

Vysoká škola: **strojní a textilní** v Liberci Fakulta: **strojní**
Katedra: **obrábění a montáže** Školní rok: **1982/83**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Zdeňka Z í t k a**
obor **23 - 07 - 8 strojírenská technologie**

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

Název tématu: **Obrábění vn izolátorů z izostaticky
lisované keramiky, experimentální
výzkum samobuzeného chvění**

Zásady pro vypracování:

1. Význam zadání
2. Vymezení a zúžení problematiky pro experimentální výzkum
3. Návrh metodiky pro experimentální výzkum
4. Experimentální část pro vybrané parametry
5. Zhodnocení a závěr

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č. j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUD. NTSKA 5
PSČ 461 17

KOM-OM

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah průvodní zprávy: **40 - 50 stran textu**

Seznam odborné literatury:

**Békés, Y.: Inžinierska technológia obrábania kovov,
ALFA Bratislava, 1981**

Liemert, G.: Obrábění, SNTL Praha, 1974

Přikryl, Z.-Musílková, R.: Teorie obrábění, SNTL Praha, 1982

**Gabriel, V.-Nevald, J.-Klíma, R.: Tlumení chvění při soustru-
žení hlubokých otvorů**

Výzkumná zpráva VŠST - KOM Liberec, 1976

Diplomová práce - ST - 087/82

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Frinta**

Konzultant DP: Ing. Jiří Burian VŠST, Liberec

Datum zadání diplomové práce: **15. 10. 1982**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. 5. 1983**




Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stráž, CSc.
Děkan

V **Liberci** dne **10. 10.** 19 **82**

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce
Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

O b r á b ě n í a m o n t á ž e

Katedra obrábění a montáže

OBRÁBĚNÍ VN IZOLÁTORŮ Z IZOSTATICKY
LISOVANÉ KERAMIKY, EXPERIMENTÁLNÍ
VÝZKUM SAMOBUZENÉHO CHVĚNÍ

DP - ST - 179/83

Autor: Zdenek ZÍTKO
Vedoucí práce: Ing. Jan FRINTA, VŠST Liberec
Konzultant: Ing. Jiří BURIAN, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	58
Počet příloh a tabulek	24 28
Počet obrázků	18
Počet výkresů	-
Počet modelů nebo jiných příloh	-

V Liberci 27. 5. 1983

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

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

Zdenek Zítko

Zdenek Zítko

V Liberci dne 27. 5. 1983

OBSAH

	strana
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	5
1. ÚVOD - Hospodářsko-politický význam zadání	7
2. STABILITA PROCESU ŘEZÁNÍ	10
2.1 Nepříznivé účinky kmitání na stabilitu obrábění	10
2.2 Rozdělení kmitání	11
2.3 Vlastní kmitání	11
2.4 Vynucené kmitání	11
2.4.1 Budící síla nesouvisící s procesem řezání	12
2.4.2 Budící síla souvisící s procesem řezání	14
2.4.3 Potlačení vzniku vynucených kmitů	15
2.5 Samobuzené kmitání	15
2.5.1 Rozdělení samobuzeného kmitání	18
2.5.2 Samobuzené kmitání nesouvisící s procesem řezání	18
2.5.3 Samobuzené kmitání vyvolané řezným procesem	19
2.5.3.1 Princip polohové vazby	20
2.5.3.2 Teorie regeneračního kmitání	21
2.6 Vliv některých činitelů na stabilitu procesu obrábění	23
2.6.1 Tuhost technologické soustavy	24
2.6.2 Vliv parametrů řezání	24
2.6.3 Vliv geometrie břitu	26
3. VYMEZENÍ PROBLEMATIKY PRO OBRÁBĚNÍ ILK	29
4. METODIKA ZKOUŠEK	31
4.1 Použité materiálně-technické vybavení	32
4.1.1 Obráběcí stroj	32

	strana
4.1.2 Řezný nástroj	33
4.1.3 Zkušební materiál	35
4.1.4 Měřicí zařízení	36
4.1.5 Cejchování	37
4.1.6 Parametry zkoušek	37
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
5.1 Měření řezných sil a amplitud chvění	38
5.1.1 Tvarování ILK	38
5.1.1.1 Výsledky zkoušek	38
5.1.2 Hrubování ILK	44
5.1.2.1 Výsledky zkoušek	53
6. ZÁVĚR	55
7. SEZNAM LITERATURY	57
8. SEZNAM PŘÍLOH	58

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_x, A_z	amplituda kmitů / mm /
c	faktor tlumení
f	frekvence / Hz /
F_o, F_l, F_k	síla
F_f	axiální složka řezné síly / N /
F_v	tangenciální složka řezné síly / N /
g	gravitační zrychlení
h	hloubka řezu / mm /
ILK	izostaticky lisovaná keramika
k	tuhost
l	délka obrobku / mm /
m	hmota
M 50 S-2	název materiálu
n	otáčky
r	rezonance nástroje
r_ξ	poloměr špičky nože / mm /
R	poloměr řezné destičky / mm /
RS 409	řídící systém
s	posuv suportu / mm/ot /
SPID	soustava stroj - přípravek - nástroj - obrobek
SO 2 - NC	číslicově řízená obráběcí jednotka
t	čas
v_f	rychlost

v	řezná rychlost / m/min /
v_{vn}	velmivysokonapěťový
VÚEK	výzkumný ústav elektrotechnické keramiky
x, y, z	směry amplitud kmitů, souřadný systém
α_o	nástrojový úhel hřbetu / ° /
β_o	nástrojový úhel čela / ° /
ε_r	nástrojový úhel špičky nože / ° /
α_r	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří / ° /
λ_s	nástrojový úhel sklonu ostří / ° /
μ_o, μ_s	součinitel tření
φ	fázový úhel

1. ÚVOD - Hospodářsko-politický význam zadání

Vedle zdokonaleného způsobu řízení a plánování naší ekonomiky je hlavní důraz kladen na vědeckotechnický rozvoj, který vede k výraznému vzestupu efektivnosti a kvality veškeré práce. Ve zprávě o činnosti strany a vývoje společnosti, kterou přednesl soudruh Gustav Husák, bylo řečeno, že v 7. pětiletce je zapotřebí zabezpečit proporcionální rozvoj národního hospodářství, dále posílit a modernizovat materiálně technickou základnu naší země, dosáhnout širšího uplatnění vědy a techniky ve výrobě.

K zabezpečení těchto vytyčených cílů je tedy třeba realizovat dlouhodobou hospodářskou linii vysoké efektivnosti výroby a kvality veškeré práce. Jejím základem je převedení ekonomiky na cestu intenzivního rozvoje, správné využívání výrobního potenciálu, vysoké hospodárnosti. Plánovaných temp rozvoje národního hospodářství se má dosáhnout především růstem produktivity práce, nižší energetickou a materiálovou spotřebou.

Určujícím a nejmocnějším zdrojem růstu produktivity společenské práce je věda a technický pokrok. Jedině na základě uplatnění vědy a techniky je možno rozvíjet jednotlivé obory, lépe využívat výrobní základny, zvláště nejmodernějších a nejvýkonnějších strojů a zařízení. Prvořadou pozornost je nutné věnovat zajištění růstu kvality a technické úrovně vyráběné produkce.

V Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje Československé socialistické republiky na léta 1981 - 1985 bylo zdůrazněno, že odvětví strojírenství bude i nadále základem rozvoje československé ekonomiky, musí se výrazněji podílet na technickém pokroku ve všech odvětvích národního hospodářství. Je nutné nadále posilovat úlohu strojírenství při rychlejším rozvoji elektrotechniky a dalších oborů ovlivňujících růst technické úrovně a kvality strojírenské

produkce. Je zapotřebí intenzivně zvyšovat podíl výroby vybavenosti prostředky pro automatizaci.

Pronikání automatizace do oblastí výrob s nižší sériovostí, které tvoří větší část strojírenského výrobního procesu umožnil prudký rozvoj řídicí techniky. S rostoucím rozšiřováním sortimentu strojírenských výrobků je potřeba v této oblasti proces automatizace neustále zrychlovat. Tento předpoklad byl vytvořen realizací číslicově řízených obráběcích strojů. Tyto stroje však potřebují zajištění trvalého přísunu informací, výrobních pomůcek, obrobků, odsun výrobků a odpadu. Je třeba vytvořit takové podmínky a opatření, aby tento mohutný nástroj zvyšování výroby ve strojírenství mohl být plně a ekonomicky využit.

Jednou z důležitých podmínek, aby se mohl takový číslicově řízený obráběcí stroj plně uplatnit ve strojírenské výrobě, je dosažení optimálního průběhu procesu obrábění. Dosažení této podmínky vede k použití optimálních rezných podmínek. A právě na využívání optimálních rezných podmínek závisí režim práce obráběcího stroje, především doba spolehlivosti nástroje a kvalitativní hledisko procesu obrábění tj. jakost obrobené plochy. Spolehlivost nástroje je podmíněna jednak jeho konstrukčním řešením a jednak podmínkami za jakých nástroj pracuje, tj. celkový vztah jednotlivých prvků soustavy SPID.

Nejdůležitější činitelé ovlivňující kvalitu procesu řezání jsou nástroj - obrobek, a jejich vzájemný vztah. Při jejich vzájemném pohybu dochází ke kmitání. Toto kmitání je běžným jevem při práci na obráběcích strojích a může být příčinnou značného zhoršení ekonomických a kvalitativních parametrů obrábění.

Protože rozvoj jaderné energetiky klade vyšší požadavky na mechanické a elektrické vlastnosti izolátorů, bylo nutné

přistoupit ke konstrukci nového stroje, který by umožnil obrábění rozměrově a tvarově větších a složitějších izolátorů na kvalitativně vyším stupni než se dosud vyráběly. Výsledkem výzkumu ve VÚEK Hradec Králové je nový obráběcí stroj SO 2 - NC s číslicovým řízením, který je již v pořadí druhým strojem vyvinutým pro obrábění vvn izolátorů z izostaticky lisované keramiky. Jednou z příčin, které způsobuje zhoršení jakosti vvn izolátorů je kmitání řezného nástroje. Právě proto je studium podmínek vzniku kmitání velice důležité.

2. STABILITA PROCESU ŘEZÁNÍ

Proces řezání s rovnoměrným řezným pohybem lze považovat za dynamický proces v setrvačném stavu. Setrvačný, relativně klidový stav se může porušit pouze působením určité, periodicky působící síly, přičemž tato síla vyvolá kmitání pružného tlumeného systému stroj - nástroj - obrobek. /4/

Tento jev může mít za určitých řezných podmínek velmi malý, nebo nepatrný vliv na stabilitu procesu řezání. Velikost těchto řezných podmínek nám však v mnohých případech nedává možnost optimálního využití obráběcího stroje a tím dosáhnout požadovaných výsledků obrábění. Při změně řezných podmínek, k docílení ekonomičtějšího využití obráběcího procesu, však dochází ke značnému zhoršení ekonomických a kvalitativních výsledků obrábění vlivem zvýšeného kmitání. Velikost kmitání může vzrůst až na takovou hodnotu, kdy dochází k porušení nástroje popřípadě některé části obráběcího stroje. Nepříznivým jevem, který provází kmitání, je zhoršení jakosti a geometrické přesnosti obrobene plochy na nepřipustnou mez. Kmitání je tedy běžný a průvodní jev při práci na obráběcích strojích.

2.1 Nepříznivé účinky kmitání na stabilitu obrábění

V důsledku intenzivního kmitání se při obrábění projevují tyto negativní účinky: /4/, /6/

- neúplné využití daného výkonu stroje
- rychlejší opotřebení některých součástí obráběcího stroje
- zvýšené otupení řezného nástroje, s nebezpečím mechanického porušení břitů
- zhoršení jakosti a geometrické přesnosti obráběného povrchu

- v důsledku vlnitosti obrobeného povrchu v předchozí operaci
- silný hluk, nebo vysoký tón zhoršující pracovní prostředí

2.2 Rozdělení kmitání

Při obrábění mohou v soustavě stroj - nástroj - obrobek vznikat tři základní druhy kmitání, které mají nepříznivý vliv na proces obrábění. Podle vzniku a charakteru kmitání rozdělujeme na

- vlastní kmitání
- vynucené kmitání
- samobuzené kmitání

2.3 Vlastní kmitání

Soustava stroj - nástroj - obrobek je tvořena skupinou hmotných a pružných částí, které jsou spolu různě spojeny a při kmitání navzájem na sebe působí. Při vlastním kmitání jde o kmitání některé části, nebo několika částí této soustavy. Tento druh kmitání je určen vlastní frekvencí. Takové kmitání může být vyvoláno záběrem nástroje, nebo zapnutím spojky, tedy rázem. Vlastní kmity se udržují působením pružných sil a vlivem odporů se utlumí. Jejich vliv na obrábění lze obvykle zanedbat.

2.4 Vynucené kmitání

Působí-li na soustavu stroj - nástroj - obrobek budící síla časově proměnná, která může vznikat mimo vlastní stroj,

popřípadě v pohybovém mechanismu stroje, souvisí s pohybem obrobku nebo nástroje, jedná se o případ vynuceného kmitavého pohybu.

Vynucené kmitání lze rozdělit podle toho, zda budící síla nesouvisí s procesem řezání, nebo souvisí s procesem řezání.

2.4.1 Budící síla nesouvisící s procesem řezání

Tento druh vynuceného kmitání se v praxi vyskytuje často. Její vliv na proces řezání se projevuje více na kvalitativní stránku obrábění, než na ekonomickou. /4/ Do této skupiny patří:

a) Kmitání vyvolané periodickou silou, jejíž zdrojem jsou periodické rázy vznikající v okolních strojích. Tento druh kmitání vyvolávají buchary, hoblovky, kompresory, čerpadla, transportní a manipulační zařízení, sousední obráběcí stroje. Kmitání se přenáší podlahou, nebo základy stroje. Nejvíce se tato forma kmitání projevuje, jsou-li stroje umístěny v patrech budovy, popřípadě je-li více strojů umístěných na společném základě.

Základním charakteristickým znakem je, že frekvence těchto kmitů je úměrná frekvenci budícího zdroje.

Vzniku těchto kmitů zamezíme tím, že znemožníme přenosu kmitů ze zdroje kmitání do hmoty obráběcího stroje. Provádíme to buď aktivním, nebo pasivním odstíněním. Při aktivním odstínění se zabráňuje přenosu kmitání ze zdroje do společné podlahy, nebo základu. Pasivní odstínění zabráňuje přenosu kmitání ze společného základu, popřípadě podlahy do hmoty obráběcího stroje. Jak při aktivním, tak při pasivním odstínění se tedy jedná o oddělení stroje od základny /podlahy/ pružícím a tlumícím systémem. Nejpo-

užívanějšími prvky jsou ocelové pružiny, pryžové tlumicí jednotky. Pro dosažení účinného odstínění pružným uložením je zapotřebí, aby jeho vlastní frekvence byla menší než frekvence rušivé síly.

b) Kmitání vyvolané dynamickým účinkem nevyvážené hmoty rotujících částí soustavy stroj - nástroj - obrobek. Tyto budící síly vzniknou při rotaci obrobku, jehož těžiště není v ose otáčení, při rotaci nevyváženého nástroje, vřetena, hřídele, rotoru elektromotoru. Vzniká tím odstředivá síla periodicky se měnícího směru.

c) Kmitání způsobené setrvačnými silami, při přímočarém vratném pohybu vlastního mechanismu stroje. Vyskytuje se u obrážek, hoblovek, protahovacích strojů a brusek. Zdrojem kmitání je vratný pohyb stolu, nebo pohyb mechanických převodů těchto strojů. Snížení chvění lze dosáhnout správným seřazením mechanismu a vymezením vůle ve vodících plochách.

d) Do této skupiny patří kmitání, které vzniká v převodovém mechanismu stroje, jehož zdrojem mohou být nepřesně vyrobená, nebo špatně namontovaná ozubená kola, spojky. Zabránění tomuto kmitání lze docílit přesnou výrobou a montáží mechanismu. V mnoha případech lze jeho účinky zmírnit konstrukční řešení strojů. Například u soustruhu umístěním převodových mechanismů mimo vřeteník.

e) Kmitání, vznikající v důsledku proměnlivé tuhosti některých částí systému stroj - nástroj, vzhledem ke směru působení řezné síly. Jako příklad je možno uvést rotující hřídel ve vřeteníku, zeslabený drážkou.

2.4.2 Budící síla souvisící s procesem řezání

a) Tento druh kmitání vzniká pouze při procesu řezání a příčina kmitání je ve vlastním řezném procesu, při kterém se periodicky přerušuje, nebo mění řezný odpor. Změny řezného odporu pramení ze změny průřezu odebírané třísky, při obrábění odlitků, výkovků a jiných nepravidelných polotovárů. Budící silou je řezná síla, která kolísá v důsledku měnící se hloubky řezu.

Pokud se mění hloubka třísky v průběhu jedné otáčky, je frekvence budící síly vyjádřena vztahem

$$f = \frac{n}{60} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

kde n je počet otáček za minutu.

Pokud se blíží vlastní frekvence některého z určujících členů kmitajícího systému stroj - nástroj - obrobek frekvenci budící síly, pak budící síla se zvětší o dynamickou složku, která několikanásobně zvýší velikost budící síly.

b) Kmitání, vyvolané prací nástroje.

Při čelním a válcovém frézování vznikají dosti často vynucené kmity, protože při jakémkoli frézování se vždy periodicky mění průřez třísky a periodicky se přerušuje řezání jednotlivých břitů. Budící silou je v tomto případě periodicky se měnící řezná síla, jejíž frekvence je rovna součinu otáček a počtu zubů frézy. Amplituda vynucených kmitů při frézování roste s velikostí házení frézy, s hloubkou řezu, s velikostí posuvu a se šířkou frézování. Jakmile frekvence budící síly se blíží k některé z frekvencí vlastních kmitů důležitých součástí stroje, vzniká rezonance a amplitudy začnou narůstat.

Při broušení vzniká vynucené kmitání vlivem periodického házení obrobku, nebo brusného kotouče. Podle velikosti frekvence usoudíme na zdroj vynuceného kmitání. /3/

2.4.3 Potlačení vzniku vynucených kmitů

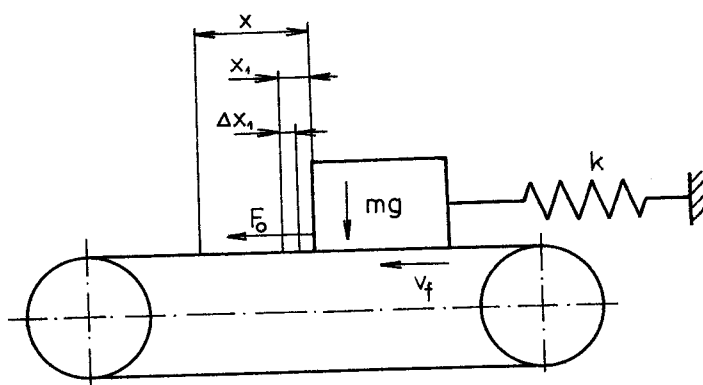
Zabránění vzniku, popřípadě omezení vynuceného kmitání lze provést několika způsoby: /3/

- dynamickým vyvážením rotujících součástí
- zvýšením jakosti výroby součástí mající vliv na vznik vynuceného kmitání (ozubená kola, valivá ložiska) a zdokonalením jejich montáže
- zmenšením hloubky řezu s ohledem na výkon obrábění
- změnou otáček hlavního vřetena
- zvýšením tuhosti částí obráběcího stroje
- ustavením obráběcího stroje

2.5 Samobuzené kmitání

Samobuzené kmity vznikají mezi obrobkem a nástrojem bez periodického vnějšího budícího účinku. Samobuzené kmitání vzniká a udržuje se působením síly vznikající v průběhu kmitání. Vymizí-li kmitání, vymizí i periodická síla. Energie převáděná na kmitající systém nahrazuje ztráty vzniklé tlumením. Frekvence kmitání je určena vlastnostmi kmitajícího systému a je velmi blízká vlastní frekvenci některého rozhodujícího členu systému. /4/

Princip samobuzeného kmitání lze vysvětlit na modelu Van der Poola. Tento model vzniku samobuzeného kmitání je znázorněn na obr. 1 /4/.



obr. 1 Model vzniku samobuzeného kmitání

Na podložce, která se pohybuje konstantní rychlostí v_f , je umístěno těleso o hmotě m , spojené s pevným bodem pružinou o tuhosti k . Pokud se podložka nepohybuje, působí mezi ní a tělesem třecí síly za relativního klidu $F_0 = m g \mu_0$. Tyto síly unášejí těleso při pohybu podložky až do polohy proti pevnému konci pružiny /délka x /, kdy třecí síla F_0 bude v rovnováze s tahem pružiny F_k , kde

$$F_k = k x$$

v tomto okamžiku platí

$$F_k = - F_0$$

V okamžiku rovnováhy třecích sil F_0 a tažných sil F_k vzniká vzájemný pohyb mezi tělesem a podložkou, následkem čehož třecí síly okamžitě poklesnou, $\mu_1 < \mu_0$ a třecí síla F_0 se změní na F_1 ($F_1 < F_0$), systém se dostane do nerovnovážné polohy. Těleso se začne pohybovat zpět do polohy, kdy $F_{k_1} = k x_1$, kde x_1 určuje novou polohu tělesa. Při tomto opakovaném pohybu tělesa by nastal kmitavý pohyb stále stejnou amplitudou $A = x - x_1$. Těleso však vlivem

setrvačných sil při každém kmitu přeběhne rovnovážnou polohu, takže

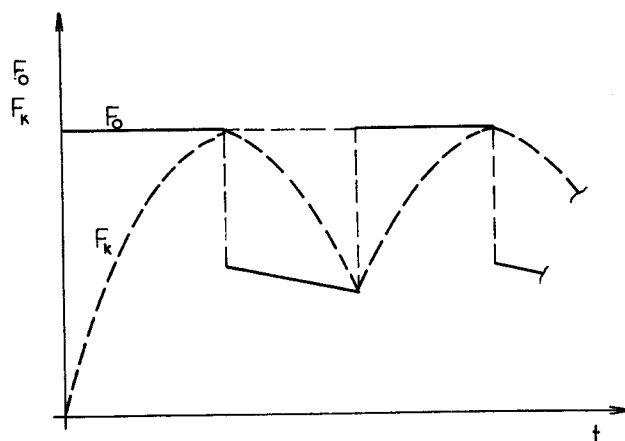
$$F_k = k (x - x_1 + \Delta x_1)$$

kde Δx_1 vyjadřuje hodnotu přeběhu tělesa.

Tento předpoklad by však vedl k tomu, že amplituda kmitu by se v každém kmitu zvětšila o Δx_1 , potom v čase $t = \infty$ by byla amplituda $A = \infty$. Kmitající systém však má určitý stupeň tlumení, proto se bude amplituda po počátečním zvětšování zmenšovat, až se ustálí na určité hodnotě.

Tento popsáný děj se tedy opakuje. Vnitřní silou, která vyvolala kmitavý pohyb celého popsaného systému, je rozdíl třecí síly za pohybu a v klidu. Tato vnitřní síla se nazývá budící síla.

Z předešlého rozboru tedy plyne, že budící síla závisí na parametrech systému, tj. na velikosti tuhosti pružiny, součinitelu tření a jeho závislosti na rychlosti pohybu. Časový průběh třecích a tažných sil je znázorněn na obr. 2/2/



obr. 2 Časový průběh třecích a tažných sil

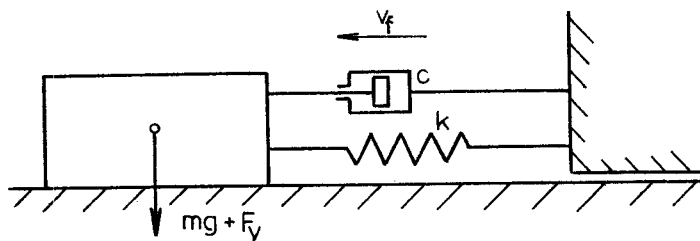
2.5.1 Rozdělení samobuzeného kmitání

Samobuzené kmitání při obrábění lze z hlediska příčin vzniku rozdělit podle toho, zda je vyvoláno činiteli, které nesouvisí s procesem řezání, a nebo činiteli, které s procesem řezání přímo souvisí.

2.5.2 Samobuzené kmitání nesouvisící s procesem řezání

Do této skupiny lze zařadit dva příklady při nichž dochází k samobuzenému kmitání.

a) Relaxační kmitání, ke kterému dochází u obráběcích strojů při obrábění velmi malými posuvovými rychlostmi. Příčinou tohoto kmitání je měnící se hodnota součinitele tření na kluzných plochách při změně okamžité hodnoty posuvové rychlosti. Zjednodušený model tohoto druhu kmitání je na obr. 3 /3/.



obr. 3 Model relaxačního kmitání

Pracovní stůl s obrobkem o hmotnosti m se pohybuje konstantní rychlostí v_f . Hnací mechanismus je nahrazen pružinou o tuhosti k a tlumením c . Posuvový mechanismus překonává tření o velikosti $(m g + F_y) \mu$, součinitel tření je závislý na rychlosti pohybu. Poruší-li se rovnovážný

stav tím, že se zvětší složka F_y řezné síly, nebo se okamžitě změní odpor v převodovém mechanismu, vychýlí se hmota m proti posuvovému mechanismu a v důsledku toho nastane kmitání.

Klidového posuvového pohybu při malých rychlostech lze dosáhnout zvýšením tuhosti posuvového mechanismu a snížením součinitele tření použitím speciálních mazacích prostředků.

b) Samobuzené kmitání vznikající při použití kopírovacích systémů se zpětnou vazbou.

2.5.3 Samobuzené kmitání vyvolané řezným procesem

Tento druh samobuzeného kmitání, jehož budící síla je vyvolávána vlastním procesem řezání se vyskytuje při obrábění nejčastěji. Důležité je, že toto kmitání se objevuje jen v určitém rozmezí řezných podmínek a změnou těchto podmínek lze řezný proces stabilizovat. Hodnota frekvence vlastních kmitů určité části systému stroj - nástroj - obrobek, jejichž kmitání se projevuje nejvýrazněji určuje frekvenci samobuzených kmitů. Tato frekvence však není závislá na otáčkách obráběcího stroje.

Teoretické vyjádření zákonitostí vlivu řezných podmínek na vznik a intenzitu samobuzeného kmitání je velmi složité, protože ještě neexistuje přesné a objektivní matematické vyjádření řezného procesu, které by zahrnulo všechny vlivy působící při jeho průběhu. Je to dáno složitostí fyzikální podstaty řezného procesu. Problém je také v tom, že obráběcí stroj je velmi složitý kmitající systém, se spojitě velmi nerovnoměrně rozloženými hmotami a s velmi rozdílnou tuhostí jeho jednotlivých částí, který má proto nekonečně velký počet stupňů volnosti.

Proto se při zkoumání zákonitostí procesu samobuzeného kmitání při obrábění vychází ze značně zjednodušených představ o vlastní fyzikální podstatě procesu řezání a obráběcí stroj se nahrazuje systémem nespojitých hmot a pružin o nekonečném počtu stupňů volnosti.

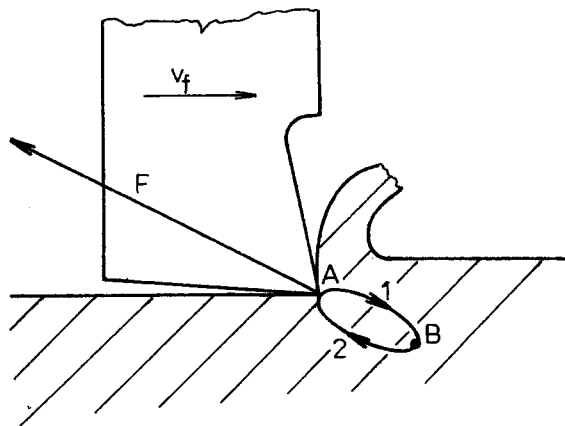
Řada vědeckých pracovníků se zabývala a zabývá tímto problémem, ale jeho podstata není doposud plně objasněna. Je známo několik teorií, které považují za příčinu samobuzeného kmitání některý z těchto jevů: /3/

- směr řezné síly nesouhlasí se směrem maximální vazby (princip polohové vazby)
- v důsledku zvlněného povrchu obráběné plochy změna průřezu třísky (teorie regeneračního kmitání)
- nestabilita nárůstu
- změna součinitele tření v závislosti na řezné rychlosti
- postupné usmykávání článků nebo prvků třísky

V současné době jsou ze všech těchto teorií obecně přijímány první dvě, tj. princip polohové vazby a teorie regeneračního kmitání.

2.5.3.1 Princip polohové vazby

Princip polohové vazby pro dvojrozměrné obrábění je znázorněn na obr. 4 /6/



obr. 4

Nástroj se pohybuje rovnoměrnou řeznou rychlostí $\underline{v}$ a současně kmitá ve dvou směrech horizontálním a vertikálním tak, že výsledný relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem, vztažený na rovnoměrný pohyb rychlostí $\underline{v}$, je dán uzavřenou křivkou - elipsou.

Vykonává-li nástroj relativní pohyb po křivce od bodu A ve směru 1 do bodu B, působí řezná síla na nástroj proti směru jeho pohybu a práce vykonaná snižuje pohybovou energii nástroje a tím zvyšuje na dráze $\overline{AB}$ práci řezání. Při druhé části pohybu z bodu B do A působí řezná síla na nástroj ve směru jeho pohybu a svojí vykonanou prací zvyšuje pohybovou energii nástroje, práci řezání však nezvyšuje. Protože pohyb z bodu B do A probíhá ve větší hloubce obráběného povrchu, než pohyb po dráze $\overline{AB}$, bude velikost řezné síly v prvním případě větší. Také vykonaná práce po dráze $\overline{BA}$ bude větší, než po dráze $\overline{AB}$. Rozdíl těchto prací je práce, která se za každý cyklus noži dodá. Energie, která se touto prací utvoří, je energie samobudící. Tato energie udržuje kmitavý pohyb nástroje proti obrobku.

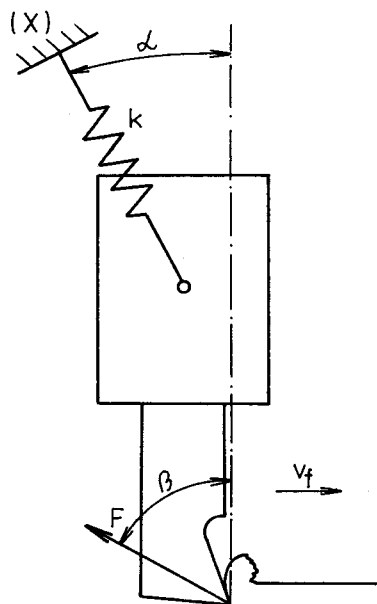
Princip polohové vyzby uvažuje systém bez tlumení. Ve skutečnosti však každý kmitající systém stroj - nástroj - obrobek má určité tlumení.

Princip polohové vazby vysvětluje vznik primárních budících sil.

2.5.3.2 Teorie regeneračního kmitání

Teorie regeneračního kmitání vychází ze změny průřezu třísky vlivem zvlněného povrchu plochy řezu. Předpoklad tohoto kmitání, zvlněný povrch plochy řezu je vlastně splněn vždy.

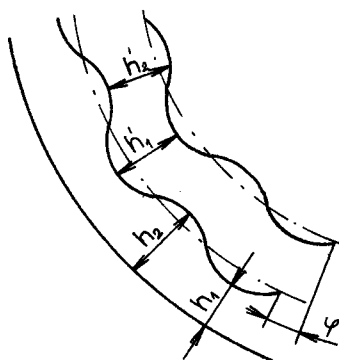
Přepokládáme, že obrobek je dokonale tuhý kmitající systém o hmotě m , zavěšený na pružině o tuhosti k má jeden stupeň volnosti. Nástroj kmitá ve směru (X) , při uvažování jednoduchého ortogonálního obrábění. obr. 5 /4/



obr. 5 Model kmitání o jednom stupni volnosti

Obráběná plocha, vznikající při chvění je vlnitá. Hloubka odřezávané vrstvy při druhé a další otáčce obrobku závisí proto nejen od kmitavého pohybu nože, ale i od toho, jakou dráhu opsala řezná hrana při předcházející otáčce. Pokud je mezi kmitavým pohybem nože ve dvou po sobě následujících otáčkách obrobku fázový posuv, mění se hloubka odřezávané vrstvy a vzniká periodická síla, bez ohledu na primární budící síly. Tato síla se nazývá sekundární budící síla. Podstatou vzniku sekundární budící síly je tedy fázový posuv mezi za sebou následujícími dráhami kmitavého pohybu.

Sekundární budící síly zesilují účinek primárních budících sil za předpokladu, že dráhy kmitavého pohybu jsou fázově posunuty. Jsou-li dráhy kmitavého pohybu ve fázi, sekundární budící síly nevznikají viz obr. 6 /2/.



obr. 6 Hloubka odřezávané vrstvy při kmitání nože

Fázový posuv závisí především na tuhosti soustavy stroj - nástroj - obrobek. Při malé tuhosti jednoho členu (obrobku nebo nástroje), se fázový posuv zmenšuje. Druhý člen musí mít velkou tuhost. Proto snížení tuhosti jednoho členu vede ke snížení sekundární budící síly.

2.6 Vliv některých činitelů na stabilitu procesu obrábění

Při experimentálním výzkumu chvění se sledují nejen řezné podmínky (v , s , h) a geometrie nástroje, ale i vlastnosti určujících členů kmitajícího systému stroj - nástroj - obrobek, a to jejich tuhost, tlumící konstanty, jejich vlastní frekvence.

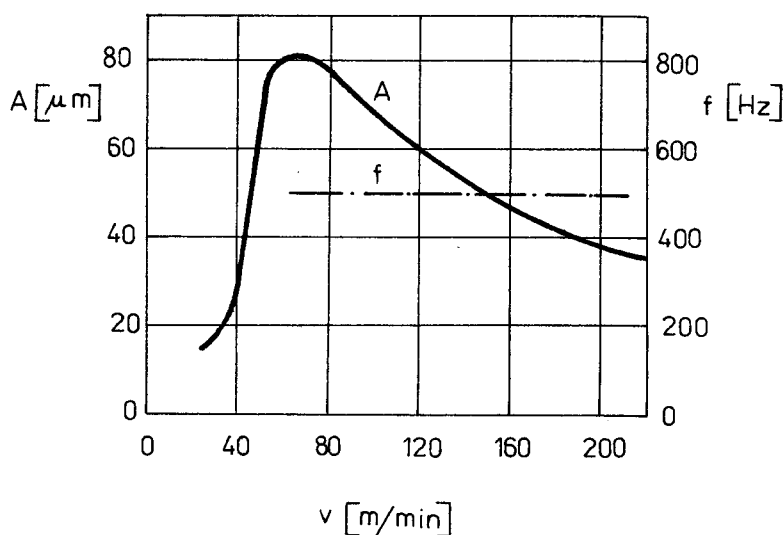
2.6.1 Tuhost technologické soustavy

Tuhost členů soustavy stroj - nástroj - obrobek má velký vliv na stabilitu procesu řezání. Zvýšením tuhosti jednotlivých členů technologické soustavy zamezíme vzniku samobuzeného kmitání.

2.6.2 Vliv parametrů řezání

Řezná rychlost

Vliv řezné rychlosti na amplitudu a frekvenci samobuzeného kmitání je na obr. 7 /4/.

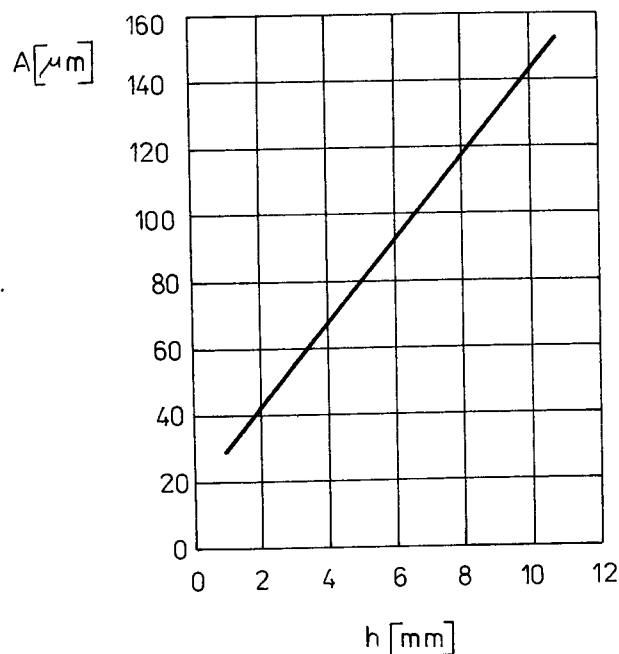


obr. 7 Vliv řezné rychlosti na intenzitu kmitání

Pro každý případ obrábění existuje určitá kritická oblast řezné rychlosti, kdy amplituda kmitání dosahuje maximálních hodnot. Hodnota kritické řezné rychlosti závisí na použitých podmínkách, na tuhosti obrobku a fyzikálních vlastnostech materiálu.

Šířka třísky (hloubka odřezávané vrstvy)

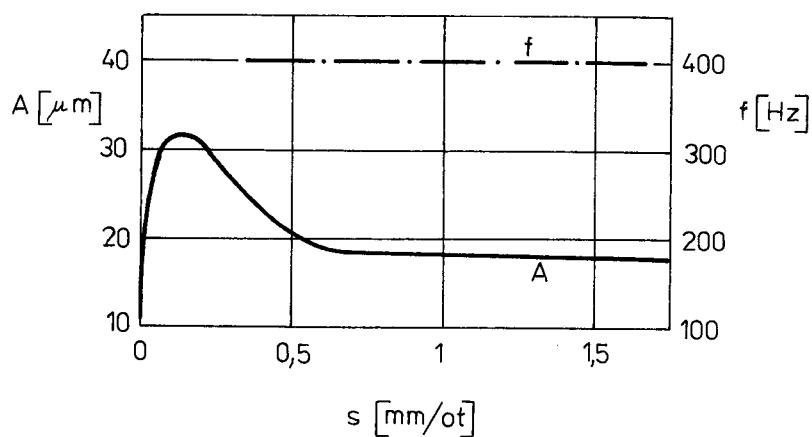
Šířka třísky ovlivňuje rozsah meze stability řezného procesu ze všech řezných podmínek nejvýrazněji. Při zvětšování hloubky řezu se amplituda kmitů vždy zvětšuje, jedná se o závislost přímkovou. Frekvence kmitání se nemění. viz obr. 8 /4/



obr. 8 Vliv hloubky odřezávané vrstvy
na intenzitu kmitání

Tloušťka třísky (velikost posuvu)

Zmenšování tloušťky třísky vede k narůstání amplitudy samobuzeného chvění. Zvětšujeme-li tloušťku třísky, amplituda chvění podstatně klesá, aniž by se měnila frekvence. Tloušťka třísky má tedy do určité hodnoty stabilizující účinek. viz obr. 9 /4/

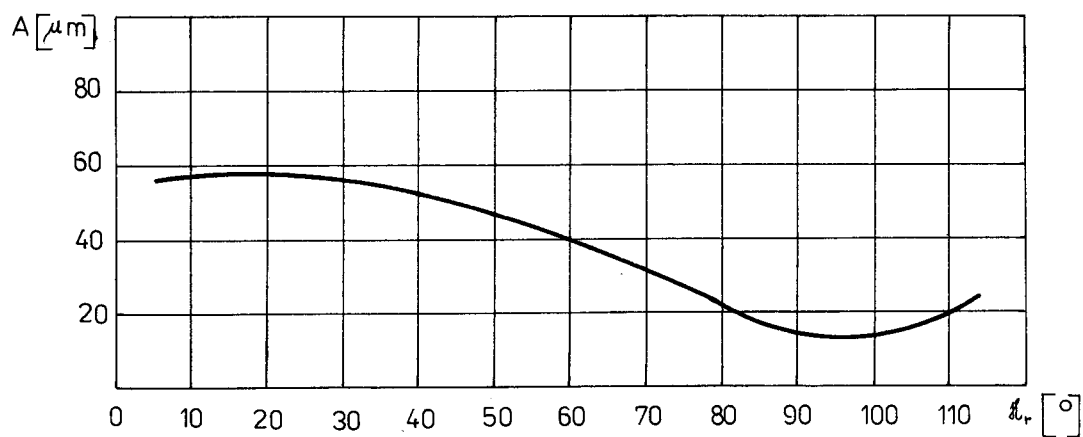


obr. 9 Vliv posuvu na intenzitu kmitání

2.6.3 Vliv geometrie břitu

Úhel nastavení

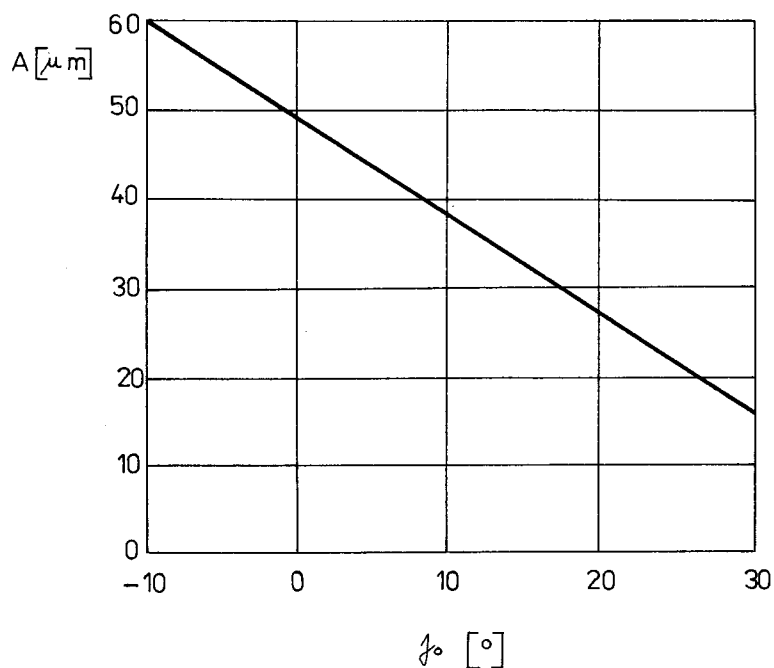
S klesajícím úhlem nastavení se zmenšuje tloušťka třísky, čímž se vyvolá zvětšení amplitudy samobuzeného kmitání viz obr. 10 /6/. Výrazně se projevuje i změna směru působení řezné síly.



obr. 10 Vliv úhlu α_r na intenzitu kmitání

Úhel čela

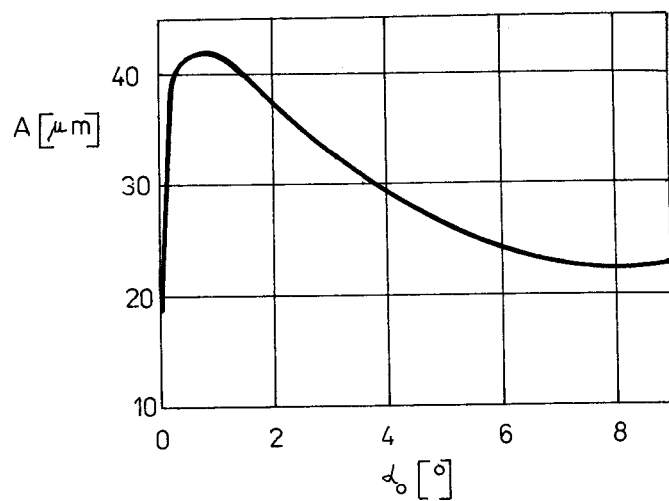
Se zvětšováním kladné hodnoty úhlu čela φ_0 klesá intenzita kmitání, avšak na úkor pevnosti a trvanlivosti řezného břitu viz obr. 11 /3/.



obr. 11 Vliv úhlu φ_0 na intenzitu kmitání

Úhel hřbetu

Větší úhly hřbetu nemají vliv na samobuzené kmitání. Při hodnotách $\alpha_0 \leq 0^\circ$ má vliv stabilizující, při $\alpha_0 \approx 0^\circ$ se stává proces nestabilní, při dalším zvětšování se stabilita procesu řezání zvětšuje. Velikost mezního úhlu α_0 , kdy se již stabilita nemění, závisí na mechanických vlastnostech obrobku viz obr. 12 /4/.



obr. 12 Vliv úhlu α_0 na intenzitu kmitání

3. VYMEZENÍ PROBLEMATIKY PRO OBRÁBĚNÍ ILK

Obrábění ILK se odlišuje od obrábění kovových materiálů. Tento nedávno vzniklý obor obrábění potřebuje, aby byly postupně prozkoumány všechny souvislosti, spojené s obráběním. Zatím neexistuje žádná literatura, která by komplexně zhrnovala známé poznatky z obrábění keramiky v nevypáleném stavu. Proto se při řešení problémů spojených s obráběním ILK vychází z již známých a ověřených poznatků, se snahou o aplikaci metod a postupů z teorie obrábění kovů. Je tomu tak i při studiu vlivu samobuzeného chvění na stabilitu obráběcího procesu při obrábění izostaticky lisované keramiky. Protože se tímto problémem ještě žádný autor nezabýval, bylo nutné vycházet z poznatků získaných pro kovové materiály.

Již z předešlých prací zabývajících se obráběním ILK je zřejmé, že chvění soustavy stroj - nástroj - obrobek způsobuje značné zhoršení podmínek obráběcího procesu. Proto v dalším přiblížení problematiky obrábění ILK, vlivu chvění na obráběcí proces je potřeba určit, které parametry mají nejvýraznější vliv na velikost kmitání. Pomineme-li vlivy, které jsou spojeny s konstrukcí obráběcí jednotky, pak největší vliv na stabilitu procesu obrábění má vzájemný vztah soustavy nástroj - obrobek.

Protože chvění rezného nástroje způsobuje vytrhávání granulí ILK z povrchu obráběného materiálu, v důsledku čehož dochází ke značnému zhoršení jakosti výrobku, bylo nutné přistoupit ke studiu podmínek, při nichž k tomuto chvění dochází. Podmínky, při nichž k nepříznivému kmitání dochází je vztah rezných podmínek, tj. rezné rychlosti, posuvu, hloubky řezu a geometrie nástroje.

Při obrábění ILK je celý proces rozdělen, stejně jako u obrábění kovových materiálů, na fázi hrubovací a práce na čisto (tvarování).

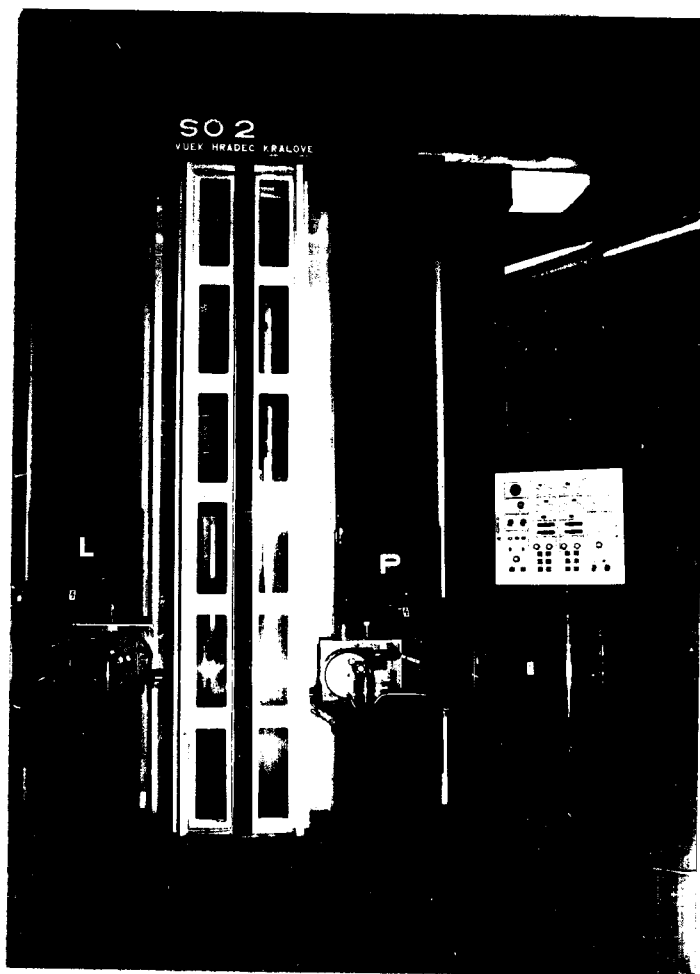
Pro tvarování se používají řezné destičky ve tvaru komolého kužele, jejichž geometrie je ověřená praxí, a proto je tedy možné posuzovat pouze vliv druhu destičky (poloměru) ve vztahu k řezným podmínkám. Pro hrubování je třeba vybrat jako proměnné hodnoty těch úhlů, které nejvýrazněji ovlivňují stabilitu procesu obrábění. Proto byly vybrány jako proměnné hodnoty úhlů α_r a β , jejichž vliv je nutno zkoumat opět v závislosti na řezných podmínkách. Hodnoty α_o , λ_s , r_f byly převzaty jako optimální z předcházejících prací.

Při stanovení rozsahu řezných podmínek se vycházelo jednak z parametrů při obrábění izolátoru JII, s ohledem na zavedení nových řezných parametrů, kterých bude dosaženo při výrobě nového vvn izolátoru, spolu s vývojem nového typu obráběcí jednotky SO 2 - NC, která bude sloužit pro nové obrábění těchto typů izolátorů z ILK.

4. METODIKA ZKOUŠEK

Při studiu podmínek kmitání, které vzniká v průběhu obrábění v systému nástroj - obrobek, je potřeba znát jeho složky ve směru vertikálním z a horizontálním x , vzhledem k obráběné ploše. Způsob a postup zkoušek byl volen s ohledem na experimentální práce, které se zabývaly studiem chvění při obrábění kovů.

Výzkum byl prováděn na obráběcí jednotce SO 2 - NC obr. 13, pomocí dvousložkového nožového držáku.



obr. 13 Obráběcí jednotka SO 2 - NC

Řezné síly a amplitudy chvění se snímaly v horizontálním a vertikálním směru pomocí nožového držáku upnutého ve speciální dvounožové hlavě obráběcí jednotky na kterém byly nalepeny tenzometrické snímače. Od těchto snímačů byl signál veden k tenzometrickému můstku, ke kterému byl připojen předzesilovač. Záznam velikosti složek řezných sil a amplitud chvění byl proveden 12-ti smyčkovým oscilografem pomocí světlocitlivého papíru.

4.1 Použité materiálně-technické vybavení

4.1.1 Obráběcí stroj

Ke zkouškám byl použit prototyp obráběcí jednotky na obrábění suchých výlisků SO 2 - NC obr. 14. Tato obráběcí jednotka je řešena jako portálový, jednopolohový svislý soustruh se dvěma stojany a suporty. Suporty jsou řízeny jedním řídicím systémem RS 409, pomocí záznamu na čtvrtstopé magnetofonové pásce. Konstrukce stroje dovoluje plynulou změnu otáček.

Technické parametry SO 2 - NC

maximální upínací délka výlisku	2 500 mm
maximální obráběná délka výlisku	2 500 mm
minimální obráběná délka výlisku	1 000 mm
maximální obráběný průměr výlisku	550 mm
minimální obráběný průměr dřívku izolátoru	100 mm
příkon	17 kW

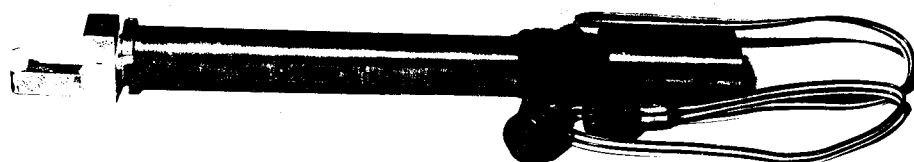


obr. 14 Obráběcí jednotka SO 2 - NC

4.1.2 Řezný nástroj

K experimentálnímu výzkumu byl použit zkonstruovaný nožový držák s vyměnitelnými držáky řezných destiček, přizpůsobený pro měření na obráběcí jednotce SO 2 - NC viz obr. 15. Do držáku byly mechanicky upínány řezné destičky. Konstrukce vyměnitelných držáků zaručovala vždy špičku nástroje v úrovni osy obrobku, možnou změnu geometrie

a výměnu keramických destiček obr. 16.



obr. 15

Geometrie břitu

Tvarování:

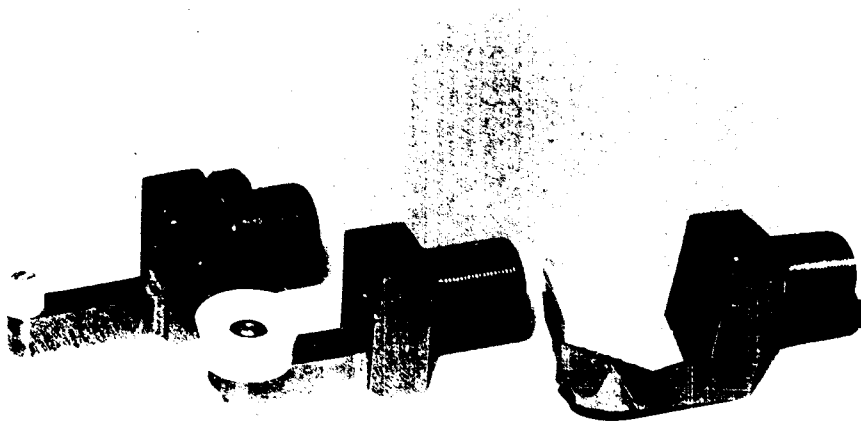
nástrojový úhel čela ϕ	15°
nástrojový úhel hřbetu α	15°
nástrojový úhel sklonu ostří λ_s	0°
poloměr destiček R /mm/	7; 9; 11; 12,5
Materiál destiček - řezná keramika odlévaná AN-4, složení 99,77 % Al_2O_3 , výrobce VÚEK Hradec Králové.	

Hrubování:

nástrojový úhel čela ϕ	$-15^\circ; 0^\circ; 15^\circ$
nástrojový úhel hřbetu α	15°
nástrojový úhel sklonu ostří λ_s	0°
nástrojový úhel nastavení hlavního ostří β_r	-

nástrojový úhel špičky nože ζ_r 90°
poloměr špičky nože r_ζ 0,2
Materiál destiček - mikrozrný korund, výrobce VÚEK Hradec
Králové.

Změna úhlu nastavení hlavního ostří byla prováděna natočením řezné destičky v nožovém držáku, a to na hodnoty $\alpha_r = 45^\circ$, $\alpha_r = 60^\circ$, $\alpha_r = 75^\circ$, $\alpha_r = 90^\circ$.



obr. 16

4.1.3 Zkušební materiál

Předmětem zkoušky byla izostaticky lisovaná keramická hmota M 50 S-2, lisovací tlak 125 MPa.
Rozměry ILK hmoty: $\varnothing$ 224 mm, délka $l = 1\,650$ mm
Vlastnosti hmoty nebyly zkoumány.

Surovinové složení hmoty M 50 S-2

Al_2O_3 slovenský minerál	25 %
Živec ŽP II	19 %
Kalcidovaný šamot SLJ	15 %
Znělec Železnice	13 %
Kaolín Podbořany	11 %
Jíl JHD II	10 %
Kaolín Sedlec	7 %

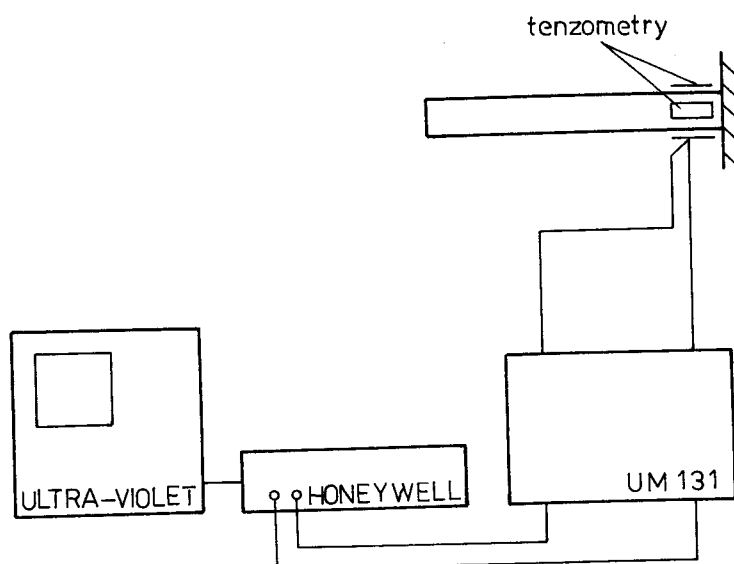
4.1.4 Měřicí zařízení

Tenzometrický můstek UM 131 - UNIVERSALMESSEINRICHTUNG

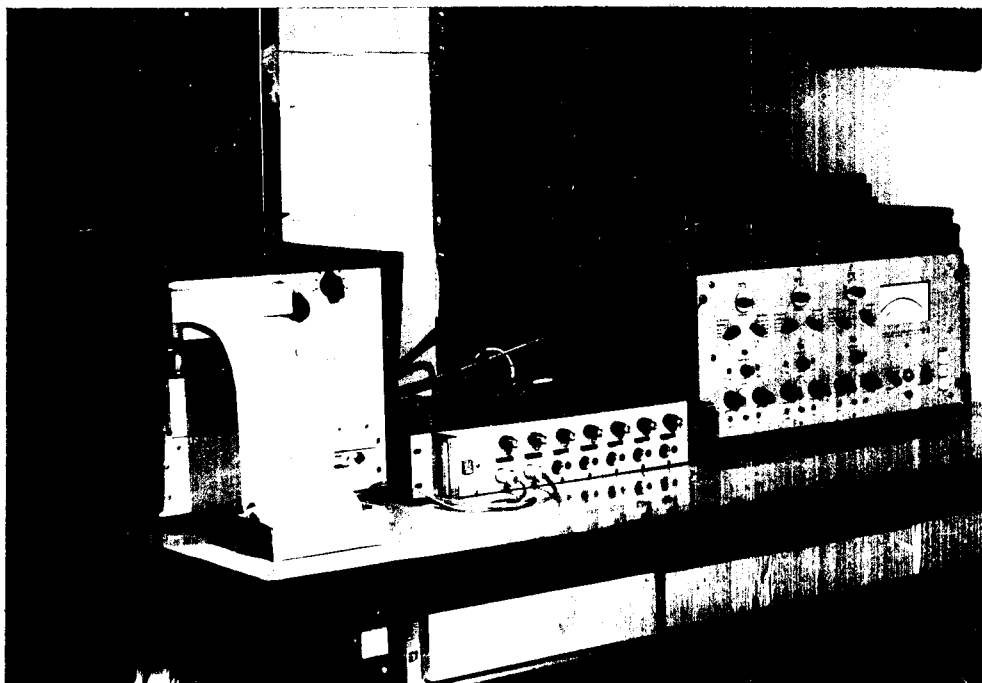
Předzesilovač HONEYWELL

Smyčkový oscilograf ULTRA - VIOLET RECORDER 2500

Blokové schéma zapojení je na obr. 17 .



obr. 17 Schéma měřicího zařízení



obr. 18 Pohled na měřicí přístroje

4.1.5 Cejchování

Cejchování měřicí aparatury pro určení velikosti řezných sil a amplitud chvění bylo provedeno přímo na obráběcí jednotce SO 2 - NC pomocí závaží. Cejchování bylo vždy opakováno při změně držáku pro řeznou destičku. Vzhledem k působení cejchovní síly v předpokládaném těžišti průřezu třísky nebyl nutný přepoččet řezných sil.

4.1.6 Parametry zkoušek

Řezná rychlost	$v = 70,4 \div 281,5 \text{ m/min}$
Posuv suportu	$s = 0,09 \div 1,62 \text{ mm/ot}$
Hloubka řezu - tvarování	$h = 1 \div 5 \text{ mm}$
- hrubování	$h = 8 \text{ mm}$

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Měření řezných sil a amplitud chvění

5.1.1 Tvarování ILK

Vliv kombinací řezných podmínek na velikost řezných sil a amplitud chvění byl nejprve zkoumán při tvarování ILK. Do nožového držáku byly postupně upínány řezné destičky zkoušených poloměrů a pro každou byly změřeny zvolené kombinace posuvů s , řezných rychlostí v , a hloubky řezu h .

Naměřené hodnoty velikosti řezných sil a amplitud chvění byly sestaveny do tabulek č. 1 ÷ 4. Z těchto hodnot byly sestrojeny grafy závislosti řezných sil a amplitud chvění na řezných podmínkách (příloha č. 1 ÷ 12).

5.1.1.1 Výsledky zkoušek

Ze získaných grafických závislostí je zřejmé, že se zvyšujícím poloměrem řezných destiček vzrůstají i hodnoty řezných sil F_v a F_f . Stejně je tomu tak i při zvyšující se hloubce řezu a hodnotě posuvu. Nejnižších hodnot složek řezné síly bylo dosaženo u destičky R 9 pro $h = 1 \text{ mm}$, $s = 0,34 \text{ mm/ot}$ a $v = 70,4 \text{ m/min}$, naopak nejvyšších pro R 12,5 při $h = 5 \text{ mm}$, $s = 1,16 \text{ mm/ot}$ a stejné řezné rychlosti viz příloha č. 1 a 3.

Posuzujeme-li vliv poloměru řezné destičky na velikost amplitudy chvění horizontálního A_x a vertikálního A_z směru při daných řezných podmínkách, pak tato závislost není jednoznačná. Hodnoty amplitudy mají různou velikost, vždy v závislosti na použitých řezných podmínkách.

Tabulka č. 1

v [$\frac{m}{min}$]	s [$\frac{mm}{ot}$]	h [mm]	R 7				R 9			
			F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]	F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]
70,4	0,34	1	6,49	9,97	0,016	0,014	3,15	1,61	0,008	0,005
		3	17,87	16,62	0,030	0,022	20,45	18,53	0,026	0,029
		5	32,48	24,93	0,038	0,028	34,61	35,45	0,026	0,027
	0,84	1	9,75	14,96	0,024	0,028	9,44	19,33	0,031	0,037
		3	27,61	29,92	0,054	0,066	28,32	37,06	0,044	0,059
		5	40,61	43,22	0,081	0,072	44,05	48,33	0,052	0,097
	1,16	1	9,75	16,62	0,032	0,044	11,01	20,95	0,031	0,054
		3	29,24	29,92	0,038	0,066	26,74	41,89	0,073	0,091
		5	47,11	49,86	0,070	0,111	40,90	54,78	0,073	0,096
	1,62	1	12,99	23,27	0,038	0,066	11,01	24,17	0,042	0,070
		3	34,11	41,55	0,054	0,111	29,89	46,72	0,058	0,118
		5	43,86	54,85	0,070	0,144	44,05	58,00	0,068	0,128
140,7	0,17	1	4,87	6,65	0,011	0,014	6,29	9,67	0,013	0,008
		3	16,24	16,62	0,022	0,022	18,88	19,33	0,016	0,013
		5	30,86	23,27	0,024	0,017	34,61	29,00	0,021	0,013
	0,42	1	11,37	11,64	0,014	0,014	12,59	14,50	0,024	0,037
		3	22,74	23,27	0,038	0,028	26,74	30,61	0,042	0,024
		5	40,61	34,91	0,049	0,036	42,48	41,89	0,039	0,037
	0,58	1	11,37	13,29	0,019	0,014	12,59	16,11	0,021	0,024
		3	27,61	28,26	0,043	0,039	29,80	35,45	0,052	0,048
		5	42,23	41,55	0,065	0,055	45,62	48,33	0,078	0,059
	0,81	1	11,37	16,62	0,027	0,066	12,59	19,33	0,024	0,032
		3	27,61	34,91	0,070	0,061	31,46	40,28	0,058	0,080
		5	45,48	49,86	0,092	0,094	47,19	54,78	0,078	0,072

Tabulka č. 2

v [$\frac{m}{min}$]	s [$\frac{mm}{ot}$]	h [mm]	R 7				R 9			
			F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]	F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]
211,1	0,11	1	4,87	6,65	0,011	0,017	6,29	6,45	0,013	0,019
		3	14,62	14,96	0,014	0,022	20,45	16,11	0,021	0,024
		5	27,61	21,60	0,022	0,022	31,46	24,17	0,016	0,027
	0,28	1	11,37	8,31	0,011	0,011	11,01	11,28	0,013	0,016
		3	19,49	19,95	0,019	0,019	23,60	24,17	0,026	0,029
		5	35,74	29,92	0,027	0,022	37,76	37,06	0,037	0,029
	0,39	1	8,12	9,97	0,011	0,014	11,01	12,89	0,013	0,016
		3	24,36	23,27	0,027	0,022	26,74	27,39	0,034	0,029
		5	40,61	34,91	0,051	0,036	40,90	43,50	0,047	0,029
	0,54	1	9,75	14,96	0,014	0,014	11,01	16,11	0,021	0,016
		3	24,36	28,26	0,035	0,033	26,74	33,03	0,052	0,035
		5	42,23	41,55	0,065	0,047	44,05	48,33	0,068	0,054
281,5	0,09	1	3,25	4,99	0,011	0,011	6,29	6,45	0,013	0,016
		3	12,99	13,29	0,019	0,017	18,88	16,11	0,026	0,019
		5	25,99	19,99	0,027	0,025	29,89	22,56	0,018	0,016
	0,21	1	9,75	8,31	0,011	0,008	5,44	11,28	0,011	0,016
		3	19,49	18,28	0,011	0,011	22,02	20,95	0,018	0,016
		5	32,48	28,26	0,027	0,017	36,18	32,22	0,029	0,021
	0,29	1	8,12	9,97	0,011	0,011	9,44	11,28	0,013	0,013
		3	22,47	21,60	0,024	0,017	23,60	24,17	0,031	0,024
		5	37,36	31,58	0,032	0,022	36,18	35,45	0,026	0,021
	0,41	1	9,75	13,29	0,011	0,011	11,01	14,50	0,011	0,013
		3	22,74	26,59	0,035	0,017	26,74	29,81	0,031	0,021
		5	40,61	38,23	0,054	0,033	42,48	43,70	0,058	0,029

Tabulka č. 3

v [$\frac{m}{min}$]	s [$\frac{mm}{ot}$]	h [mm]	R 11				R 12,5			
			F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]	F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]
70,4	0,34	1	7,87	12,89	0,013	0,016	7,87	14,50	0,016	0,016
		3	18,88	24,17	0,026	0,021	29,89	33,84	0,024	0,021
		5	47,19	40,28	0,021	0,032	59,78	54,78	0,031	0,029
	0,84	1	8,65	19,33	0,026	0,032	11,01	22,56	0,029	0,035
		3	23,60	33,84	0,047	0,059	34,61	48,33	0,058	0,054
		5	55,06	55,59	0,063	0,070	62,93	71,70	0,047	0,062
	1,16	1	9,44	22,56	0,026	0,037	9,44	17,72	0,029	0,037
		3	26,74	37,86	0,042	0,086	34,61	51,56	0,052	0,080
		5	50,34	66,06	0,078	0,111	64,50	74,12	0,111	0,080
	1,62	1	9,44	25,78	0,029	0,059	14,16	30,61	0,031	0,069
		3	26,74	48,33	0,052	0,111	37,76	53,17	0,058	0,128
		5	50,34	61,22	0,120	0,144	66,07	67,67	0,089	0,107
140,7	0,17	1	7,87	9,67	0,013	0,011	7,87	12,89	0,013	0,019
		3	18,88	19,33	0,016	0,013	25,17	27,39	0,021	0,013
		5	34,61	32,22	0,018	0,021	50,34	43,50	0,021	0,016
	0,42	1	11,01	14,50	0,013	0,016	12,59	16,11	0,018	0,016
		3	25,17	29,00	0,031	0,027	31,46	33,84	0,031	0,035
		5	47,19	45,92	0,058	0,037	55,06	56,39	0,042	0,037
	0,58	1	12,59	17,72	0,021	0,021	12,59	19,33	0,021	0,021
		3	28,32	32,22	0,042	0,043	33,04	40,28	0,037	0,037
		5	48,77	51,56	0,073	0,054	59,78	60,42	0,047	0,043
	0,81	1	12,59	19,33	0,026	0,027	14,16	22,56	0,021	0,032
		3	28,32	37,06	0,052	0,059	34,61	43,50	0,073	0,059
		5	48,77	53,17	0,068	0,091	61,35	66,86	0,073	0,075

Tabulka č. 4

v [$\frac{m}{min}$]	s [$\frac{mm}{ot}$]	h [mm]	R 11				R 12,5			
			F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]	F _v [N]	F _f [N]	A _z [mm]	A _x [mm]
211,1	0,11	1	6,29	7,25	0,021	0,029	6,29	9,67	0,016	0,027
		3	15,73	16,11	0,021	0,029	22,02	20,14	0,026	0,032
		5	29,89	27,39	0,016	0,016	42,48	36,25	0,021	0,024
	0,28	1	11,01	11,28	0,016	0,021	11,01	12,89	0,016	0,027
		3	23,60	23,36	0,021	0,021	26,74	29,00	0,026	0,027
		5	39,33	39,47	0,031	0,024	47,19	45,11	0,039	0,029
	0,39	1	11,01	12,89	0,013	0,021	11,01	16,11	0,013	0,021
		3	25,17	27,35	0,026	0,021	26,74	30,61	0,031	0,032
		5	45,62	43,50	0,047	0,037	50,34	50,75	0,047	0,027
	0,54	1	9,44	16,11	0,013	0,016	14,16	17,72	0,016	0,021
		3	26,74	33,03	0,039	0,029	29,89	35,45	0,042	0,043
		5	47,19	49,95	0,063	0,054	55,06	57,20	0,058	0,037
281,5	0,09	1	6,29	7,25	0,011	0,016	5,51	8,06	0,013	0,021
		3	17,30	14,50	0,029	0,021	23,60	18,53	0,120	0,166
		5	26,74	24,17	0,021	0,021	34,61	27,39	0,026	0,032
	0,21	1	11,01	9,67	0,011	0,016	7,87	11,28	0,016	0,021
		3	22,02	20,95	0,021	0,016	23,60	24,17	0,016	0,019
		5	36,18	32,22	0,026	0,021	40,90	37,86	0,026	0,024
	0,29	1	11,01	11,28	0,008	0,016	11,01	12,89	0,011	0,011
		3	23,60	24,17	0,018	0,016	23,60	25,78	0,029	0,021
		5	39,33	38,76	0,021	0,027	45,62	40,28	0,029	0,021
	0,41	1	9,44	12,89	0,013	0,016	11,01	14,50	0,016	0,019
		3	25,17	28,20	0,026	0,021	28,32	30,61	0,031	0,027
		5	42,48	44,31	0,047	0,032	48,77	49,95	0,052	0,035

Pro všechny použité poloměry řezných destiček je charakteristické, že v obou sledovaných směrech se vzrůstající hloubkou řezu $h = 1 \div 5$ mm docházelo ke vzrůstu hodnoty amplitudy. Porovnáme-li amplitudy v závislosti na řezné rychlosti, potom pro posuv $s \approx 0,4$ mm/ot docházelo ve většině případů ke snižování amplitudy A_x a A_z se vzrůstající řeznou rychlostí.

Hodnota posuvu a jeho změna ve vztahu k velikosti amplitudy A_x a A_z se projevovala tak, že s rostoucím posuvem docházelo pro $v < 211,1$ m/min ke zvětšování amplitud obou sledovaných směrů při všech použitých hloubkách řezu. Pouze u řezné destičky R 9 došlo pro $h = 3 \div 5$ mm k prudkému nárůstu amplitudy A_z od $s = 0,84$ mm/ot pro $v = 70,4$ m/min, kde při $s = 1,16$ mm/ot dosahovala maxima. Při dalším zvětšování posuvu došlo k poklesu viz příloha č. 2 a 3. Pro řeznou rychlost $v = 140,7$ m/min byla u všech zkoušených destiček nevhodná hodnota posuvu $s \approx 0,8$ mm/ot při $h = 3 \div 5$ mm, kdy bylo dosahováno vysokých hodnot amplitud chvění obou směrů viz příloha č. 5 a 6. Pro $v > 211,1$ m/min docházelo ke snižování amplitud obou směrů, v některých případech ke stabilizaci viz příloha č. 7. Řezná rychlost $v = 281,5$ m/min byla charakterizována vysokými hodnotami amplitud při $s = 0,09$ mm/ot, kde A_z dosahovala hodnoty 0,12 mm a A_x hodnoty 0,166 mm pro R 12,5 viz příloha č. 11. Nejnižších hodnot amplitudy bylo dosaženo u R 9 při $s = 0,34$ mm/ot, $h = 1$ mm a $v = 70,4$ mm/min ve směru x i z . Naopak nejvyšších hodnot pro R 12,5, $s = 0,09$ mm/ot, $h = 3$ mm a $v = 281,5$ m/min viz příloha č. 1 a 11.

Velikosti amplitud chvění se pohybovaly při všech použitých řezných podmínkách ve vertikálním směru od minimálních hodnot 0,008 mm do maximálních hodnot 0,12 mm, v horizontálním směru od 0,005 mm do hodnoty 0,166 mm.

Nelze tedy jednoznačně určit, která ze zkoušených řezných destiček dosahovala v celém rozmezí posuvů $s = 0,09 \div 1,62$ mm/ot , hloubky řezu $h = 1 \div 5$ mm a řezných rychlostí $v = 70,4 \div 281,5$ m/min přijatelných hodnot amplitudy a řezných sil. Nejnižších hodnot amplitud chvění a řezných sil při použitých rozsazích řezných podmínek dosahovaly destičky R 7 a R 11 , z řezných rychlostí odpovídají nejnižším hodnotám $v = 211,1$ m/min a $v = 281,5$ m/min . Hodnoty amplitud pro tyto destičky se pohybovaly ve směru $\underline{x}$ od hodnot 0,011 mm do 0,068 mm , ve směru $\underline{z}$ od 0,008 mm do 0,054 mm , složky řezné síly $F_v = 5 \div 44$ N a $F_f = 5 \div 48$ N.

5.1.2 Hrubování ILK

V této části práce byl zkoumán vliv geometrie řezného nástroje na velikost řezných sil a amplitud chvění při hrubování ILK. Do nožového držáku byly mechanicky upínány řezné destičky o zvoleném úhlu čela. Pro tento úhel čela a stanovené hodnoty úhlu nastavení μ , bylo provedeno měření. Vzhledem k velkému počtu měření byla volena hloubka řezu konstantní.

Naměřené hodnoty velikosti řezných sil a amplitud chvění v závislosti na geometrii nástroje byly sestaveny do tabulek č. 5 $\div$ 28. Z těchto hodnot byly sestaveny grafy závislostí řezných sil a amplitud chvění pro jednotlivé geometrie a kombinace řezných podmínek (příloha č. 13 $\div$ 24).

Tabulka č. 5

$v = 70,4 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 15^\circ$			
s [mm/ot]	0,34				0,84				
$\mathcal{H}_r$ [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	73,21	53,38	0,030	0,023	62,53	65,58	0,096	0,093	
60	74,73	45,75	0,030	0,026	73,21	65,53	0,081	0,104	
75	76,26	45,75	0,030	0,026	70,16	61,00	0,106	0,104	
90	76,26	44,23	0,028	0,023	64,05	64,05	0,086	0,099	

Tabulka č. 6

$v = 70,4 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 0^\circ$			
s [mm/ot]	0,34				0,81				
$\mathcal{H}_r$ [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	59,48	48,42	0,041	0,031	74,73	81,23	0,051	0,052	
60	70,16	46,86	0,041	0,031	71,68	74,98	0,071	0,078	
75	74,73	46,86	0,030	0,031	68,63	65,61	0,096	0,093	
90	76,26	46,86	0,030	0,031	80,83	67,11	0,111	0,083	

Tabulka č. 7

$v = 70,4 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = -15^\circ$			
s [mm/ot]	0,34				0,81				
$\mathcal{H}_r$ [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	82,36	71,86	0,081	0,062	56,43	59,36	0,142	0,150	
60	85,41	62,48	0,035	0,031	64,05	57,80	0,030	0,026	
75	91,95	62,48	0,035	0,036	61,00	57,80	0,035	0,016	
90	93,03	68,75	0,051	0,047	64,05	64,05	0,025	0,023	

Tabulka č. 8

$v = 70,4 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 15^\circ$	
s [mm/ot]	1,16				1,62				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	65,58	64,05	0,091	0,104	64,05	67,11	0,086	0,104	
60	67,11	61,00	0,101	0,109	-	-	-	-	
75	54,90	59,48	0,122	0,125	61,00	59,48	0,081	0,125	
90	61,00	59,48	0,096	0,109	64,05	59,48	0,106	0,125	

Tabulka č. 9

$v = 70,4 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 0^\circ$	
s [mm/ot]	1,16				1,62				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	73,21	82,79	0,066	0,057	57,95	60,92	0,117	0,145	
60	53,38	70,29	0,137	0,083	59,48	64,05	0,132	0,109	
75	56,43	67,17	0,127	0,093	54,90	67,17	0,137	0,109	
90	67,11	67,11	0,101	0,099	62,53	65,58	0,117	0,104	

Tabulka č. 10

$v = 70,4 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = -15^\circ$	
s [mm/ot]	1,16				1,62				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	38,13	21,87	0,152	0,130	53,38	60,92	0,157	0,161	
60	57,95	68,73	0,162	0,130	64,05	64,05	0,038	0,021	
75	-	-	-	-	64,05	62,48	0,028	0,021	
90	61,00	62,48	0,025	0,016	62,53	64,05	0,025	0,021	

Tabulka č. 11

$v = 140,7 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 15^\circ$	
s [mm/ot]	0,17				0,42				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	62,53	42,70	0,018	0,016	82,36	62,53	0,046	0,036	
60	62,53	38,13	0,018	0,021	77,78	53,38	0,046	0,042	
75	64,05	35,08	0,023	0,023	76,26	50,33	0,046	0,042	
90	64,05	35,08	0,023	0,018	79,31	51,85	0,025	0,031	

Tabulka č. 12

$v = 140,7 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 0^\circ$	
s [mm/ot]	0,17				0,42				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	50,33	37,49	0,025	0,021	67,11	60,92	0,061	0,052	
60	59,48	37,49	0,025	0,021	71,68	53,11	0,051	0,052	
75	61,00	35,93	0,025	0,026	76,26	53,11	0,101	0,052	
90	62,53	35,93	0,030	0,026	79,31	54,90	0,051	0,057	

Tabulka č. 13

$v = 140,7 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = -15^\circ$	
s [mm/ot]	0,17				0,42				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	70,16	56,23	0,041	0,031	68,63	71,86	0,111	0,093	
60	82,36	53,11	0,030	0,026	74,73	60,92	0,051	0,021	
75	83,88	49,98	0,035	0,023	77,78	59,36	0,056	0,047	
90	83,36	48,42	0,033	0,031	73,21	64,05	0,035	0,021	

Tabulka č. 14

$v = 140,7 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 15^\circ$			
$\frac{s}{\text{mm/ot}}$		0,58				0,81			
$\mathcal{H}_r [^\circ]$	$F_v [N]$	$F_f [N]$	$A_z [\text{mm}]$	$A_x [\text{mm}]$	$F_v [N]$	$F_f [N]$	$A_z [\text{mm}]$	$A_x [\text{mm}]$	
45	76,26	67,11	0,081	0,073	71,68	68,63	0,086	0,083	
60	78,77	54,90	0,111	0,062	68,63	62,53	0,101	0,105	
75	67,11	53,38	0,071	0,083	62,53	59,48	0,111	0,119	
90	67,11	59,48	0,066	0,073	62,53	59,48	0,111	0,114	

Tabulka č. 15

$v = 140,7 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 0^\circ$			
$\frac{s}{\text{mm/ot}}$		0,58				0,81			
$\mathcal{H}_r [^\circ]$	$F_v [N]$	$F_f [N]$	$A_z [\text{mm}]$	$A_x [\text{mm}]$	$F_v [N]$	$F_f [N]$	$A_z [\text{mm}]$	$A_x [\text{mm}]$	
45	85,41	71,86	0,071	0,073	62,53	71,86	0,111	0,088	
60	62,53	62,48	0,111	0,073	56,43	65,61	0,137	0,093	
75	67,11	59,36	0,101	0,088	61,00	65,61	0,122	0,104	
90	73,21	62,53	0,086	0,093	65,58	62,53	0,106	0,109	

Tabulka č. 16

$v = 140,7 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = -15^\circ$			
$\frac{s}{\text{mm/ot}}$		0,58				0,81			
$\mathcal{H}_r [^\circ]$	$F_v [N]$	$F_f [N]$	$A_z [\text{mm}]$	$A_x [\text{mm}]$	$F_v [N]$	$F_f [N]$	$A_z [\text{mm}]$	$A_x [\text{mm}]$	
45	28,98	34,67	0,025	0,031	57,95	65,61	0,162	0,143	
60	65,58	64,05	0,132	0,125	64,05	65,61	0,025	0,021	
75	68,63	53,11	0,066	0,057	65,58	64,05	0,030	0,021	
90	68,63	64,05	0,033	0,021	64,05	62,48	0,025	0,021	

Tabulka č. 17

$v = 211,1 \text{ m/min}$					$h = 8 \text{ mm}$		$\phi_0 = 15^\circ$	
$\left[\frac{\text{mm}}{\text{ot}}\right]^s$	0,11				0,28			
$\mathcal{H}_r \left[^\circ\right]$	$F_v \left[N\right]$	$F_f \left[N\right]$	$A_z \left[\text{mm}\right]$	$A_x \left[\text{mm}\right]$	$F_v \left[N\right]$	$F_f \left[N\right]$	$A_z \left[\text{mm}\right]$	$A_x \left[\text{mm}\right]$
45	53,38	35,08	0,015	0,016	71,68	50,33	0,025	0,026
60	53,38	30,50	0,015	0,018	73,21	45,75	0,033	0,026
75	54,90	28,98	0,020	0,016	70,16	42,70	0,035	0,026
90	57,95	28,98	0,020	0,021	71,68	42,70	0,033	0,026

Tabulka č. 18

v = 211,1 m/min					h = 8 mm		$\varphi_0 = 0^\circ$	
$\frac{s}{\text{mm/ot}}$	0,11				0,28			
$\mathcal{H}_r \text{ [}^\circ\text{]}$	$F_v \text{ [N]}$	$F_f \text{ [N]}$	$A_z \text{ [mm]}$	$A_x \text{ [mm]}$	$F_v \text{ [N]}$	$F_f \text{ [N]}$	$A_z \text{ [mm]}$	$A_x \text{ [mm]}$
45	42,70	31,25	0,020	0,018	53,38	48,42	0,035	0,031
60	50,33	29,68	0,023	0,016	62,53	43,74	0,041	0,031
75	51,85	28,12	0,015	0,018	67,11	42,18	0,046	0,031
90	53,38	28,12	0,020	0,021	71,68	41,18	0,038	0,031

Tabulka č. 19

v = 211,1 m/min					h = 8 mm		$\varphi_0 = -15^\circ$	
$\frac{s}{[\text{mm/ot}]}$	0,11				0,28			
$\mathcal{H}_r \text{ } [^\circ]$	$F_v \text{ [N]}$	$F_f \text{ [N]}$	$A_z \text{ [mm]}$	$A_x \text{ [mm]}$	$F_v \text{ [N]}$	$F_f \text{ [N]}$	$A_z \text{ [mm]}$	$A_x \text{ [mm]}$
45	57,59	45,30	0,046	0,039	79,31	76,54	0,051	0,065
60	62,53	39,05	0,041	0,036	89,98	68,73	0,041	0,029
75	65,58	39,05	0,033	0,023	89,98	68,73	0,041	0,047
90	65,58	37,49	0,035	0,026	89,98	65,61	0,030	0,047

Tabulka č. 20

$v = 211,1 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\varphi_0 = 15^\circ$	
s [mm/ot]	0,58				0,81				
φ_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	79,31	59,48	0,035	0,026	76,21	68,63	0,066	0,052	
60	76,26	51,58	0,046	0,034	71,68	59,48	0,071	0,062	
75	76,26	50,30	0,046	0,042	70,16	56,43	0,091	0,073	
90	71,68	50,30	0,046	0,052	73,21	56,43	0,086	0,088	

Tabulka č. 21

$v = 211,1 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\varphi_0 = 0^\circ$	
s [mm/ot]	0,58				0,81				
φ_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	65,58	60,92	0,051	0,039	62,53	68,73	0,071	0,073	
60	68,63	53,11	0,056	0,036	61,00	56,23	0,101	0,078	
75	73,21	48,42	0,056	0,047	61,00	60,92	0,101	0,083	
90	74,73	51,85	0,051	0,052	70,16	65,58	0,091	0,088	

Tabulka č. 22

$v = 211,1 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\varphi_0 = -15^\circ$	
s [mm/ot]	0,58				0,81				
φ_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	65,58	82,79	0,035	0,052	68,63	76,54	0,127	0,098	
60	70,16	70,29	0,111	0,104	65,58	64,05	0,025	0,018	
75	67,11	64,05	0,066	0,099	65,58	62,48	0,023	0,031	
90	79,31	65,61	0,051	0,047	67,11	64,05	0,025	0,016	

Tabulka č. 23

$v = 281,5 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 15^\circ$	
s [mm/ot]	0,09				0,21				
$\mathcal{H}_r$ [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	45,75	27,45	r	r	65,58	49,23	0,030	0,021	
60	50,33	27,45	r	r	67,11	39,65	0,030	0,021	
75	50,33	25,93	r	r	59,48	36,60	0,035	0,026	
90	53,38	25,93	0,020	0,018	65,58	38,13	0,030	0,026	

Tabulka č. 24

$v = 281,5 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 0^\circ$	
s [mm/ot]	0,09				0,21				
$\mathcal{H}_r$ [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	38,13	28,12	-	-	48,80	43,74	0,038	0,026	
60	44,23	26,55	0,025	0,018	56,43	39,05	0,035	0,029	
75	47,28	24,99	0,020	0,018	61,00	35,93	0,035	0,026	
90	45,75	24,99	0,025	0,018	64,05	35,08	0,033	0,026	

Tabulka č. 25

$v = 281,5 \text{ m/min}$				$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = -15^\circ$	
s [mm/ot]	0,09				0,21				
$\mathcal{H}_r$ [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	51,85	48,42	r	r	50,33	49,98	0,167	0,182	
60	54,90	34,67	r	r	80,83	56,23	0,046	0,036	
75	54,90	32,80	r	r	80,83	56,23	0,117	0,093	
90	57,95	31,25	r	r	79,31	51,55	0,111	0,130	

Tabulka č. 26

$v = 281,5 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 15^\circ$			
s [mm/ot]	0,29				0,41				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	70,16	50,33	0,030	0,026	74,73	62,53	0,046	0,042	
60	71,68	47,28	0,096	0,036	74,73	56,43	0,071	0,057	
75	71,68	45,75	0,046	0,031	67,11	56,43	0,071	0,062	
90	71,68	45,75	0,046	0,031	76,26	53,38	0,046	0,052	

Tabulka č. 27

$v = 281,5 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = 0^\circ$			
s [mm/ot]	0,29				0,41				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	61,00	53,11	0,056	0,031	64,05	62,48	0,066	0,052	
60	65,58	45,30	0,056	0,035	70,16	56,23	0,061	0,052	
75	68,63	43,74	0,051	0,036	65,58	53,11	0,076	0,052	
90	68,63	44,23	0,051	0,036	77,78	56,43	0,081	0,052	

Tabulka č. 28

$v = 281,5 \text{ m/min}$		$h = 8 \text{ mm}$				$\phi_0 = -15^\circ$			
s [mm/ot]	0,29				0,41				
α_r [°]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	F_v [N]	F_f [N]	A_z [mm]	A_x [mm]	
45	65,58	51,55	0,117	0,145	93,03	93,73	0,023	0,031	
60	65,58	57,80	0,117	0,150	74,73	67,17	0,041	0,036	
75	65,58	67,17	0,046	0,104	76,26	65,51	0,043	0,031	
90	80,33	70,29	0,046	0,078	76,26	65,61	0,046	0,042	

5.1.2.1 Výsledky zkoušek

Ze získaných naměřených hodnot a grafických závislostí vlivu geometrie břitu na složky řezných sil vyplynulo, že úhel nastavení hlavního ostří κ_r výrazně neovlivňuje velikost řezných sil F_v a F_f . Pro složku F_v je typický pozvolný růst popřípadě její stálost při zvyšujícím se κ_r , u F_f je tomu právě naopak. Nejnižších hodnot řezných sil bylo dosahováno pro $\varphi_0 = 0^\circ$, nejvyšších pro $\varphi_0 = -15^\circ$, kde pro $v = 70,4$ m/min a $s = 0,34$ mm/ot dosahovala $F_v \approx 93$ N při $\kappa_r = 90^\circ$.

Posuzujeme-li vliv geometrie břitu na velikost amplitud, pak se projevovala stálost amplitudy A_z vertikálního směru při měnícím se úhlu κ_r u destiček $\varphi_0 = 0^\circ$ a $\varphi_0 = 15^\circ$ a to pro $v < 211,1$ n/min a $s = 0,17 \div 0,34$ mm/ot. Pro hodnoty $\varphi_0 = 0^\circ$ a $\varphi_0 = 15^\circ$ došlo u amplitudy A_x horizontálního směru při $v = 211,1$ m/min, $s = 0,39 \div 0,54$ mm/ot ke vzrůstu v rozmezí $\kappa_r = 45^\circ \div 90^\circ$ na maximální hodnotu 0,088 mm viz příloha č. 19 a 20. Pro $\varphi_0 = 0^\circ$ je typický růst amplitudy A_x viz příloha č. 17, se vzrůstající hodnotou posuvu danou řeznou rychlostí. Při tomto úhlu φ_0 a $\kappa_r = 45^\circ$ došlo při řezné rychlosti $v = 70,4$ mm/min k nárůstu amplitudy při $s = 1,62$ mm/ot ve směru x na hodnotu 0,145 mm viz příloha č. 14. Další zvětšování κ_r vede k ustálení amplitudy na hodnotě 0,109 mm.

Pro $\varphi_0 = 15^\circ$ byla zaznamenána nejvyšší hodnota amplitudy při $\kappa_r = 75^\circ$ pro $v = 70,4 \div 140,7$ m/min, posuvu $s = 0,58 \div 1,62$ mm/ot a to v obou sledovaných směrech. Tuto závislost však nepotvrzoval posuv $s = 0,58$ mm/ot u něhož při $v = 140,7$ m/min došlo ve směru z ke vzrůstu na hodnotě $\kappa_r = 60^\circ$. V rozmezí $\kappa_r = 75^\circ \div 90^\circ$ docházelo ve zmíněných případech k poklesu amplitudy viz příloha č. 13.

Řezná rychlost $v = 281,5$ m/min byla charakterizována rezonancí nástroje, ke které docházelo při $s = 0,09$ mm/ot pro destičku $\varphi_0 = 15^\circ$ v rozmezí $\alpha_r = 45^\circ \div 75^\circ$, pro destičku $\varphi_0 = -15^\circ$ v celém rozmezí zkoušených α_r .

Hodnota záporného úhlu čela φ_0 ovlivnila velikost amplitudy v obou sledovaných směrech tak, že při $v = 70,4 \div 281,5$ m/min se ukázal jako zcela nevhodný úhel $\alpha_r = 45^\circ$, při němž docházelo k velmi vysokému vzrůstu amplitudy až na hodnotu 0,182 mm. Se zvyšující se hodnotou α_r došlo při $\alpha_r = 60^\circ$ k prudkému poklesu a dále se již velikost amplitudy výrazně neměnila viz příloha č. 15. Její velikost závisela od hodnoty posuvu. Pro tento úhel φ_0 jsou tedy nejvýhodnější hodnoty $\alpha_r > 60^\circ$.

Hodnotíme-li velikost amplitudy v závislosti na změně řezné rychlosti při $s \div 0,4$ mm/ot, potom nejnižších hodnot amplitudy pro $\alpha_r = 45^\circ \div 90^\circ$ bylo dosahováno u destiček

$\varphi_0 = 0^\circ$ a $\varphi_0 = 15^\circ$ při $v = 70,4$ m/min, naopak pro $\varphi_0 = -15^\circ$ při $v = 281,5$ m/min v obou sledovaných směrech.

6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl experimentální výzkum samobuzeného chvění při obrábění vvn izolátorů z izostaticky lisované keramiky, stanovení řezných sil a amplitud chvění v závislosti na řezných podmínkách a použitých řezných destičkách. Dále bylo předmětem stanovení vhodných řezných podmínek z hlediska velikosti řezných sil a amplitud chvění, kde jako kritérium byly brány v úvahu řezné síly F_v a F_f a amplitudy A_x a A_z . Stanovení vhodných řezných podmínek bylo provedeno pro soustružení na čisto (tvarování) a pro hrubování.

Vliv řezných podmínek na velikost řezných sil a amplitud chvění pro tvarování ILK byl zkoumán pro čtyři různé poloměry řezných destiček. Pro tvarování je charakteristická závislost hloubky řezu a poloměru řezné destičky na velikost složek řezné síly. Se zvětšující se hloubkou řezu a zvyšujícím se poloměrem řezné destičky vzrůstají i složky F_v a F_f řezné síly. Nejprůznivěji vycházejí s ohledem na velikost amplitud chvění a řezných sil řezné destičky R 7 a R 11, z řezných rychlostí pak $v > 200$ m/min a posuv $s = 0,1 \div 0,4$ mm/ot. Vyrůstající řezná rychlost měla ve většině případů stabilizující účinek, stejně jako snižující se hodnota posuvu. Velice nevhodné jsou též kombinace nižších řezných rychlostí ($v < 140$ m/min) spolu s větší hloubkou řezu ($h > 3$ mm).

Vliv řezných podmínek a geometrie břitu na velikost řezných sil a amplitud chvění pro hrubování ILK byl zkoumán pro tři destičky s různým úhlem čela. Pro hrubování je vliv jednotlivých parametrů na velikost složek řezné síly přibližně stejný. Se zvyšujícím se úhlem nastavení pozvolna vzrůstá, případně se nemění složka řezné síly F_v , složka F_f klesá.

Uvážíme-li, že se pro hrubování používají nižší hodnoty řezných rychlostí, lze s ohledem na velikost řezných sil a amplitud chvění doporučit jako vhodný úhel čela $\phi_0 = 0^\circ \div 15^\circ$, úhel nastavení hlavního ostří $\alpha_r = 45^\circ \div 60^\circ$ a posuv v rozmezí $s = 0,2 \div 0,8$ mm/ot .

Další vývoj a zkoumání nové technologie výroby vvn izolátorů bude znamenat řešení nových problémů. Jedná se především o zjištění vlivu chvění na jakost obrobené plochy, protože jakost obrobené plochy značně ovlivňuje další procesy technologie výroby vvn izolátorů.

Dovoluji si touto cestou poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. J. Frintovi a kolektivu pracovníků VÚEK Hradec Králové, kteří mi svou pomocí a radou přispěli k úspěšnému zvládnutí zadaného úkolu.

7. SEZNAM LITERATURY

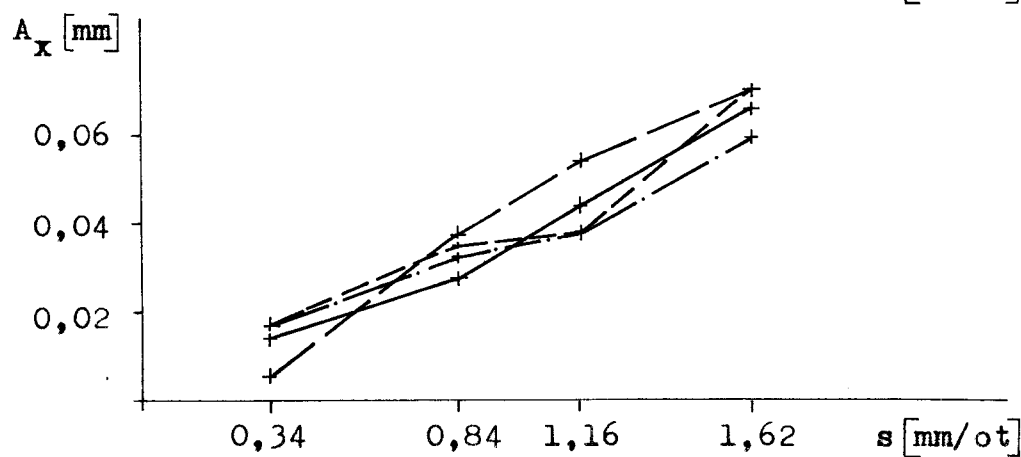
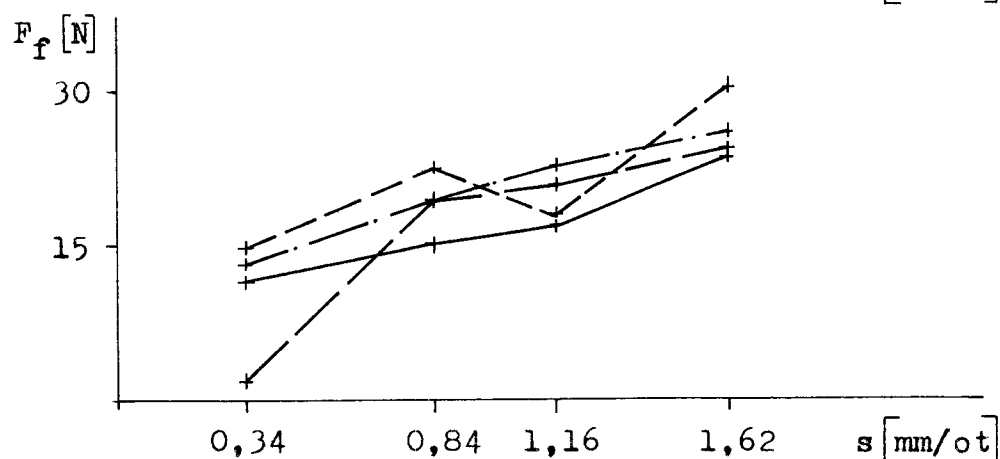
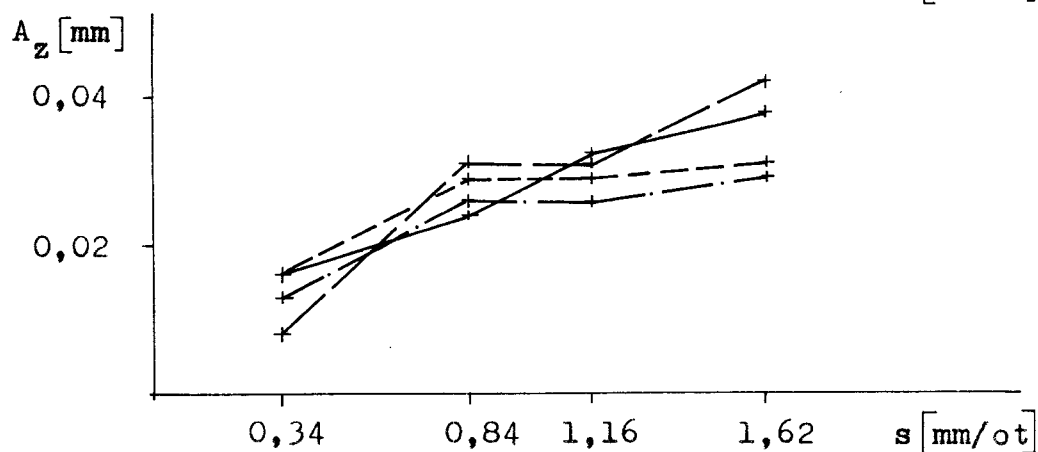
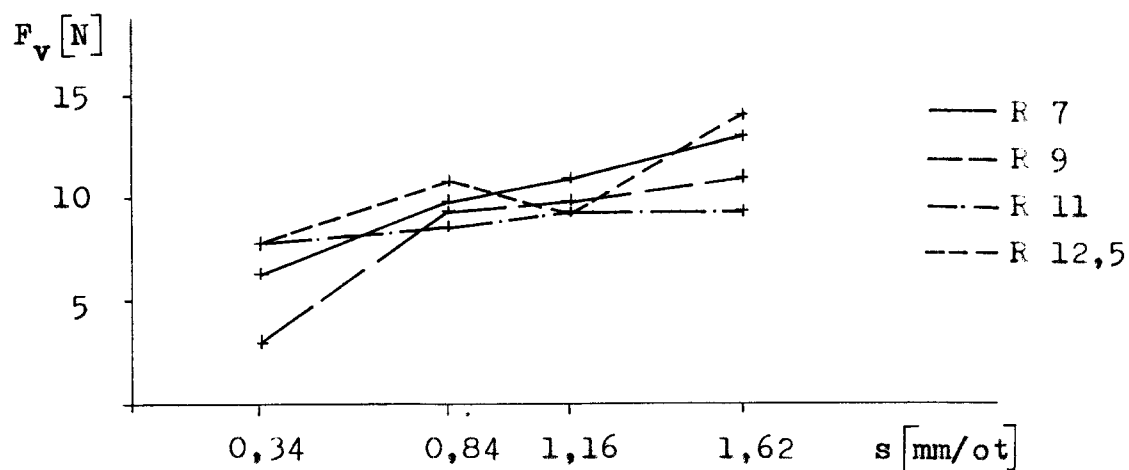
- /1/ Zpráva o činnosti strany ze XVI. sjezdu KSČ
Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje
ČSSR na léta 1981 - 1985
- /2/ Békés J.: Inžinierska technológia obrábania
kovov. ALFA Bratislava 1981
- /3/ Liemert G.
a kol: Obrábění. SNTL Praha 1974
- /4/ Přikryl Z.,
Musilková R.: Teorie obrábění. SNTL Praha 1982
- /5/ Růžička S.: Technická zpráva SO 2 - NC 1982
VÚEK Hradec Králové
- /6/ Tlustý J.: Samobuzené kmity v obráběcích
strojích.
Nakladatelství ČSAV Praha 1954
- /7/ Gabriel V.,
Mevald J.,
Klíma R.: Tlumení chvění při soustružení
hlubokých otvorů. Výzkumná zpráva
VŠST Liberec 1977

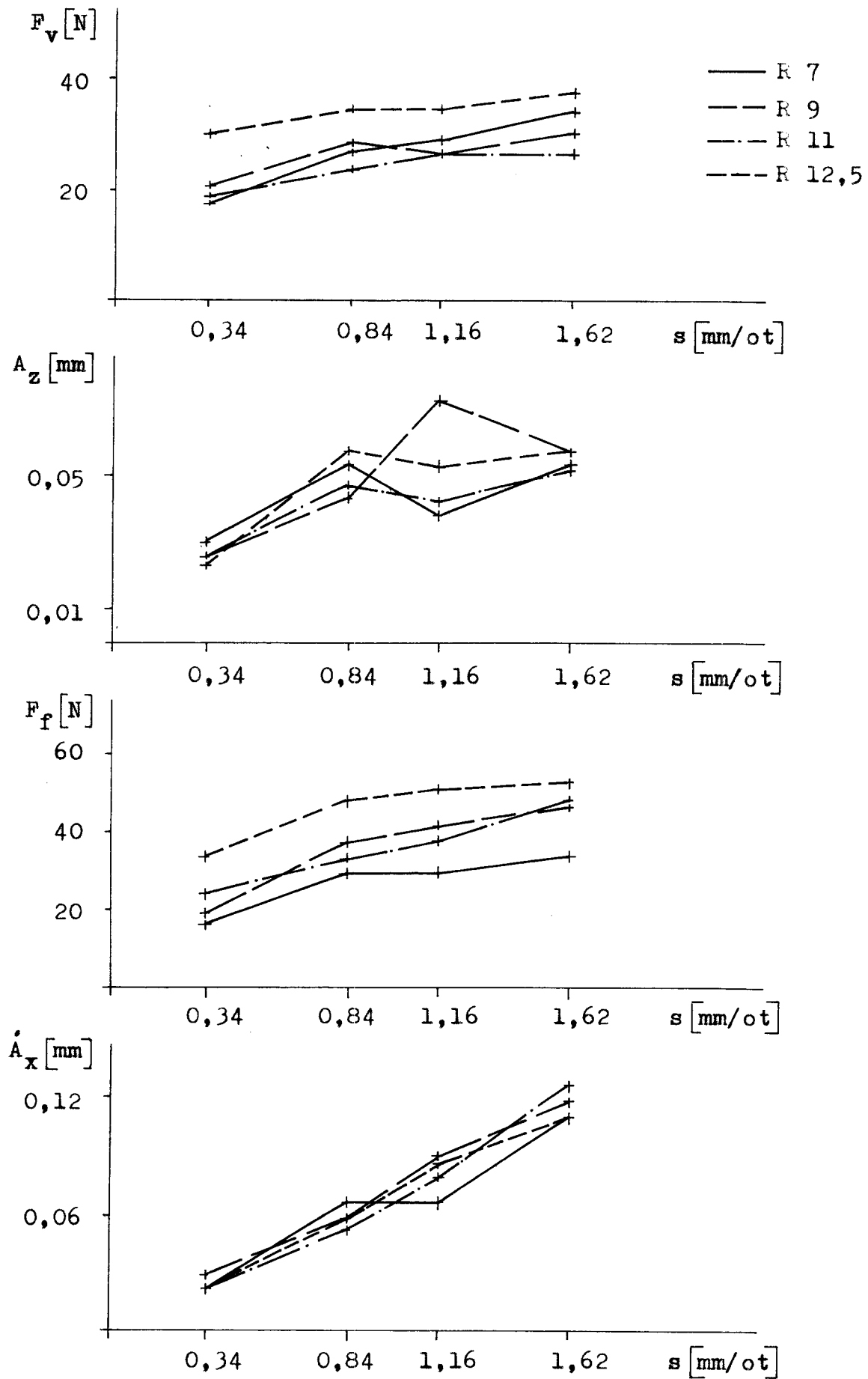
8. SEZNAM PŘÍLOH

č. 1 ÷ 12 Graf závislosti - $F_v = f(s)$
- $F_f = f(s)$
- $A_x = f(s)$
- $A_z = f(s)$

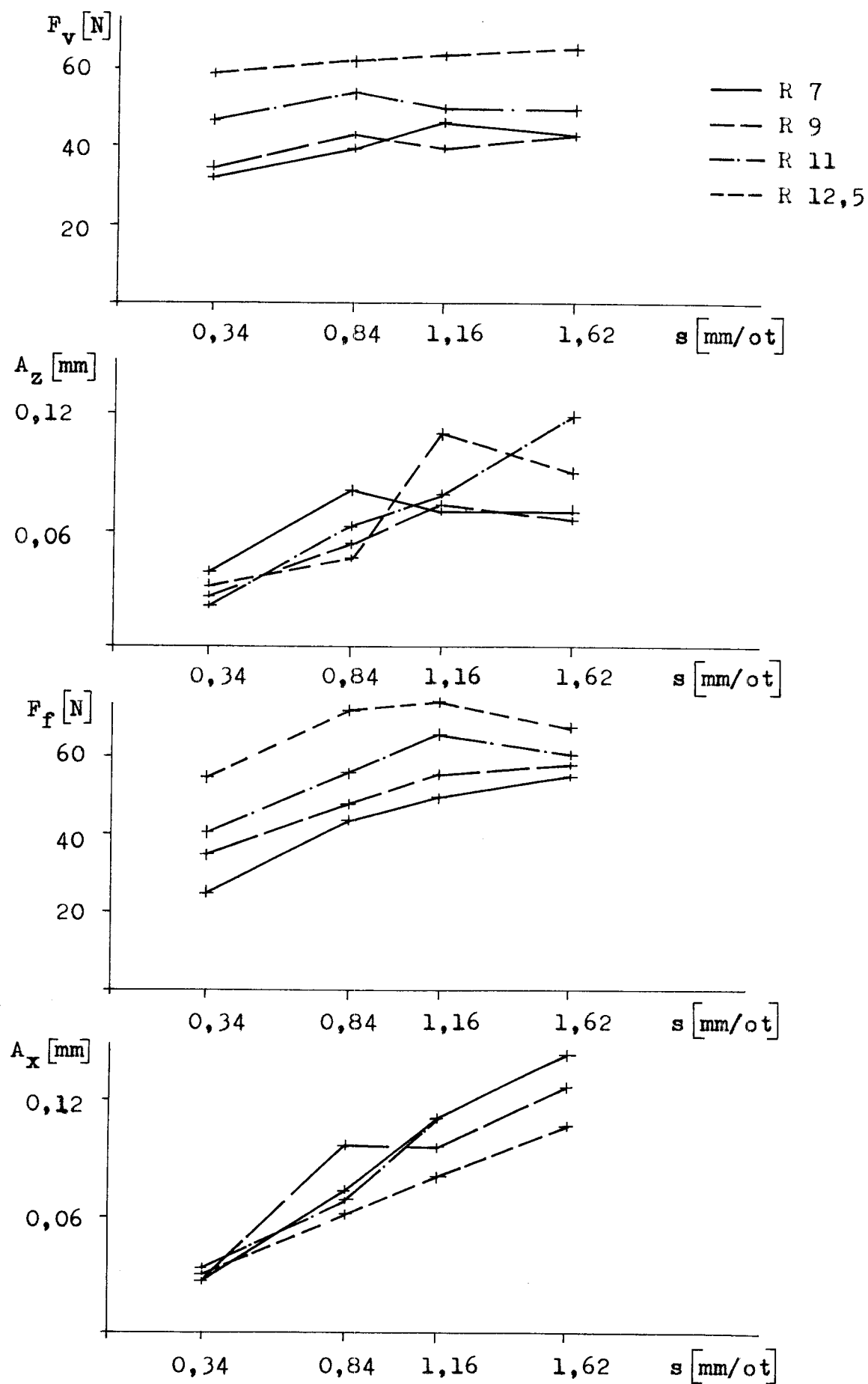
č. 13 ÷ 24 Graf závislosti - $F_v = f(h_r)$
- $F_f = f(h_r)$
- $A_x = f(h_r)$
- $A_z = f(h_r)$

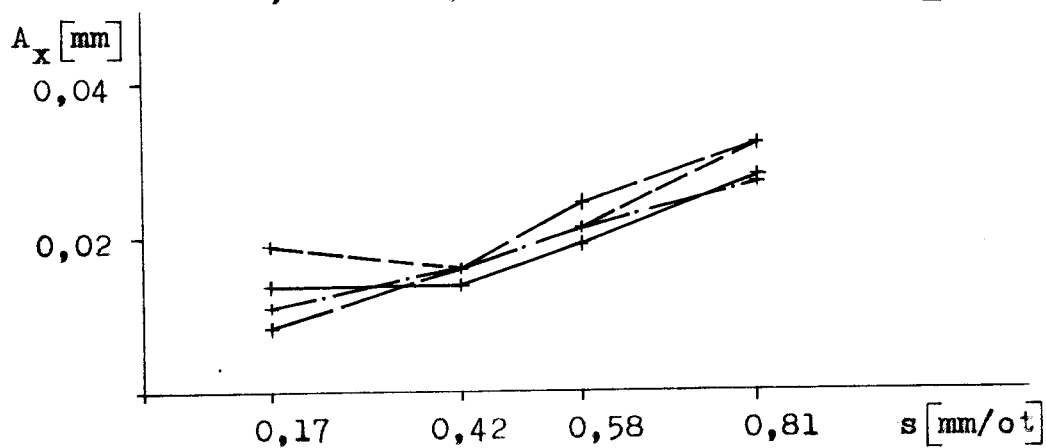
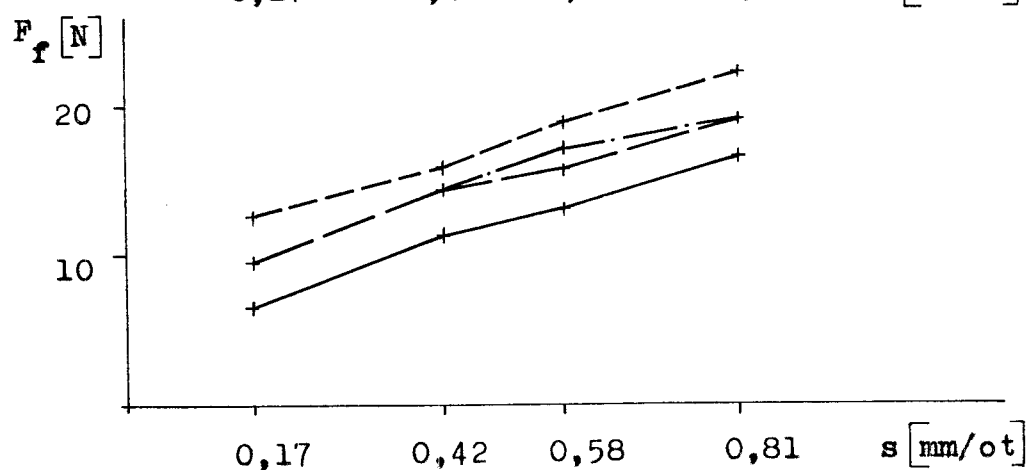
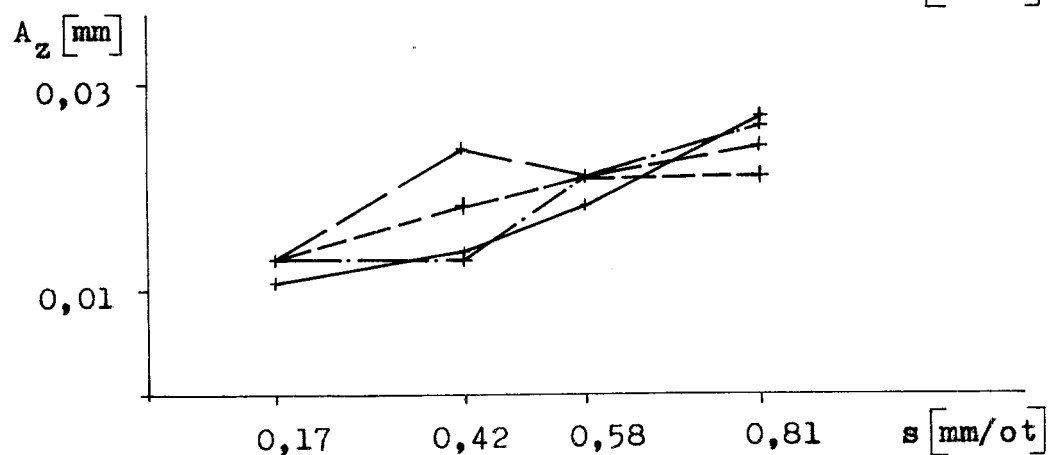
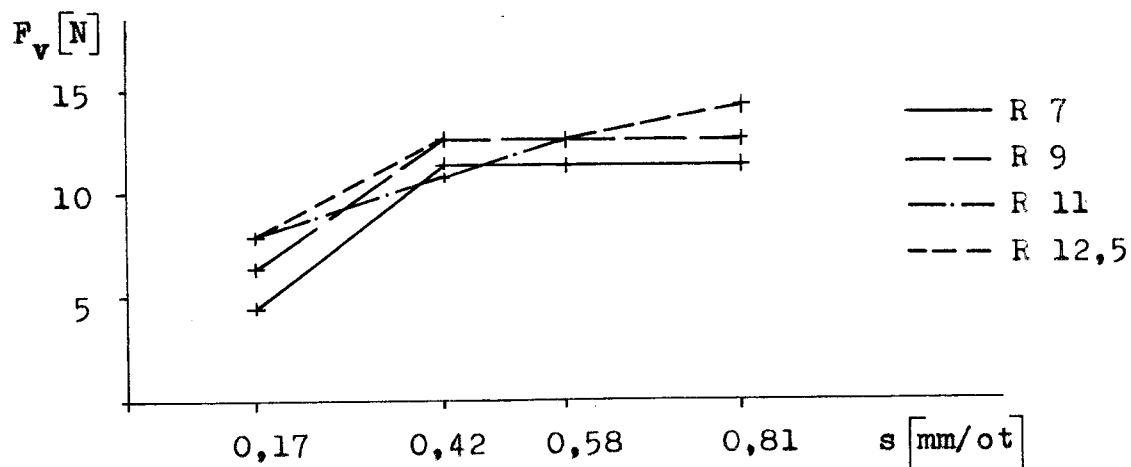
Příloha č. 1 $v=70,4 \text{ m/min}$, $h=1 \text{ mm}$



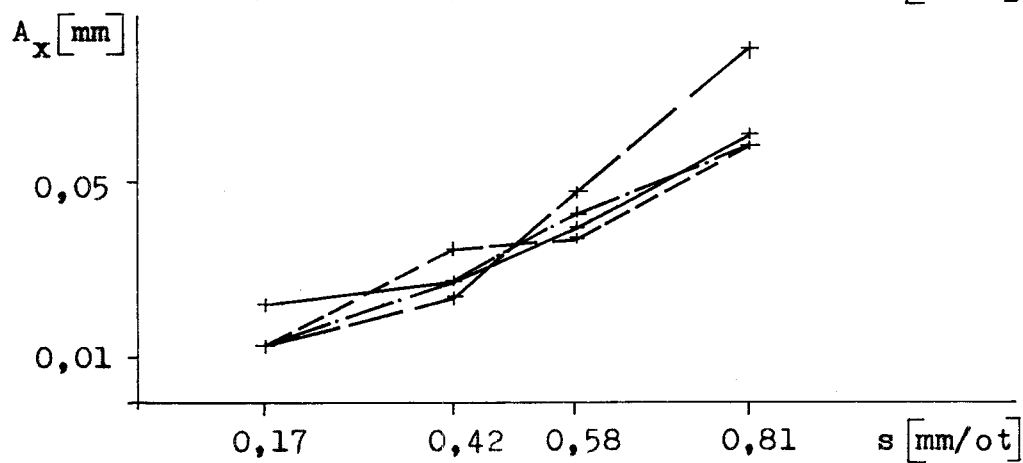
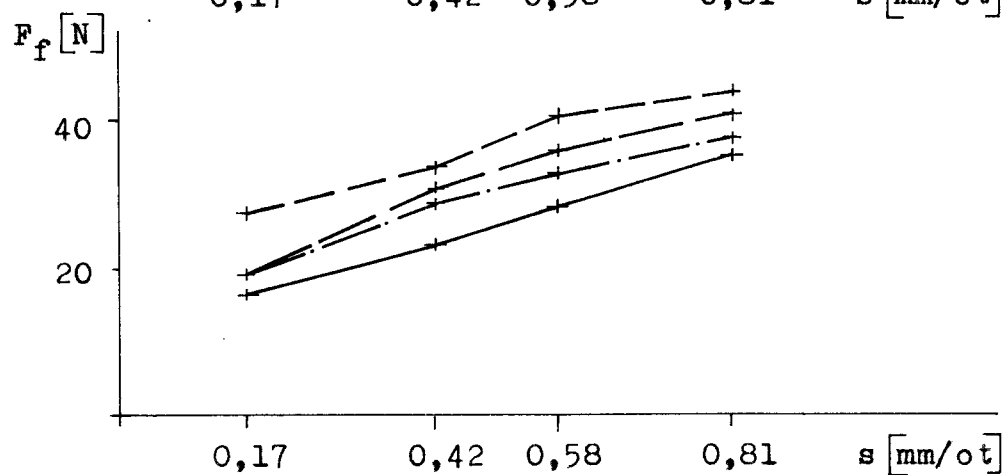
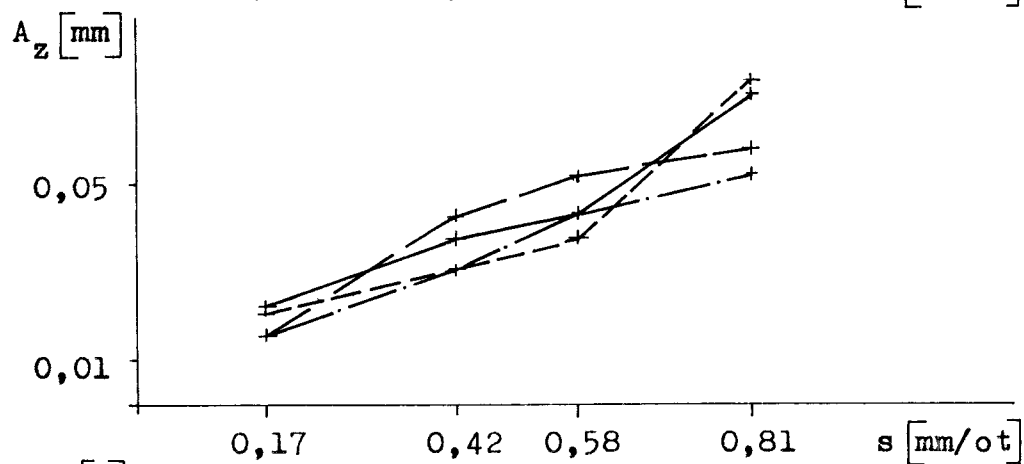
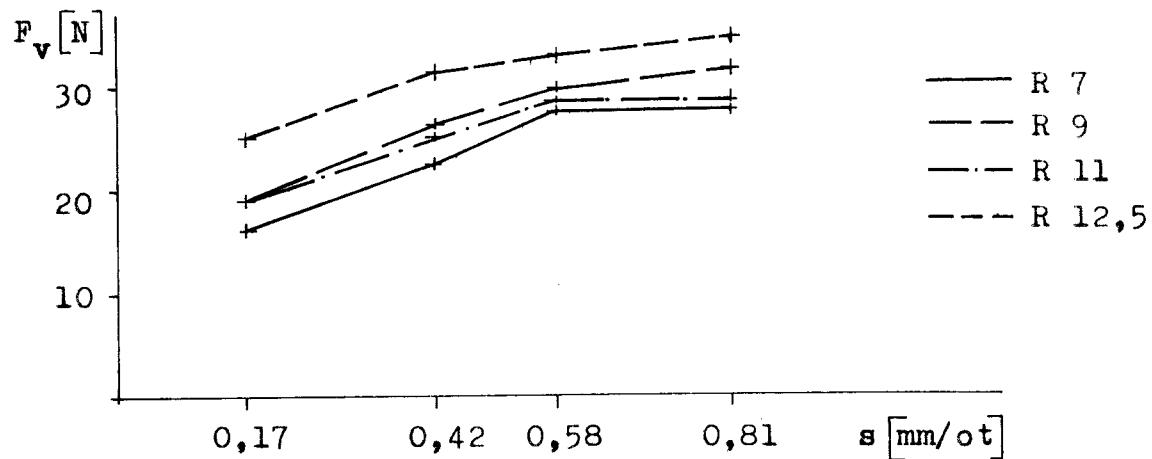


Příloha č. 3 $v=70,4 \text{ m/min}$, $h=5 \text{ mm}$

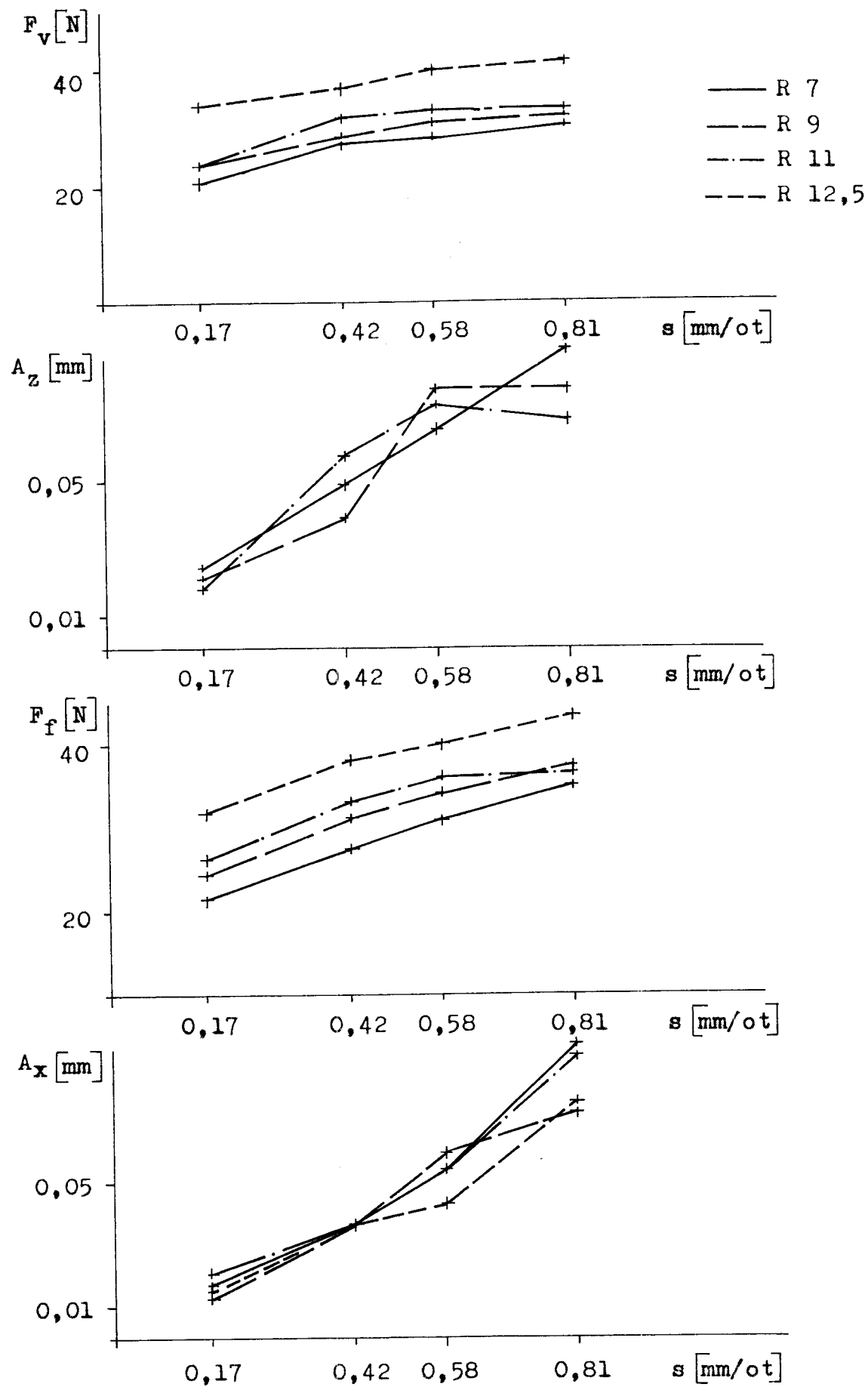




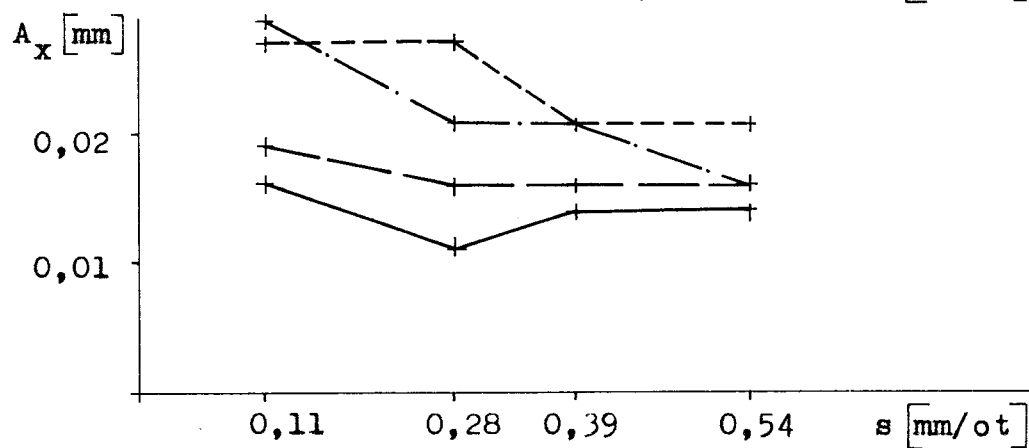
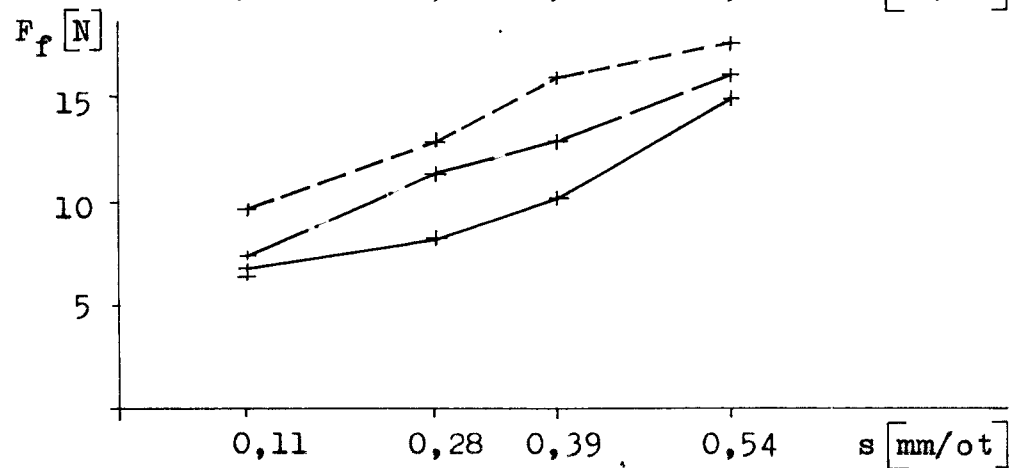
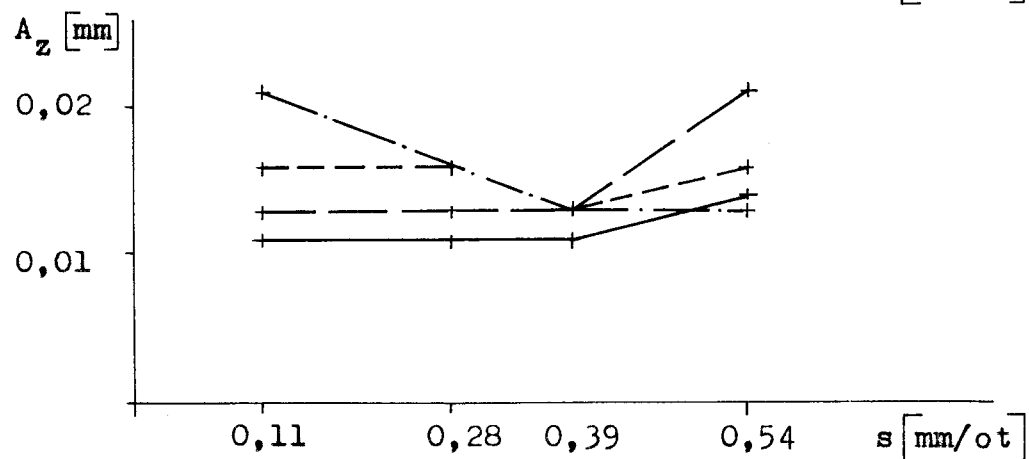
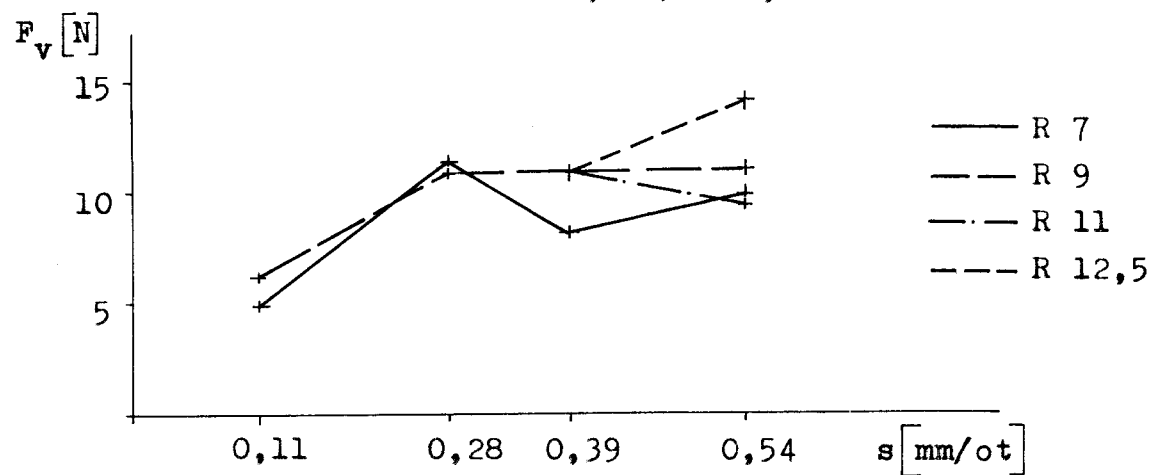
Příloha č. 5 $v=140,7 \text{ m/min}$, $h=3 \text{ mm}$



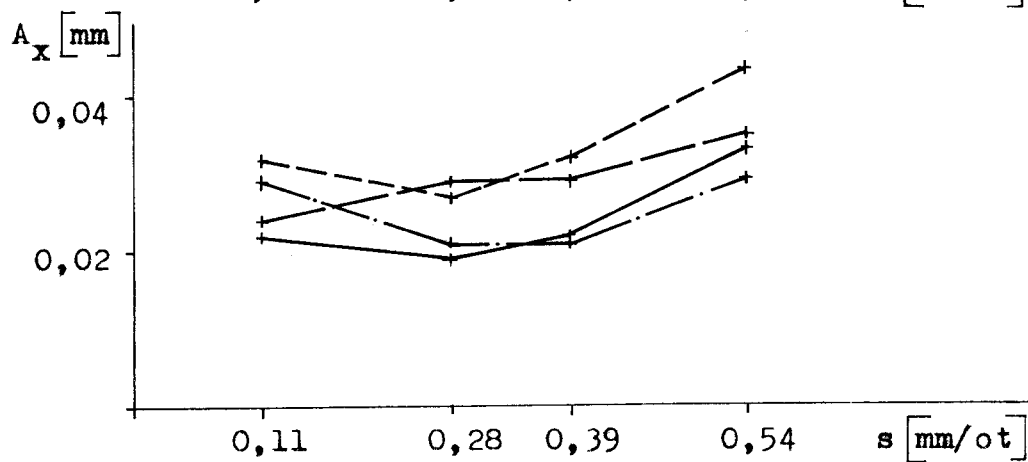
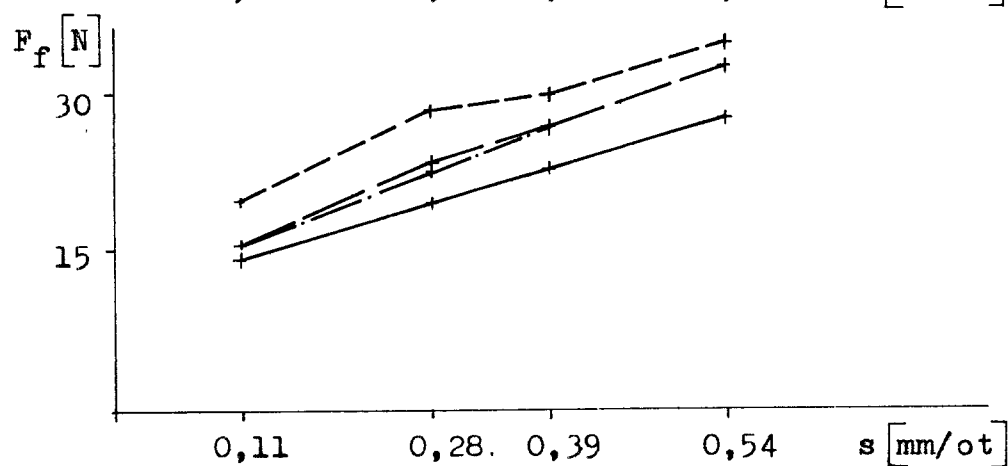
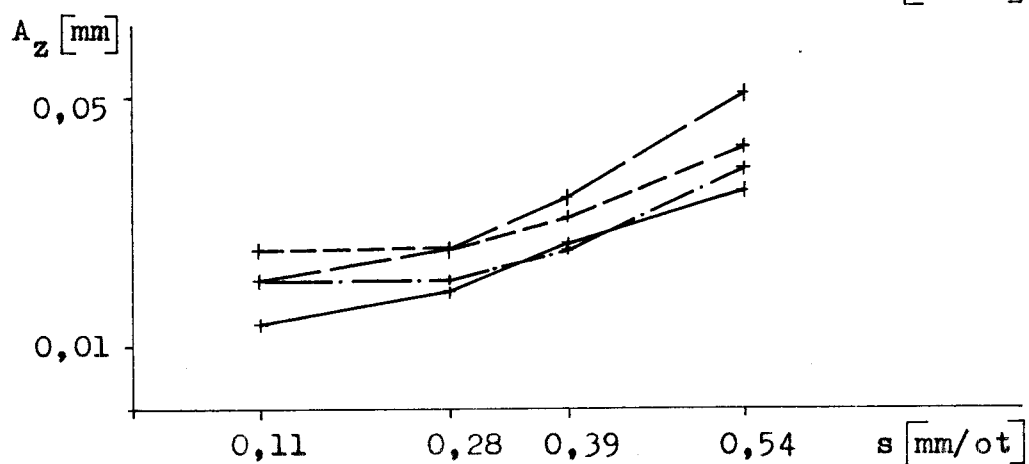
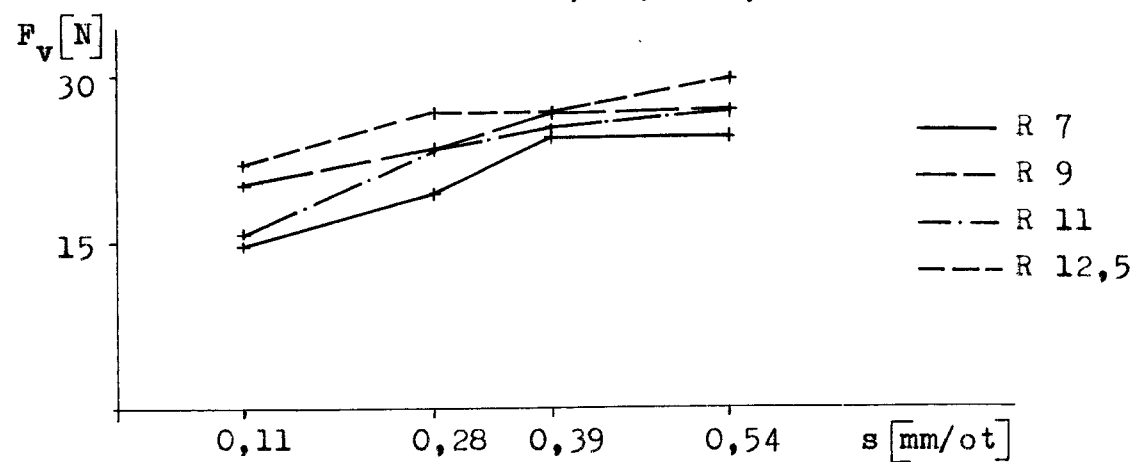
Příloha č. 6 $v=140,7 \text{ m/min}$, $h=5 \text{ mm}$



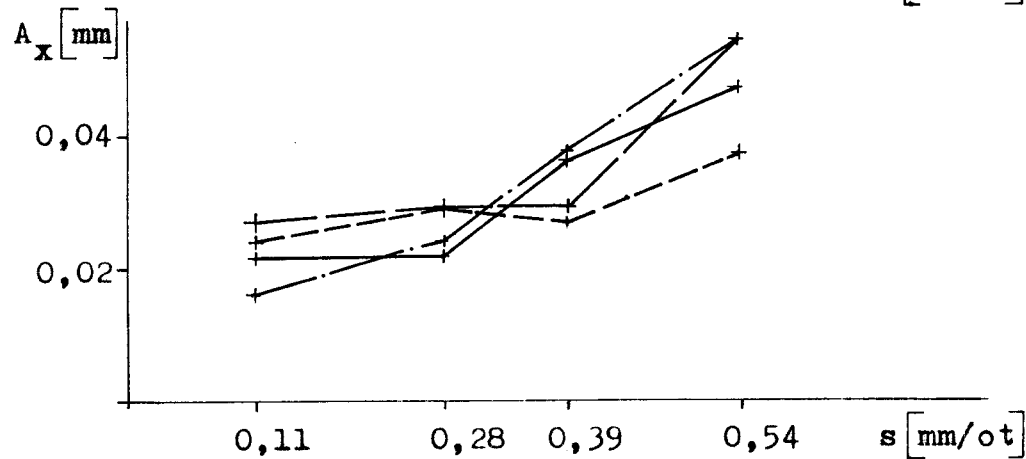
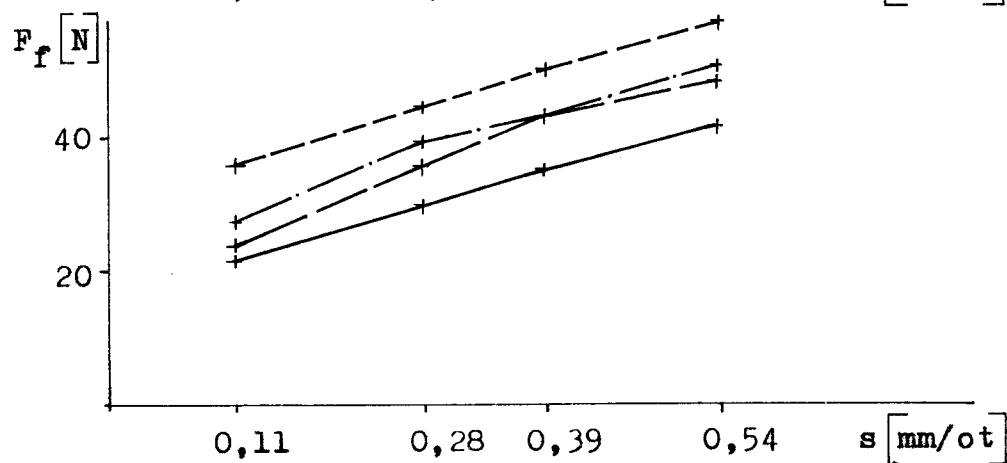
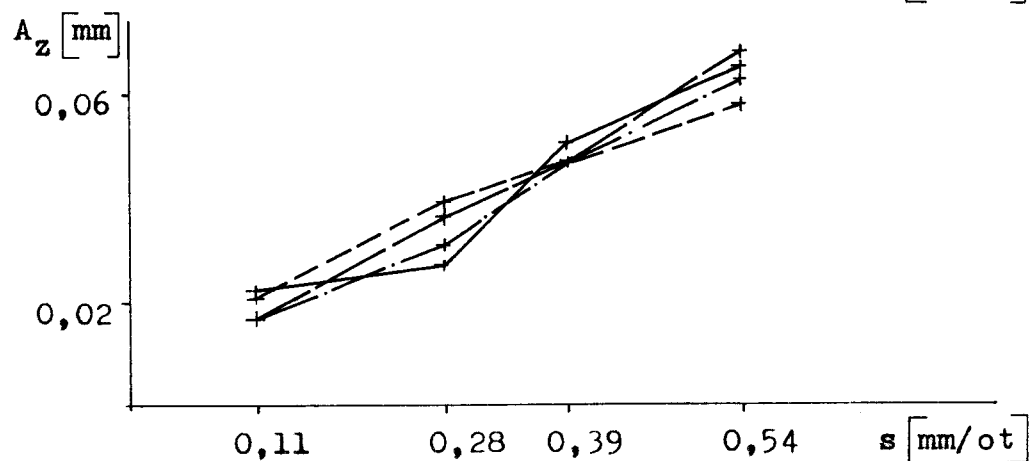
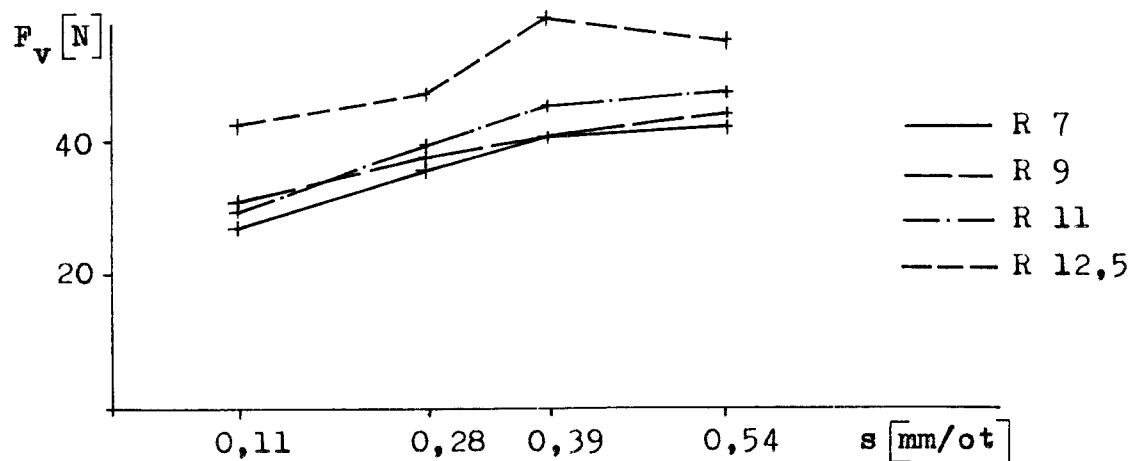
Příloha č. 7 $v=211,1 \text{ m/min}$, $h=1 \text{ mm}$



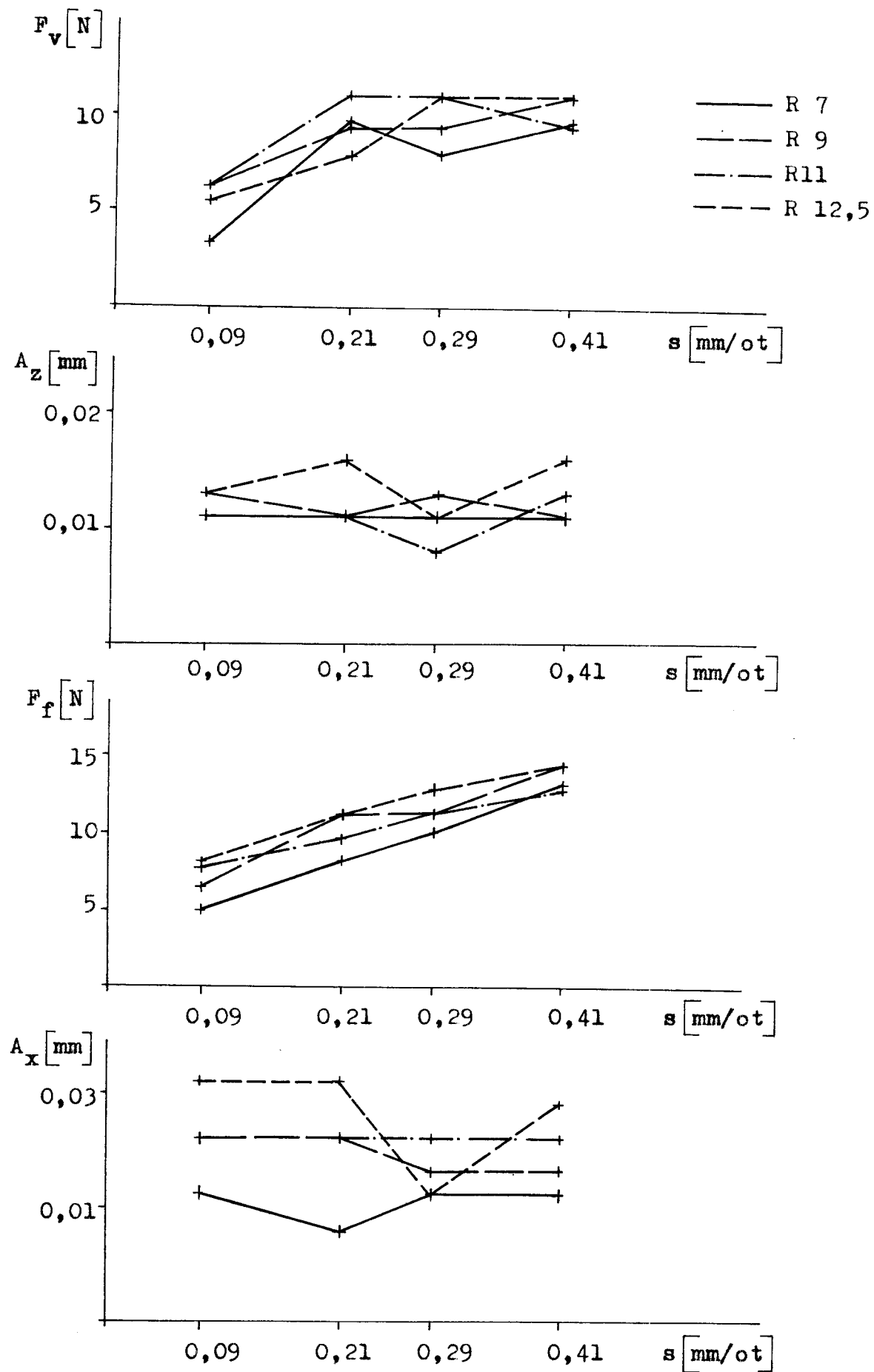
Příloha č. 8 $v=211,1 \text{ m/min}$, $h=3 \text{ mm}$

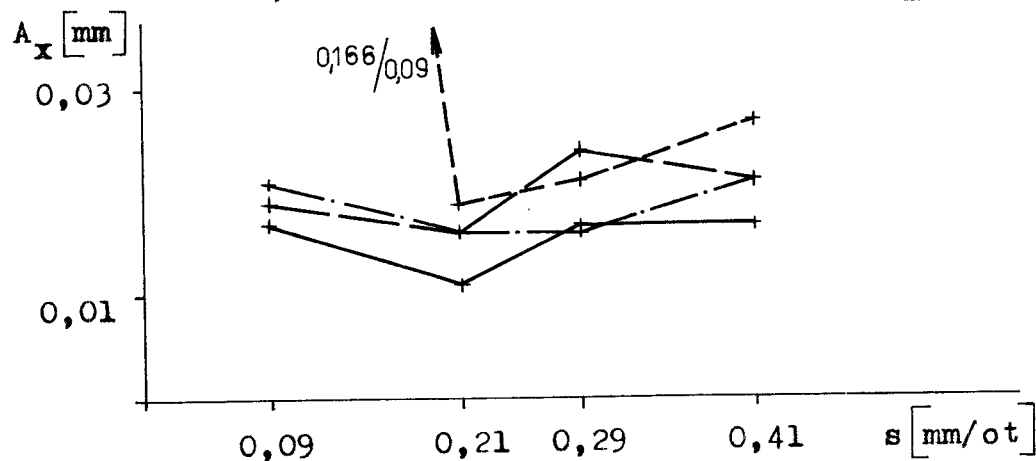
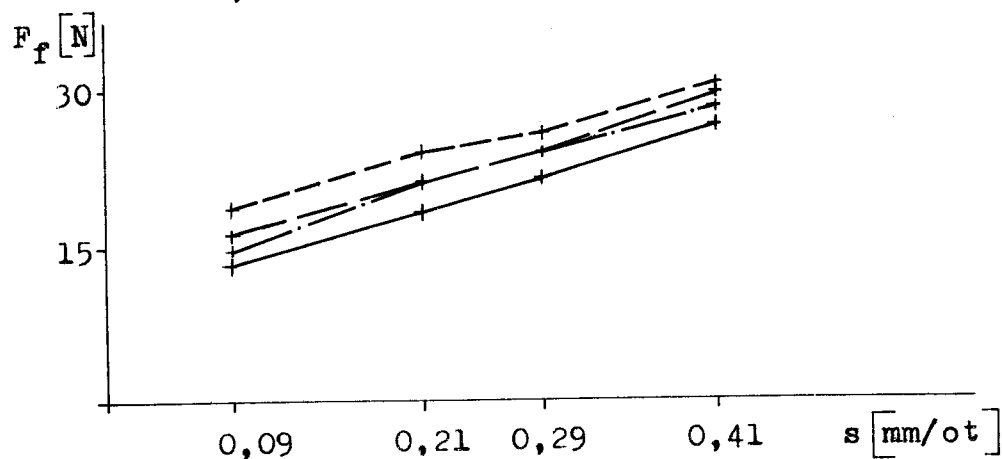
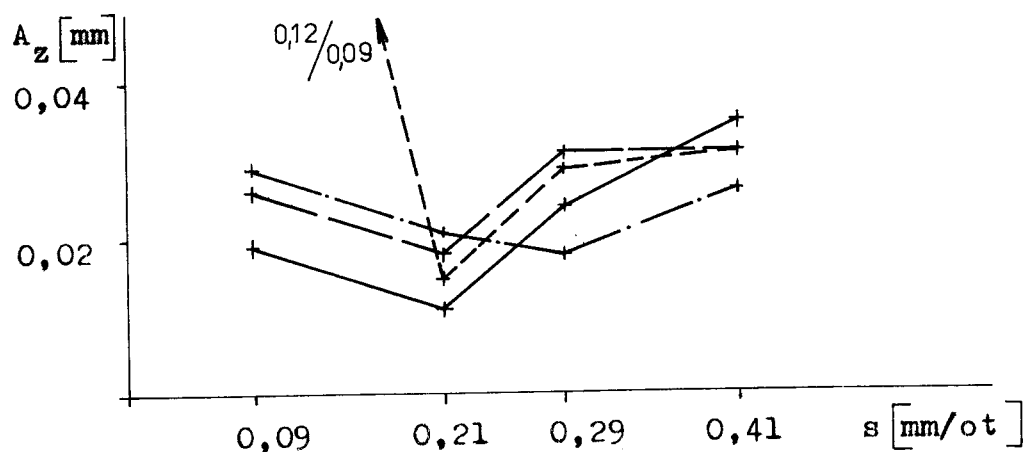
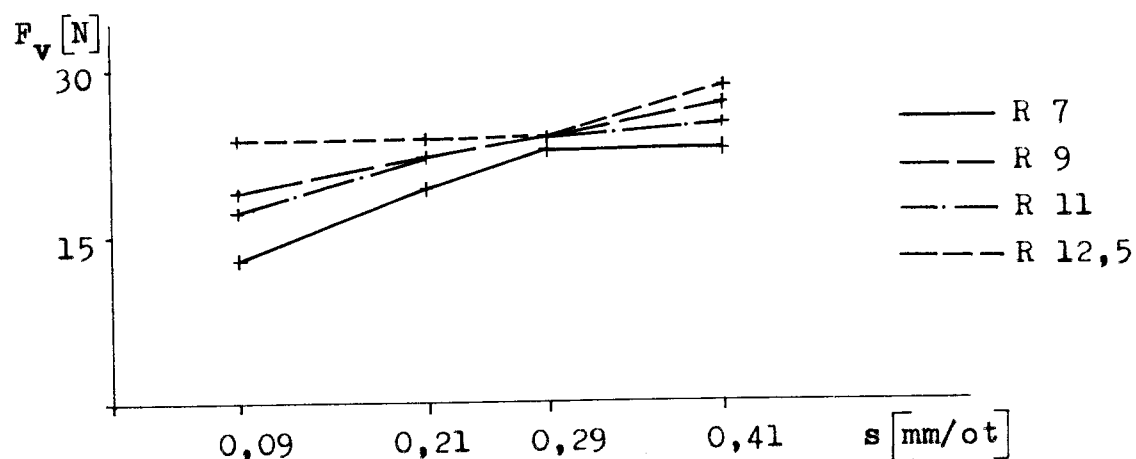


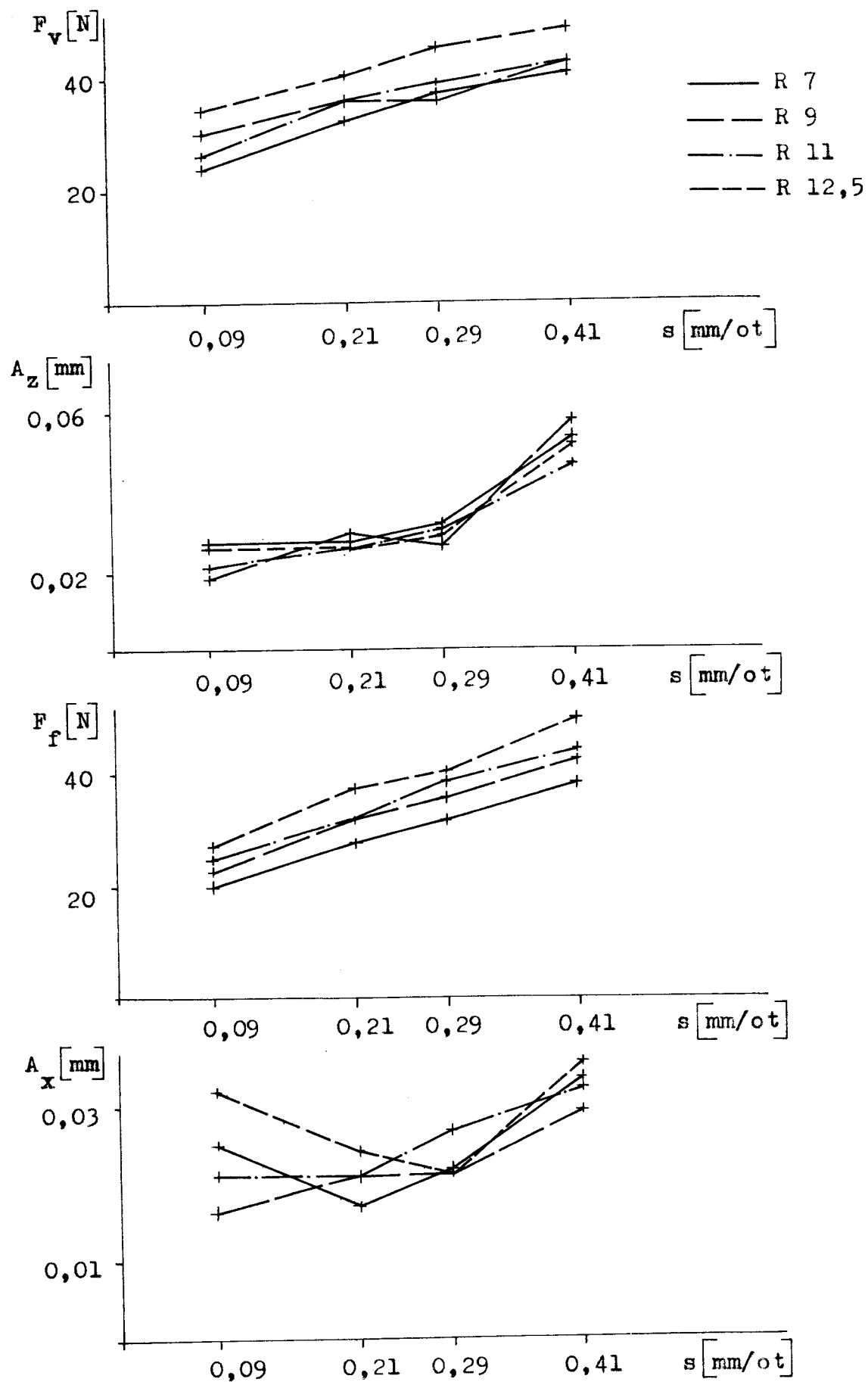
Příloha č. 9 $v=211,1 \text{ m/min}$, $h=5 \text{ mm}$



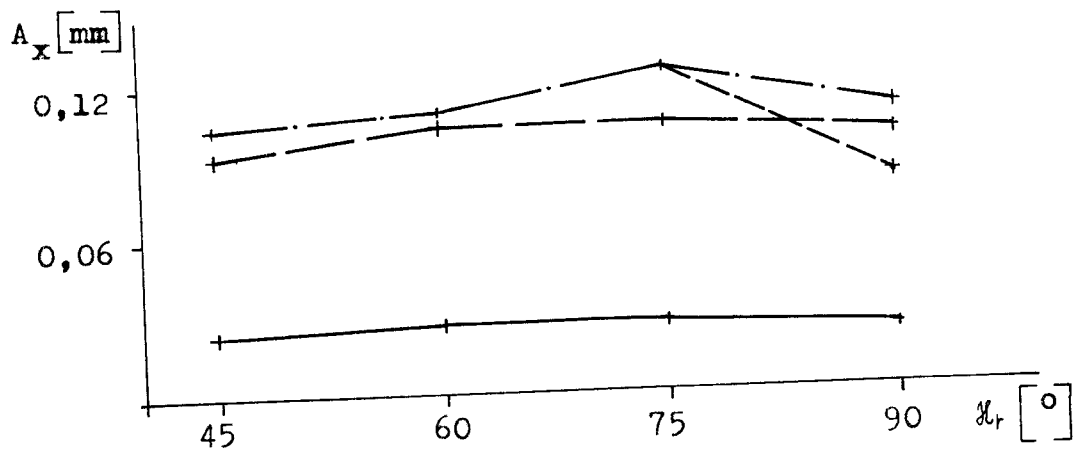
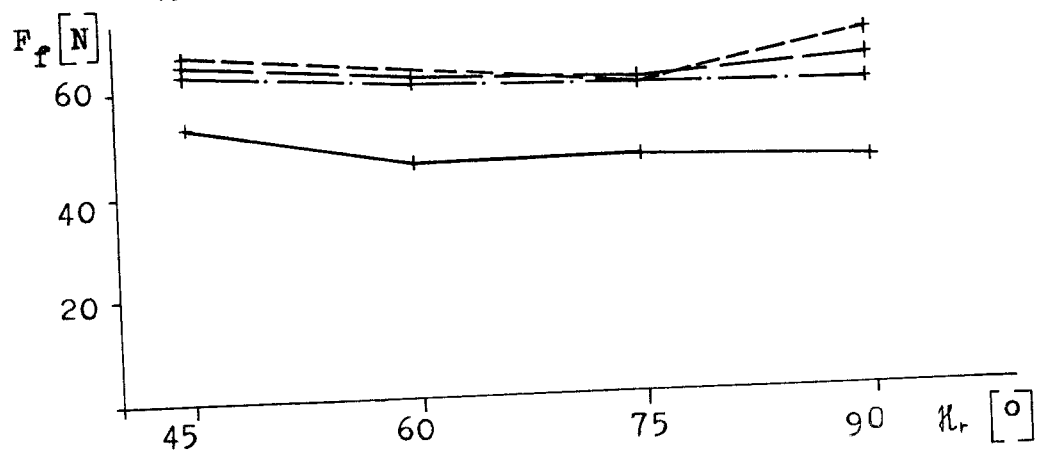
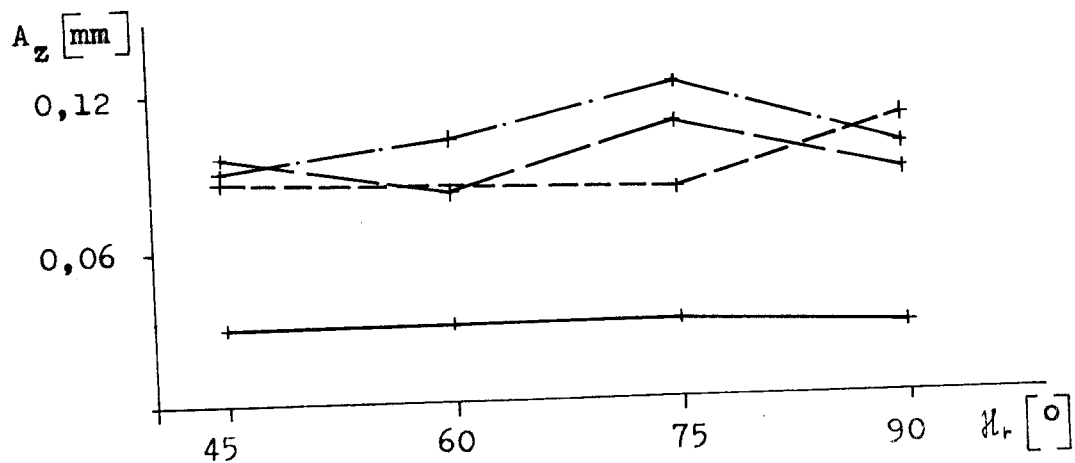
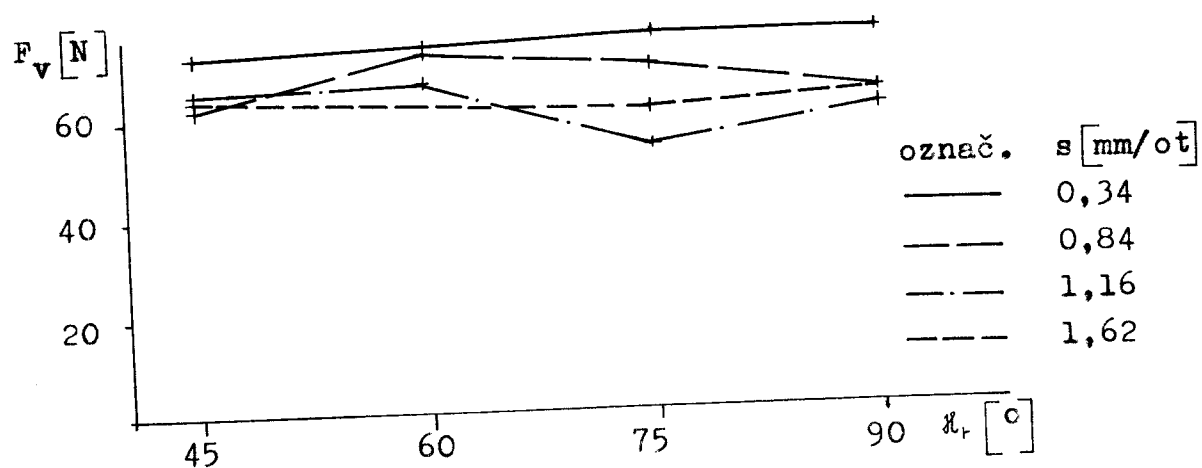
Příloha č. 10 $v=281,5 \text{ m/min}$, $h=1 \text{ mm}$

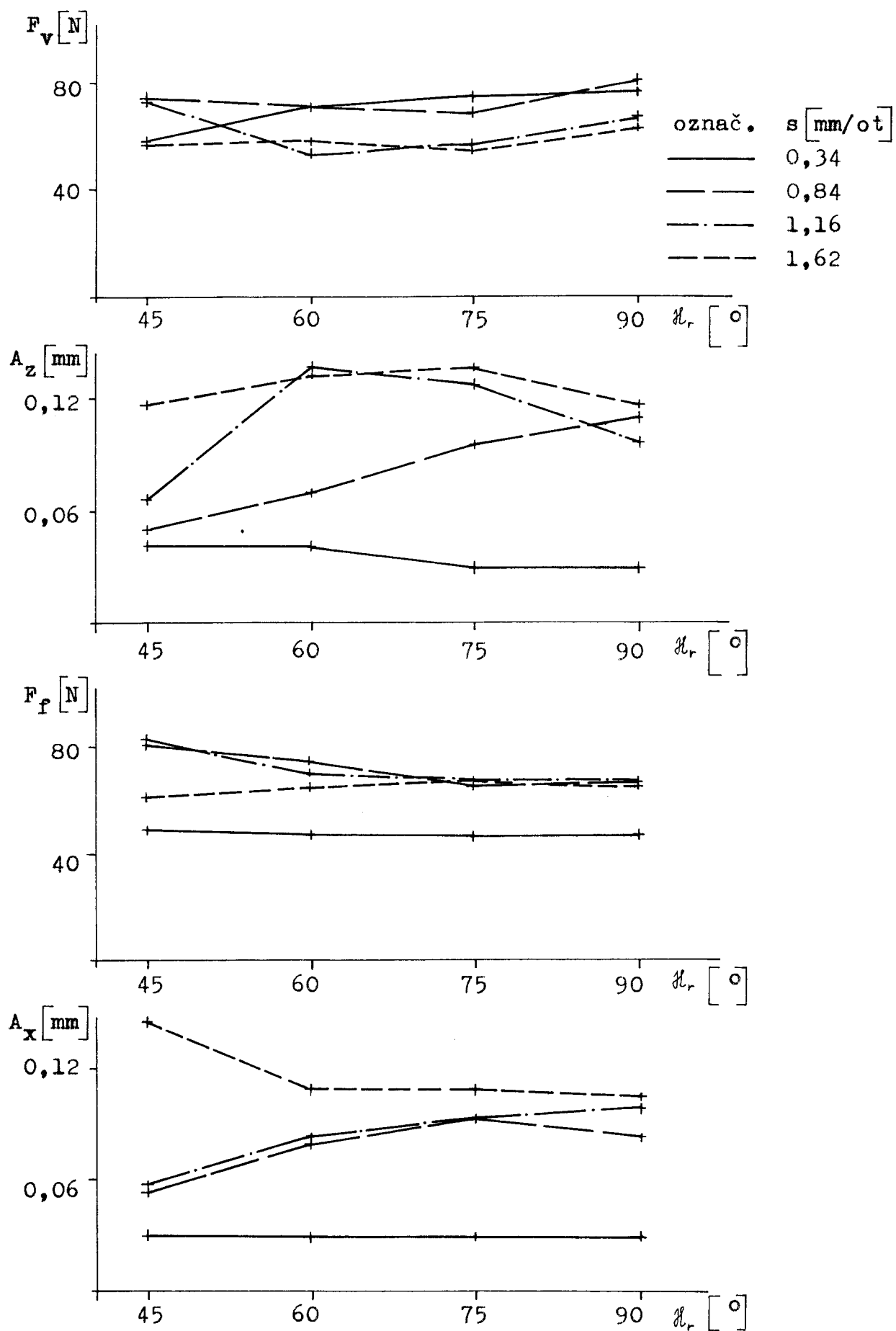




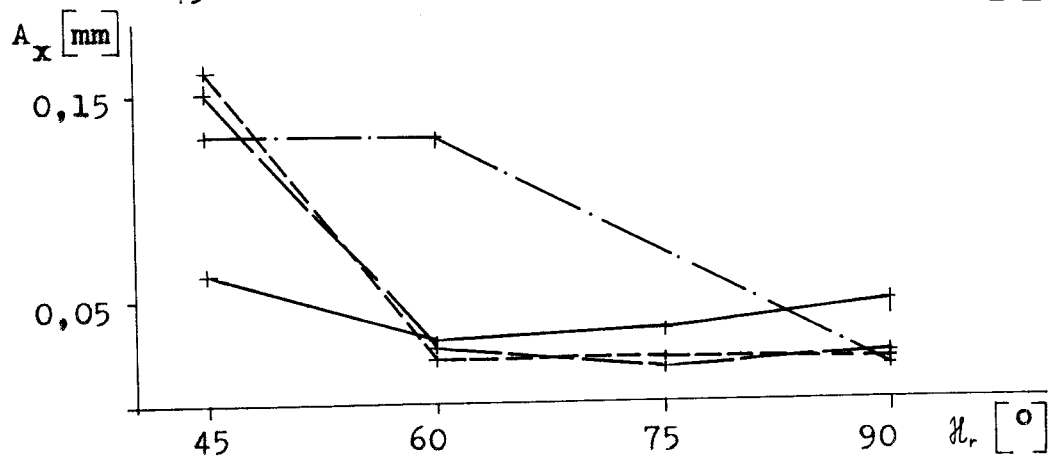
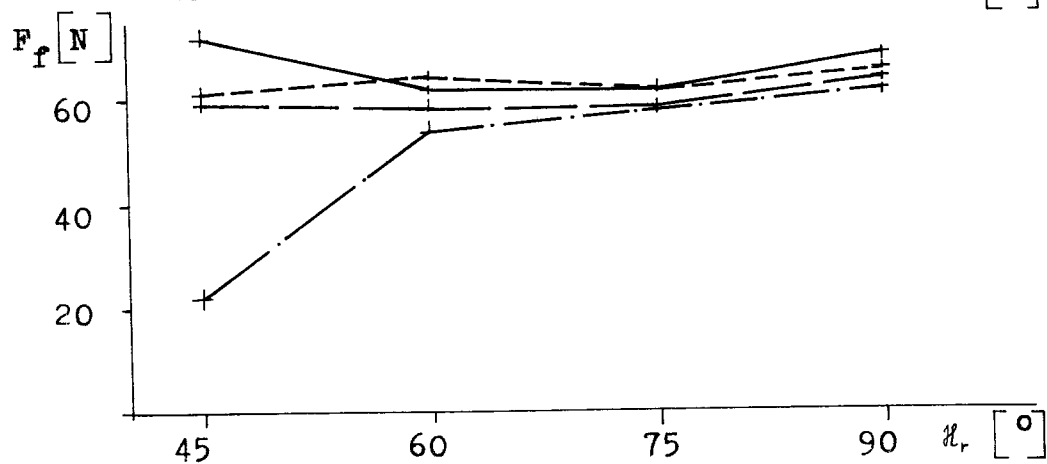
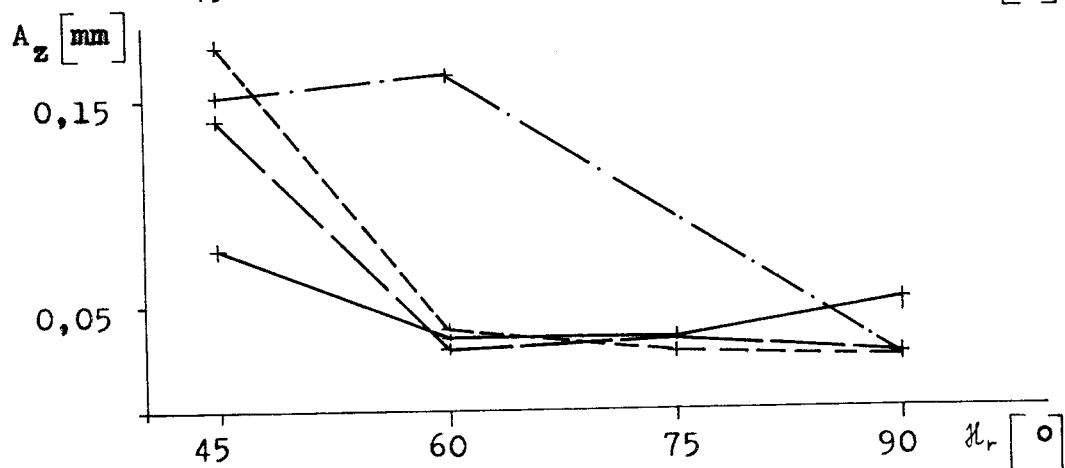
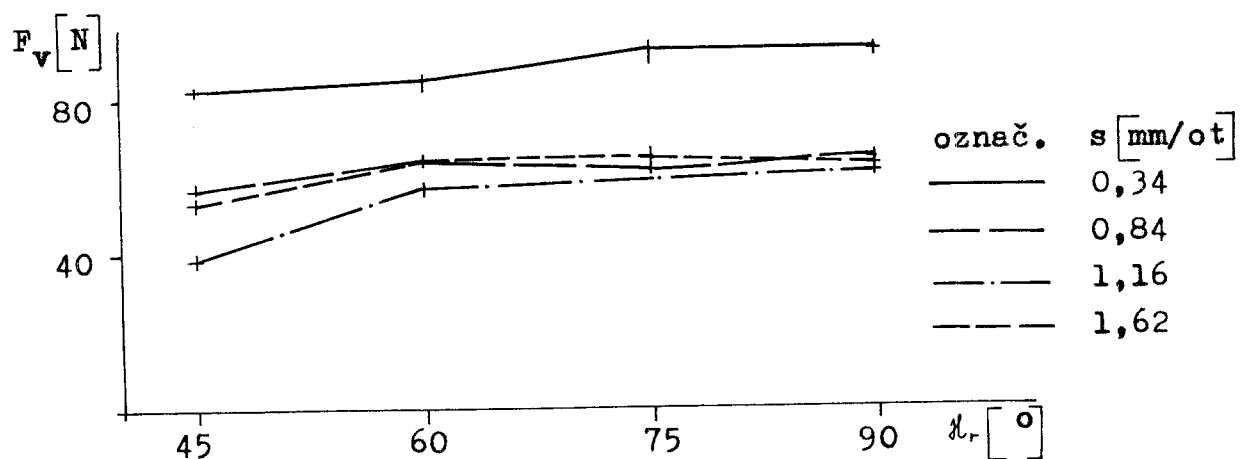


Příloha č. 13 $v=70,4$ m/min , $h=8$ mm , $\lambda=15^\circ$

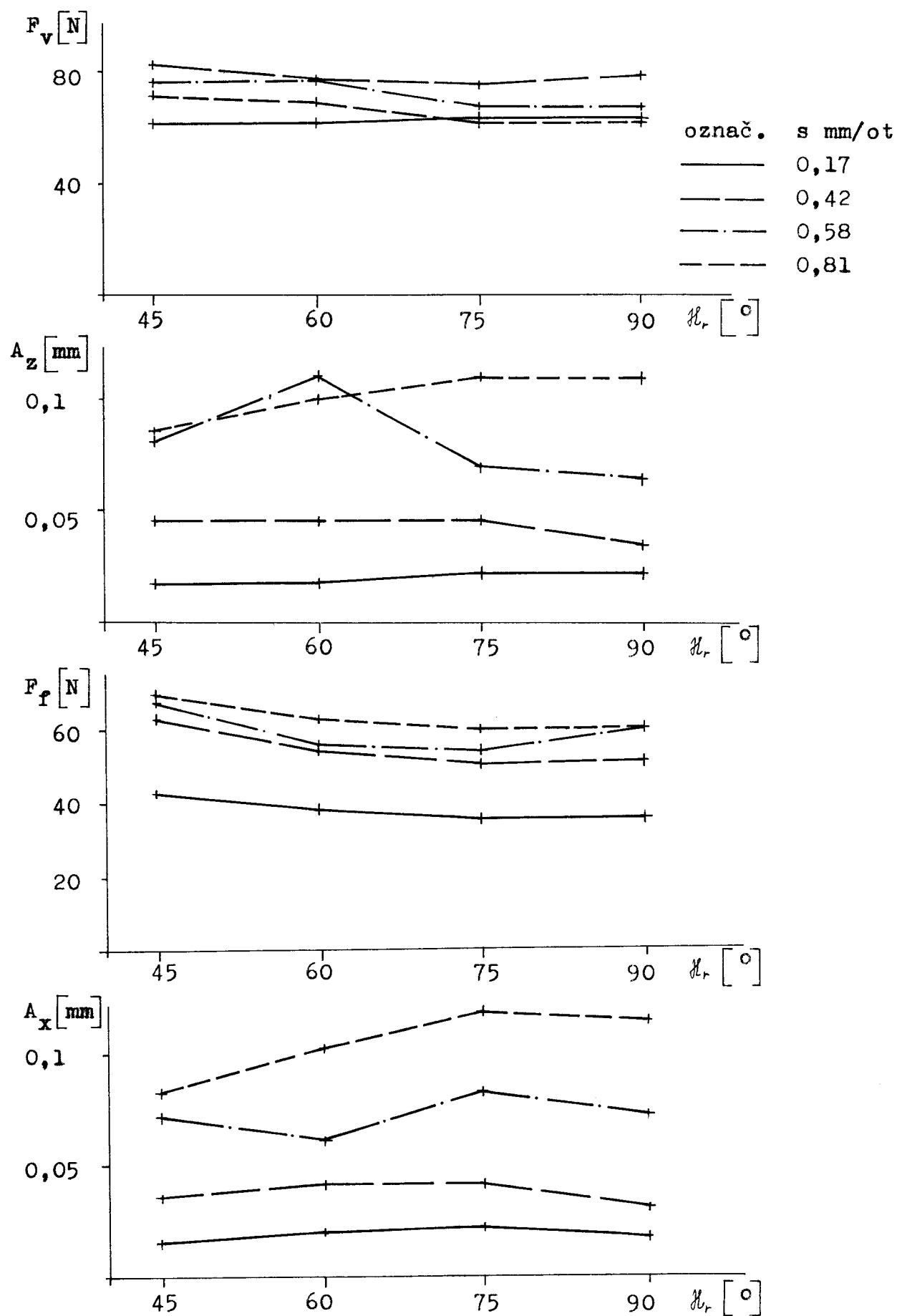


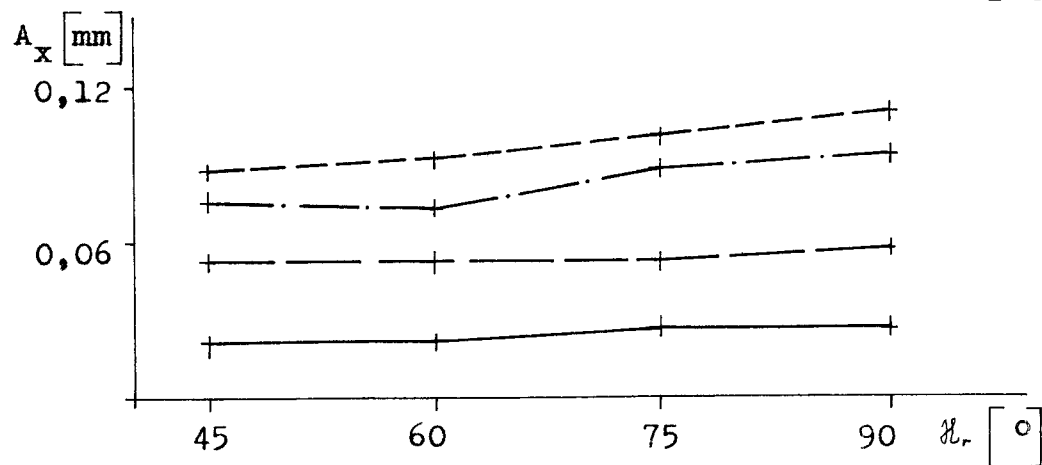
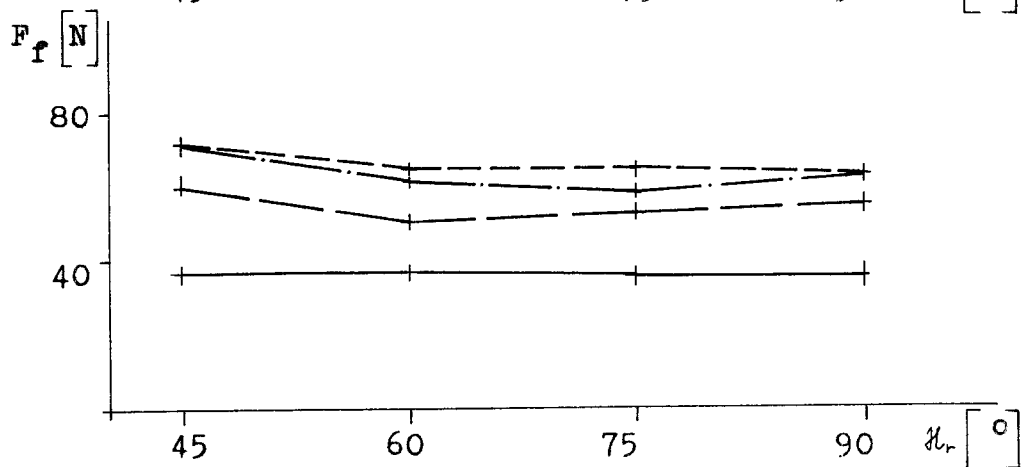
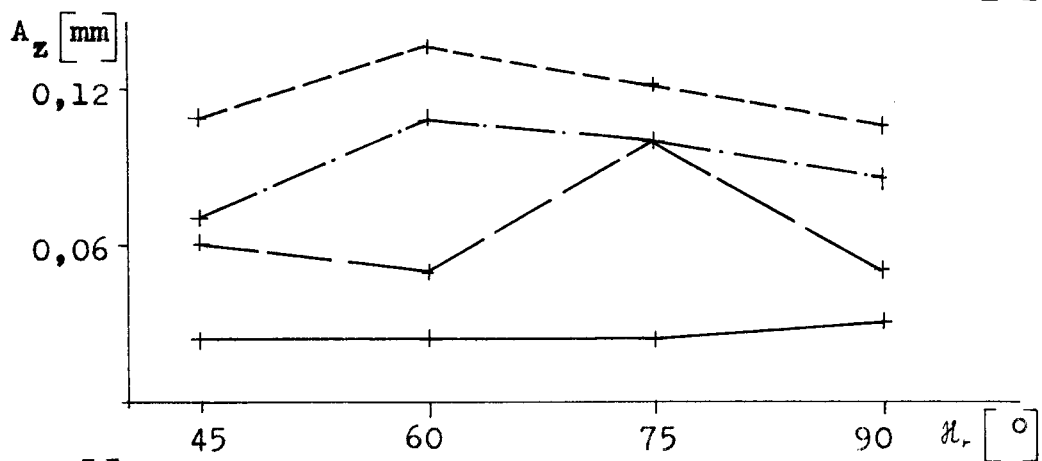
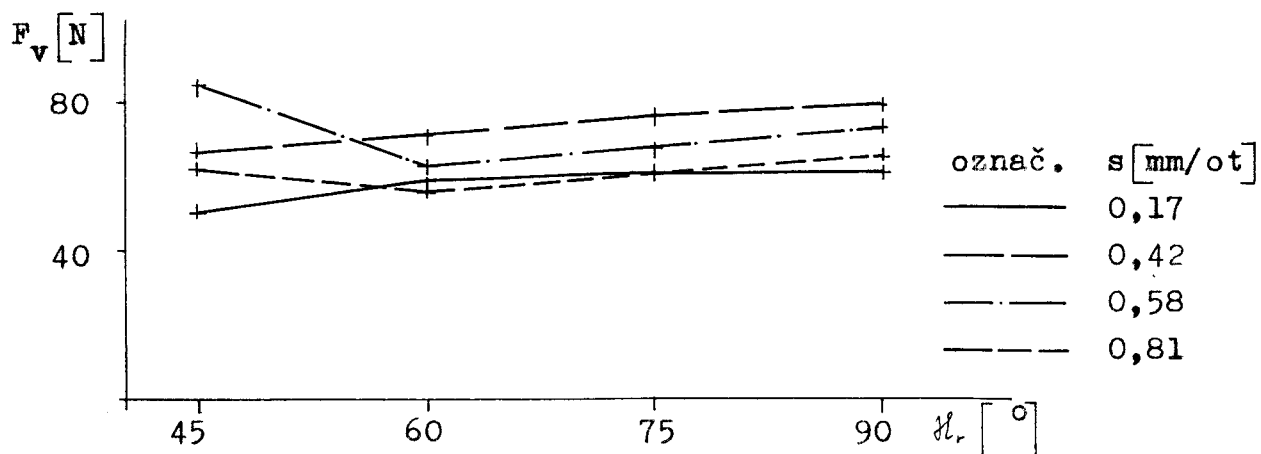


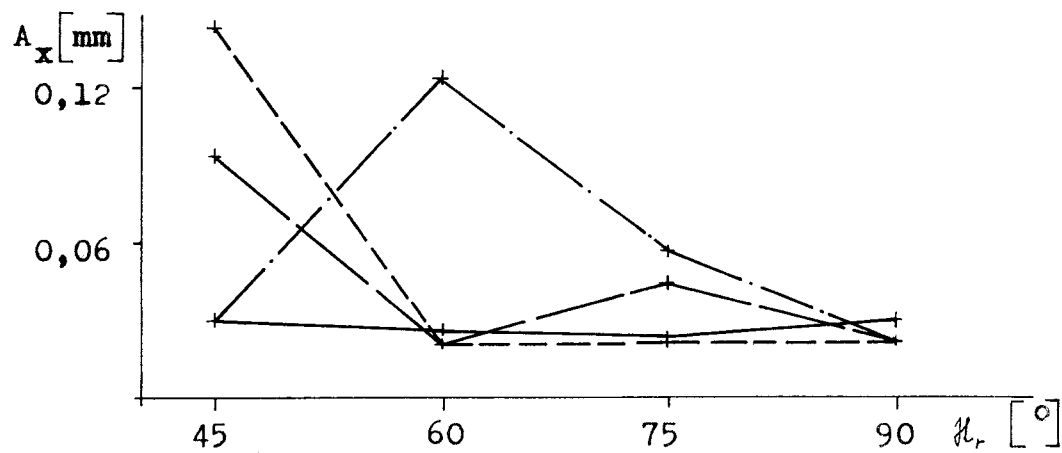
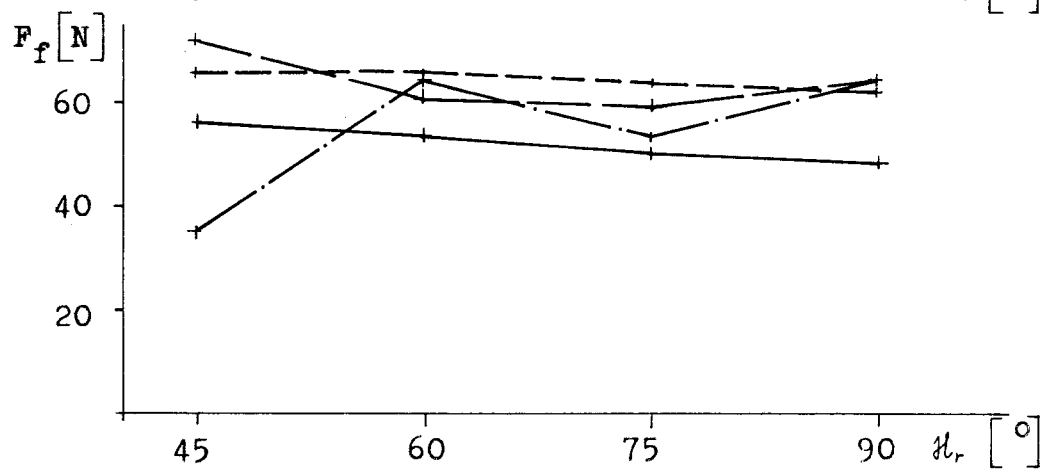
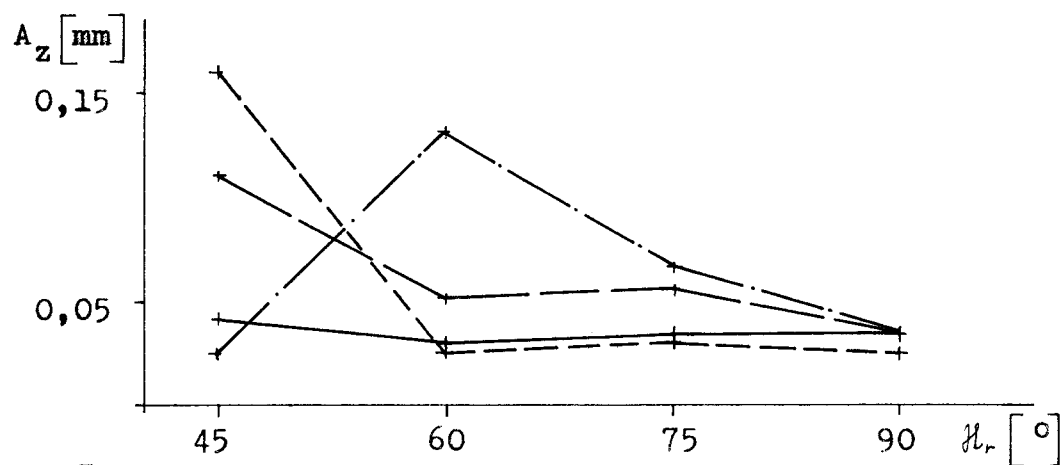
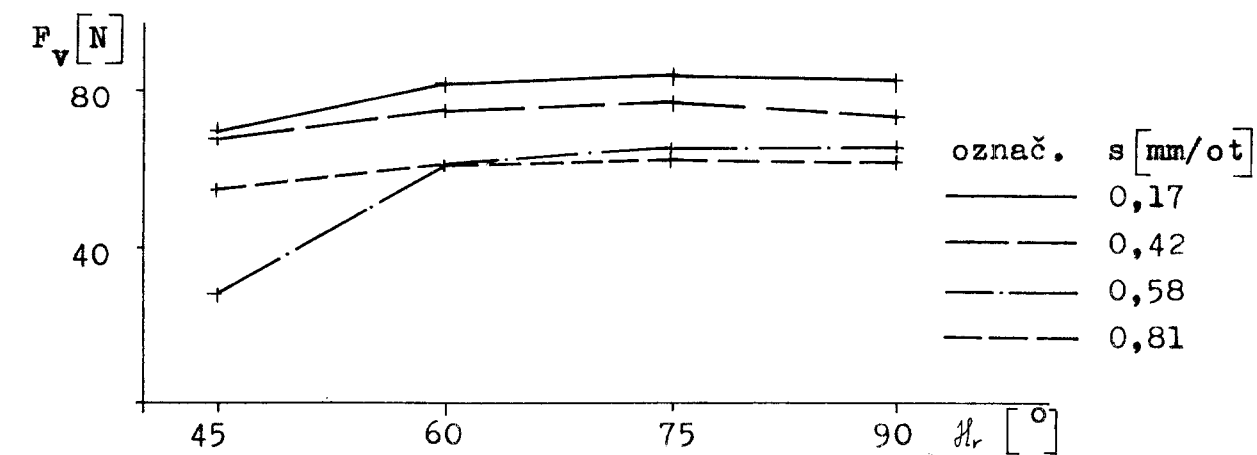
Příloha č. 15 $v=70,4$ m/min , $h=8$ mm , $\varphi_0 = -15^\circ$

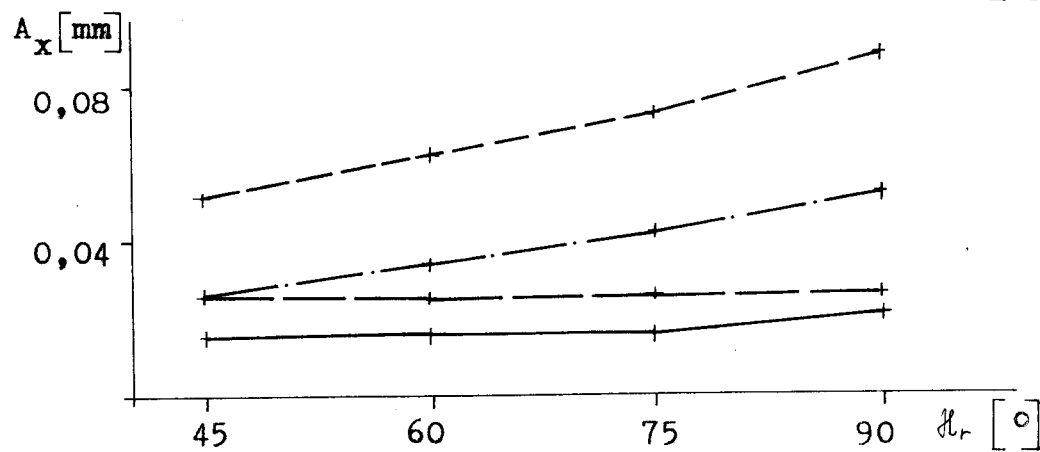
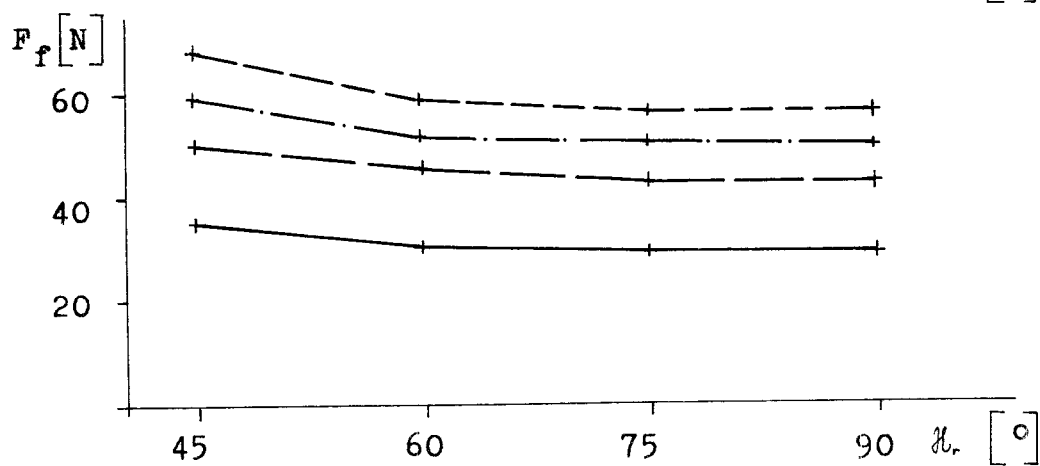
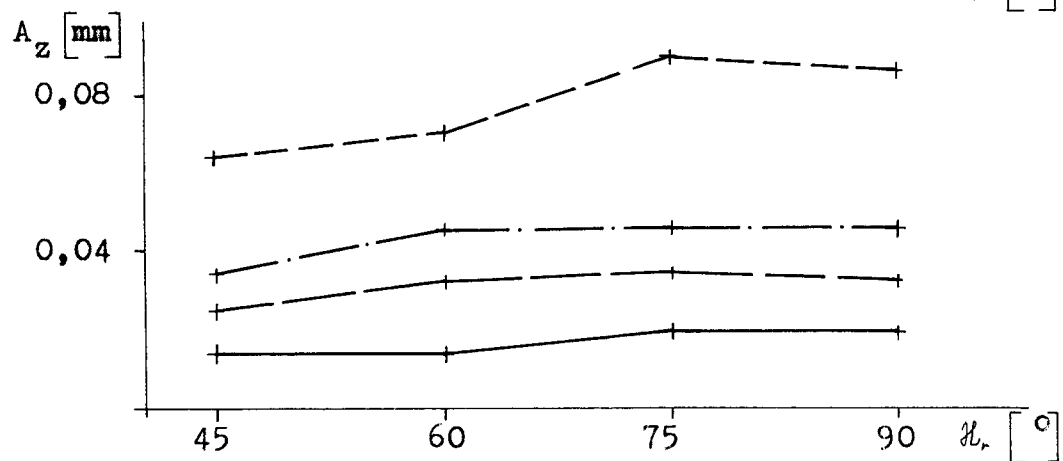
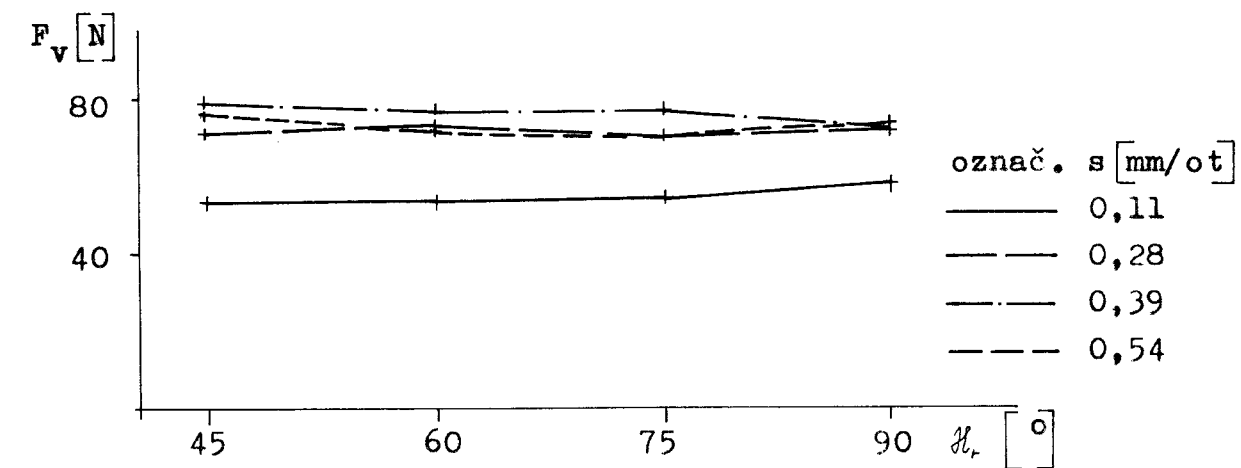


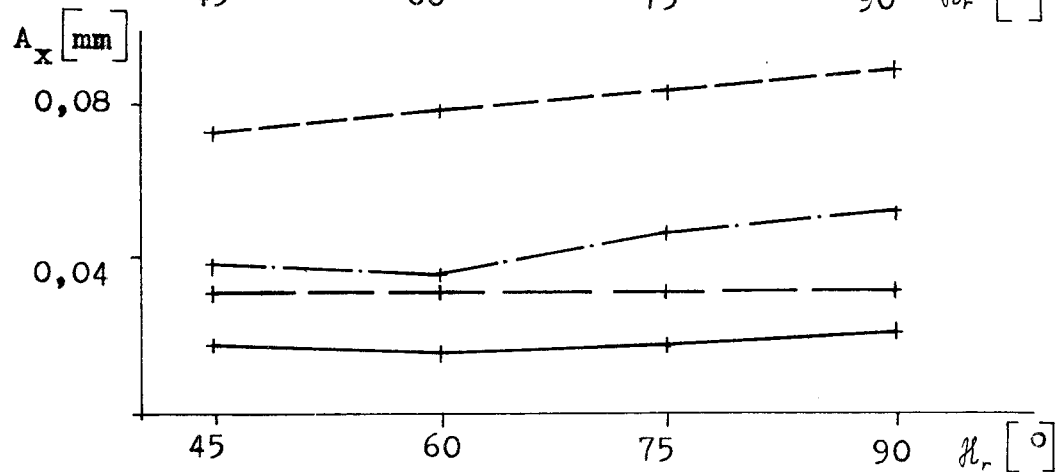
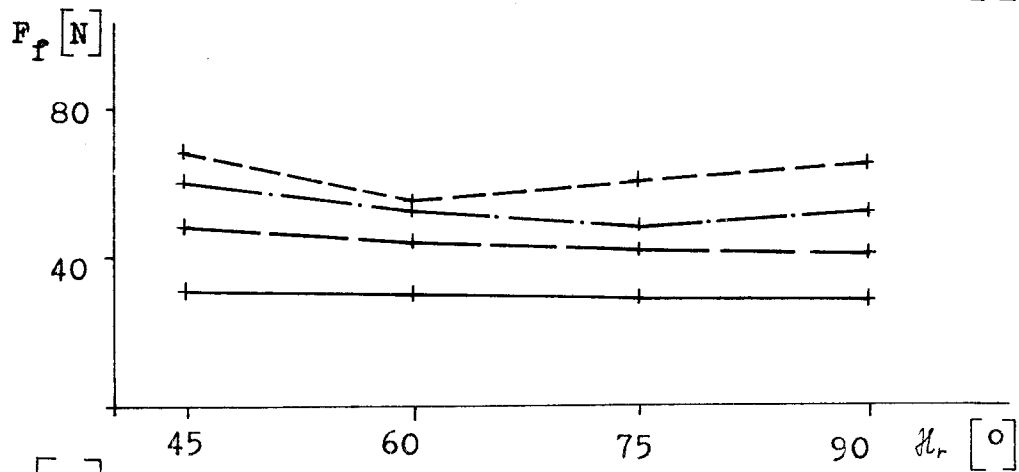
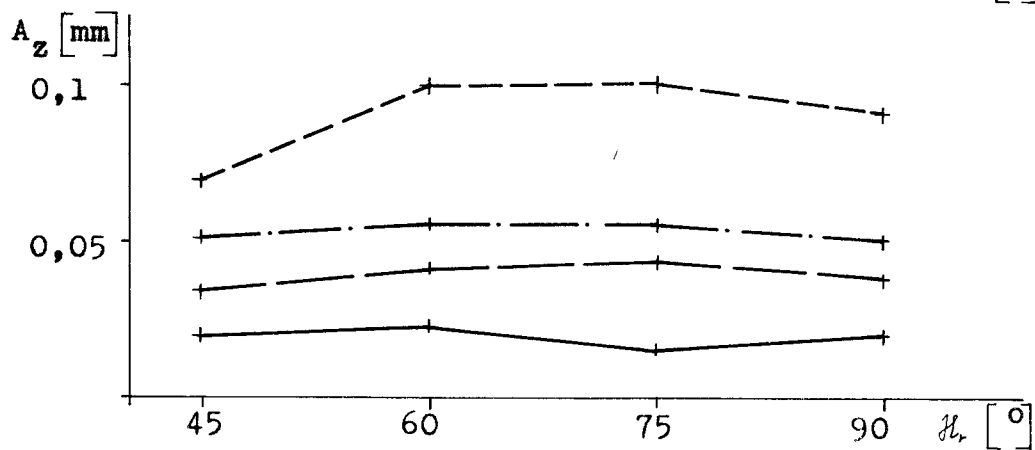
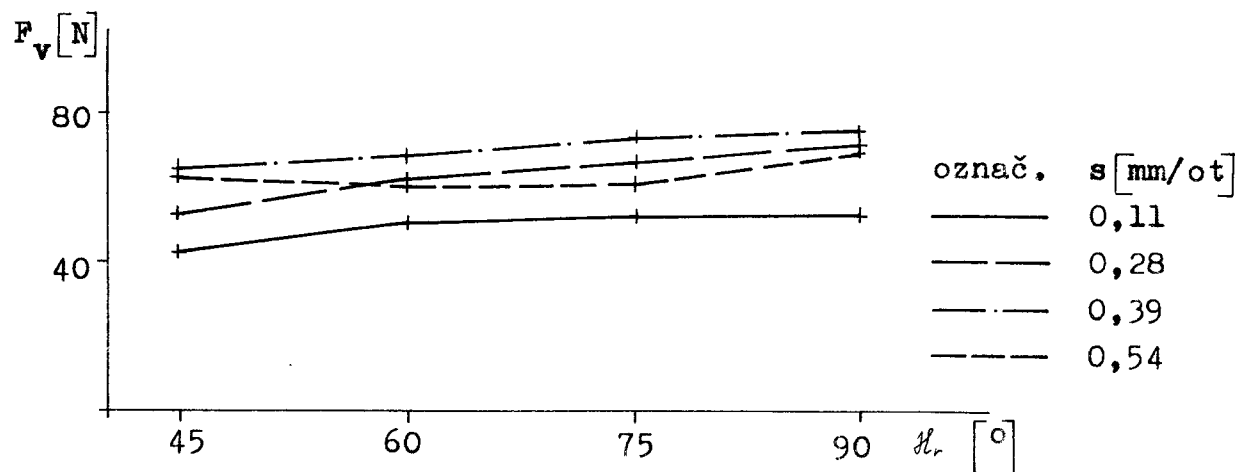
Příloha č. 16 $v=140,7 \text{ m/min}$, $h=8 \text{ mm}$, $\phi_0 = 15^\circ$











Příloha č. 21 $v=211,1 \text{ m/min}$, $h=8 \text{ mm}$, $\varphi = -15^\circ$

