v = \text{konst.}$, $t = \text{konst.}$ v závislosti na posuvu (geometrie nástroje konstantní) by měl růst tvrdosti povrchové vrstvy obrobku vyvolat zvětšení úhlu odchodu třísky. Vyhodnocením vlivu zpevnění povrchové vrstvy materiálu na směr odchodu třísky se to v této práci nepodařilo dokázat.

1. PŘÍLOHA

Zpevněná povrchová vrstva materiálu / zvětšení 100 x /

$v=50,2 \text{ m/min.}$

$t=1,5 \text{ mm}$

$s=0,2 \text{ mm/et.}$

$v=147 \text{ m/min.}$

$t=1,5 \text{ mm}$

$s=0,2 \text{ mm/et.}$



2. PŘÍLOHA / 1. list /

v=50,2 m/min. t=1,5 mm



s=0,051 mm/et.

$\eta=1^\circ$



s=0,08 mm/et.

$\eta=2^\circ 24'$



s=0,1 mm/et

$\eta=3^\circ 17'$



s=0,15 mm/et.

$\eta=3^\circ 50'$

t=1 mm



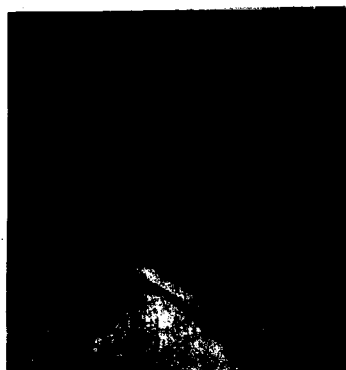
s=0,2 mm/et.

$\eta=3^\circ 20'$



s=0,051 mm/et.

$\eta=0^\circ 56'$



s=0,08 mm/et.

$\eta=2^\circ 51'$

s=0,1 mm/et.

$\eta=5^\circ 26'$



s=0,15 mm/et.

$\eta=8^\circ 10'$



s=0,2 mm/et.

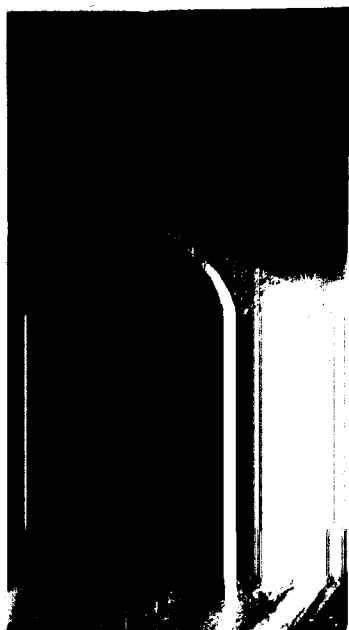
$\eta=8^\circ 54'$



2. PRÍLOHA /2. list /

$v=50,2$ m/min.

$t=0,5$ mm



$s=0,051$ mm/et.

$\eta=1^{\circ}11'$



$s=0,08$ mm/et.

$\eta=2^{\circ}12'$



$s=0,1$ mm/et.

$\eta=4^{\circ}50'$



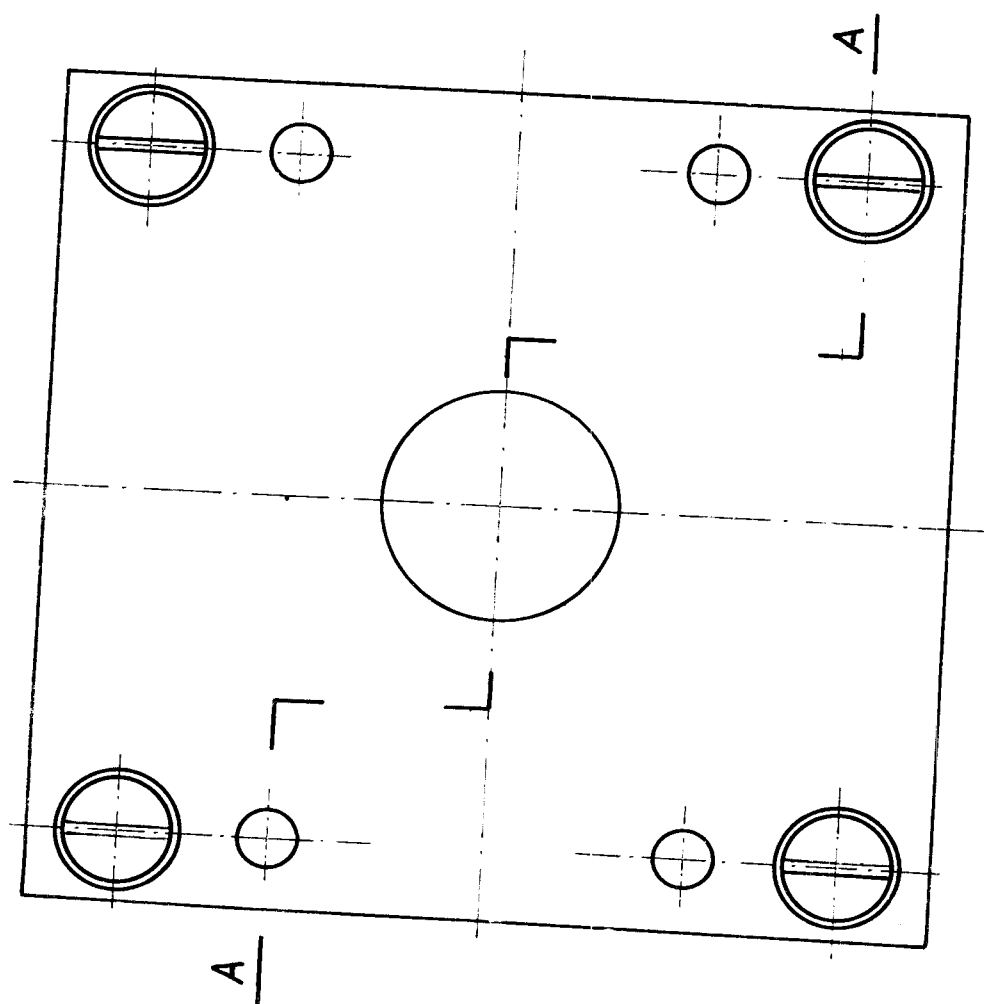
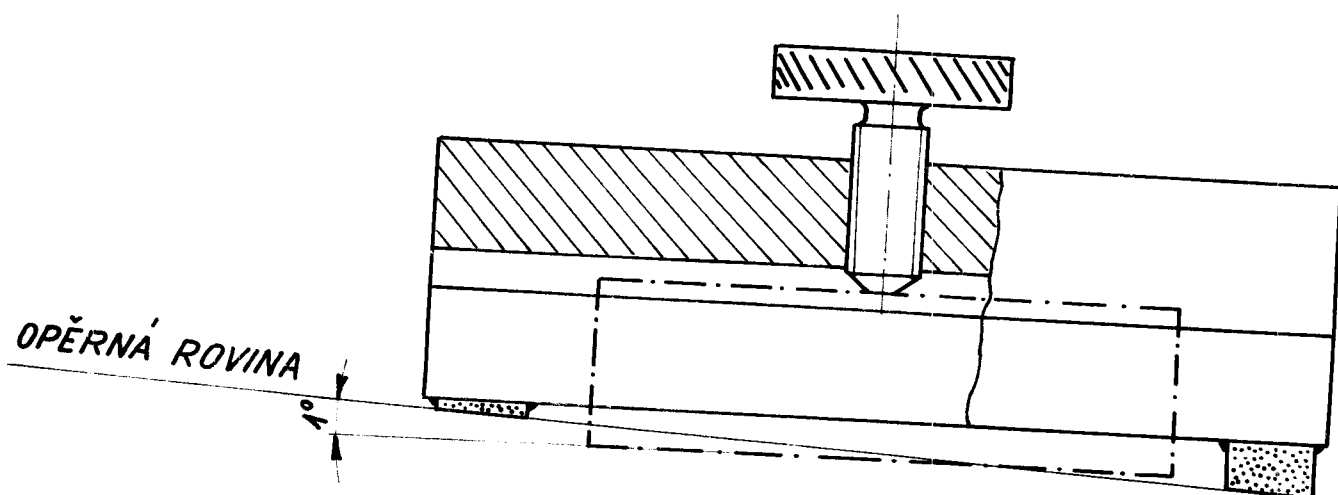
$s=0,15$ mm/et.

$\eta=7^{\circ}40'$

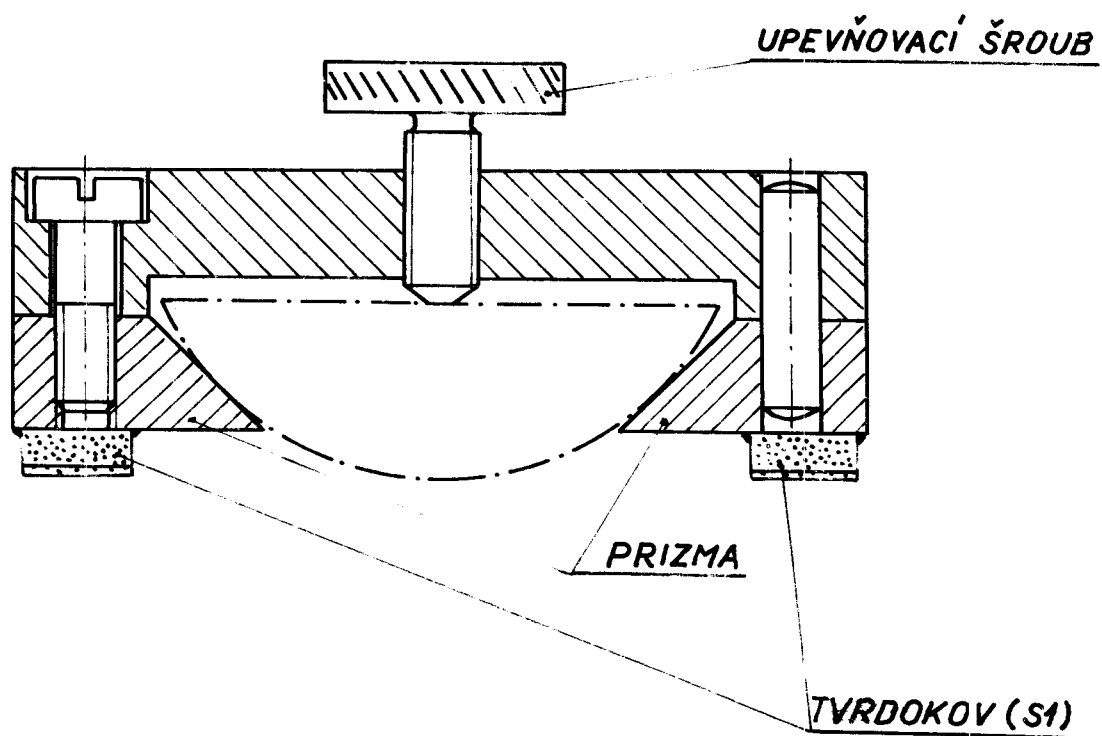


$s=0,2$ mm/et.

$\eta=12^{\circ}$



ŘEZ A-A



3. PŘÍLOHA

PŘÍPRAVEK (SCHEMA)