

Vysoká škola: strojní a textilní Liberec

Katedra: obrábění a organizace

Fakulta: strojní

Školní rok: 1965/66

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro Miroslava Ž i ž k u

obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Porovnání trvanlivosti kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji dle ČSN

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte politicko-hospodářské zdůvodnění
- 2) Ověřte přesnosti vývojového obrážecího nože výpočtem a měřením obrobků
- 3) Navrhněte a prakticky proveďte zkoušky trvanlivosti s vývojovým nástrojem a nástrojem dle ČSN
- 4) Vyhodnoťte výsledky technických zkoušek

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31.8.1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

V 2/1966

Rozsah grafických laboratorních prací: 5 - 10 schémat a diagramů

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

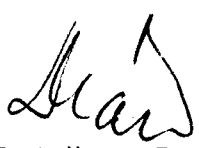
Dosavadní práce katedry

Vedoucí diplomní práce: Doc.ing. Vojtěch D r á b

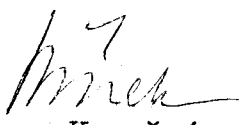
Konsultanti: Ing. Jan N o v á k

Datum zahájení diplomní práce: 7. února 1966

Datum odevzdání diplomní práce: 16. dubna 1966


Doc.ing. Vojtěch D r á b
Vedoucí katedry




Doc.ing. Miroslav K o ř í n e k CSc
Děkan

O b s a h

strana

1.	Politicko-hospodářské zdůvodnění.	1
2.	Ověření přesnosti vývojového obrážecího nože výpočtem a měřením obrobků.	2
2.1	Porovnání kruh. obráž. nože ČSN s nožem VT ..	2
2.2	Vliv úhlu čela γ na obrážecí náž.	7
2.3	Evolventní geometrie.	10
2.4	Úhel sklonu boku zubů obrážecího kola.	12
2.5	Výpočet odchylky průřezu řezné hrany ob.kola.	16
2.6	Výpočet odchylky evolventy kruh.obráž.VT nože $m = 2,5$	17
2.7	Výpočet odchylky evolv.kruh.obr.VT nože $m = 3$	21
2.8	Výpočet odchylky evolv.kruh.obr.VT nože $m = 4$	25
2.9	Výpočet evolv.kruh.obr.nožů ČSN	28
2.10	Výpočet odchylky evolv.kruh.obr.nože ČSN $m = 2,5$	28
2.11	Výpočet odchylky evolv.kruh.obr.nože ČSN $m = 3$	29
2.12	Výpočet odchylky evolv.kruh.obr.nože ČSN $m = 4$	29
2.13	Porovnání výpočtů s měřením obrobků	30
2.14	Vyhodnocení diagramu evolventy	32
2.15	Vyhodnocení diagramu evolventy pro $m = 4$	33
2.16	Vyhodnocení diagramu evolventy pro $m = 3$	34
2.17	Vyhodnocení diagramu evolventy pro $m = 2,5$...	35
3.	Zkoušky trvanlivosti nástroje VT a ČSN	37
3.1	Opotřebení kruh.obr.nožů	37
3.2	Provádění zkoušek	40
4.	Výsledky zkoušek trvanlivosti.	42
4.1	Zkoušky opotřebení nástrojů $m=2,5$ na stroji OH 4.	42
4.2	Výsledky zkoušek	43
4.3	Zkoušky opotřebení nástroje $m=2,5$ na stroji OH 6.	44

VŠST Liberec	Porovnání trvanlivosti kruhových obrážecích nožů vývojového typu s nástroji dle ČSN.	DP - ST 425 / 66	
		16. IV. 1966	
		Ž i ž k a Miroslav	
4.4	Výsledky zkoušek.	46
4.5	Zkoušky opotřebení nástrojů m = 4 na stroji OH 6	57
4.6	Výsledky zkoušek	58
5.	Z á v ě r	65
6.	Seznam použité literatury. a příloh.	68

1. Politicko-hospodářské zdůvodnění.

V naší socialistické společnosti je nutno neustále a plánovitě rozvíjet všechny obory národního hospodářství, zejména průmyslu, který si musí zachovávat svou již tradiční vyspělost. Toto rozvíjení však vyžaduje zavádění nových forem práce na jedné straně a maximální využívání stávajících kapacit na straně druhé.

Hlavní snahou našeho národního hospodářství je zvyšování produktivity práce a tím zvyšování životní úrovně všeho obyvatelstva. Proto je nutné, abychom se všichni osobně zúčastnili tohoto snažení, které je hybnou silou pokroku ve všech odvětvích národního hospodářství.

Ozubená kola patří k nejrozšířenějším, nejdůležitějším a také k nejdražším součástem většiny mechanismů a ovlivňují někdy velmi podstatně cenu výrobků.

Spotřeba ozubených kol v našem průmyslu neustále roste, přes to, že v některých případech jsou nahražována jinými mechanismy; na př. hydraulickými, pneumatickými nebo elektrickými.

Nástroje na výrobu ozubených kol jsou velmi drahé a proto je nutno hledat cesty ke zvýšení jejich životnosti.

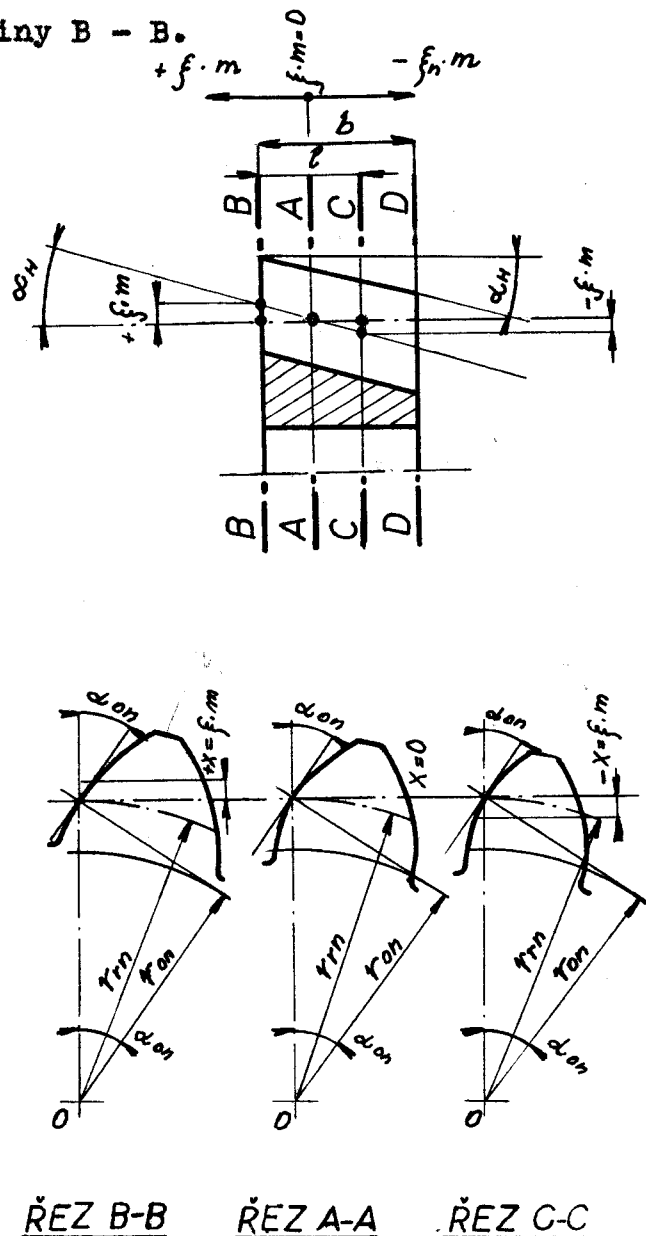
Jedna z metod obrábění ozubených kol je obrázení obrážecími koly. Tato metoda je vhodná jak pro výrobu vnějšího, tak vnitřního ozubení, je však jedinou metodou pro výrobu vnitřního ozubení. *protahování*

Snahou této práce je ukázat, že změna geometrie obrážecího kola vede ke zvýšení trvanlivosti ostří a tím k prodloužení životnosti nástroje.

2. Ověření přesnosti vývojového obrážecího
nože výpočtem a měřením obrobků.

2.1 Porovnání kruhového obrážecího nože ČSN s nožem vý-
vojového typu. / dále jen VT nástrojem /

Kruhový obrážecí nůž je v podstatě ozubené kolo s vnějším ozubením se spojitou korekcí [4]. To zn., že korekce se mění spojitě, v tomto případě lineárně. K dosažení hřbetních úhlů na bocích zubů se musí tloušťka zubů zmenšovat úměrně se vzdáleností od roviny B - B.



obr. 1

Tím vznikají na bocích zubů evolventní šroubové plochy. Na levém boku je pravotočivá evolventní šroubová plocha a na pravém boku opačná. Tyto evolventní šroubové plochy se dají poměrně jednoduše vyrobit na odvalovacích strojích a brousit k dosažení přesného tvaru na strojích k tomu zvláště přizpůsobených např. Kolbe nebo Farrel Sixe.

Je nutno si povšimnout, že šířka hlavy Sh se zvětšuje směrem od leva doprava /obr. 1/ a velikost korekce $+x = f \cdot m$ až $-x = f \cdot m$ je omezena na straně levé špičatosti zubů a na straně pravé podříznutím zubů nástroje.

Dosavadní nástroje ČSN mají správný profil v řezu A - A - který je vzdálen $\frac{1}{3} b$ od roviny B-B. Po sbrúšení nástroje na $\frac{1}{3}$ tloušťky b od roviny D - D je zcela opotřebován a nástroj je nutno vyměnit, neboť již nevyhovuje jeho pevnost. Čili nástroj má správný nekorigovaný profil pouze v rovině A - A. V jiných rovinách by pracoval s jistou chybou, kterou je nutno odstranit změnou osové vzdálenosti mezi nástrojem a obrobkem. To znamená, že nástroj ČSN využívá kladné i záporné korekce ve vzdálenosti $\pm \frac{1}{3}$ výšky nástroje od nulové korekce.

Nástroj VT je opět v principu spojitě korigované ozubené kolo, na rozdíl od nástroje ČSN pracuje v oblasti pouze záporné korekce.

U nástroje VT se využívá toho, že šířka hlavy Sh roste spojitým korigováním zleva doprava./ viz obr.1/ Zároveň však se zmenšuje šířka zubů, jak je zřejmé z řezů na evolventní šroubové ploše, kde každý řez vzdálený od základní čelní roviny Z o jistou vzdálenost f je opět evolventa tak, jako v rovině Z , jenomže je posunuta axiálně o hodnotu f a potočena kolem osy o úhel příslušný stoupání evolventní šroubové plochy ve vzdálenosti f / viz obr. 3 /

hlavní

Kolo VT bude na \varnothing menší než kolo ČSN a bude mít větší šířku hlavy Sh, přičemž zuby budou slabší než u nástroje ČSN. Proto, aby vznikl správný obrobek, musí se nástroj VT přiblížit více obrobku než nástroj ČSN, aby vzniklo stejné ozubení na obrobku jako od nástroje ČSN. Vysvětlení zvětšení šířky hlavy Sh podává obr. 2 podle [3].

Na obrázku 2 v rovině 1 je místo maximální kladné korekce, t.zn., že nástroj je maximálně vysunut ze záběru, což má za následek zašpičatění zubů.

Směrem nahoru se nástroj postupně zasouvá do záběru a v rovině 3 je místo nulové korekce.

V rovině 2 je hranice záporné korekce a za ní jsou již zuby podříznuty.

Nůž ČSN využívá oblast \pm korekce ve vzdálenosti $\pm 1/3 b$ od roviny 3, na obr. 2 je tato oblast vymezena rovinami 4 a 5 a šířka Sh_5 a Sh_4 je poměrně malá.

Nejvýhodnějším nástrojem by byl nástroj značený v obr. 2 čárkami, to proto, že by pracoval mezi rovinami 2 a 8 a část s podříznutými zuby od roviny 2 k rovině 9 by již nepracovala.

Tento nástroj byl vyroben, ale podříznuté zuby části nástroje působily nezvyklým dojmem a proto nástroj VT je umístěn od roviny 2 k rovině 6, čímž se proti ideálnímu nástroji poněkud zmenší šířka hlavy, avšak je podstatně větší než u nástroje ČSN.

Zvětšení šířky hlavy Sh je nejvíce patrné u menších modulů. Jak z dalšího vyplývá je již u modulu 4 rozdíl Sh mezi nástrojem ČSN a VT podstatně menší.

Jako doplněk tohoto vysvětlení je možno říci, že je ještě jedna cesta k zvýšení šířky hlavy Sh a sice prosté přebroušení hlavového \varnothing avšak zuby s tímto nástrojem by nebyly dokončené a bylo by to vhodné pouze pro hrubování a obrobek by se musel do-

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
ČSN.

DP - ST 425 / 66 / 5.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

končit jiným nástrojem.

Z obrázku 2 dále vyplývá, že ϕ dhn - ČSN >
 ϕ dhn VT.

Z této nerovnosti vyplývá při seriové výrobě nástrojů úspora drahého nástrojového materiálu, kterým je 19824 nebo 19826. Toto však není hlavní výhoda nového nástroje.

Obecně lze říci, že zub obrážecího kola odebírá najednou třemi břity třísky a to hlavovou třísku, boční vstupní třísku a boční výstupní třísku. V důsledku velmi krátkého hlavového břitu, který relativně odebírá největší množství materiálu, nastává na něm koncentrace tlaku a teploty - tím vzniká značné opotřebení.

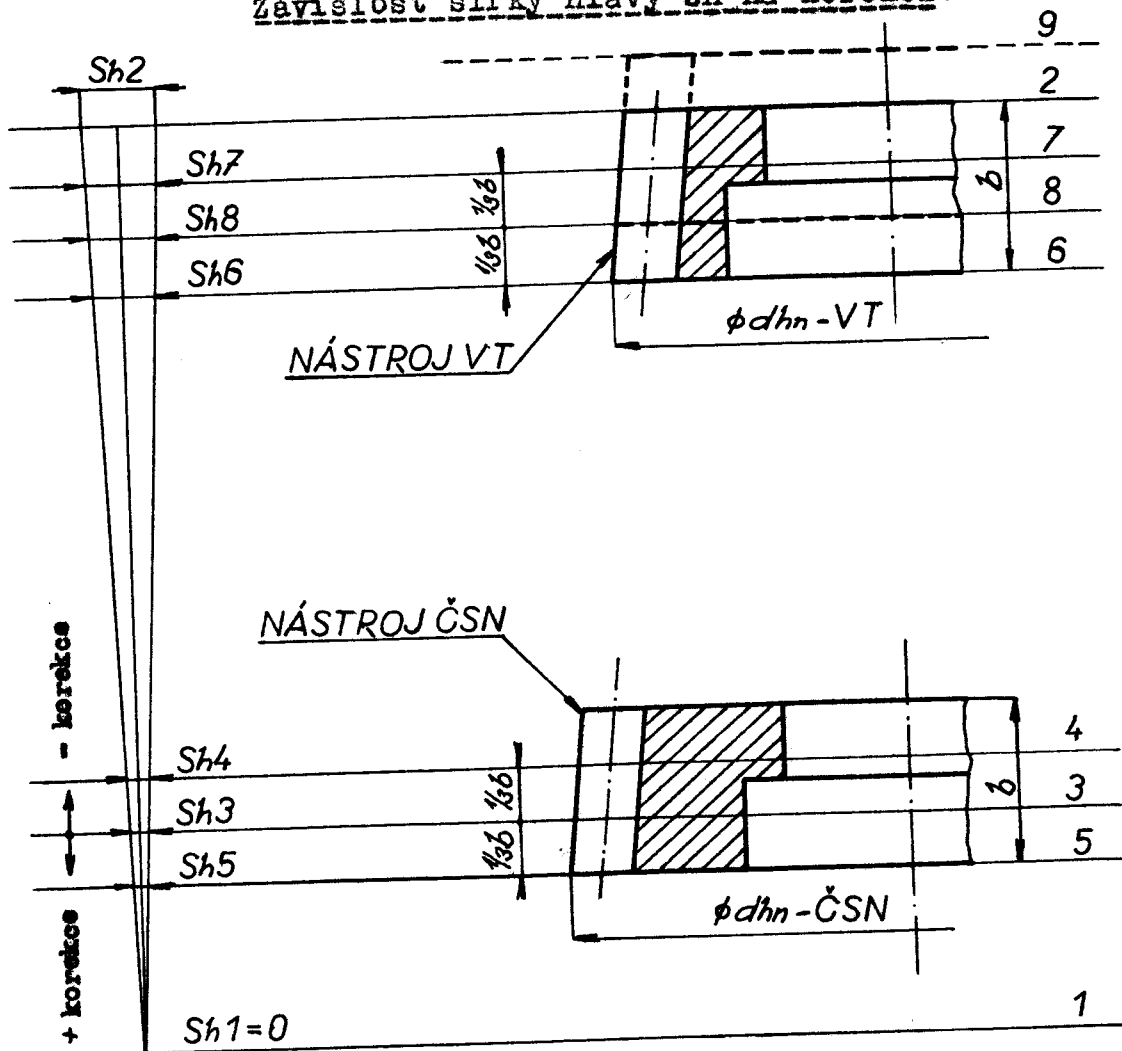
V důsledku nepříznivých poměrů při odchodu tří třísek najednou dochází k abnormálnímu opotřebení výstupního břitu nástroje, který odebírá relativně nejméně materiálu.

Nůž VT vykazuje menší opotřebení a značné prodloužení trvanlivosti tím, že využívá optimální šířky hlavového břitu, která se získá využitím maximální záporné korekce až k mezi podříznutí.

Zvětšením hlavového břitu se dosáhne příznivého rozložení tlaku a teploty a tím menší opotřebení.

Vlivem širší hlavové třísky se příznivě změní směr odchodu všech tří třísek, což má za následek menší namáhání výstupního břitu a zmenšení jeho opotřebení.

Závislost šířky hlavy Sh na korekci.



- Rovina 1 - mez špičatosti zubu
- Rovina 2 - mez podříznutí zubu
- Rovina 3 - nulová korekce
- Rovina 4 - max. využití nástroje ČSN /max.-korekce/
- Rovina 5 - čelo nového nástroje ČSN /max.+ korekce/
- Rovina 6 - čelo nového nástroje VT /min.-korekce/
- Rovina 7 - max. využití VT - nástroje
- Rovina 8 - střední - korekce VT nástroje
- Rovina 9 - upínací rovina teoreticky nejvýhodnějšího nástroje.

obr. 2

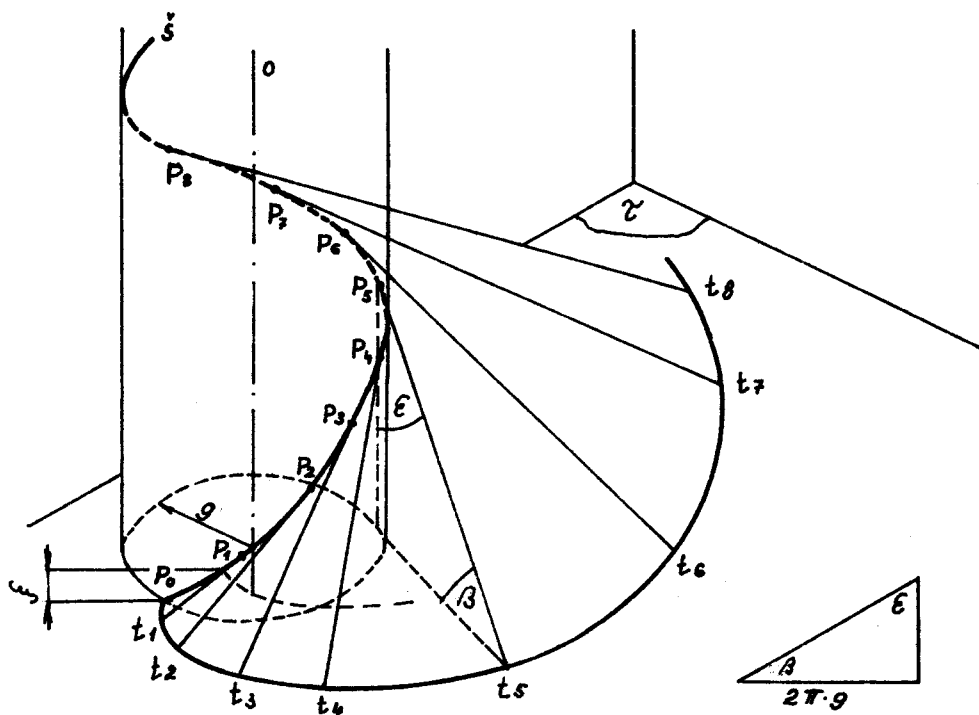
2.2 Vliv úhlu čela γ na obrážecí nůž.

Protože boky zubů obrážecího kola jsou evolventní šroubové plochy je nutno se pro další úvahy seznámit se vznikem této plochy.

Evolventní šroubová plocha je vytvářena tečnami ke šroubovici, navinuté na válec o poloměru g .

Stopníky tečen ke šroubovici na základní rovině Σ vytváří rovinnou křivku - evolventu.

Tvar evolventní šroubové plochy ukazuje následující obrázek.



β - úhel stoupání šroubovice

$t_1, t_2 \dots t_8$ - tečny k hrdelní šroubovici $\underline{\check{s}}$

ϵ - úhel sklonu šroubovice

g - poloměr hrdelní šroubovice

Částí této evolventní šroubové plochy je bok zubů obrážecího kola. Levý bok zubů nástroje je tvořen pravotočivou evolventní šroubovou plochou a pravý bok levotočivou.

Každý řez rovinou kolmou k ose evolventní šroubové plochy dá vzniknout přesné evolventě, která leží v této rovině. Proto, aby obrážecí kolo mohlo správně pracovat musí mít vybroušen úhel čela γ . Tento úhel se vybrušuje ve tvaru kuželové plochy.

Vybroušením úhlu čela však se změní tvar křivky boku nástroje. Nedostaneme již evolventu, ale nějakou jinou křivku a teprve průmět této křivky do roviny Σ / viz obrázek 3/ nám tvoří křivku v jaké budou vyrobeny boky zubů obrobku.

Zuby obrobku by nebyly vyrobeny evolventní. Proto se musí vyrobit evolventní šroubová plocha o větším úhlu záběru, aby chyba po nabroušení úhlu γ byla co možná nejmenší od ideální evolventy.

Výpočet odchylky evolventy byl doposud zatížen nepatrnou chybou, která je prakticky zanedbatelná. Tato chyba vznikla tím, že dosavadní výpočet byl proveden podle rovnice / 5 /, která byla vytvořena jako řez evolventní šroubové plochy tečnou rovinou ke kuželové ploše vzniklé ostřením úhlu γ . Zanedbává se zde nepatrné zakřivení kuželové plochy. Pro informaci bude proveden výpočet se zanedbáním tohoto zakřivení /viz obr. 4/ podle [1] a v kapitole 2.4 s přihlédnutím k tomuto zakřivení podle [2].

Na obr. 4 je kotoučový nůž nahrazen obrážecím hřebem s úhlem profilu obráženého kola. Vyostříme-li na tomto nástroji úhel čela γ , pak vytne tento průmět břítu do roviny Σ /úhel α průmětu, který je menší než původní úhel profilu α_0 ozubeného kola. Abychom tedy vyrobili ozubené kolo s úhlem α_0 , je nutno úhel α_0 zvětšit o hodnotu $\Delta\alpha_0$ proti úhlu α . Z $\triangle BCD$ a $\triangle ACD$ odvodíme.

$$\operatorname{tg} \alpha_{on} = \frac{S}{h_n} = \frac{S}{h - CB} \quad /1/$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{DC}{h} \Rightarrow DC = h \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad /2/$$

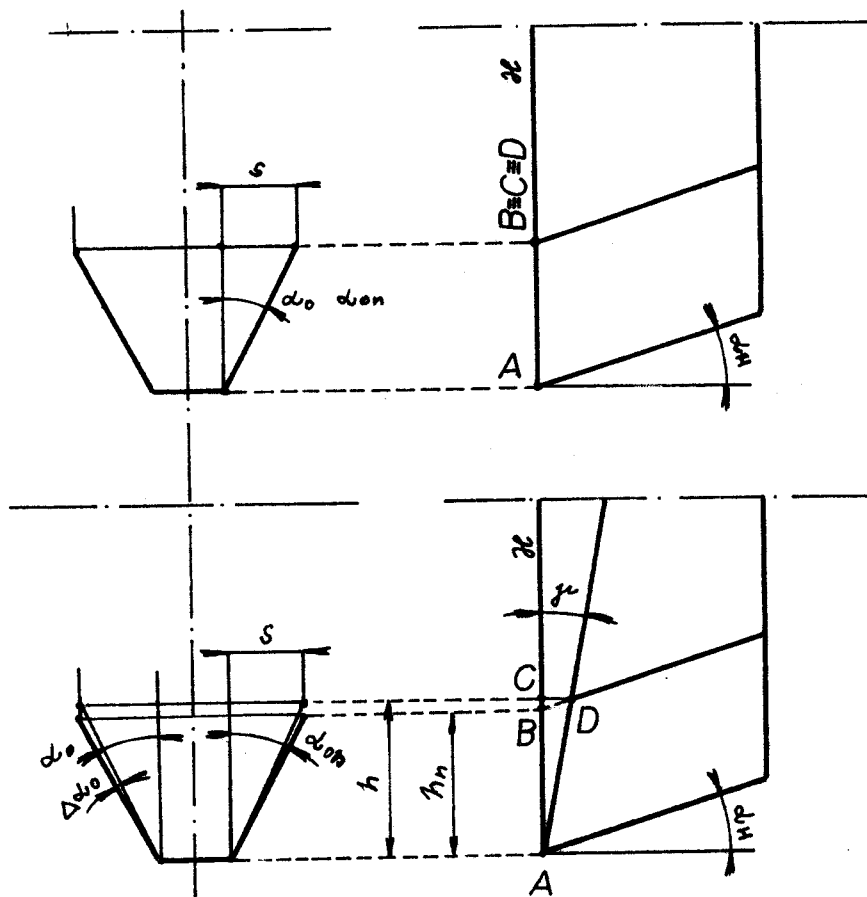
$$\operatorname{tg} \alpha_h = \frac{CB}{DC} \Rightarrow CB = DC \cdot \operatorname{tg} \alpha_h = h \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha_h \quad /3/$$

$$\operatorname{tg} \alpha_o = \frac{S}{h} \Rightarrow S = \operatorname{tg} \alpha_o \cdot h \quad /4/$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{on} = \frac{S}{h} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_o}{1 - \operatorname{tg} \alpha_h \cdot \operatorname{tg} \gamma} \quad /5/$$

Protože bychom vyráběli kolo s menším úhlem záběru musíme u nástroje úhel zvětšit o hodnotu -

$$\Delta \alpha_o = \alpha_{on} - \alpha_o \quad /6/$$

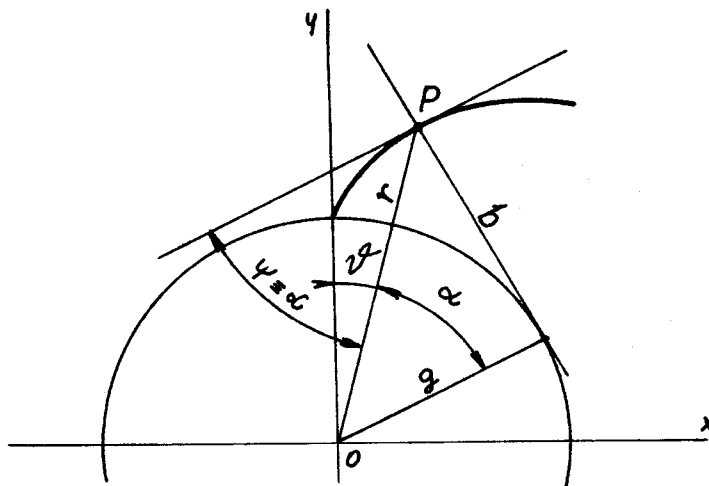


obr. 4

Protože k výpočtu průmětu řezné hrany podle [2] je nutno se seznámit s evolventní geometrií, je tato uvedena v následujícím článku o evolventní geometrii.

2.3 Evolventní geometrie.

Z toho důvodu, že v další kapitole bude uveden výpočet odchylky evolventy podle profesora E. Buckingham, bude zde použito symbolů podle [2].



obr. 5

g - poloměr základní kružnice

b - vzdálenost mezi pólem P a bodem dotyku tvořící přímky se zákl. kružnicí

r - délka průvodiče

α - úhel tlaku

Bez odvození : $\psi = \text{tg } \alpha - \alpha = \text{inv } \alpha$

/7/

$$r = \frac{g}{\cos \alpha}$$

/8/

podle obr. 5 platí: $\text{tg } \alpha = \frac{b}{g}$

/9/

$$b = \sqrt{r^2 - g^2}$$

/10/

proto platí : $\text{tg } \alpha = \frac{\sqrt{r^2 - g^2}}{g} = \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$

/11/

nebo : $\alpha = \text{arctg } \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$

/12/

Dosadíme-li vzorec 12 do rovnice involuty, obdržíme:

$$\operatorname{tg} \psi = r \frac{d\varphi}{dr} \quad /14/$$

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dr} &= \frac{\frac{r}{g^2}}{\sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}} - \frac{\frac{r}{g^2}}{\left(\frac{r}{g}\right)^2 \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}} = \frac{\left(\frac{r}{g}\right)^2 \cdot \frac{r}{g^2} - \frac{r}{g^2}}{\left(\frac{r}{g}\right)^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}} = \\ &= \frac{\frac{r}{g^2} \cdot \left[\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1\right]}{\left(\frac{r}{g}\right)^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}} = \frac{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}{r \cdot \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}}{r} \quad /15/ \end{aligned}$$

$$r \cdot \frac{d\varphi}{dr} = \operatorname{tg} \psi = \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} = \operatorname{tg} \alpha$$

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

$$\psi = \alpha \quad /16/$$

Tím je dokázáno, že tečna evolventy je kolmá k vytvářející přímce. Tohoto úhlu bude užito v dalších výpočtech.

2.4 Úhel sklonu boku zubů obrážecího kola.

V původní literatuře /2/ je uvedeno:

" Das Hinterarbeiten des Schneidrades ". Je to vlastně úhel sklonu tečny k evolventní šroubové ploše v uvažovaném bodě. *tečna evoluty*

Aby bylo docíleno nejvhodnějších řezných poměrů musí být boky zubů řezného kola skloněny. Řezné hrany musí být nastaveny tak, aby byl vyroben správný tvar zubů. To lze docílit uspořádáním boků do tvaru evolventních šroubových ploch.

Teoreticky jsou obrážecí kola odvalovací frézy o více chodech s velkým stoupáním, u nichž je řezného účinku dosahováno nikoliv otáčením, nýbrž vratným pohybem podél osy. Způsob opracování boku zubů byl uveden v kapitole 2.1 .

Existují dva vzorce pro úhel φ a to vzorec /13/ a /7/.
Pro další výpočty bude užíván vzorec /7/.

Z výsledků minulých kapitol vyplývá, že rovnice evolventy, která je řezem roviny kolmé k ose nástroje je:

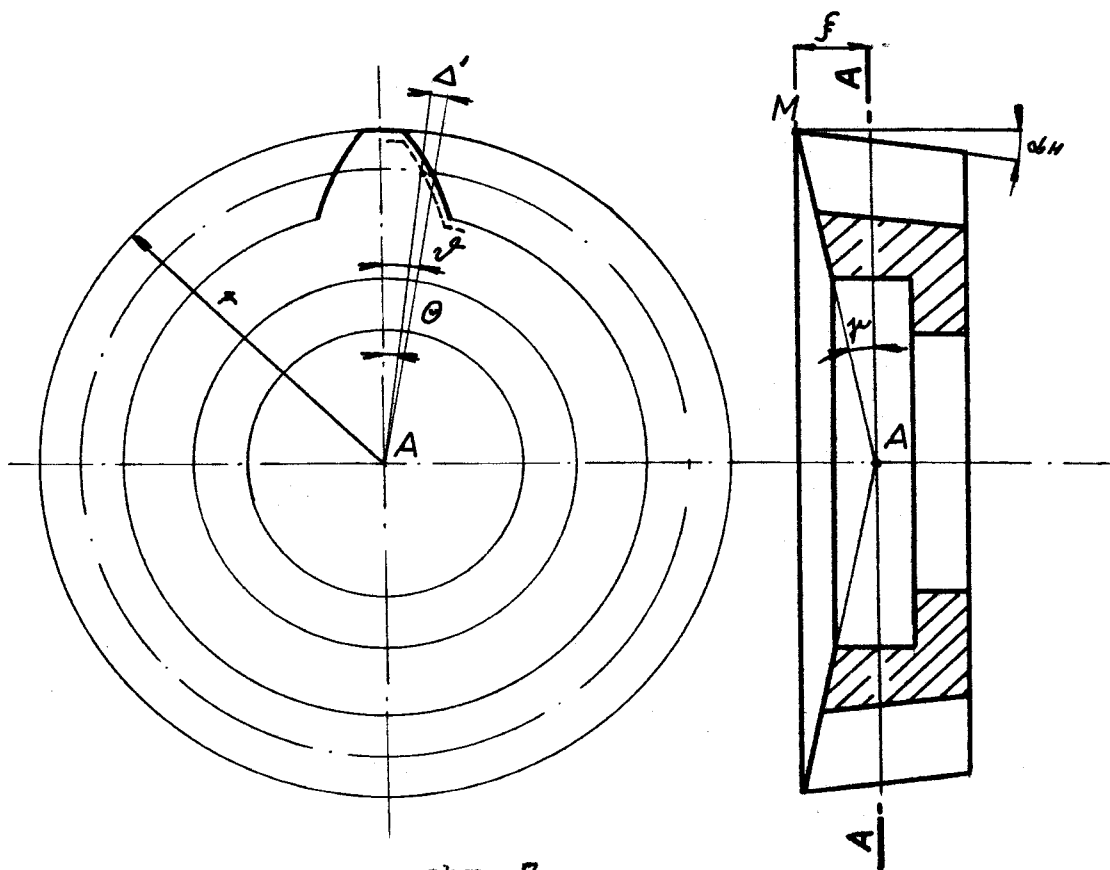
$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{r}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{g'}\right)^2 - 1}$$

r - libovolný poloměr - průvodič

g' - poloměr zákl.válce evolventní šroubové plochy

φ - polární úhel

Protože však řezné hrany obráběcího kola ne-
leží v rovině kolmé k ose kola, nýbrž na kuželové
ploše/ řezná hrana je průnik evolventní šroubové
plochy s kuželem v polovičním vrcholném úhlu $(90 - \gamma)/$
musí se v soulase s teorií uvedenou v kapitole 2.2
úhel záběru φ zvětšit.



obr. 7.

Vezmeme-li libovolný bod M ostří a prolčíme-li vrcho-
lem kužele ostření A rovinu A - A, bude kolmá vzdá-
lenost f mezi uvažovaným bodem a rovinou A - A:

$$f = r \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad /17/$$

Řez boční částí zuba řadou rovin kolmých k ose
v určitých vzdálenostech je shluk evolvent a evolven-
tní průřezy jednotlivých rovin jsou k sobě navzájem
pootočený a to o úhel Δ' , jehož velikost je závislá
na stoupání evolventní šroubové plochy. Úhel pooto-
čení Δ' je závislý na vzdálenostech rovin f .

Při vzdálenosti roviny rovné stoupání evol-
ventní šroubové plochy bude úhel pootočení v oblou-
kové míře $\Delta' = 2\pi$, ve vzdálenosti f bude $\gamma = \frac{f}{S} \cdot 2\pi$
příčemž S - stoupání ev. šroubové plochy.

Polární rovnice průmětu řezné křivky hřbet-
ní části zubu s kuželovou plochou do roviny A - A
bude mít tvar:

$$\theta = \gamma - \Delta' = \sqrt{2\pi} \frac{f}{S} + \sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1} \quad /18/$$

kde je $f = r \cdot \operatorname{tg} \gamma$

$$\text{potom: } \theta = - \frac{2\pi}{S} \operatorname{tg} \gamma \cdot r + \sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1} \quad /19/$$

Dosadíme-li za:

$$\frac{2\pi}{S} \cdot \operatorname{tg} \gamma = C$$

$$\text{je: } \theta = - Cr + \sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1} \quad /20/$$

$$\frac{d\theta}{dr} = -C + \frac{\sqrt{\left(\frac{r}{S}\right)^2 - 1}}{r} \quad /21/$$

Úhel sklonu tečny křivky podle obr. 6
je pro rozt. kružnici:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \gamma = r \cdot \frac{d\theta}{dr} \quad /22/$$

Na rozt. kružnici řezného kola musí být

$\Delta' = \frac{f}{S} \cdot 2\pi$

Úhel oblou-
činnosti Δ'

\bar{v}

2

tento úhel α roven úhlu záběru α , pro který je řezné kolo určeno. Dosadíme-li za $r = R$ bude platit:

$$\operatorname{tg} \alpha = -CR + \sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 - 1} \quad / 23/$$

α - úhel záběru na rozt. kružnici, pro který je řez. kolo určeno.

α' - úhel záběru evolventní šroub. plochy v řezu kolmém k ose, na rozt. kružnici.

g - poloměr základní kružnice odpovídající úhlu záběru

g' - poloměr zákl. kružnice odpovídající záběrovému úhlu α' .

$$\operatorname{tg} \alpha = -CR + \sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 - 1} \quad / 24/$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} = \operatorname{tg} \alpha + CR \quad / 25/$$

$$RC = \frac{2\pi \cdot R}{S} \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad / 26/$$

Je tedy $\frac{2\pi \cdot R}{S}$ tangenta úhlu sklonu boků na roztečné kružnici, t. j. úhlu, který svírá osa s tečnou ke šroubovici evolventní šroubové plochy o stoupání S na poloměru R .

Označíme-li tento úhel ε viz obr. 3 bude:

$$CR = \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \quad / 27/$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \quad / 28/$$

Hřbetní úhel α_h při vrcholu nutno volit tak, aby zajistil dostatečné hřbetní úhly. Z výpočtu evolventních šroub. ploch, který zde není uveden vypočítá se úhel α_h ze vzorce úhlu sklonu na rozt. kružnici.

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha_h \quad / 29/$$

Zpravidla je postačující volit úhel sklonu šroubovice na základní kružnici $\varepsilon = 2^\circ$ a potom vyjde: $\alpha_h = 6^\circ$.

V normě ČSN je uveden úhel $\alpha_h = 5^\circ 30'$, který zajišťuje optimální řezné podmínky. Při dalších výpočtech odchylky evolventy bude proto uvažován úhel $\alpha_h = 5^\circ 30'$. V německé literatuře má tento úhel velikost 7° .

2.5 Výpočet odchylky průmětu řezné hrany obráběcího kola VT od ideální evolventy.

Jak již bylo řečeno, průsečnice evolventní šroubové plochy s čelní kuželovou plochou není evolventa. Proto, aby se řezná hrana přiblížila co nejvíce evolventě, dělá se úprava podle prof. Buckinghama, která byla popsána v předešlé kapitole.

Avšak ani po této úpravě nevznikne ideální evolventa, ale tato křivka má tak malé chyby, že je pro praktické použití upotřebitelná.

Průmět bočního břítu by byl evolventou pouze ve dvou případech :

- 1/ Když boky zubu obráběcího kola budou mít tvar válcových evolventních povrchů, t.j. úhel ϵ na všech kružnicích $\epsilon = 0$. Při tomto úhlu jakákoliv ostření obráběcího kola nebude mít vliv na průmět břítu.
- 2/ Když při tvoření bočních ploch zubu ve tvaru evolventních šroubových ploch provedeme ostření v rovinách kolmých k ose obráběcího kola $\gamma = 0$.

Avšak pro zlepšení obráběcích podmínek se volí $\gamma > 0$ a $\epsilon > 0$, čímž se záměrně způsobuje odklon průmětové křivky bočního břítu obráběcího kola od správného tvaru.

V následujícím bude proveden výpočet odchylky evolventy od teoreticky přesného tvaru pro moduly 2,5; 3; 4;

2.6 Výpočet odchytky evolventy kruhového obráběcího VT
nože $m = 2,5$.

$$\underline{m = 2,5; \quad s = 40; \quad \alpha_h = 5^{\circ}30'; \quad \gamma = 5^{\circ} \quad R = 50 \text{ mm},}$$

$$\underline{\alpha = 20^{\circ} \quad Ra = 52,183 \text{ mm}}$$

Výpočet zvětšeného úhlu záběru α' :

$$\text{tg } \epsilon = \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \alpha_h$$

$$\text{tg } \alpha' = \text{tg } \alpha + \text{tg } \gamma \cdot \text{tg } \epsilon = \text{tg } \alpha / 1 + \text{tg } \alpha_h \cdot \text{tg } \gamma / =$$

$$0,36397 \cdot / 1 + 0,09629 \cdot 0,08749 / =$$

$$0,36397 \cdot / 1,00842 / = 0,36703$$

$$\underline{\underline{\alpha' = 20^{\circ}9'18''}}$$

Rovnice ideální evolventy:

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \text{arctg } \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

Stanovíme 3 body křivky:

r - poloměr hlavové kružnice Ra

r - poloměr roztečné kružnice R

r - poloměr zákl. kružnice g

$$\underline{\text{Pro } r = g = R \cdot \cos 20^{\circ} = 50 \cdot 0,93969 = 46,984 \text{ mm bude}}$$

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \text{arctg } \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

$$\underline{\underline{\vartheta = 0}}$$

$$\underline{\text{Pro } r = R = 50 \text{ mm bude}}$$

$$\vartheta = \text{tg } 20^{\circ} - \text{arc } 20^{\circ} = \text{inv } 20^{\circ} = 0,01490$$

$$\underline{\underline{\vartheta = 0,01490}}$$

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425/66/18.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

Pro $r = R_a = 52,183$ mm

$$\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1 = \left(\frac{52,183}{46,984}\right)^2 - 1 = 1,23343$$

$$\sqrt{\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,23343} = 0,48314$$

$$\begin{aligned} \nu &= 0,48314 - \operatorname{arctg} 0,48314 = 0,48314 - 0,44998 \\ &= 0,03316 \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\nu = 0,03316}}$$

Na průmětu řezné hrany do roviny kolmé k ose bude:

$$\theta = -Cr + \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

$$c = \frac{2\pi}{s} \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

$$\frac{2\pi \cdot R}{s} = \operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Z toho nám vyjde stoupání evol.šroubové plochy na
rozt. kružnici: [mm]

$$s = \frac{R \cdot 2\pi}{\operatorname{tg} 5^\circ 30' \cdot \operatorname{tg} 20^\circ} = \frac{50 \cdot 2\pi}{0,09629 \cdot 0,36397} = \underline{\underline{8965,7}}$$

$$c = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} 5^\circ}{8965,7} = \frac{2 \cdot 0,08749}{8965,7} = \underline{\underline{0,0000612}}$$

Pro $r = g = 46,984$ bude:

$$\theta = -C \cdot g \sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$g' = R \cdot \cos \alpha = 50 \cdot \cos 20^\circ 9' 18'' = 50 \cdot 0,93876 = \underline{\underline{46,938}} \text{ mm}$$

$$\sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{46,984}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{1,0019609} = \sqrt{0,00196} =$$

$$= \underline{\underline{0,044283}}$$

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425/66/19.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

$$\sqrt{\quad} = 0,044283$$

$$\theta = - 0,0000612 \cdot 46,984 + 0,04428 - \operatorname{arctg} 0,04423 = \\ = - 0,00287 + 0,04428 - 0,04423 = -0,00282$$

$$\theta = - 0,00282$$

Pro $r = R = 50$ mm je :

$$\theta = - CR + \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{50,000}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,13465} = 0,36696$$

$$\theta = - 0,0000612 \cdot 50 + 0,36696 - \operatorname{arctg} 0,36696 = \\ = 0,36390 - 0,35163 = 0,01227$$

$$\theta = 0,01227$$

Pro $r = R_a = 52,183$ mm je :

$$\theta = - C \cdot R_a + \sqrt{\left(\frac{R_a}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{R_a}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R_a}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{52,183}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,23587} = 0,48566$$

$$\theta = - 0,0000612 \cdot 52,183 + 0,48566 - 0,45204 = 0,03043$$

$$\theta = 0,03043$$

Propočtené údaje jsou sestaveny do následující tabulky č. 1. Vzniklé chyby jsou příliš veliké a proto ztotožníme obě křivky na roztečné kružnici / kde budou mít společnou tečnu / tím, že pootočíme systém souřadnic θ tak, aby se kryl s \mathcal{J} systémem. Tím se povaha odchylek od teoretické evolventy stane příznivější. Je to vlastně druhá úprava průmětu řezné hrany.

Abychom převedli Θ systém na systém souřadnic ϑ ,
musí se systém Θ souřadnic potočit o úhel $0,01490 -$
 $- 0,01227 = 0,00263$ v obloukové míře, přičemž
všechny hodnoty Θ systému se musí zvětšit o tento
úhel.

Tyto hodnoty udává tabulka č. 2.

velikost r [mm]	ϑ [obl.míře] hodnota ideální ev.	Θ [obl.míře] hod.přůmětu břítu
g=46,984	0	- 0,00282
R=50	0,01490	0,01227
Ra=52,183	0,03316	0,03043

tabulka 1.

velikost r [mm]	ϑ [obl.míře] ideál.evoly.	Θ počed.[obl.míře]	
		prům.břítu	odchylka
g=46,984	0	-0,00019	-0,00019
R=50	0,01490	0,01490	0
Ra=52,183	0,03316	0,03306	0,00010

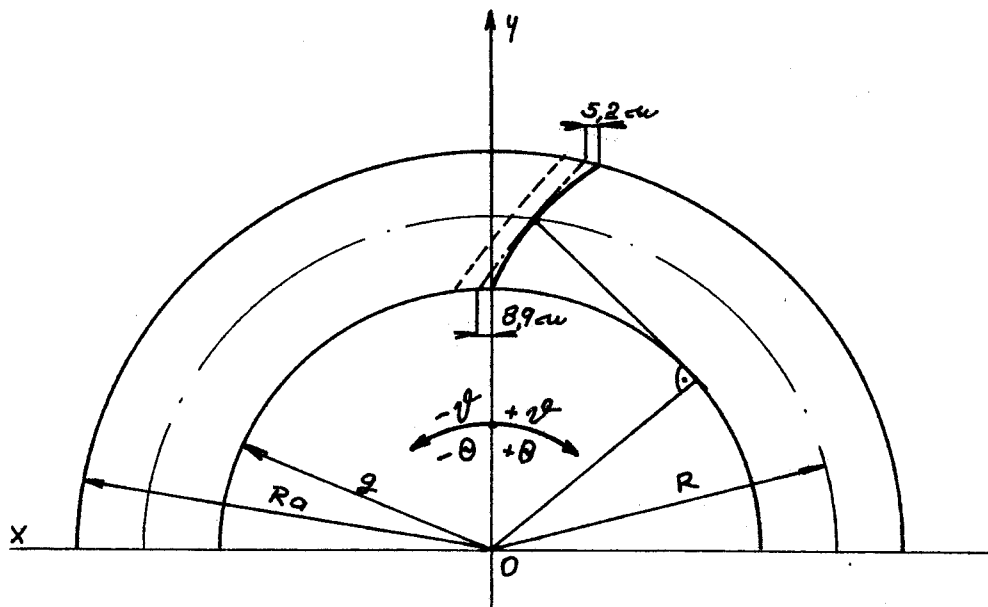
tabulka 2

Abychom obdrželi odpovídající chyby v délkové míře,
musíme údaje úhlových chyb násobit příslušnými po-
loměry a tím obdržíme chyby na řezné hraně v mili-
metrech - viz. tab. 3.

Velikost r	chyba na řezné hraně
g = 46,984	- 0,00892
R = 50	0
Ra=52,183	- 0,00521

tabulka 3

Povahu odchylek evolventy ukazuje obr. 8.



čárkovaně - průmět břitu před pootočením
plná čára - ideální evolventa
čerchovaně - průmět břitu pootočený

obr. 8

2.7 Výpočet odchylky evolventy kruhového obrážecího
nože VT - modul 3

$$m = 3; \quad z = 33; \quad \alpha_h = 5^\circ 30' \quad \gamma = 5^\circ \quad \alpha = 20^\circ$$

$$R = 49,5 \text{ mm} \quad R_a = 52,887 \text{ mm}$$

Výpočet zvětšeného úhlu záběru α'

$$\text{tg } \alpha' = \text{tg } \alpha / 1 + \text{tg } \alpha_h \text{tg } \gamma / =$$

$$= 0,36397 / 1 + 0,09629 \cdot 0,08749 / = 0,36703$$

$$\underline{\underline{\alpha' = 20^\circ 9' 18''}}$$

Rovnice ideální evolventy.

$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

Stanovíme 3 body křivky:

$r = R_a$ - poloměr hlavové kružnice

$r = R$ - poloměr roztočné kružnice

$r = g$ - poloměr základní kružnice

Pro $r = g = R \cdot \cos 20^\circ = 49,5 \cdot 0,93969 = 46,514 \text{ mm}$

$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{g}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{g}{g}\right)^2 - 1} = 0$$

$$\underline{\varphi = 0}$$

Pro $r = R = 49,5 \text{ mm}$

$$\varphi = \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \operatorname{arc} 20^\circ = \operatorname{inv} 20^\circ = 0,01490$$

$$\underline{\varphi = 0,01490}$$

Pro $r = R_a = 52,887 \text{ mm}$

$$\sqrt{\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{52,887}{46,514}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,29276} = 0,54108$$

$$\varphi = 0,54108 - \operatorname{arctg} 0,54108 = 0,54108 - 0,49587 =$$

$$= \underline{0,04521}$$

$$\underline{\varphi = 0,04521}$$

Na průmětu skutečné řezné hrany bude:

$$\theta = -C \cdot r + \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

$$s = \frac{2 \cdot R \cdot \pi}{\operatorname{tg} 5^\circ 30' \cdot \operatorname{tg} 20^\circ} = \frac{2 \cdot 49,5 \cdot \pi}{0,09629 \cdot 0,36397} = \underline{8874,2 \text{ mm}}$$

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425/66/23.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

$$c = \frac{2\pi \cdot \operatorname{tg} 5^\circ}{s} = \frac{2\pi \cdot 0,08749}{8874,50} = 0,0000619$$

Pro $r = g = 46,514$ mm

$$\theta = -c \cdot g \sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$g' = R \cdot \operatorname{cosec} \alpha = 49,5 \cdot \operatorname{cosec} 20^\circ 9' 18'' = 49,5 \cdot 0,93876 =$$

46,468 mm

$g' = 46,468$ mm

$$\sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{46,514}{46,468}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,00196081} = \underline{0,04428}$$

$$\theta = -0,0000619 \cdot 46,514 + 0,04428 - \operatorname{arctg} 0,04428 =$$
$$= -0,00287 + 0,04428 - 0,04423 = \underline{0,00282}$$

$\theta = -0,00282$

Pro $r = R = 49,5$ mm

$$\theta = -c \cdot R + \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{49,5}{46,468}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,13465} = \underline{0,36696}$$

$$\theta = -0,0000619 \cdot 49,5 + 0,36696 - 0,35163 = \underline{0,01227}$$

$\theta = 0,01227$

Pro $r = R_a = 52,887$ mm

$$\theta = -c \cdot R_a + \sqrt{\left(\frac{R_a}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{R_a}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R_a}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{52,887}{46,468}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,29527} = \underline{0,54339}$$

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojevého typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425 / 66/24.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

$$\theta = - 0,0000619 \cdot 52,887 + 0,54339 - \arctg 0,54339 =$$

$$\theta = 0,04247 \qquad \qquad \qquad = 0,04247$$

Výsledky zaneseme do tabulek:

velikost r ImmI	ν hodnota ideál.ev.	θ hod. prům. břítu
g = 46,514	0	- 0,00282
R = 49,5	0,01490	0,01227
Ra=52,887	0,04522	0,04247

tab. 4

Zvětšení hodnot θ systému o

$$0,01490 - 0,01227 = 0,00263$$

ukazuje tabulka 5.

velikost r ImmI	ν /ob.míře/ /ideál.ev./	θ pootožené /obl.míře	
		průmět. břítu	odchylnka
g = 46,514	0	0,00019	- 0,00019
R = 49,5	0,01490	0,01490	0
Ra=52,887	0,04521	0,04510	- 0,00011

tab. 5

Chyba na řezné hraně v mm

velikost r ImmI	chyba na řezné hraně ImmI
g = 46,514	- 0,00883
R = 49,5	0
Ra=52,887	- 0,00581

tab. 6

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích noží
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425 / 66 / 25.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

Z tabulky vyplývá, že bez provedené úpravy pootočením, by byla odchylka evolventy daleko větší.

Povaha odchylek je opět stejná jako na obr. 8, liší se pouze velikostí.

2.8 Výpočet odchylky evolventy kruhového obrážecího VT nože $m = 4$

$$m = 4; \quad s = 25; \quad \alpha = 20^\circ; \quad \alpha_h = 5^\circ 30'; \quad \gamma = 5^\circ \quad R = 50 \text{ mm}$$
$$Ra = 54,86 \text{ mm}$$

Výpočet zvětšeného úhlu záběru α'

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha / (1 + \operatorname{tg} \alpha_h \operatorname{tg} \gamma) = 0,36703$$

$$\alpha' = 20^\circ 9' 18''$$

Rovnice ideální evolventy:

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

Stanovíme 3 body křivky:

$r = Ra$ - poloměr hlavové kružnice

$r = R$ - poloměr roztočné kružnice

$r = g$ - poloměr základní kružnice

$$\text{Pro } r = g = R \cdot \cos 20^\circ = 50 \cdot 0,93969 = 46,984 \text{ mm}$$

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{g}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{g}{g}\right)^2 - 1} = \underline{0}$$

$$\vartheta = \underline{0}$$

$$\text{Pro } r = R = 50 \text{ mm}$$

$$\varphi = \operatorname{tg} 20^{\circ} - \operatorname{arc} 20^{\circ} = \operatorname{inv} 20^{\circ} = \underline{0,01490}$$

$$\underline{\varphi = 0,01490}$$

$$\text{Pro } r = R_a = \underline{55,628 \text{ mm}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{55,628}{46,984}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,40178} = 0,63386$$

$$\varphi = 0,63386 - \operatorname{arctg} 0,63386 = 0,63386 - 0,56484 = \underline{0,06902}$$

$$\underline{\varphi = 0,06902}$$

Na skutečné hraně bude;

$$\theta = -C \cdot r + \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 - 1}$$

$$s = \frac{2 \cdot R \cdot \pi}{\operatorname{tg} 5^{\circ} 30' \cdot \operatorname{tg} 20^{\circ}} = \frac{2 \cdot 50 \cdot \pi}{0,09629 \cdot 0,36397} = \underline{8965,7 \text{ mm}}$$

$$c = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} 5^{\circ}}{s} = \frac{2 \cdot 0,08749}{8965,5} = \underline{0,0000612}$$

$$\text{Pro } r = g = \underline{46,984 \text{ mm}}$$

$$g' = R \cdot \cos \alpha' = 50 \cdot \cos 20^{\circ} 9' 18'' = 50 \cdot 0,93876 = \underline{46,938 \text{ mm}}$$

$$\underline{g' = 46,938 \text{ mm}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{g}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{46,984}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,001960} = 0,04428$$

$$\theta = -0,0000612 \cdot 46,984 + 0,04427 - \operatorname{arctg} 0,04427 =$$

$$= 0,00287 + 0,4428 - 0,04423 = \underline{-0,00282}$$

$$\underline{\theta = -0,00282}$$

$$\text{Pro } r = R = \underline{50 \text{ mm}}$$

$$\theta = -C \cdot R + \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{50}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,134605} = \underline{0,36696}$$

$$\theta = -0,0000612 \cdot 50 + 0,36696 - \operatorname{arctg} 0,36696 =$$

$$= 0,00306 + 0,36696 - 0,35163 = 0,01227$$

$$\underline{\theta = 0,01227}$$

Pro $r = R_a = 55,628 \text{ mm}$

$$\theta = - C \cdot R_a + \sqrt{\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1} - \arctg \sqrt{\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{R_a}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{55,628}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,40453} = 0,63603$$

$$\theta = - 0,0000612 \cdot 55,628 + 0,63603 - 0,56638 = \underline{0,06625}$$

$$\underline{\theta = 0,06625}$$

Zvětšení hodnot θ systému pootočením je v tab.8.

Pootočení v obloukové míře:

$$0,01490 - 0,01227 = \underline{0,00263}$$

Skutečné rozdíly odchylky bez pootočení systému
 θ ukazuje tab. 7.

Velikost r I mm I	θ Iobl.mířeI hodn.ideal.ev.	θ Iobl.mířeI hod.průmětu břitu
$g = 46,984$	0	- 0,00282
$R = 50$	0,01490	0,01227
$R_a = 55,628$	0,06902	0,06625

tab.7

Velikost r I mm I	θ Iobl.mířeI ideal.evol.	θ pootočené [obl.mířeI	
		prům,břitu	odchylka
$g = 46,984$	0	0,00019	- 0,00019
$R = 50$	0,01490	0,01490	0
$R_a = 55,628$	0,06902	0,06888	- 0,00014

tab. 8

velikost r I mm I	chyba na řezné hraně I mm I
g = 46,984	- 0,00892
R = 50	0
Ra = 55,628	- 0,00772

tab. 9

Povaha odchylky evolventy je táž jako na obr.8,
liší se pouze velikostí.

2.9. Výpočet odchylky evolventy kruhových obrázcích nožů ČSN.

Tento výpočet bude proveden pouze pro hlavový průměr, protože odchylky na patní a roztečné kružnici jsou stejné jako u VT nástrojů. Proto bude užito výsledků z přechozích článků a tyto zhodnoce-ny v článku 2.14.

2.10 Výpočet odchylky evolventy kruhového obrázcího no-že ČSN m = 2,5.

$$z = 40; \quad \alpha = 20^{\circ}; \quad \alpha_h = 5^{\circ}30'; \quad \mu = 5^{\circ} \quad \begin{array}{l} R = 50 \text{ mm} \\ Ra = 54,00 \text{ mm} \end{array}$$

$$\alpha' = 20^{\circ}9'18'' \quad C = 0,0000612 \quad g = 46,984 \quad g' = 46,938 \text{ mm}$$

Pro $r = Ra = 54 \text{ mm}$

$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1} - \arctg \sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{54}{46,984}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,32089} = 0,56647$$

$$\varphi = 0,56647 - 0,51530 = 0,05117$$

$$\underline{\underline{\varphi = 0,05117}}$$

$$\theta = - C \cdot Ra + \sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{54}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,032342} = 0,56870$$

$$\theta = - 0,0033 + 0,56870 - 0,51698 = \underline{0,04842}$$

$$\underline{\underline{\theta = 0,04842}}$$

2.11 Výpočet odchylky evolventy kruhového obrážecího
nože ČSN m = 3 .

$$z = 33; \quad \alpha_h = 5^{\circ}30'; \quad \gamma = 5^{\circ}; \quad \alpha = 20^{\circ};$$

$$R = 49,5 \text{ mm} \quad Ra = 54,15 \text{ mm}$$

$$\alpha' = 20^{\circ}9'18'; \quad C = 0,0000619 \quad g = 46,514 \quad g' = 46,468$$

$$\underline{\underline{\text{Pro } r = Ra = 54,15 \text{ mm}}}$$

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{54,15}{46,514}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,35512} = 0,59592$$

$$\vartheta = 0,59592 - 0,53730 = 0,05862$$

$$\underline{\underline{\vartheta = 0,05862}}$$

$$\theta = - C \cdot Ra + \sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{54,15}{46,468}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,35792} = 0,59826$$

$$\theta = - 0,0000619 \cdot 54,15 + 0,59826 - 0,53904 = \underline{0,05850}$$

$$\underline{\underline{\theta = 0,05850}}$$

2.12 Výpočet odchylky evolventy kruh. obrážecího nože
ČSN m = 4

$$z = 25; \quad \alpha = 20^{\circ}; \quad \alpha_h = 5^{\circ}30'; \quad \gamma = 5^{\circ};$$

$$\alpha_h = 5^{\circ}30'; R = 50 \text{ mm}; Ra = 56 \text{ mm};$$

$$\alpha' = 20^{\circ}9'18''; C = 0,0000612 \quad g = 46,984 \text{ mm}$$

$$g' = 46,938 \text{ mm}$$

$$\text{Pro } r = Ra = 56 \text{ mm}$$

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1} - \text{arctg} \sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{Ra}{g}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{56}{46,984}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,42060} = 0,64853$$

$$\vartheta = 0,64853 - 0,57523 = 0,07330$$

$$\underline{\underline{\vartheta = 0,07330}}$$

$$\theta = -C.Ra + \sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1} - \text{arctg} \sqrt{\left(\frac{Ra}{g'}\right)^2 - 1}$$

$$\sqrt{\left(\frac{56}{46,938}\right)^2 - 1} = \sqrt{0,42339} = 0,65069$$

$$\theta = -0,0000612 \cdot 56 + 0,65069 - 0,57575 = \underline{\underline{0,07052}}$$

$$\underline{\underline{\theta = 0,07052}}$$

2.13 Porovnání výpočtů s měřením obrobků

Souhrn výsledků odchylky evolventy z přechozích článků ukazuje tab. 10.

viz strana 31.

Modul	r ImmI	ν	θ pootočené	odchylka ImmI
m 2,5	g 46,984	0	- 0,00019	- 0,00892
	R 50,000	0,01490	0,01490	0
	RaVT 52,183	0,03316	0,03306	- 0,00521
	RaČSN 54,00	0,05117	0,51105	- 0,00643
m 3	g 46,514	0	- 0,00019	- 0,00883
	R 49,5000	0,01490	0,01490	0
	RaVT 52,887	0,04521	0,04510	0,00581
	RaČSN 54,15	0,05862	0,05850	0,00650
m 4	g 46,984	0	- 0,00019	- 0,00892
	R 50,000	0,01490	0,01490	0
	RaVT 55,628	0,06902	0,06888	- 0,00778
	RaČSN 56,000	0,07330	0,07315	- 0,00840

ν a θ jsou v obloukové míře.

tab. 10

Zde vypočtené odchylky neudávají zcela přesně skutečnou velikost chyb nástroje při měření obrobků.

Tyto chyby se musí měřit pouze ve směru záběrové přímky, t. j. ve směru kolmém k požadované evolventě.

Vzdálenost v tomto směru mezi průmětem břitu a požadovanou evolventou bude skutečnou chybou. Rozdíl mezi vypočtenými velikostmi na obvodu nástroje a skutečnými odchylkami je celkem nepatrný, takže se s ním prakticky nemusí počítat.

Odchylky průmětu břitu od požadované evolventy jsou vzhledem k souřadnému systému ν záporné, což v praxi značí, že na nástroji je zub u paty a hlavy silnější, což má za následek nevelké přídavné seřiznutí boků u paty a hlavy obrobku a tím se vytváří větší vstupní zubová vůle.

Obrobek vyrobený tímto způsobem se zabíhá od roztečné kružnice na obě strany, vytváří se správná poloha zrcátka a tím i správný záběr ozubených kol.

Z výsledků uvedených v tab. 10 a z obr. 8 vyplývá to, že nástroj VT má evolventu u hlavy přesnější než nástroj ČSN.

Na patní a roztečné kružnici je nástroj VT stejný s ČSN.

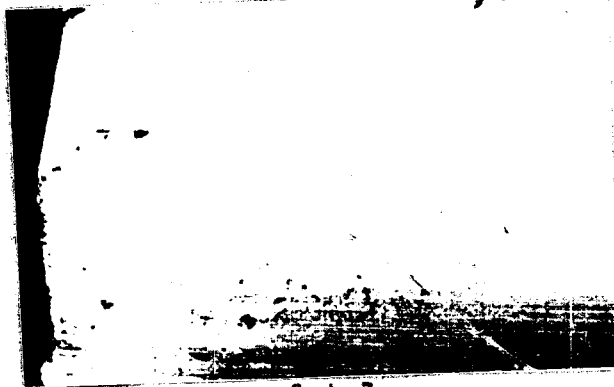
Jak bylo zjištěno provedenými výpočty pro moduly 2,5; 3; a 4 povaha odchylek má stejný smysl u všech modulů, mění se pouze velikost těchto odchylek.

V případě, že by nebylo provedeno ztotožnění σ a θ systému, odchylky by byly mnohonásobně větší.

2,14 Vyhodnocení diagramu evolventy.

Při hodnocení evolventy je nutno si uvědomit, že nemůžeme dosáhnout výsledků zjištěných výpočtem, protože povrch zubů obrobku má poměrně velkou drsnost, řádově asi 3,2 μ viz fotografie č. 1 - což se dosti značně projeví v diagramu evolventy.

Dále k tomu přistupuje nepřesnost od stroje, kterým je ozubení vyráběno a nakonec ještě tolerance v jaké byl vyroben nástroj. To jsou okolnosti, které v daném případě nejsou všechny známy a proto vyhodnocení evolventy bude provedeno pouze vzájemným porovnáním mezi nástrojem VT a ČSN.



fot.1
Drsnost zubu obrobku m 2,5

Obdobný vzhled mají i obrobky vyrobené nástrojem
 $m = 2,5$.

2.15 Vyhodnocení diagramu evolventy pro modul 4.

Diagram č. 1 ukazuje odchylku evolventy
obrobku modulu 4 od nástroje ČSN. Velikost průměrné
odchylky levého i pravého boku jsou uvedeny v dia-
gramu.

Diagram - č. 2 ukazuje tytéž údaje pro obrobek
 $m = 4$ vyrobený VT nástrojem.

OBROBEK - ČSN $m=4$

<u>Odchylka evolventy</u>	1	2	3
LB $\phi 3 = 0,013$			
PB $\phi 3 = 0,015$			

Diagram č. 1

Odchylka evolventy obrobku vyrobeného nástrojem
ČSN $m = 4$.

OBROBEK - VT m=4

Levý článek

hlava

1 2 *perfor* 3

perfor

právní článek

+

Odchylka evolventy

LB $\phi 3 = 0,010$

PS $\phi 3 = 0,011$

$r_z = 67,658 \text{ mm}$

1 2 *hlava* 3

Diagram č. 2

Odchylka evolventy obrobku vyrobeného nástrojem
VT m = 4 .

Z obou diagramů vyplývá to, že výpočty odchylky evolventy prováděné v předchozích člácích jsou správné a lze říci, že nástroj VT je přesnější, což odpovídá předchozím výpočtům.

2.16 Vyhodnocení diagramu evolventy pro modul 3.

Z toho důvodu, že v závodech SVA Hrádek a TOS Čelákovice nebyly k dispozici obrobky pro modul 3, zkoušky s nástrojem m = 3 nebyly prováděny.

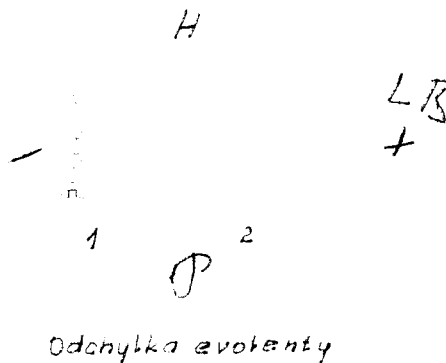
2. Vyhodnocení diagram u evolventy pro modul 2,5
Diagram č. 3 ukazuje odchylku evolventy nástroje
ČSN, který má evolventu vyrobenou v rozmezí 0,003 -
0,004 mm - což jest v rozmezí tolerance.
Maximální hodnota nepřesnosti nesmí přesáhnout
0,006 mm na evolventě.

Diagram č. 4 ukazuje odchylku evolventy
nástroje VT, který byl nedopatřením vyroben s vět-
ší odchylkou jak úhlu záběru, tak evolventy než
nástroj ČSN. Nebylo by správné porovnávat diagramy
odchylky evolventy na ozubení vyrobeném těmito
nástroji, protože bychom neobdrželi srovnatelné
hodnoty.

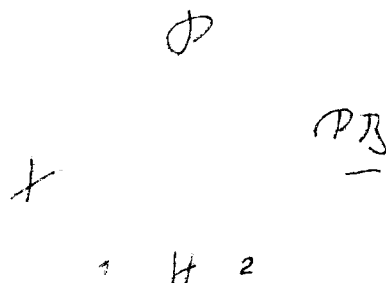
NÁSTROJ ČSN m=2,5

Diagram č. 3

odchylka evolventy
nástroje ČSN m = 2,5



LB $\phi 2 = 0,003$
PB $\phi 2 = 0,004$



VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojevého typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425 / 66 / 36.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

NÁSTROJ VT m=2,5

Diagram č. 4

odchylka evolventy
nástroje VT m = 2,5

Odchylka evolventy

LB $\phi 2 = 0,007$

PB $\phi 2 = 0,008$

Závěrem ke kapitole o přesnosti vývojevého
nože možno říci, že výpočty i diagramy ukazují na
větší přesnost evolventy proti nástroji ČSN.
Ostatní hodnoty jako záběrová rozteč, míra přes
zuby jsou stejné jak u nástroje ČSN, tak VT;
výsledky měření těchto hodnot jsou uvedeny v [1].
a nejsou zde proto uvedeny.

3. Zkoušky trvanlivosti nástroje VT a ČSN.

3.1 Opotřebení kruhových obrážecích nožů.

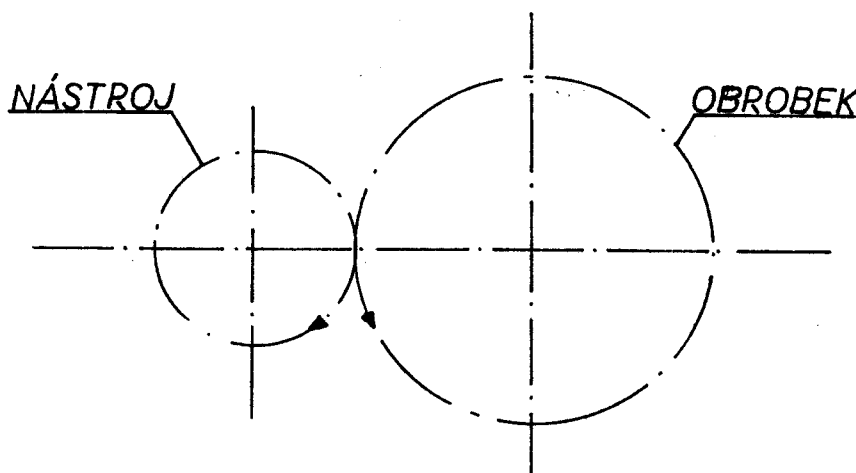
Opotřebením kruhových obrážecích nožů rozumíme úbytek materiálu nástroje na řezné hraně. Toto opotřebení není rovnoměrné po celé délce břitů, liší se velikostí a tvarem na bocích a na hlavovém břitu.

Je rozdíl mezi opotřebením na hraně vstupní a výstupní.

Pro další úvahy je nutno si jednoznačně označit boky zubů nástroje. Označení pravý a levý bok nástroje rozumíme při pohledu směrem osy na čelo horní poloviny nástroje.

Vstupní bok bude v dalším ten, který první začíná vytvářet jeden bok zubu obrobku a výstupní ten, který vytváří druhý bok.

Na př. pravý bok je výstupní v případě otáčení nástroje a obrobku podle obr. 9, který je půdorysem pohledu na stroj. Vstupní bok ačkoliv odebírá více materiálu než výstupní, má menší opotřebení.
/ viz článek 2.1 /



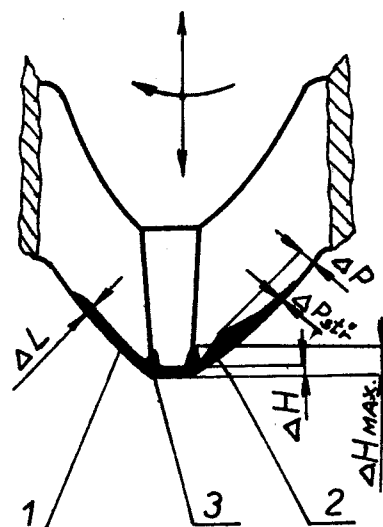
obr. 9

Při otáčení opačným směrem se stane pravý bok vstupním a levý výstupním. Obrážení zubů není možno chápat jako prosté hoblování, protože průřez

třísky se mění v důsledku kruhového posuvu a s každým pracovním zdvihem se mění činná část nástroje. V důsledku složitého tvaru ostří je ztížený odchod třísky z místa řezu. Tím i opotřebení je vyšší než u nástrojů určených pro prosté hoblování.

Skutečný tvar opotřebení je znázorněn na obr. 10.

Tento charakter opotřebení nastane až v posledních fázích práce nástroje.



1. Levý - vstupní břit.
2. Pravý - výstupní břit.
3. Hlavový břit.

Obr. 10

Podle [1] největší opotřebení nastává na výstupním břitu / P/ téměř u hlavy nástroje a směrem k patě pravého bočního břitu ubývá, ačkoliv výstupní bok nástroje odebírá nejméně materiálu. Toto opotřebení je způsobeno vnikáním třísky do mezery mezi nástrojem a obrobkem, jejím zaklíněním a zadřením za vysokých teplot a tlaků.

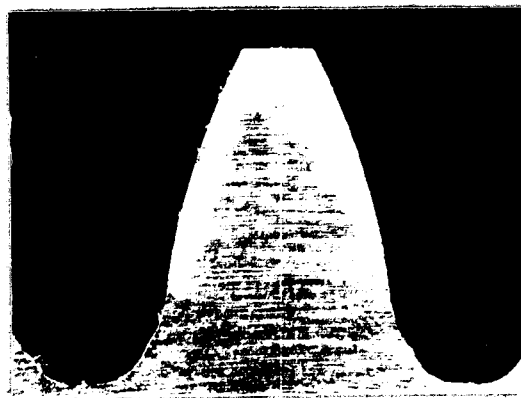
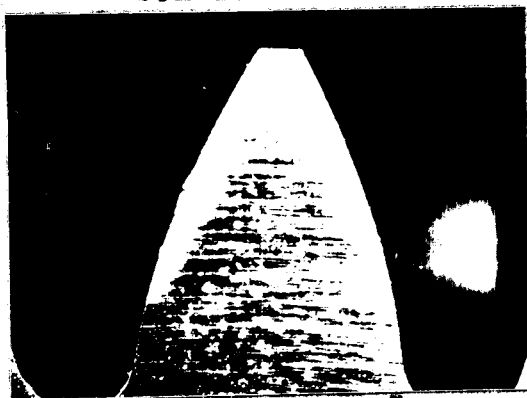
Dále je toto opotřebení způsobeno minimální tloušťkou třísky a z toho plynoucími nepříznivými důsledky.

Opotřebení čela nástroje za normálních podmínek nenastává, pouze je vidět nalepený materiál na čele a sedřené stopy po ostření .

Z pohledu na čelo nástroje lze rozeznat bok vstupní nebo výstupní i bez znalosti vzájemného směru otáčení mezi nástrojem a obrobkem.

Fot. 2 ukazuje libovolný zub čela nástroje $m=2,5$ ČSN; fot. 3 čela nástroje $m=2,5$ VT; při směru otáčení nástroje proti směru hodinových ručiček. Zároveň je vidět zvětšenou šířku hlavy nástroje VT proti ČSN. Fot. 4 a 5 ukazují libovolný zub čela nástroje ČSN a VT při obráceném smyslu otáčení nástroje.

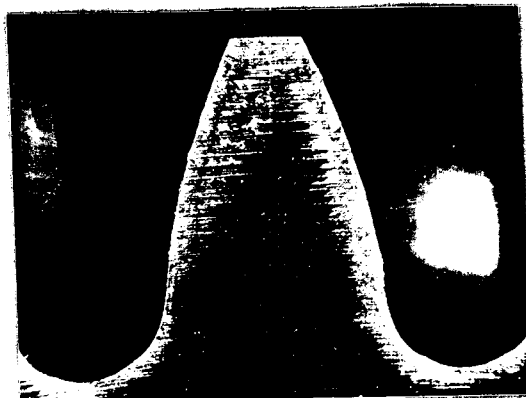
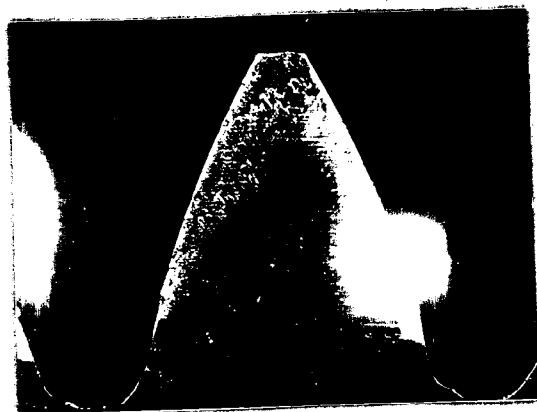
Na fotografiích lze rozeznat vstupní a výstupní bok zubu.



čelo nástroje ČSN $m 2,5$ čelo nástroje VT $m 2,5$ při
při otáč.nástr.podle obr.9 otáčení nástr.podle obr.9

fot.2

fot.3

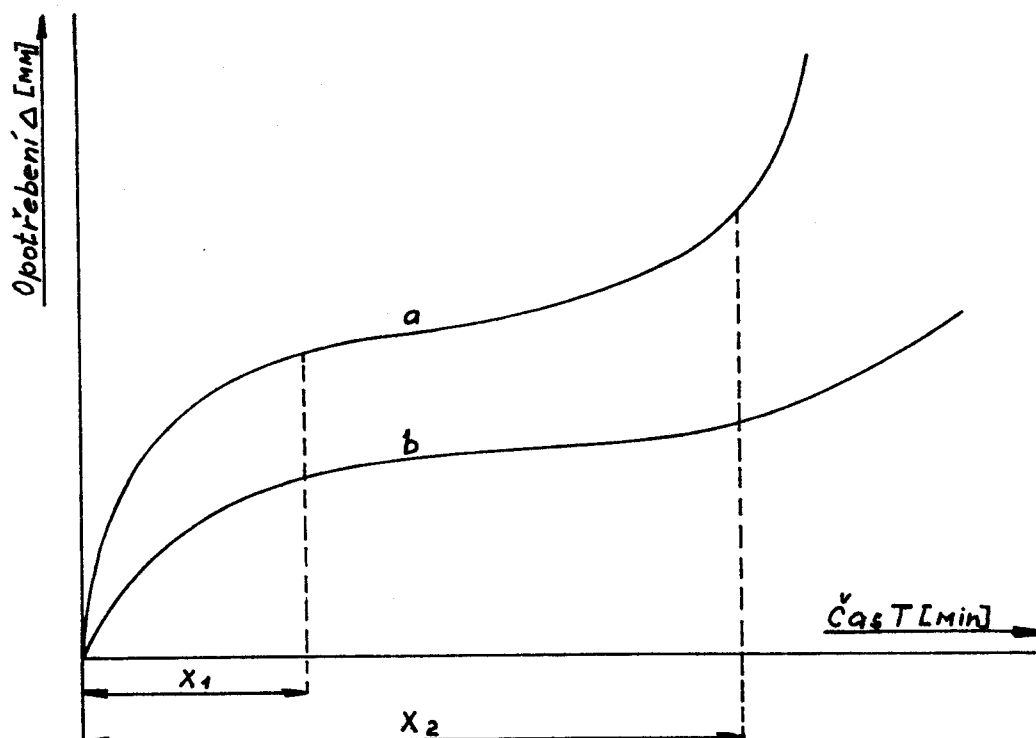


čelo nástroje ČSN $m 2,5$ čelo nástroje VT $m 2,5$ při
při opačném směru otáč.nás. opačném směru otáč.nástr.

fot.4

fot.5

Předpokládaný průběh opotřebení by měl být podle následujícího obrázku.



- a - křivka opotřebení nástroje ČSN
b - křivka opotřebení nástroje VT

obr. 11

Vzdálenost x_1 značí čas do kterého stoupá opotřebení velmi rychle, pak zůstává téměř konstantní a v poslední fázi práce nástroje / ve vzdálenosti x_2 / je nástroj zcela otupen a další práce nástroje by byla na úkor kvality obrobku. Po přebroušení by nástroj ztratil velkou část své pracovní délky.

3.2 Provádění zkoušek.

Nástroje byly zkoušeny v těchto závodech:

- 1/ V SVA Hrádek nad Nisou modul 2,5 na stroji OH 4
a modul 4 na stroji OH 6.

2/ V TOS Čelákovice modul 2,5 na stroji OH 6.

Na každém zkoušeném nástroji bylo měřeno opotřebení ΔP ; ΔL a ΔH čtyř zubů značených : 1, 2, 3, 4.

Protože opotřebení není na všech zubech rovnoměrné je v příloze 1 a 2 zobrazen diagram opotřebení všech zubů modulu 2,5 a 4 po skončeném obrábění.

Tím je dokázáno, že se při následujícím hodnocení opotřebení nebralo v úvahu nejmenší nebo největší opotřebení.

Zvláštní tvar opotřebení nástrojů $m = 2,5$ na stroji OH 4 byl způsoben tím, že při obráceném smyslu otáčení obrobku a nástroje než je na obr. 9 vlivem nepříznivého poměru počtu zubů, při odskoku obrobku od nástroje nastávalo dření na hřbetě výstupního i vstupního boku nástroje.

Zajímavé je však to, že VT nástroj vykázal i při těchto nepříznivých podmínkách menší opotřebení než nástroj ČSN.

Toto opotřebení bude uvedeno v článku 4.1 bez grafického vyhodnocení naměřených výsledků.

Zkoušky s modulem $m = 2,5$ byly provedeny proto znovu v TOS Čelákovice na stroji OH 6, který pracoval s jiným poměrem zubů a obráceným směrem otáčení nástroje.

Protože však nástroj $m = 2,5$ nebyl dostatečně otupen ani po 1.350 minutách práce, bylo přikročeno k dodatečnému obrábění za vyšších rezných podmínek na VŠST v Liberci.

Tyto podmínky jsou označeny v diagramech opotřebení.

Nástroje $m = 4$ nebylo též možno dostatečně opotřebit přímo v závodě SVA Hrádek, proto bylo dokončení zkoušek provedeno v dílnách VŠST Liberec při zvýšených rezných podmínkách.

Zvýšené řezné podmínky jsou uvedeny v diagramu opotřebení zubů č. 1 $m = 2,5$ a $m = 4$.

Toto dodatečné obrábění bylo uskutečněno proto že normální zkoušky opotřebení byly prováděny v seriové výrobě jednotlivých závodů a v případě že drstnost povrchu překročila jistou mez, výstupní kontrola nemohla přijmout obrobky zhoršené jakosti povrchu.

Měření opotřebení se provádělo na univerzálním mikroskopu Zeiss / SVA Hrádek a VŠST Liberec / a dílenském mikroskopu SIP / TOS Čelákovice / .
Nástroj byl upnut na trnu ve špičkách přístroje.

Přesné podmínky zkoušek jsou uvedeny v následující kapitole.

4. Výsledky zkoušek trvanlivosti.

4.1 Zkoušky opotřebení nástrojů $m = 2,5$ na stroji OH 4

Použitý stroj : Odvalovací obrážečka OH 4.

Počet dvojdvihů: $n = 224$ dvzd /min

Posuv : $s = 0,142$ mm /dvzd

Řezná rychlost: $v = 11,2$ m/min.

Zdvih : $l = 25$ mm

Obrobek :

$z = 54$; $m = 2,5$; $\alpha = 20^\circ$ $D = 135$; výška ozubení $12,4$ mm mat: 142202.2 - hrubování

Směr otáčení:

obráceně než na obr. 9, t.zn. nástroj se otáčel proti směru hodinových ručiček.

Nástroj:

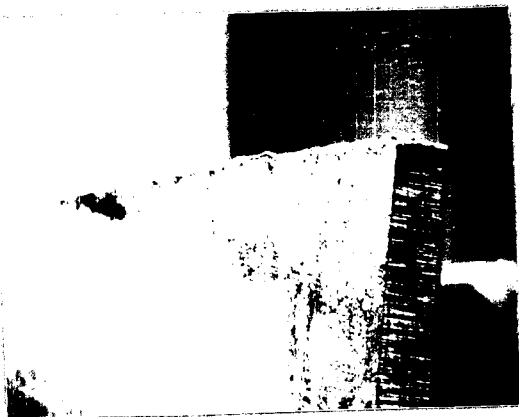
1/ Obrážecí kolo $m = 2,5$ ČSN $\phi D_h = 108$ mm
 $z = 40$ $\alpha = 20^\circ$

2/ Obrážecí kolo $m = 2,5$ VT $\phi D_h = 104,36$ mm
 $z = 40$ $\alpha = 20^\circ$

Místo zkoušek: SVA Hrádek nad Nisou

4.2 Výsledky zkoušek:

Opotřebení ΔP pravého / vstupního/boku zubu č. 4
nástroje ČSN ukazuje fot. 6 a VT nástroje fot. č. 7.

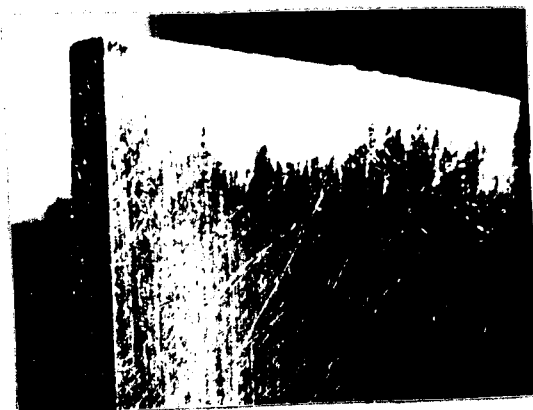


fot. 6
 $\Delta P - \text{ČSN} - m = 2,5$

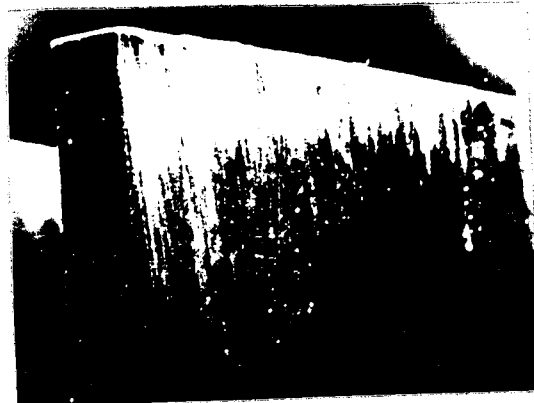


fot. 7
 $\Delta P - \text{VT} - m = 2,5$

Opotřebení ΔL levého výstupního boku č. 4 nástroje
ČSN ukazuje fot. č. 8 a VT nástroje fot. č. 9.



fot. 8
 $\Delta L - \text{ČSN} - m = 2,5$



fot. 9
 $\Delta L - \text{VT} - m = 2,5$

Následující tabulka č. 11 udává velikost opotřebení zubů 1, 2, 3, 4 v závislosti na čase T. Tato tabulka je pouze informativní z důvodů uvedených v článku 3.2.

Důležitější než číselné rozměry opotřebení je fot. č. 8 a 9., na kterých je vidět velikost opotřebení. Nástroj VT na obr. 9 pracoval po dobu 700 minut a nástroj ČSN pouze 496 minut, protože nebyl již dostatek obrobků pro dokončení zkoušky na stejnou dobu práce obou nástrojů.

Opotřebení vstupního boku a hřbetu nástroje je u obou nástrojů téměř stejné. Tvar opotřebení neodpovídá přesně obr. 10.

Z výsledků zkoušky vyplývá, že nástroj VT i přes zhoršené podmínky má vyšší trvanlivost ostří, která se i v tomto případě projevuje menším odřením hřbetu nástroje, než nástroj ČSN.

4. 3 Zkoušky opotřebení nástroje m = 2,5 na stroji OH 6.

Použitý stroj: odvalovací obrážečka OH 6

Počet dvojdvihů : $n = 250$ dvzd/min.

Posuv : $s = 0,113$ mm/dvzd

Zdvih : $l = 26$ mm

Řezná rychlost : $v = 13$ m/min.

Zvýšené řezné podmínky jsou v diagr. 5.

Obrobek :

mat. 14220.2 $z = 56$ $\eta = 2,5$ $\alpha = 20^\circ$

$M/7 = 47,932 = 0,06$
 $0,09$

$D_r = 140$ mm $D_h = 145$ h 10 šířka ozub. 18 mm

Č.v 4 - 04 - 16 2444 evol. 0,010 ozub.normál.

O p o t ř e b e n í nástrojů m = 2,5 VT a ČSN
na stroji OH 4.

T min	zub čís.	N Á S T R O J VT			N Á S T R O J ČSN		
		Δ P	Δ L	Δ H	Δ P	Δ L	Δ H
56	1	1320	358	053	1700	893	050
	2	1713	479	041	1795	921	048
	3	1690	955	050	1680	1124	056
	4	1638	496	045	1830	1050	055
112	1	1620	405	059	1763	973	060
	2	1792	568	063	1836	1054	068
	3	1860	850	057	1906	1163	059
	4	1733	532	060	1883	1138	059
196	1	1743	489	071	1790	1031	080
	2	1851	1018	080	1860	1196	083
	3	1912	1070	083	1930	1233	080
	4	1877	696	071	1950	1187	077
308	1	1930	721	089	1873	1083	092
	2	1870	1038	083	2000	1231	090
	3	2021	1023	090	1988	1307	085
	4	2014	996	100	2130	1315	096
496	1	2008	984	106	1921	1150	108
	2	2170	1110	097	2235	1357	119
	3	1852	1193	097	2076	1451	100
	4	2100	1121	120	2380	1354	111

Poznámka: Rozměr opotřebení ΔP, ΔL a ΔH jsou tis.mm

tab. 11

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425 / 66 / 46.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

Směr otáčení nástroje :

Ve směru hodinových ručiček - podle obr. 9.

Nástroj :

1/ obrážecí kolo $m = 2,5$ ČSN $\varnothing D_h = 108$ mm $z = 40$ $\alpha = 20^\circ$

2/ obrážecí kolo $m = 2,5$ VT $\varnothing D_h = 104,36$ mm $z = 40$ $\alpha = 20^\circ$

Místo zkoušek : TOS Čelákovice

4.4 Výsledky zkoušek.

Opotřebení ΔP , ΔL , ΔH čtyř sledovaných zubů
nástroje $m = 2,5$ po 1515 minutách práce ukazují
fotografie 10 - 19.

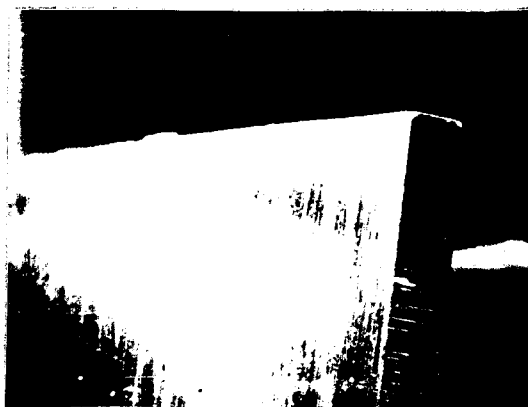
Na fotografiích pravého / výstupního/ boku je vidět
i opotřebení ΔH .



fot. 10
z.č.1 ΔP , ΔH - ČSN



fot. 11
z.č.1 ΔP , ΔH - VT



fot. 12
z.č.2 ΔP , ΔH - ČSN



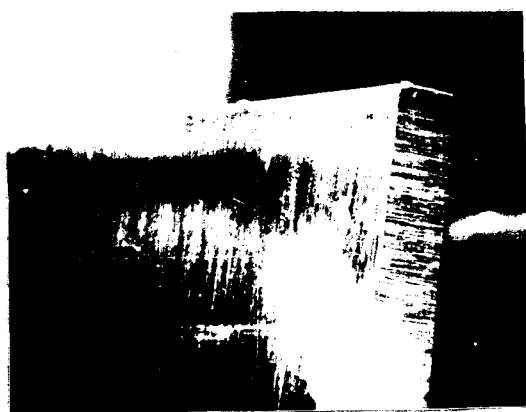
fot. 13
z.č.2 ΔP , ΔH - VT



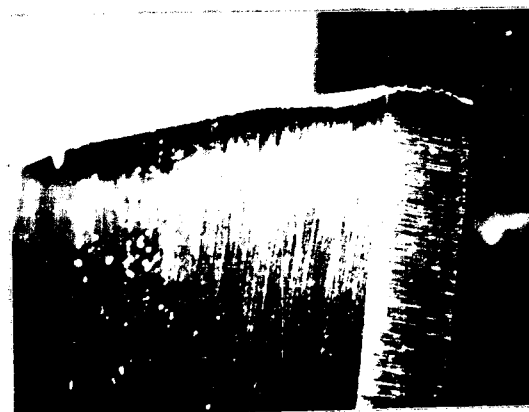
fot.14
z.č.3 $\Delta P, \Delta H$ - ČSN



fot.15
z.č.3 $\Delta P, \Delta H$ - VT



fot.16
z.č.4 $\Delta P, \Delta H$ - ČSN



fot.17
z.č.4 $\Delta P, \Delta H$ - VT



fot.18
z.č.1 ΔL - ČSN



fot.19
z.č.1 ΔL - VT

Protože hodnoty opotřebení levého / vstupního/
boku jsou u všech zubů téměř shodné fotografie
ostatních levých boků nejsou uvedeny.

Hodnoty opotřebení sledovaných zubů obou
nástrojů během obrábění ukazuje tab. 12.

Na diagramech č. 5, 6, 7, 8, je graficky
znázorněno opotřebení zubů č. 1 2 3 4, které jsou
rovnoměrně rozděleny po obvodě nástroje.

Při hodnocení výsledků zkoušky s nástroji
 $m = 2,5$ stačí se zaměřit na opotřebení výstupního
boku nástroje ΔP , protože dosahuje nejvyšší hod-
noty ze všech tří druhů opotřebení a při broušení
je nutno odstranit toto největší opotřebení.

Opotřebení ΔL a ΔH jsou menší než ΔP a
proto bude o nich pojednáno pouze stručně.

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425 / 66 / 49.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

N Á S T R O J VT					N Á S T R O J ČSN				
T min	zub čís	ΔP	ΔL	ΔH	ΔP	ΔL	ΔH	zub čís	T min
168	1	117	050	045	143	043	040	1	140
	2	120	050	045	143	043	040	2	
	3	107	050	045	113	043	040	3	
	4	116	050	045	124	043	040	4	
382	1	128	050	046	153	051	047	1	398
	2	125	050	046	151	051	047	2	
	3	143	050	046	158	051	047	3	
	4	125	050	046	155	051	047	4	
620	1	137	060	049	160	058	048	1	583
	2	148	060	049	164	058	048	2	
	3	151	060	049	167	058	048	3	
	4	140	060	049	158	058	048	4	
805	1	150	060	050	177	072	050	1	805
	2	155	062	050	170	067	050	2	
	3	153	060	050	167	063	050	3	
	4	148	065	050	162	065	050	4	
945	1	158	063	050	181	070	064	1	945
	2	160	062	060	178	067	052	2	
	3	155	061	055	174	069	055	3	
	4	152	065	050	180	070	059	4	
1140	1	158	066	055	181	072	070	1	1140
	2	165	062	060	202	069	065	2	
	3	157	063	055	196	070	057	3	
	4	162	065	050	180	070	059	4	
1340	1	160	066	060	195	076	085	1	1340
	2	169	083	067	203	080	085	2	
	3	160	070	055	198	075	062	3	
	4	169	075	058	212	073	085	4	
1445	1	181	072	082	251	079	085	1	1445
	2	186	085	073	263	086	094	2	
	3	178.	076	080	225	083	088	3	
	4	175	085	074	268	081	085	4	
1515	1	196	081	081	371	085	088	1	1515
	2	201	090	086	360	091	160	2	
	3	190	080	086	395	090	091	3	
	4	181	091	084	390	089	090	4	

Rozměr opotřebení jsou tisíce milimetru -
opotřebení nástrojů m = 2,5 ČSN a VT na stroji OH 6

tab. 12

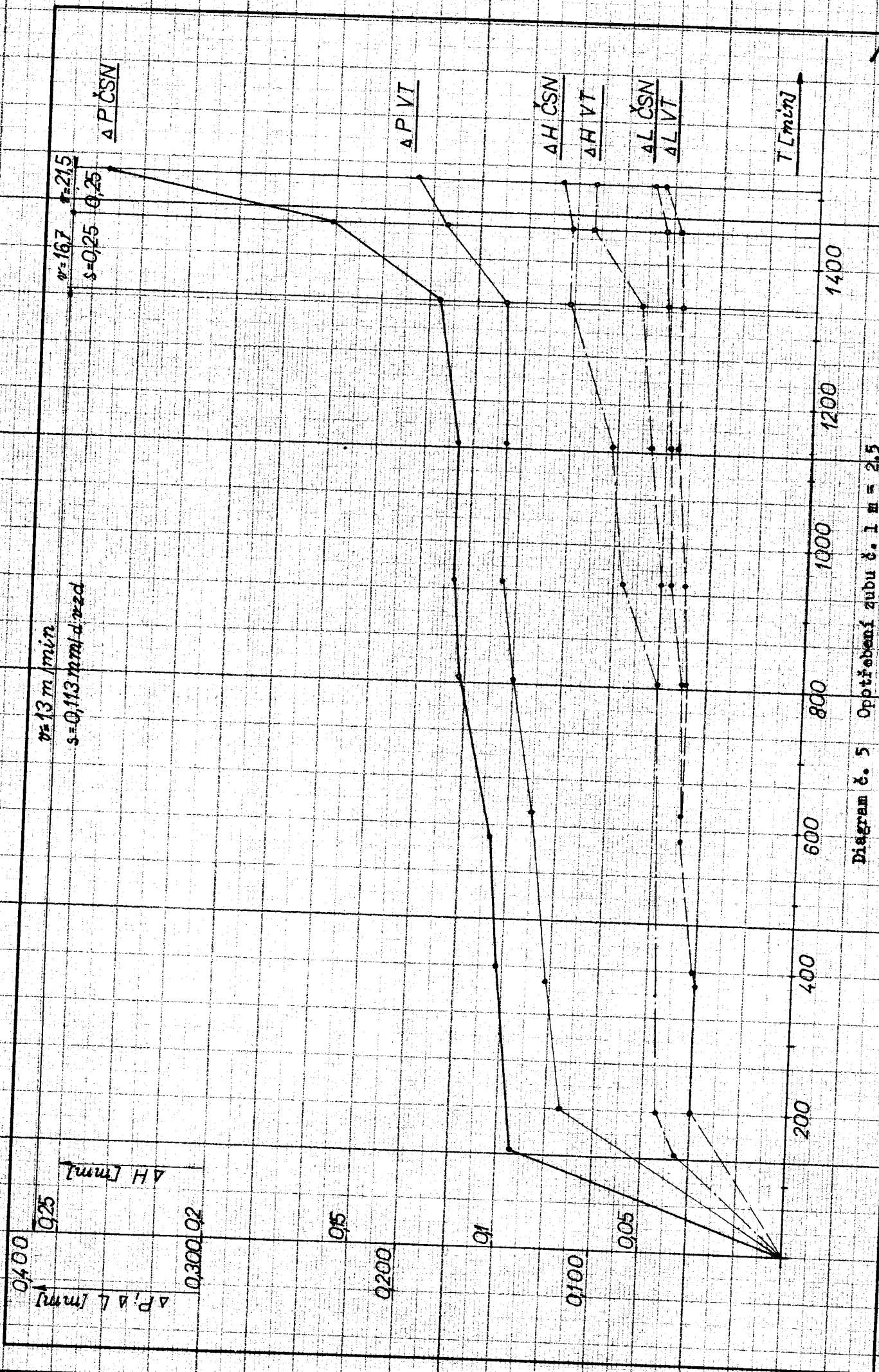


Diagram č. 5 Opotřebení zubu č. 1 $m = 2,5$

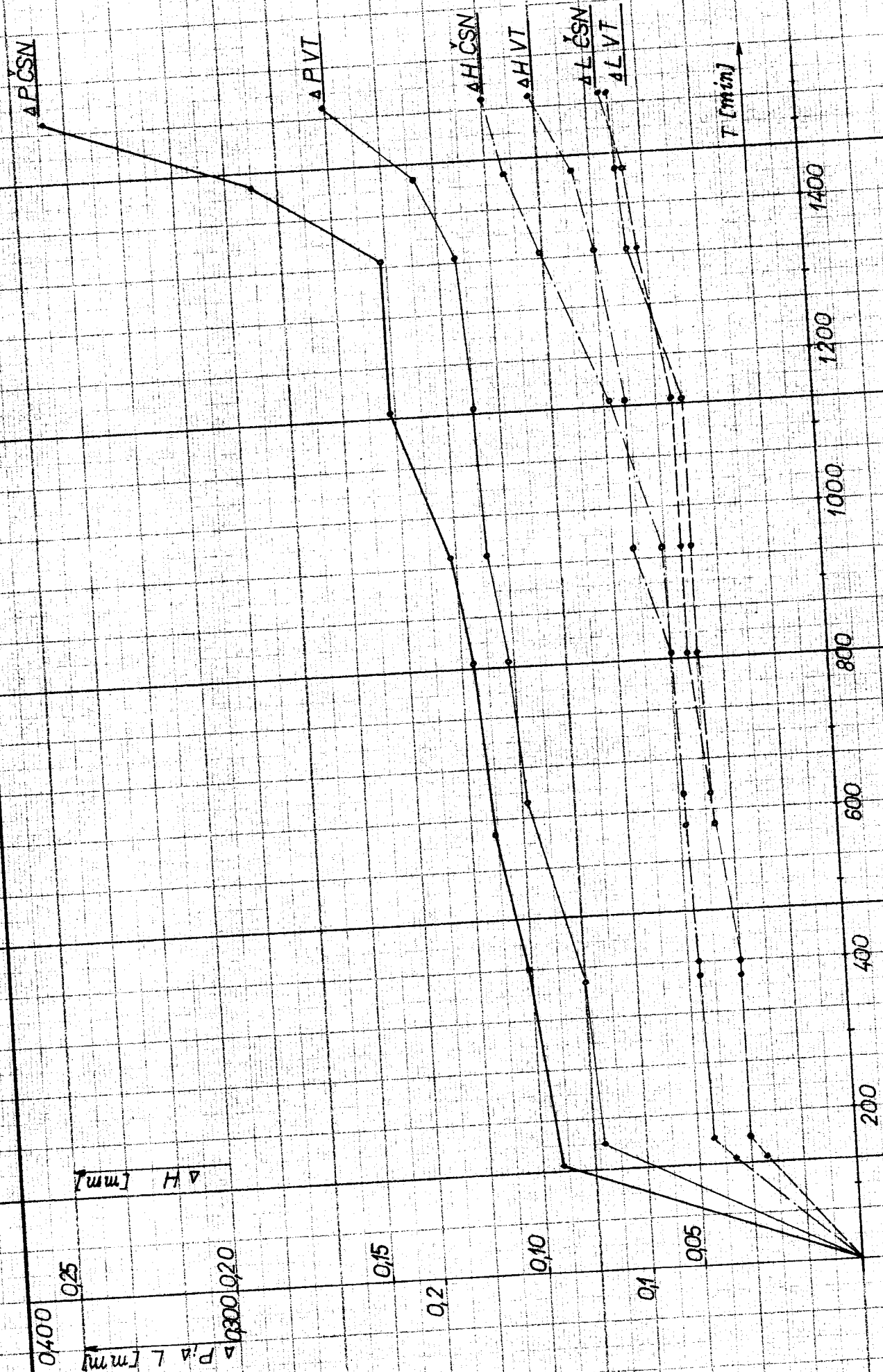


Diagram č. 6. Opořebení zubu č. 2

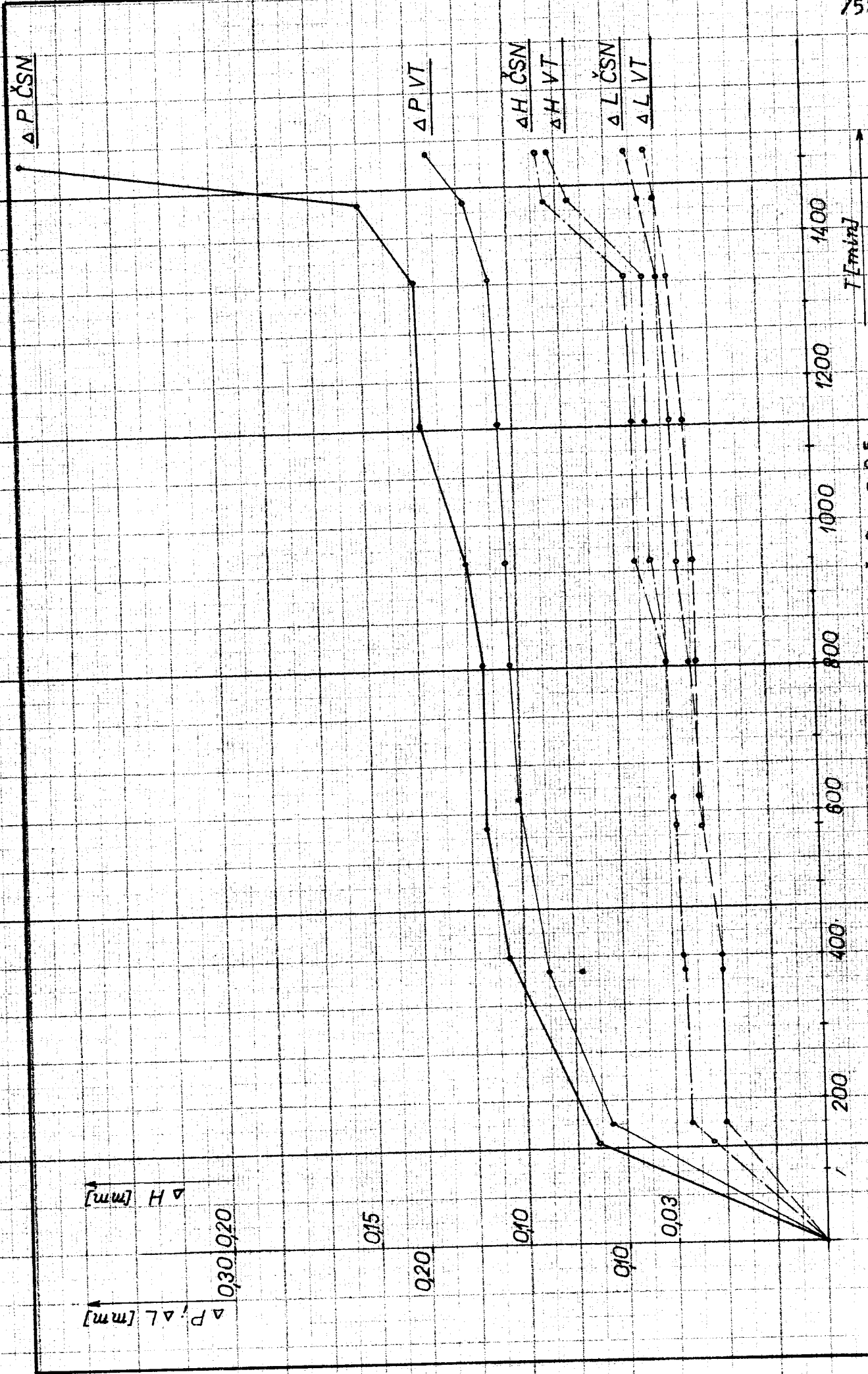


Diagram č. 7 : Opotřebení zubu č. 3 n = 2,5

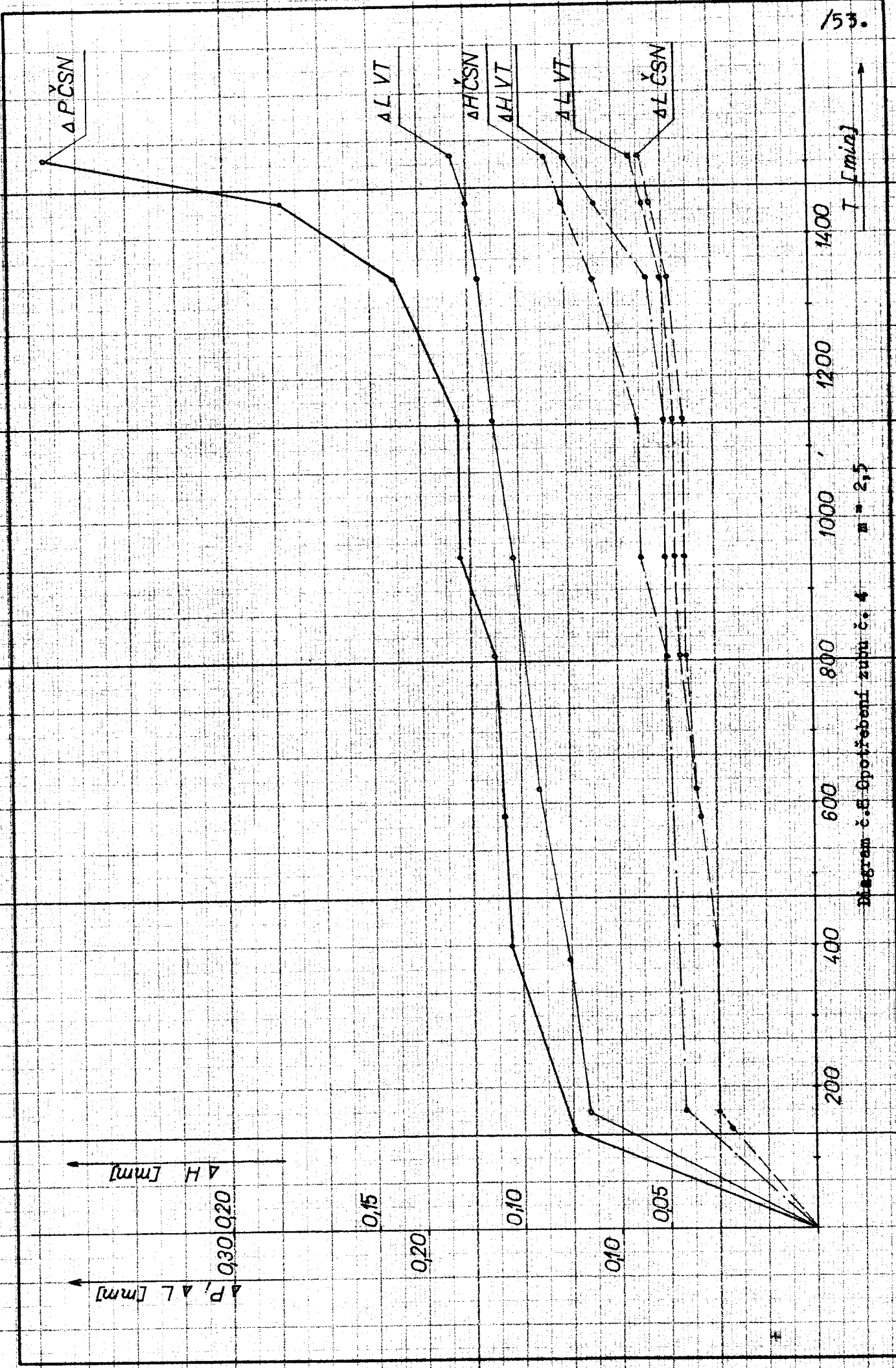


Diagram č. 8. Spotřeba zubů č. 4 $m = 2,5$

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích noží
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP-ST 425/66/54.
16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

ΔL - opotřebení vstupního boku.

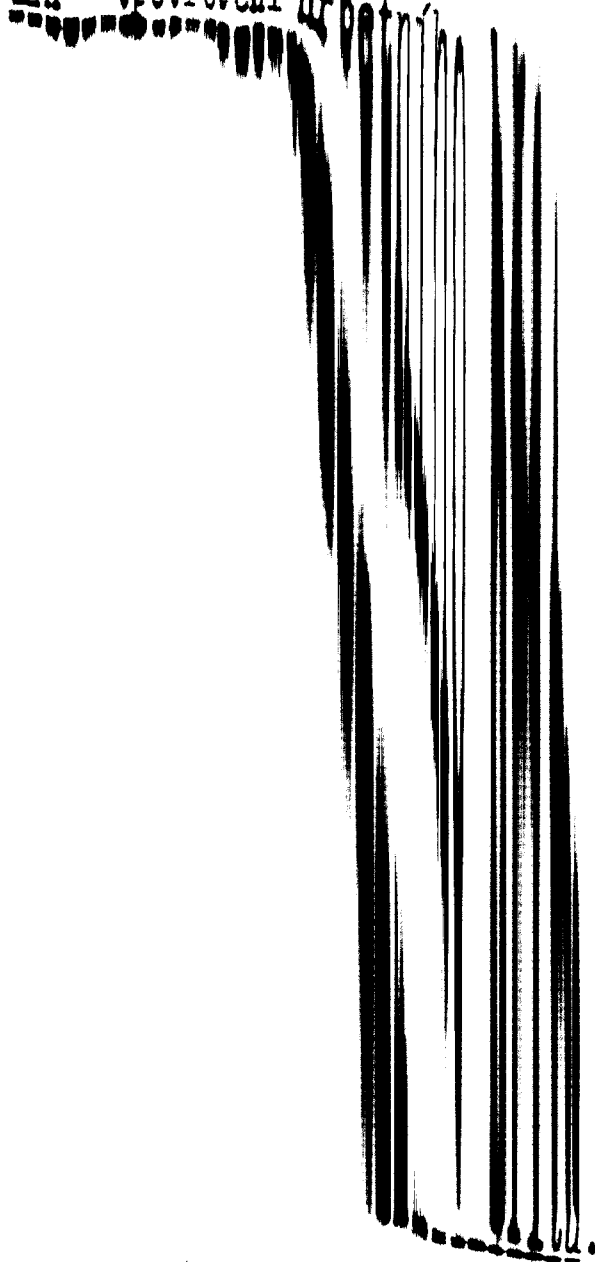
Maximální hodnoty:

$$\text{z.č. } 2\Delta L \text{ max } \text{ČSN} = 0,091 \text{ mm}$$

$$\text{z.č. } 1\Delta L \text{ max } \text{VT} = 0,091 \text{ mm}$$

Z průběhu diagramu je vidět, že toto opotřebení je
přibližně stejné velikosti jak pro nástroj VT, tak
pro ČSN a změna šířky hlavy Sh nemá prakticky na ně
vliv.

ΔH - opotřebení břehů



ΔL - opotřebení vstupního boku.

Maximální hodnoty:

z.č. 2 ΔL max ČSN = 0,091 mm

z.č. 1 ΔL max VT = 0,091 mm

Z průběhu diagramu je vidět, že toto opotřebení je přibližně stejné velikosti jak pro nástroj VT, tak pro ČSN a změna šířky hlavy Sh nemá prakticky na ně vliv.

 ΔH - opotřebení hřbetního břitu.

Jeho hodnoty jsou přibližně stejné jako opotřebení ΔL , avšak zde je rozdíl mezi nástrojem VT a ČSN.
max. hodnoty ΔH :

z.č. 2 ΔH ČSN = 0,100 mm

z.č. 2 ΔH VT = 0,086 mm

Z diagramů je patrné, že opotřebení ΔH ČSN $>$ ΔH VT a zvětšená šířka Sh má příznivý vliv na toto opotřebení.

 ΔP - opotřebení výstupního břitu.

U tohoto opotřebení jsou největší rozdíly mezi nástrojem VT a ČSN.

Max. hodnoty ΔP :

z.č. 4 ΔP ČSN = 0,390 mm

z.č. 2 ΔP VT = 0,201 mm

Z těchto maximálních hodnot nelze usuzovat o konečné velikosti opotřebení ovšem z diagramu je zřejmé, že nástroj VT vykazuje podstatně nižší opotřebení než nástroj ČSN.

Zvětšená šířka hlavového břitu Sh má na opotřebení výstupního boku největší vliv a jsou tím potvrzeny teoretické předpoklady z článku 2.1.

Podíváme-li se na tabulku opotřebení č. 12 lze z ní vyčíst tento závěr:

Není vhodné pracovat s nástrojem ČSN po dobu 1515 minut, protože opotřebení je již značné - přibližně 0,380 mm. Ostřením by nastal velký úbytek nástroje. Proto vhodnější je pracovat s ČSN nástrojem po dobu 1140 minut, kde je opotřebení poloviční, t.j. přibližně 0,190 mm. S nástrojem ČSN můžeme tedy pracovat při stejném úbytku nástroje 2x1140 minut a dosáhneme o 30 % vyšší využití nástroje než kdybychom pracovali s tímto nástrojem po dobu 1515 minut.

Provedeme nyní rozbor trvanlivosti ostří jrnozli-
vých zubů podle diagramů.

Uvažovat budeme čas, při kterém nastává prudší
zlom křivky opotřebení, t.j. přibližně 1340 minut
jako výchozí bod hodnocení, protože nad 1340 minut
byly voleny zvýšené řezné podmínky.

Zub č. 1 - podle diagramu 5.

nástroj VT při $T = 1340$ min. má $\Delta P = 0,160$ mm
nástroj VT při $T = 583$ min. má $\Delta P = 0,160$ mm

Nástroj VT může při stejném opotřebení pracovat
přibližně o 750 minut déle.

Zub č. 2 - podle diagramu 6.

nástroj VT při $T = 1340$ min. má $\Delta P = 0,169$ mm
nástroj ČSN " $T = 805$ min. má $\Delta P = 0,169$ mm

Nástroj VT může pracovat o 450 minut déle.

Zub č. 3 - podle diagramu 7.

nástroj VT při $T = 1340$ min. má $\Delta P = 0,160$ mm
nástroj ČSN " $T = 470$ min. má $\Delta P = 0,160$ mm

Nástroj VT může pracovat o 870 minut déle.

Zub č. 4 - podle diagramu 8.

nástroj VT při $T = 1340$ min. má $\Delta P = 0,169$ mm
nástroj ČSN při $T = 870$ min. má $\Delta P = 0,169$ mm

Nástroj VT může pracovat o 570 minut déle.

Vezmeme-li průměr trvanlivosti z uvedených
zubů :

$$\bar{\varnothing} \text{ ze 4 zubů} = / 750+450+870+570 / : 4 = 660 \text{ min.}$$

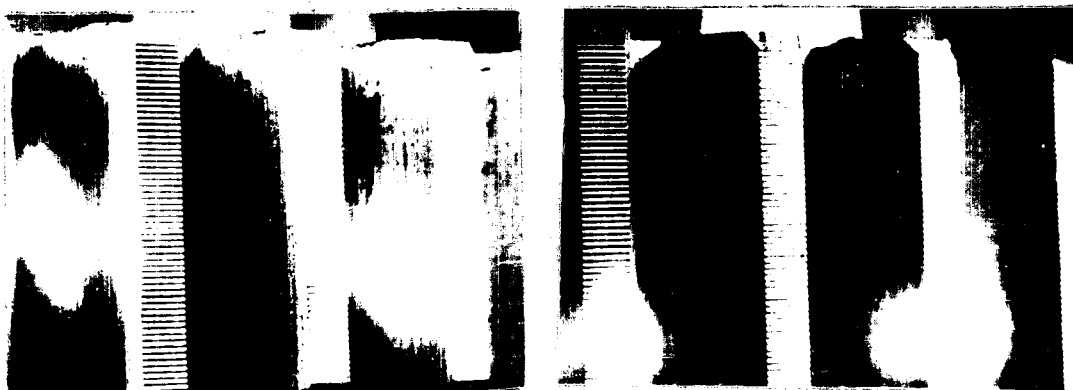
Toto je hodnota zvýšení trvanlivosti VT nástroje
oproti nástroji ČSN, byl-li za základní bod rozbo-
ru vzat čas $T = 1340$ pro nástroj VT.

Při sledování opotřebení byl pozorován příz-
nivý vliv VT nástroje na jakost povrchu obrobku.
Týká se to boku zubu obráběného výstupním břitem
nástroje.

Jsou-li oba nástroje nové, nástrojem VT možno pra-
covat s posuvem $0,2$ mm/ dvzd nebo i větším, aniž
nastává na bocích obrobku vytrhávání materiálu.
S nástrojem ČSN bylo možno pracovat pouze do veli-
kosti posuvu $0,09$ mm/ dvzd, při větším nastávalo
vytrhávání materiálu.

Tento jev trval po dobu 400 minut práce nástroje.
Po mírném otupení nástroje je možno posuv nástroje
ČSN zvýšit.

Jakost povrchu zubů obrobku ukazují fotografie
č. 20 a 21, které jsou na následující stránce.



fot. 20
obrobek ČSN

fot. 21
obrobek VT

4.5 Zkoušky opotřebení nástrojů $m=4$ na stroji OH 6.

Použitý stroj : odvalovací obrážečka OH 6

Počet dvojjzdvihů : $n = 160$ dvzd/min.

Posuv : $s = 0,2$ mm / dvzd

Zdvih : $l = 50$ mm

Řezná rychlost : $v = 16$ m/ min.

Zvýšené řezné podmínky jsou uvedeny v diagramu č.9

Obrobek:

$m = 4$; $z = 36$; $\alpha = 20^\circ$; $D = 144$ výška ozub. 40 mm

č.v AT 37508 - 3 typ T- 35 $M/4 = 43,34 - 0,14$

evolventa 0,012

Ozubení normální - materiál 14220

Směr otáčení : podle obr. 9

Nástroj:

1/ obrážecí kolo $m = 4$; ČSN $\emptyset D_h = 112$ mm $z = 25$; $\alpha = 20^\circ$;

2/ obrážecí kolo $m = 4$; VT $\emptyset D_h = 111,25$ mm $z = 25$; $\alpha = 20^\circ$;

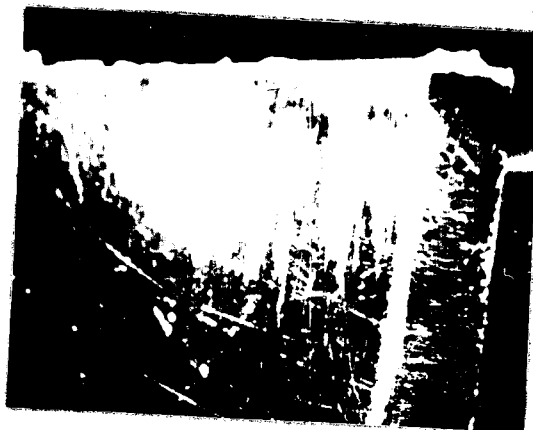
Místo zkoušek: SVA Hrádek nad Nisou

4.6 Výsledky zkoušek.

Opotřebení ΔP , ΔL a ΔH čtyř sledovaných zubů nástrojů $m = 2,5$ ukazují fot. 22 - 31. Opotřebení ΔH je vidět společně s opotřebením ΔP .



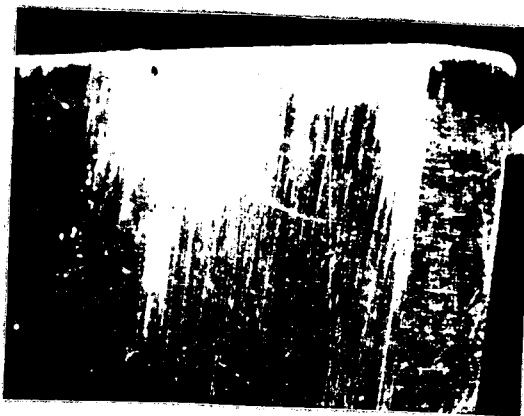
fot. 22
z.č.1 $\Delta P \Delta H$ - ČSN



fot. 23
z.č.1 $\Delta P, \Delta H$ - VT



fot. 24
z.č.2 $\Delta P \Delta H$ - ČSN



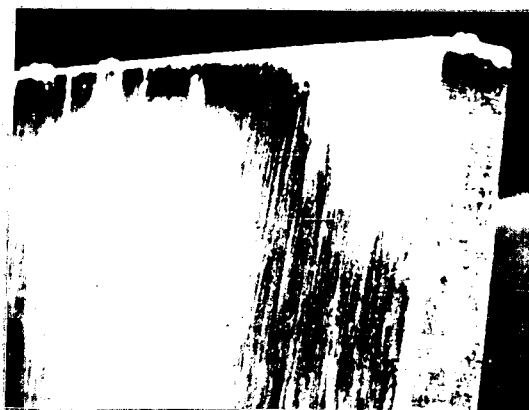
fot. 25
z.č.2 $\Delta P, \Delta H$ - VT



fot. 26
z.č.3 $\Delta P, \Delta H$ - ČSN



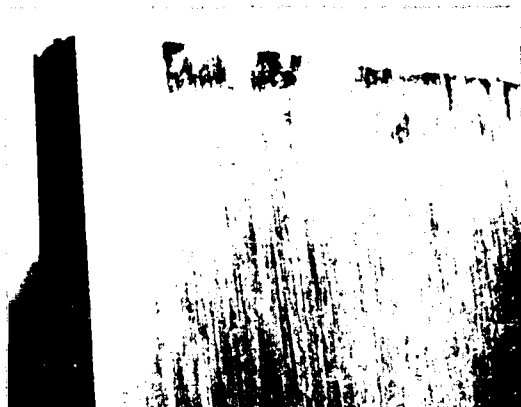
fot. 27
z.č.3 $\Delta P, \Delta H$ - VT



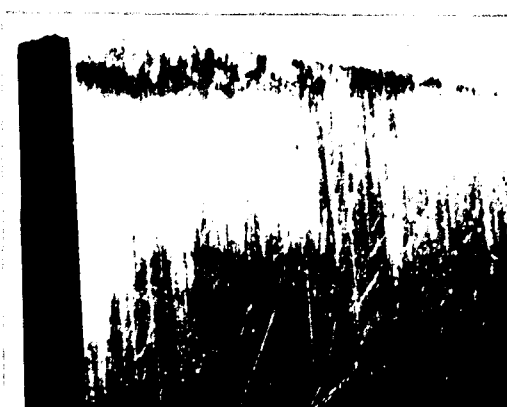
fot.28
z.č.4 $\Delta P, \Delta H$ - ČSN



fot.29
z.č.4 $\Delta P, \Delta H$ - VT



fot.30
z.č.1 ΔL - ČSN



fot.31
z.č.1 ΔL - VT

Hodnoty opotřebení sledovaných zubů obou nástrojů během obrábění ukazuje tab. 13; str. 60.

Grafické vyhodnocení čtyř zubů jsou na diagramech č. 9 - 12, které jsou na straně 61 - 62.

Hodnocení opotřebení ΔL a ΔH je obdobné jako v článku 4.4 a nebude zde proto opakováno .

ΔL a ΔH mají jinou velikost než u modulu 2,5 ale jsou u modulu 4 rovněž nižší než opotřebení ΔP , takže na velikost úběru materiálu nástroje nemají vliv.

Největší opotřebení ΔP výstupního břítu dosahují u sledovaných čtyř zubů tohoto maxima;

T min	zub čís	N Á S T R O J V T			N Á S T R O J ČSN		
		ΔP	ΔL	ΔH	ΔP	ΔL	ΔH
200	1	141	025	005	166	025	005
	2	130	025	005	135	025	005
	3	120	025	005	139	025	005
	4	143	025	005	156	025	005
400	1	158	005	008	170	005	008
	2	147	005	008	169	005	008
	3	150	005	008	169	005	008
	4	155	005	008	191	005	008
600	1	168	070	093	182	066	115
	2	165	063	098	173	069	104
	3	164	060	107	183	064	124
	4	163	069	088	199	065	107
800	1	181	080	110	200	080	140
	2	178	076	105	190	073	120
	3	176	070	125	196	076	147
	4	177	075	091	220	075	119
1000	1	198	094	119	225	096	160
	2	196	083	110	200	080	135
	3	190	080	130	195	081	160
	4	199	085	100	241	096	140
1080	1	208	098	132	288	102	180
	2	241	085	160	240	080	168
	3	232	083	190	258	085	195
	4	240	090	130	290	100	165

Pozn.: Rozměr opotřebení ΔP , ΔL a ΔH jsou tis.mm.
Opotřebení nástrojů
m = 4 VT a ČSN na stroji OH 6.

Pro $m = 4$: do $T = 1000$ min $v = 16$ m/min; $s = 0,2$ mm/obřad
od $T = 1000$ min $v = 21,5$ m/min; $s = 0,25$ "

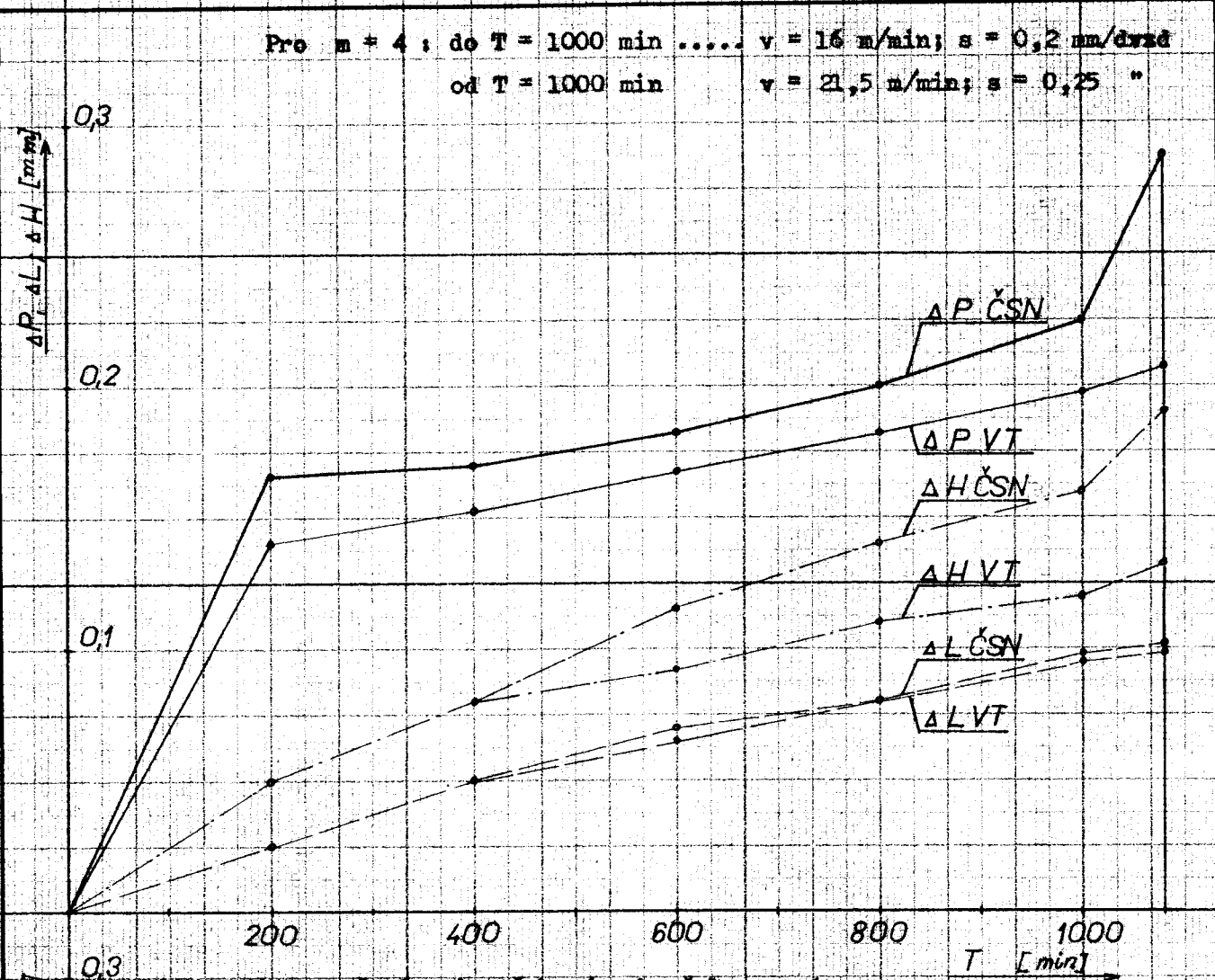


Diagram č. 9 : Opotřebení zubu č. 1 m = 4

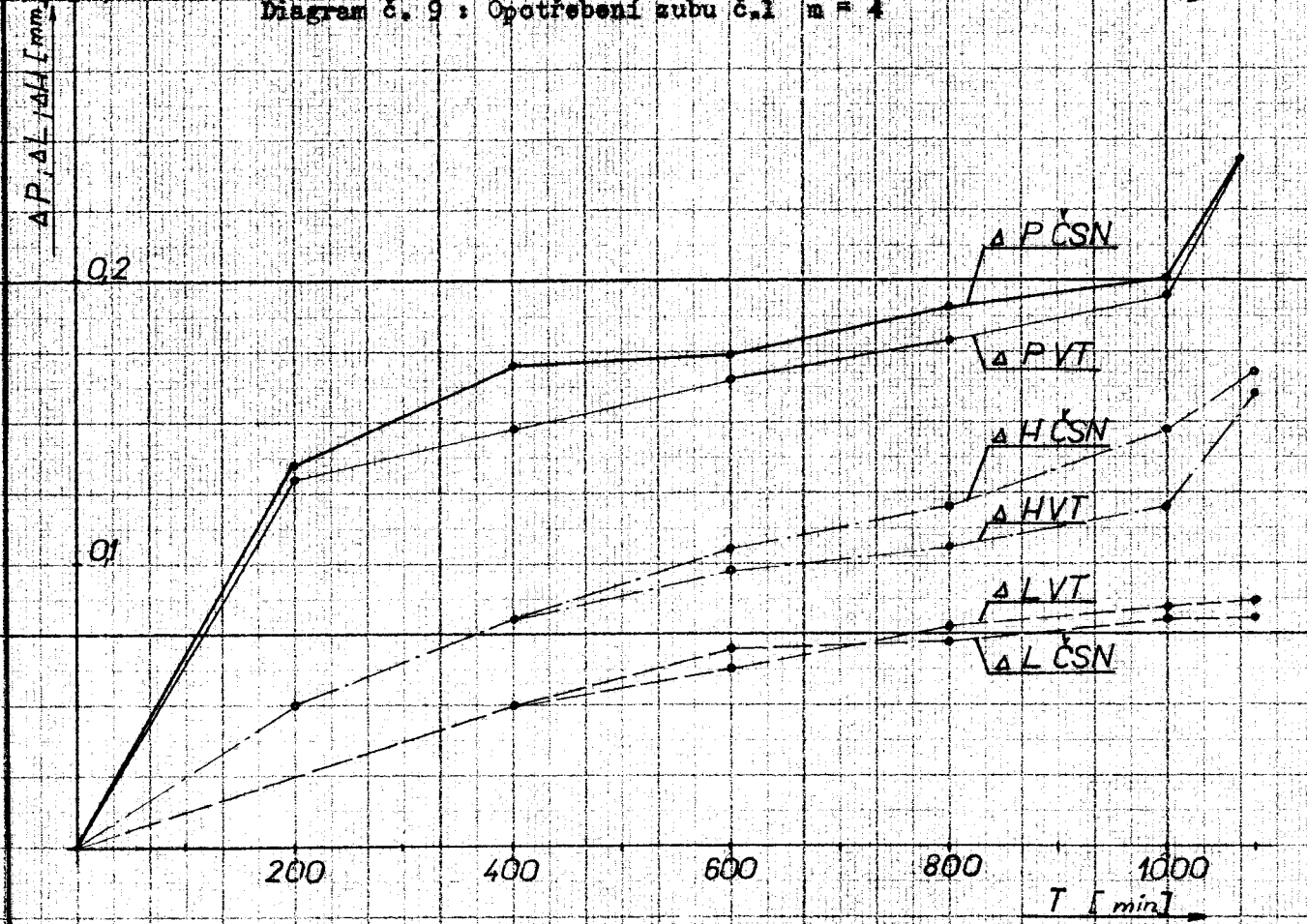
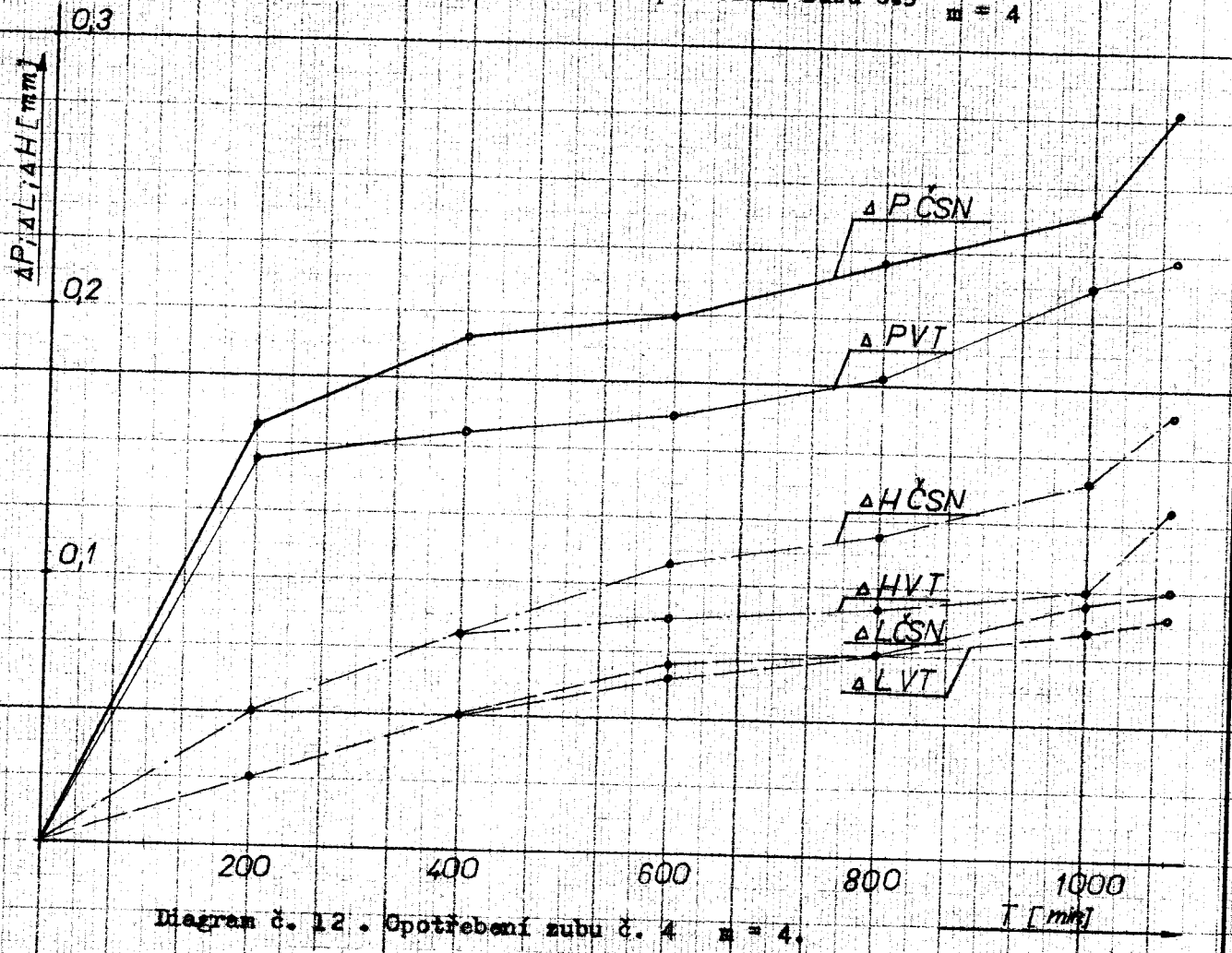
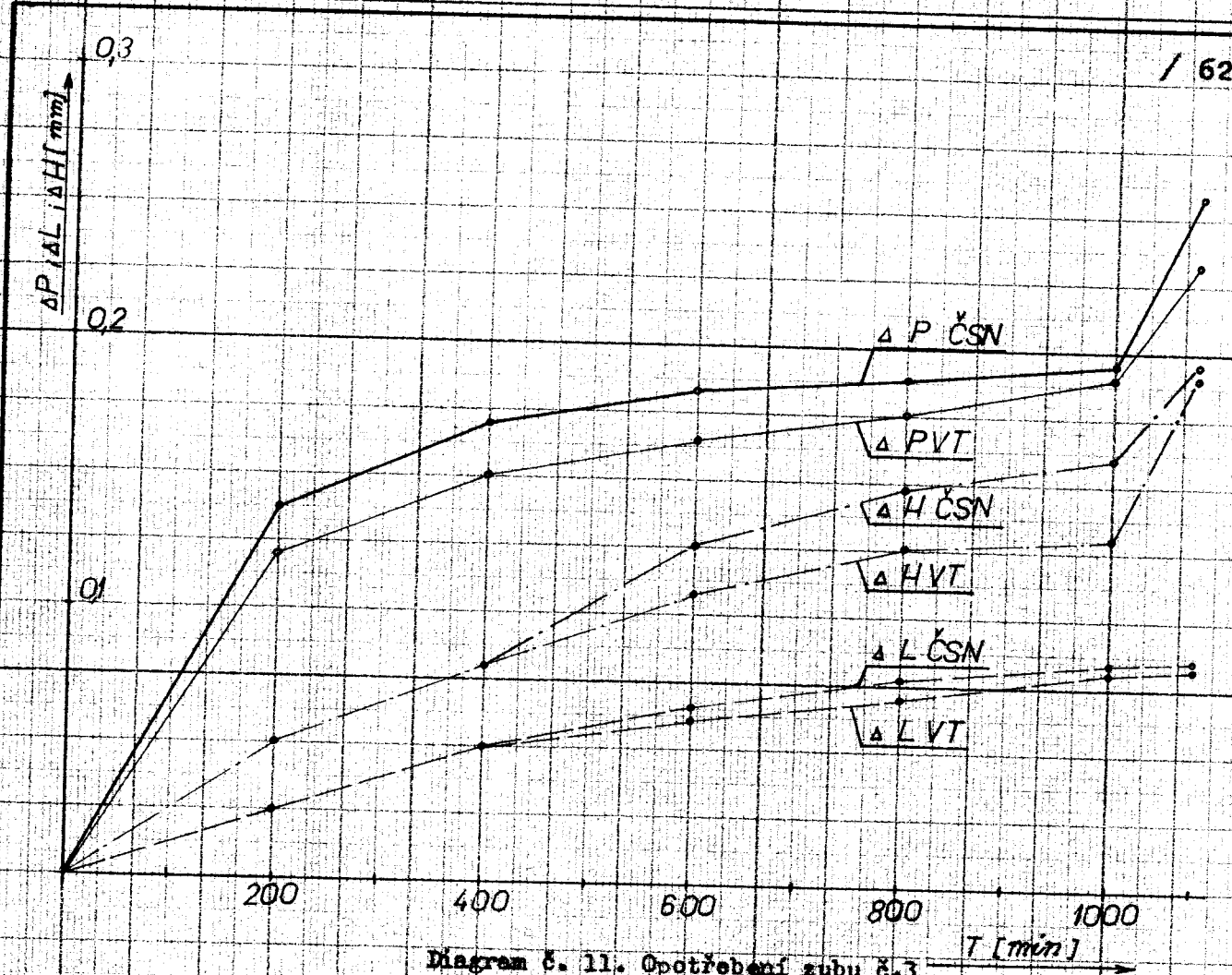


Diagram č. 10 : Opotřebení zubu č. 2 m = 4



$$z.č.4 \Delta P \text{ ČSN} = 0,290 \text{ mm}$$

$$z.č.3 \Delta P \text{ VT} = 0,241 \text{ mm}$$

Obrábíme-li nástrojem ČSN více než 1000 minut opotřebení ΔP roste již velmi rychle a proto je vhodné pracovat s tímto nástrojem pouze do uvedeného času.

Rozebereme nyní trvanlivost ostří jednotlivých zubů podle diagramů.

Budeme uvažovat pouze obrábění do 1000 min., t.j. po dobu normálních řezných podmínek. Dále nastává v diagramech již zlom křivky a nebylo by ekonomické pracovat po vyšší dobu.

Zub č. 1 - podle diagramu 9.

nástroj VT při $T = 1000$ min. má $\Delta P = 0,198$

nástroj ČSN při $T = 775$ min. má $\Delta P = 0,198$

Z toho plyne, že nástroj VT může pracovat o 225 min. déle při stejném opotřebení.

Zub č. 2 - podle diagramu 10.

nástroj VT při $T = 1000$ min. má $\Delta P = 0,196$

nástroj ČSN při $T = 875$ min. má $\Delta P = 0,196$

Nástroj VT může pracovat o 125 minut déle.

Zub č. 3 - podle diagramu 11.

nástroj VT při $T = 1000$ min. má $\Delta P = 0,190$

nástroj ČSN při $T = 825$ min. má $\Delta P = 0,190$

Nástroj VT může pracovat o 175 minut déle.

Zub č. 4 - podle diagramu 12.

nástroj VT při $T = 1000$ min. má $\Delta P = 0,199$

nástroj ČSN při $T = 715$ min. má $\Delta P = 0,199$

Nástroj VT může pracovat o 285 minut déle.

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojevého typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425 / 66 / 64.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

Nyní vezmeme průměrné hodnoty zvýšené trvanlivosti VT nástroje :

$$\bar{t} \text{ ze 4 zubů } = /225+125+175+285/ : 4 = 202,5 \text{ min.}$$

Nástroj VT může tedy při stejném opotřebení pracovat o 202,5 minut déle než nástroj ČSN při stejné velikosti opotřebení ΔP .

Tento rozbor je uveden pro čas práce VT nástroje 1000 minut.

5. Z á v ě r.

Porovnání obou nástrojů je nutno rozdělit na dvě části :

- 1/ Hodnocení přesnosti.
- 2/ Hodnocení opotřebení.

ad 1/ Jak vyplývá z výsledků první části diplomní práce, nástroj VT je přesnější než nástroj ČSN, což by mohlo mít příznivý vliv na vyšší trvanlivost a zmenšení hlučnosti soukolí v případech, kdy se neprovádí dodatečné obrábění - na př. ševingování nebo broušení.

Nástroj VT je přesnější u všech modulů a odchylky evolventy mají vždy povahu podle obr. 8.

ad 2/ Protože opotřebení není jev rovnoměrný u všech zubů, není možno jednoznačně říci, že na př. prodloužení trvanlivosti pro nástroj VT $m = 2,5$ bude 660 minut.

To záleží na tom, který bod diagramu vezmeme za výchozí, dále na soustavné chybě, kterou provádí měřící osoba, na tvrdých místech v obráběném materiálu, špatném rozpoznání a měření opotřebení v prvních fázích práce nástroje. Při najíždění nástroje do řezu nastává vyšší opotřebení některých zubů a jsou zde ještě jiné nepříznivé vlivy.

Proto je nutné uvedené hodnoty poněkud snížit jak pro nástroj $m = 2,5 - VT$, tak pro nástroj $m = 4 - VT$.

Nástroj VT $m = 4$ má menší zvýšení trvanlivosti v porovnání s nástrojem $m = 2,5$. Je to způsobeno tím, že šířka hlavy Sh pro $m = 2,5$ je větší, než pro $m = 4$.

Tuto závislost má vyhodnocenou ve své práci [1]
ing. Novák.

**VŠST
Liberec**

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425/66 /66.

16. IV. 1966

Ž i ž k a Miroslav

Ze všech zde i dříve uvedených důvodů možno říci,
že by bylo vhodné vyrábět nástroje VT a tak přispět
ke zvýšení efektivity obrázení zubů.

V Děčíně dne 12. dubna 1966

VŠST
Liberec

Porovnání trvanlivosti
kruhových obrážecích nožů
vývojového typu s nástroji
dle ČSN.

DP - ST 425/66/67

16. IV. 1966

Upřímně děkuji soudr. ing. N o v á k o v i,
z Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, dále
pracovníkům n.p. SVA Hrádek nad Nisou a n.p. TOS
Čelákovice za ochotu a pomoc, kterou mi poskytli
při vypracování tohoto úkolu.

Erík Mirolov.
.....

Seznam použité literatury .

- [1] Ing.J.Novák: Výzkumná zpráva o optimální šířce hlavy kruhových obrážecích nožů.
- [2] Earle Buckingham : Stirnräder mit gerade Zähnen.
- [3] Ing.J.Novák: Patentová přihláška č. PV 342964.
- [4] Grubin : Řezné nástroje.

Seznam příloh :

- 1/ Diagram opotřebení všech zubů nástrojů $m = 2,5$ VT a ČSN po skončeném obrábění.
- 2/ Diagram opotřebení všech zubů nástrojů $m = 4$ VT a ČSN po skončeném obrábění.