

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1994/1995

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Pavla B L Á H U

obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

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

Název tématu:

Parametry ovlivňující akustickou emisi při obrábění.

Zásady pro vypracování:

1. Průzkum současného stavu řešení problematiky.
2. Metody měření akustické emise, metodika.
3. Zdroje vzniku akustické emise.
4. Výběr dominantních parametrů pro sledování řezného procesu.
5. Sledování rušivých vlivů na akustickou emisi.
6. Vyhodnocení a závěr.

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146065799

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSC 461 17

V84/95 S

KOM/OM
640.197 apul

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

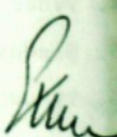
1. Literatura dle výběru z rešerší Katedry obrábění a mont
2. Vlastní rešerše.
3. PŘIKRYL, Z. - MUSÍLKOVÁ, R.: Teorie obrábění. SNTL/ALFA, Praha, 1982.
4. Výzkumné zprávy Katedry obrábění a montáže.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Průšek, CSc.
Konzultant: Ing. Jan Žižka, CSc.

Zadání diplomové práce: 30. 10. 1994
Termín odevzdání diplomové práce: 26. 5. 1995




Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Exner,
Děkan

V Liberci

dne 30. 10. 1994

ANOTACE

Označení DP: 856

Řešitel: Pavel Bláha

PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ AKUSTICKOU EMISI PŘI OBRÁBĚNÍ

Tato diplomová práce se zabývá sledováním vlivů různých činitelů na signál akustické emise. Jsou zde popsány a vyhodnoceny závislosti signálu AE na stavu řezného nástroje, na obráběném materiálu a na řezné rychlosti. Je zde také porovnán signál AE při soustružení, frézování a vrtání a v závěru je též nastíněn další možný směr studia využití AE.

Klíčová slova: Akustická emise, tvorba třísky, obrábění, zdroje AE, parazitní vlivy

Desetinné třídění: DT 621.9

Zpracovatel: TU Liberec - KOM

Dokončeno: 1995

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 64

Počet příloh: 97

Počet obrázků: 16

Počet tabulek: 35

Počet grafů: 120

Místopřisežné prohlášení:

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

V Liberci 26.5.1995

..... Pavel Bláha

Obsah

	strana
1. Úvod	8
1.1. Základní pojmy	9
2.1. Vznik signálu AE	10
2.2. Tvorba, šíření a detekce ES	13
2.3. Snímače AE	13
2.3.1. Princip piezoelektrického snímače	15
2.4. Emisní přenos signálu	15
3. Zdroje AE	16
3.1. Tvorba třísky a její doprovodné jevy	17
3.1.1. Plastická deformace	18
3.1.1.1. Plastická deformace monokrystalů	18
3.1.2. Vznik a rozvoj porušení, lom	20
3.1.2.1. Druhy lomů	20
3.1.2.2. Nukleace a rozvoj porušení	21
3.2. Vnější tření	21
3.2.1. Teorie tření	22
3.2.2. Tření při obrábění	23
3.3. Fázové přeměny	23
4. Rušivé vlivy	24
4.1. Vliv nízkofrekvenčních hluků	24
4.2. Vliv umístění a připevnění snímače	25
4.3. Vliv řezných podmínek	25
4.4. Vliv obráběného a řezného materiálu	26
4.5. Vliv geometrie řezného nástroje	26
4.6. Opotřebení ŘN	27
4.6.1. Vlivy na opotřebení ŘN	27
4.6.2. Vliv opotřebení na signál AE	30
4.7. Vliv vzdálenosti snímače od zdroje	31
4.8. Vliv nárůstu	32
5. Metodika sledování signálu AE a jeho vyhodnocení	33
5.1. Použité experimentální zařízení	33
5.1.1. Analyzátor akustické emise AE 256 L	33

5.1.2.	Použité snímače	34
5.2.	Ovládání aparatury	34
5.3.	Vyhodnocení signálu AE	35
6.	Experimentální část	38
6.1.	Upevnění snímače	38
6.2.	Experimenty při soustružení	39
6.2.1.	Obráběné materiály	40
6.2.2.	Vliv přitlačné síly na snímač	41
6.2.3.	Porovnání jednotlivých snímačů	42
6.2.4.	Vliv zesílení	43
6.2.5.	Sledování signálu AE při kontinuálních zkouškách	43
6.2.6.	Vliv řezné rychlosti	43
6.2.7.	Společné měření AE a řezných sil	45
6.3.	Experimenty provedené při vrtání	45
6.3.1.	Použité materiály obrobků	45
6.3.2.	Vliv vzdálenosti sondy od zdroje AE	46
6.3.3.	Vliv chlazení při vrtání	46
6.3.4.	Vliv otupení břitu	46
6.3.5.	Porovnání signálu AE u vrtání s konst. posuv. silou a s konst. posuvem	46
6.4.	Experimenty provedené při frézování	47
6.4.1.	Obráběné materiály	48
6.4.2.	Sledování vlivu polohy sondy na signál AE	48
6.4.3.	Vliv vzdálenosti sondy od snímače	49
6.4.4.	Sledování signálu při přerušovaném řezu	49
6.5.	Sledování signálu AE při vzniku trhliny	50
6.5.1.	Zkouška plechů hloubením podle Erichsena	50
6.5.2.	Zkouška plechů vypínáním na lisu	50
6.6.	Sledování signálu AE při tření	52
6.6.1.	Vliv rychlosti pohybu při tření	52
6.6.2.	Vliv zatížení na signál AE při tření	53
7.	Vyhodnocení provedených experimentů	54
8.	Shrnutí výsledků	59
9.	Závěr	61
	Seznam použité literatury	62

Seznam použitých zkratek a symbolů

- AE - akustická emise
BOS - bezobslužný obráběcí stroj
ES - emisní signál
EU - emisní událost
F_c - hlavní složka řezné síly [N]
F_f - posuvová složka řezné síly [N]
F_p - přírůstková složka řezné síly [N]
h - hloubka řezu [mm]
KT - hloubka výmolu na čele [mm]
n - otáčky [1 /min]
N_{c1} - absolutní součet překmitů za 1 sekundu
N_{ck} - absolutní součet překmitů za 1 krok
(1 krok = 0.0549 s)
N_{cM} - absolutní součet překmitů pro modus
PVS - pružný výrobní systém
ŘN - řezný nástroj
s - posuv [mm/ot]
t - čas [s]
VB - výška opotřebení na hřbetě nástroje [mm]
VC - výška opotřebení na špičce ŘN [mm]
v_c - hlavní složka řezné rychlosti [m/min]
 α_o - nástrojový ortogonální úhel hřbetu
 γ_o - nástrojový ortogonální úhel čela
 λ_s - nástrojový úhel sklonu ostří
 α_r - úhel nastavení hlavního ostří

1.Úvod

Strojírenství je základní obor, který má a v budoucnosti bude vždy mít důležitou úlohu v hospodářství nejen v naší republice, ale i v celosvětovém měřítku. Ve strojírenství dochází k uplatňování nových materiálů a nových technologií. Jednou z řady technologií, která má významné místo ve strojírenství je obrábění. Základní předpoklad rozvoje progresivních technologických pracovišť obrábění (pružných výrobních systémů) ve strojírenských podnicích spočívá v odstranění namáhavé a monotonní lidské práce, ve zvýšení kvality a produktivity práce. Tyto požadavky na PVS vedou k zavádění bezobslužných obráběcích strojů (BOS) do výroby. U BOS je však nutné zajistit sledování řezného procesu v reálném čase bez účasti člověka.

Z komplexního pohledu na proces obrábění je nejvhodnější kontrola několika parametrů současně, což je nákladné a náročné. Proto je snaha nalézt takový parametr, který by charakterizoval fyzikální základ obrábění, tj. oddělování třísky z obrobku břitem nástroje. Velmi perspektivní se jeví sledování řezného procesu metodou AE. AE je definovaná jako elastické vlnění, které je důsledkem náhlého uvolnění energie v materiálu. Vznik signálu AE je podmíněn samotným procesem obrábění a pomocí signálu AE lze sledovat deformační procesy probíhající v oblasti vzniku třísky.

Sledování řezného procesu metodou AE může zajistit značné úspory na ŘN, včasnou signalizací opotřebení umožní výměnu nástroje před jeho katastrofickým opotřebením, čímž se sníží náklady na jeho přeostření. Současně se snižují neproduktivní časy, neboť nástroj je vyměněn až po dosažení přípustné míry opotřebení. V neposlední řadě se odstraní riziko poškození obrobku katastroficky opotřebeným nástrojem.

1.1. Základní pojmy [1]

Akustická emise	elastické vlnění, které je důsledkem uvolnění energie v materiálu
Emisní signál	signál získaný detekcí AE
Emisní událost	diskrétní materiálová změna způsobující AE, jejíž signál je tvořen jedním nebo několika kmity
Emisní kmit	průběh emisního signálu v jedné periodě frekvence, která má z celého frekvenčního spektra maximální amplitudu
Emisní překmit	část emisního kmitu, která překročí nastavenou prahovou úroveň
Nespojitá emise	akustická emise, jejíž signál má charakter výrazně časově oddělených impulsů
Spojitá emise	akustická emise, jejíž signály nejsou v čase výrazně odděleny
Emisní zdroj	lokální proces, při kterém dochází v materiálu k AE
Stimulace	jakékoli působení na materiál, které může vést k aktivaci emisních zdrojů
Rušivý signál	každý signál, který zhoršuje podmínky pro detekci užitečných signálů AE

2.1. Vznik signálu AE [2],[3]

Pod pojmem AE rozumíme vznik tlakové vlny, která je vytvářena v důsledku uvolnění energie při dynamických procesech v látkách.

To vede k představě, že amplitudové a frekvenční charakteristiky signálu AE dávají informaci o procesu obrábění, zejména o stavu ŘN, obrobiteľnosti materiálu a dalších jevech, souvisejících s tvorbou třísky a třením mezi odcházející třískou a břitem nástroje.

Zvuky a tlakové vlny, vzniklé v objektech, jsou označovány jako emise tlakových vln, akustické vyzařování, praskot, mikroseismická aktivita, AE a pod. Termín AE byl přijat jako popis zvukových nebo tlakových vln nízké úrovně. V posledním období byla věnována pozornost především ultrazvukové části spektra. V tuhých látkách vzniká AE zatížením krátce před tím, než se projeví makroskopické nevratné změny. AE v tuhých látkách může být vyvolána:

- změnami fáze
- posuvem dislokací
- vznikem trhlin
- třením

AE vzniká při fázových změnách materiálu. Úroveň signálu je úměrná rychlosti změny teploty a dosahuje poměrně vysoké hodnoty.

Vznik AE posuvem dislokací je vyvolán mechanickým napětím a je obvykle dokládán Frenkelovým modelem. Pomocí teorie dislokací se dá vysvětlit i plastická deformace kovů.

Překročením meze pevnosti dojde v materiálu ke vzniku trhliny. Vznik trhliny a její rozšiřování se děje skokově. Trhlinou je narušen rovnovážný stav materiálu, přičemž je vytvářena tlaková vlna se strmým náběhem o poměrně vysoké úrovni signálu.

Při tření na styku dvou těles vzniká také AE. V tomto případě je generován spojitý signál.

Mezi běžně používané metody měření AE patří:

- a) Emisní překmit a časová četnost emisních překmitů - záznam amplitudy signálu, který překračuje dané prahové napětí.
- b) Analýza roztřídění amplitud - určení množství signálu, jehož amplituda spadá do předem definované oblasti.
- c) Frekvenční spektrum - ukazuje podíl každé složky frekvence k celkové hodnotě.
- d) Autokorelační funkce - zahrnuje porovnávání vlnové formy signálu $f(t)$ s opožděnou verzí toho samého signálu (vlnové délky) $f(t+T)$.
- e) RMS hodnota signálu - měřítko signálové intenzity.

Nejjednodušší metodou je sčítání počtu překmitů přes nastavitelnou prahovou úroveň (viz bod a). Při překmitnutí čítač tento impuls započítá.

Z fyzikálního hlediska je vznik AE určován jako okamžitý vnější projev nastupující materiálové deformace.

Z toho vyplývá, že defekt hraje při AE mnohem důležitější úlohu než při ostatních nedestruktivních metodách. Pokud je ale defekt v procesu obrábění konstantní, není zdrojem AE.

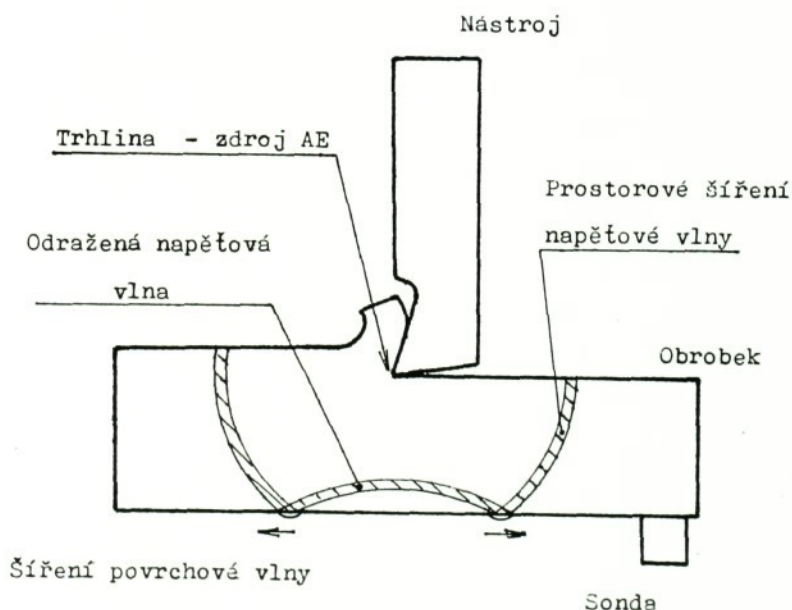
Při procesu obrábění dochází vlivem zatěžování odřezávané vrstvy řezným nástrojem k pružné i plastické deformaci obráběného materiálu. Se zvětšováním deformace při překročení meze pevnosti dojde k porušení soudržnosti. V místech vysokých deformačních rychlostí a velkých napětí dochází ke vzniku trhlin. V procesu obrábění tyto trhliny vznikají převážně u ostří řezného nástroje [4].

V důsledku uvolnění energie uvnitř materiálu jsou emitovány napěťové vlny, které se šíří tělesem od místa zdroje k volnému povrchu. Při průchodu napěťové vlny materiálem je

část uvolněné energie přeměněna na teplo, část vyvolá na povrchu materiálu povrchovou Rayleighovu vlnu a zbytek energie se vrací do materiálu prostřednictvím odražené vlny. Povrchová vlna je vhodným snímačem zachycována a přeměňována na elektrický signál.

Mezi hlavní parametry signálu AE patří:

- velikost signálu AE
- amplitudové rozdělení signálu



Obr.č.1: Schéma tvorby, šíření a detekce emisního signálu

2.2. Tvorba, šíření a detekce ES [5]

Stimulací zdroje AE dochází k uvolnění elastických vln, což se na povrchu tělesa projeví jako povrchové vlny. Tyto povrchové vlny jsou snímány snímačem umístěným na povrchu tělesa. Snímač převádí zachycenou povrchovou vlnu na elektrický signál, který je dále registrován a zpracováván. Složité transformace původního napětového impulsu na elektrický signál zatím prakticky znemožňují přímou identifikaci mechanismů emisních zdrojů v reálných tělesech.

2.3. Snímače AE

Snímače se umísťují na povrch nebo do vnitřní části sledovaného tělesa. Je nutné počítat s tím, že místo snímání výrazně ovlivní původní signál. To znamená, že při umístění snímače na povrchu budeme snímat především povrchové (Rayleighovy) vlny.

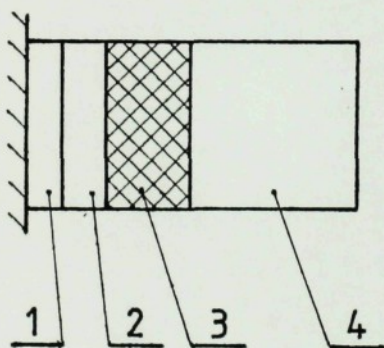
Pro měření je možné použít tyto typy snímačů:

1. Odporové
2. Indukční
3. Kapacitní
4. Magnetické
5. Piezoelektrické
6. Optoelektronické

V současné době jsou nejvíce používány snímače kapacitní a piezoelektrické. Kapacitní snímače se vyznačují jednoduchou konstrukcí a linearitou. Jejich nevýhodou je však poměrně malá citlivost, a proto se využívají pouze v laboratorních podmínkách [6],[7].

Piezoelektrické snímače představují prozatím nejlepší řešení. Jejich výhodou je poměrně malá hmotnost, vysoká citlivost a možnost realizovat je jako širokopásmové nebo úzkopásmové (rezonanční).

Základem piezoelektrických snímačů je výbrus ve tvaru destičky z piezokeramického materiálu [8]. Vlastnosti této destičky jsou vhodné pro elektroakustické měniče. Nejčastěji se používá titaničitán barnatý. Výhodou piezoelektrických snímačů je hlavně vysoká citlivost, nevýhodou pak užší teplotní rozsah [9]. Na výstupu se piezoelektrický snímač chová jako kondenzátor, jehož náboj odpovídá mechanickému namáhání piezokeramické destičky ve snímači. Elektrické napětí se měří elektronickým systémem.



Obr. č. 2 : Schéma piezoelektrického snímače

1. kontakt snímače s měřeným místem
2. ochranná vrstva snímače
3. výbrus z piezokeramického materiálu
4. tlumič

2.3.1. Princip piezoelektrického snímače

Výbrus ve tvaru destičky 3 z piezokeramického materiálu je na jedné straně opatřen tlumičem 4, na druhé straně je spojen s ochrannou vrstvou 2. Tato ochranná vrstva chrání vlastní čidlo (výbrus) před jeho mechanickým poškozením a zároveň zajišťuje co nejlepší přívod akustického signálu. Tlumič má za úkol zabránit nežádoucím zákmitům vlastního čidla 3. Při měření je třeba zajistit dobrý akustický kontakt 1 mezi snímačem a měřeným místem. K tomu se využívají materiály s malým útlumem akustického signálu (olej, vazelína apod.). Snímač ve většině případů snímá povrchové (Rayleighovy) vlny.

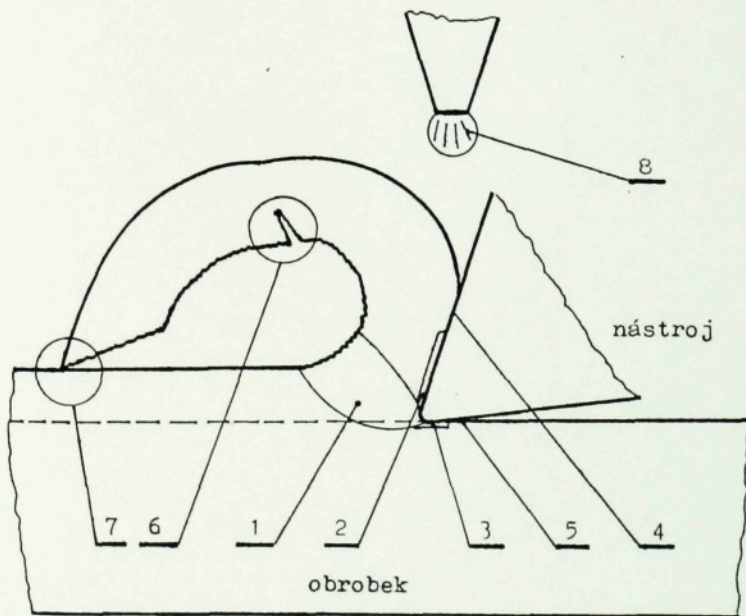
2.4. Emisní přenos signálu [5]

Zdroj AE uvnitř materiálu sledovaného obrobku se chová jako vysílací anténa a má svůj charakteristický vyzařovací diagram pro různé typy elastických vln (smykové, podélné, povrchové). Emisní vlny se šíří od zdroje určitou rychlostí, danou přenosovým prostředím. Ve svém základním tvaru jsou vlny sinusoidní povahy. Vlivem strukturních vad, mnohonásobných odrazů, vzájemného působení při interakci a při změnách prostředí podél dráhy šíření, podléhají emisní vlny značným změnám. Všechny tyto faktory výrazně ovlivňují tvar vln a způsobují změny ve fázi, zmenšování amplitudy a interferenci vln (vlivem četných odrazů) do okamžiku, kdy konečný tvar vln je popsán už jen jako náhodný, nikoli sinusoidní. To představuje při vyhodnocování signálu poněkud složitý úkol. Proto se často při analýze AE používají statistické metody.

3. Zdroje AE [10]

Při vlastním průběhu obráběcího procesu jsou zdroje signálu AE tyto:

1. oblast primární plastické deformace
2. oblast sekundární plastické deformace
3. oblast terciální plastické deformace
4. tření třísky na čele nástroje
5. tření hřbetu ŘN o obrobenou plochu
6. lámání třísky
7. tření třísky o materiál
8. použití řezné kapaliny



Obr. č. 3: Zdroje signálu AE při obrábění

Z těchto uvedených zdrojů jsou nejpodstatnější zdroje, které se vytvářejí při vzniku a šíření trhliny, tedy zdroje mající impulzní charakter. Intenzita emise, která vzniká ostatními zdroji, je podstatně menší. Trhliny vznikají v oblasti vysoké deformační rychlosti a velkých tahových napětí. Při obrábění se tyto trhliny objevují zpravidla v blízkosti ostří RN.

Intenzita signálu AE může být konstantní, nebo rostoucí. Při zatížení namáhaného materiálu aktivita zdrojů AE roste teprve od hodnoty předcházejícího zatížení, při odlehčení aktivita zdrojů AE mizí (viz Kaiserův efekt).

3.1. Tvorba třísky a její doprovodné jevy [11]

Výzkum tvorby třísky má velký význam při zkoumání všech základních problémů a jevů procesu řezání, tj. řezných sil, tepelných jevů, obrobitelnosti materiálu, opotřebení řezného nástroje atd. S tvorbou třísky je také spojen stav a jakost povrchové vrstvy obráběné plochy.

Proces tvorby třísky je předmětem výzkumu již dlouhou dobu. Přesto, že teorie tvorby třísky formulované již dříve jsou v současnosti značně přepracované a doplněné novými poznatky, nelze je stále považovat za definitivní. Při tvorbě třísky nelze např. považovat vlastnosti obráběného a řezného materiálu za konstantní, protože tyto vlastnosti jsou ovlivňovány vznikajícími napětími, deformacemi a teplotou.

Při tvorbě třísky jsou nejdůležitější otázky deformace a tření. Deformace, která doprovází proces obrábění, je z části pružná a z části plastická. Pružná deformace zasahuje celý objem obrobku, plastická deformace je jen místní a vyskytuje se jen v poměrně malých objemech materiálu v místech největších napětí. Při výzkumu tvorby třísky je rozhodující oblast plastické deformace, v níž při procesu řezání dochází k zatěžování materiálu a ke vzniku trhlín, které jsou jedním ze základních zdrojů AE.

Při řezání vzniká vždy mezi třískou a čelem nástroje a také mezi obráběným materiálem a hřbetem nástroje značné tření, které má podstatný vliv na celý proces řezání a na parametry akustického signálu.

3.1.1. Plastická deformace [12]

Při zatěžování krystalické mřížky vnější silou dochází ke změně meziatomových vzdáleností. Jestliže zatížení překročí mez platnosti Hookova zákona, vzdálenost mezi atomy přesáhne hodnotu odpovídající maximu přitažlivé síly a nastane trvalá (plastická) deformace mřížky.

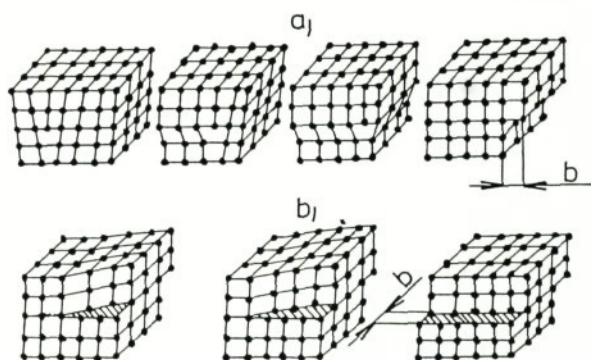
Plastická deformace kovů je podstatou většiny technologických procesů. Tuto deformaci lze sledovat na pravidelných útvarech - monokrystalech. Zákonitosti stanovené pro plastickou deformaci monokrystalů lze použít pro objasnění podstaty plastické deformace polykrystalických látek, tzn. i technických kovů a slitin.

3.1.1.1. Plastická deformace monokrystalů

Monokrystal je pravidelný krystalický útvar, ve kterém jsou všechny elementární mřížky orientovány stejně. Monokrystaly jsou anizotropní, tzn. že jejich fyzikální a mechanické vlastnosti se v různých směrech výrazně liší.

Experimentálním studiem plastických deformací monokrystalů bylo zjištěno, že k plastické deformaci může dojít těmito způsoby:

1. skluzem
2. dvojčatěním
3. tečením



Obr. č. 4: Pohyb dislokací kluzem

- a) hranová dislokace
- b) šroubová dislokace

V reálných monokrystalech se mohou vyskytovat určité poruchy v krystalové mřížce. Tyto poruchy mají značný vliv na plastickou deformaci monokrystalu. Největší význam mají poruchy čarové, které se nazývají dislokace. Dislokace jsou poruchy, při nichž jsou celé atomy (ionty nebo molekuly) vysunuty ze svých pravidelných poloh v mřížce. Rozlišujeme dva základní typy dislokací: dislokace hranové a dislokace šroubové. K významným vlastnostem dislokací patří jejich schopnost pohybovat se krystalickou mřížkou. Hranové i šroubové dislokace se mohou pohybovat především skluzem ve skluzové rovině, překročí-li skluzové napětí určitou mezní hodnotu, dislokace vystoupí po určité dráze na povrch monokrystalu, kde zaniknou. Při výstupu dislokace na povrch monokrystalu by měl vzniknout stupeň, jehož velikost by odpovídala velikosti Burgersova vektoru. Pozorování povrchu plasticky deformovaného monokrystalu však ukazuje, že

skluzové stupně mají větší výšku, než je velikost Burgersova vektoru. Z toho vyplývá, že rovinou skluzu postupuje velké množství dislokací za sebou. Jejich výstupem na povrch monokrystalu vzniká viditelná deformace. Protože však nelze v monokrystalu pozorovat hromadný výskyt dislokací, je třeba předpokládat, že v průběhu deformace dochází ke vzniku dislokací [12].

3.1.2. Vznik a rozvoj porušení, lom [12]

3.1.2.1. Druhy lomů

Vznik lomu vyžaduje porušení meziatomových vazeb a oddělení dvou částí materiálu. To je u monokrystalu možné buď usmyknutím skluzovým mechanismem při působení smykového napětí, nebo štěpením, tzn. odtržením v určité krystalové rovině vlivem normálního napětí. Lom skluzovým mechanismem má většinou známky plastické deformace, vyžaduje větší energii a označuje se jako houževnatý (tvárný). Lom štěpením nenese známky plastické deformace, vyžaduje menší energii a nazývá se křehký.

V polykrystalickém kovu je vzhledem k různé orientaci zrn a k přítomnosti hranic zrn situace složitější. K šíření lomu zrny (transkrystalický lom) přistupuje ještě lom po hranicích zrn (interkrystalický lom). Tento interkrystalický lom se uplatňuje při oslabení pevnosti zrn, zvýšení křehkosti segregací nečistot nebo vyloučenými částicemi dalších fází na hranicích zrn. Typický houževnatý lom probíhá přes zrna. Lomová plocha bývá zhruba rovinná, kolmá k působící síle, případně sleduje směr největších smykových napětí. Na povrchu se vyskytuje charakteristická jamková morfologie. Jamky rostou z míst, kde se porušila působícím napětím soudržnost mezi částicemi druhé fáze a základní hmotou.

Křehký lom je kolmý k působící síle a probíhá po hranicích zrn, nebo přes hranice zrn, které se štěpí podle krystalických rovin s nízkými indexy. Makroskopicky je tento lom rovinný a lesklý.

3.1.2.2. Nukleace a rozvoj porušení

Podle současných poznatků jsou zárodkem trhlin buď již existující necelistvosti z výroby a zpracování materiálu, nebo trhlinky, které se vytvářejí až při zatěžování.

Vlivem deformace koncentrované před ostrým čelem trhliny se tyto defekty postupně zvětšují a jejich propojováním vzniká hlavní trhlina. Po překročení určité délky, která je kritická při daném napětí, se trhlina začne rozšiřovat už nezávisle na vnějším zatížení a vznikne lom.

Za podmínek houževnatého porušování mají kovové materiály dostatečnou plasticitu, aby lokální napětí před čelem ostrých trhlinek deformací relaxovala. Stabilní růst trhlin je pomalý. Lom nastává po místně soustředěné deformaci a při napětích nad mezí kluzu.

Křehké porušení se rozvíjí od určitého stavu poškození náhle nestabilním šířením trhliny. Lom nastává v podstatě bez plastické deformace.

3.2. Vnější tření

Plastické deformace při obrábění se neomezují jen na oblast tvoření třísky (primární oblast). Po průchodu touto oblastí probíhají další plastické deformace v místě styku odcházející třísky s čelem nástroje a v místě styku obrobené plochy se hřbetem nástroje. V těchto místech vzniká tření.

3.2.1. Teorie tření [13],[14]

Tření je definováno jako odpor proti pohybu, vznikající mezi dvěma tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů, v tečném směru k nim. Pro klasifikaci tření je důležitý relativní pohyb funkčních povrchů tělesa. Kluzné tření vzniká při kluzném pohybu dvou těles. Valivé tření vzniká při odvalování dvou těles.

Jako první byla vypracována mechanická teorie tření. Podle této teorie je odpor proti pohybu způsoben tím, že za klidu jsou tělesa do sebe zaklíněna povrchovými nerovnostmi. Pohybující těleso je potom třeba nadzvedávat do úrovně nejvyšších výčnělků na povrchu drsné podložky. Z toho plyne skutečnost, že povrch těles je i při zdánlivé úplné hladkosti nerovný a tudíž je rozdíl mezi obrysovou plochou styku a skutečnou plochou styku v místech, kde se setkávají výčnělky povrchů dvou dotýkajících se těles.

Z této teorie byly odvozeny tři základní zákony tření:

1. velikost síly tření je přímo úměrná působícímu zatížení
2. velikost síly tření nezávisí na celkové ploše společného styku
3. tření nezávisí na rychlosti pohybu
(omezeno při vysokých rychlostech)

O zdokonalení této teorie se snažili další vědci. Obrat přinesly poznatky Bowdena a Tabora. Podle nich je tření podmíněno vznikem a rozrušováním spojů v místech dotyku nerovností třecích ploch. K dotyku tuhých těles dochází na velmi malé ploše, která je tvořena povrchovými výčnělky. V těchto místech dochází ke zvýšení tlaku až do vzniku plastické deformace, čímž dochází ke zvětšení plochy styku. V místech skutečného dotyku dochází ke krátkodobému pevnému spojení. Třecí síla potom nabývá hodnot potřebných k rozrušování těchto spojů.

3.2.2. Tření při obrábění

Tření, které vzniká mezi třískou a nástrojem, způsobuje značné plastické deformace stykové vrstvy třísky. Další oblastí, v níž nastávají plastické deformace, je oblast styku hřbetu nástroje s plochou řezu. V oblasti tvoření třísky se materiál plasticky deformuje v celém odřezávaném objemu, kdežto v místě styku třísky s čelem nástroje probíhá deformace jen v tenké vrstvě přiléhající těsně k čelu nástroje. Tato deformace je však mnohem intenzivnější než v oblasti tvoření třísky. Styk třísky s čelem nástroje se děje zpočátku jen na vrcholcích nerovností čela nástroje.

Vysoké teploty a tlaky v těchto místech umožňují místní plastickou deformaci, při které se obnažuje čistý kovový povrch nástroje (zbavený oxidů). Tím vzniká kontakt čistých kovových ploch, při kterém se uplatní adhezní síly a dochází k místním svarům mezi třískou a nástrojem. Další pohyb může nastat až po rozrušení těchto místních svarových spojů. Tření může být doprovázeno vznikem mikrotrhlin na povrchu materiálu. Všechny tyto procesy patří mezi zdroje akustické emise [15].

3.3. Fázové přeměny [16]

Fázové přeměny jsou dány snahou soustavy dosáhnout, nebo alespoň se přiblížit při změně vnějších podmínek stavu, který má nejmenší hodnotu volné entalpie (tzv. rovnovážný stav). Při studiu fázových přeměn jsou důležité vztahy mezi strukturou původní a nové fáze, změny energetických stavů a rychlost fázové přeměny. Fázové přeměny představují přesun atomů, doprovázený změnou mřížky. Tyto přesuny částic způsobují vznik mechanických vln a tudíž se projevují jako zdroj AE. Při fázových přeměnách je úroveň signálu úměrná rychlosti změny teploty a dosahuje poměrně vysokých hodnot.

4. Rušivé vlivy

Kromě vyjmenovaných zdrojů dochází k ovlivňování signálu AE ještě řadou dalších vlivů, které nazýváme parazitní vlivy a můžeme mezi ně přiřadit:

1. nízkofrekvenční hluky
2. charakter třísky
3. tuhost obrobku
4. upnutí břitové destičky
5. frekvenční odezvu a umístění snímače
6. technologické podmínky
7. tvorba nárůstku
8. druh řezného a obráběného materiálu
9. geometrii řezného nástroje
10. otupení nebo lom řezného nástroje
11. funkci přístrojového vybavení

Prvořadým cílem je tedy v současné době snaha o vyloučení parazitních vlivů, které ovlivňují signál AE, z důvodů získání co nejčistšího signálu AE. Je prováděna řada experimentů, které zkoumají vliv jednotlivých parametrů obrábění na signál AE, protože se snažíme zjistit, jak jednotlivé parametry tento signál ovlivňují. Vždy však půjde o signál sumární, neboť není možné tyto jednotlivé zdroje od sebe oddělit.

4.1. Vliv nízkofrekvenčních hluků [5],[22]

Nízkofrekvenční parazitní hluky, jejichž frekvenční rozsah je v oblasti 10 - 100 kHz, mohou významnou měrou ovlivnit výsledný signál AE. Hlavními zdroji těchto parazitních hluků jsou zejména vibrace stroje, na kterém provádíme měření, nebo vibrace ostatních strojů umístěných v blízkosti místa měření. Tyto rušivé vlivy můžeme odstranit použitím kvalitní měřicí aparatury, na které můžeme nastavit hodnoty filtrů a zesílení. Dále použitím piezoelektrického snímače

a předzesilovače. Tento způsob může tedy odfiltrovat nízkofrekvenční rušivé impulsy od vysokofrekvenčních emisních impulsů [17].

4.2. Vliv umístění a připevnění snímače [5]

Na provedených experimentech bylo zjištěno, že kvalita snímaného signálu závisí na umístění sondy a jejím připevnění. Jestliže je sonda umístěna na řezném nástroji, je zachycen největší počet emisních událostí AE, protože je zachycen největší počet událostí z oblasti primární plastické deformace. Jestliže umístíme sondu na obrobek, je zachycen největší počet událostí z oblasti terciální plastické deformace. Další negativní vlivy se projeví při připevňování sondy. Při jejím odmontování a namontování a opětném provedení experimentu dochází k nepatrným změnám v počtu snímaných emisních událostí. Tato nepřesnost experimentů při opětovném namontování snímače by mohla být způsobena nedodržením stejné přitlačné síly na snímač. Lze předpokládat, že s rostoucí přitlačnou silou na snímač bude vzrůstat i počet zachycených emisních událostí.

4.3. Vliv řezných podmínek [16],[22]

Mezi řezné podmínky v užším smyslu řadíme řeznou rychlost, posuv a hloubku řezu. Řezné podmínky v širším smyslu zahrnují vše, co se týká soustavy stroj, nástroj, obrobek, přípravek (tzn. řezné podmínky v užším smyslu, tuhost celé soustavy, výkon, požadovanou přesnost a drsnost povrchu, stav ŘN, materiál břitu, geometrie břitu, trvanlivost, způsob upnutí, obráběný materiál, chlazení atd.).

Vliv těchto podmínek na signál AE byl zkoumán v celé řadě experimentů, z nichž vyplývají tyto závěry:

U soustružení byl zjištěn vzrůst ES s rostoucí hloubkou řezu a řeznou rychlostí. Vzrůst počtu EU s řeznou rychlostí byl velmi intenzivní do rychlosti přibližně 60 m/min. Při vyšší rychlosti se nárůst zpomaloval, někdy došlo i k jeho zastavení nebo poklesu (při rychlostech nad 150m/min). Zde je nutno brát v úvahu, že s rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá teplota v místě řezu a může docházet ke změně vlastností obráběného materiálu.

Závislosti signálu AE na posuvu jsou nejednoznačné a tudíž z nich nelze vyvodit jednoznačné závěry.

4.4. Vliv obráběného a řezného materiálu [2]

Z výsledků provedených experimentů je možné konstatovat, že děje, které se odehrávají v zóně tvorby třísky, jsou závislé na obráběném materiálu a způsobu zatížení.

Jevy doprovázející odvod třísky a pohyb nástroje vůči obrobku jsou závislé na podmínkách tření, tzn. že jsou ovlivněny řezným i obráběným materiálem, řezným prostředím, řeznými podmínkami atd.

Z teoretického rozboru dané problematiky vyplývá, že při zkoumání tvorby třísky je nutné sledovat chování jen obráběného materiálu, při tření na kontaktních plochách v zóně řezání je nutno sledovat jak materiál obráběný, tak i materiál řezný.

Obráběný materiál tedy nelze hodnotit odděleně, ale pouze komplexně, tj. v interakci s řezným materiálem a při podmínkách, které odpovídají řeznému procesu.

4.5. Vliv geometrie řezného nástroje [2],[22]

Účinek řezného nástroje a jeho geometrie na energii AE je poněkud odlišný od účinků ostatních parametrů. Změna geometrie ŘN má významný vliv na energii AE. Nejdůležitějším

parametrem je úhel hřbetu nástroje. S růstem úhlu hřbetu klesá průměrná energie AE.

Z výsledků je zřejmý také výrazný vliv úhlu čela na signál AE. Zvyšující se úhel čela vede k poklesu počtu emisních událostí u ocelí (11353,12050.9,15260.3), u litiny (422420) je tomu opačně. Zřejmě je to dáno větší kontaktní plochou mezi nástrojem a odcházející třískou a také zvýšením intenzity plastických deformací obráběného materiálu.

4.6. Opotřebení řezného nástroje [26]

4.6.1. Vlivy na opotřebení ŘN

V procesu obrábění je břit nástroje vystaven fyzikálním, mechanickým a chemickým procesům, při nichž dochází k opotřebení břitu. To je způsobeno extrémními podmínkami při obrábění, kterými jsou vysoké tlaky (až 2500 MPa) a vysoké teploty (až 1200° C) v místech intenzivního suchého tření, ve kterém přicházejí do styku stále nové povrchy.

Procesy, které se podílejí na opotřebení břitu jsou:

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

Adhezní otěr

Opotřebení působením adheze se projevuje hlavně u velmi tvrdých řezných materiálů (slnuté karbidy, řezná keramika). Účinkem vysokých tlaků ve stykových plochách břitu nástroje s obráběným materiálem, které nejsou nikdy dokonale hladké, vzniká mezi vrcholky jejich mikronerovností tak těsný styk, že působením molekulárních (adhezních) sil nastává jejich

pevné spojení v podobě mikroskopického bodového svaru. Při relativním pohybu se tyto svary postupně rozrušují. Při tomto rozrušování dochází i k vytrhávání drobných částic řezného materiálu, které jsou unášeny odcházející třískou.

Abrazivní otěr

Abrazivní otěr je způsobován vydíráním povrchových vrstev řezného materiálu částicemi obráběného materiálu, jejichž tvrdost je stejná (nebo větší) než tvrdost řezného materiálu. Abrazivní částice mohou být v obráběném materiálu přímo obsaženy nebo mohou při obrábění vznikat.

Chemicko-difuzní otěr

Chemicko-difuzní otěr se projevuje při teplotě vyšší než 800 C. Difuze je děj, při kterém dochází ve sledované soustavě k přemísťování částic vlivem jejich tepelného pohybu. Je to tedy děj, při němž atomy, molekuly nebo ionty mění své polohy. Difuzní otěr může nastat pouze při takových řezných podmínkách, kdy se ohřívají kontaktní plochy na teplotu disociační, tj. na teplotu, při které může nastat difuze prvků materiálu břitu do obrobku a opačně.

Křehký lom

Opotřebení křehkým lomem se projevuje vydrolováním ostří, lomem břitu nebo celé břitové destičky. Tento druh opotřebení se projevuje převážně při obrábění křehkými řeznými materiály (řezná keramika, slinutý karbid). S křehkým poškozováním ostří se setkáváme nejčastěji při obrábění velkými posuvy a při nerovnoměrném záběru.

Plastická deformace

Opotřebení plastickou deformací se projevuje hlavně při tepelném přetížení břitu, které způsobí, že poměr tvrdostí pracovních míst nástroje a obrobku poklesne pod určitou kritickou hodnotu. Překročí-li současně napětí v povrchových

vrstvách břitu mez tečení nástrojového materiálu, nastává plastická deformace. V počátku se plastická deformace projevuje zaoblením řezné hrany, potom následuje pohyb povrchových vrstev materiálu ve směru plochy řezu.

Zcela specifické podmínky, v nichž se břit nástroje při řezu nachází, určují požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti řezných materiálů:

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

Měření otupení:

1. měření lineárních rozměrů opotřeбенých ploch řezné části nástroje

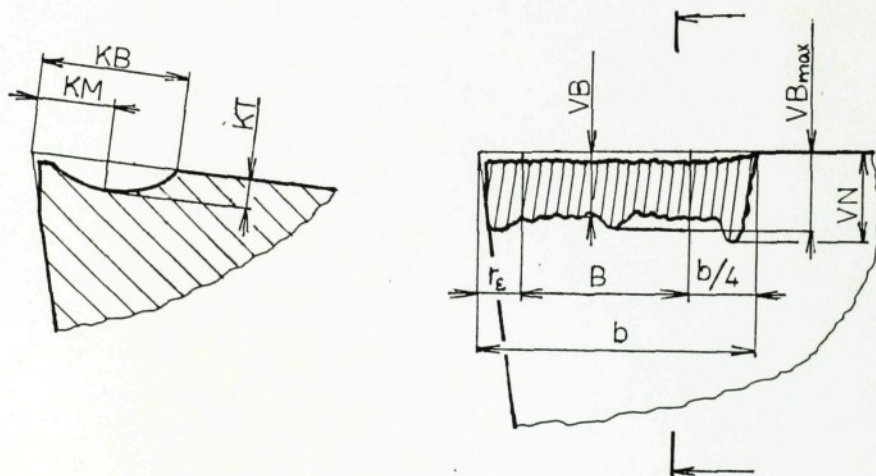
2. určení objemu opotřebovaného materiálu břitu

3. určení hmotnosti úbytku nástroje vlivem opotřebení

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

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

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



Obr. č. 5: Charakter opotřebení břitu nástroje

4.6.2. Vliv opotřebení ŘN na signál AE [20]

Opotřebení řezných nástrojů na hodnotu kritického opotřebení s následným vyštípnutím řezného nástroje je v procesu obrábění nepříznivé. Značně se snižuje kvalita obráběného povrchu a je příčinou nežádoucí a nepředvídatelné změny v pracovní geometrii. Sledováním řezného procesu signálem AE zjišťujeme postup opotřebení ŘN až do určité hodnoty hospodárného opotřebení. V tomto okamžiku je třeba řezný nástroj vyměnit.

Porovnání vlivu signálu AE opotřebovaného a ostrého nástroje můžeme sledovat z časové četnosti emisních překmitů nebo z rozdělení amplitud.

Při sledování otupení ŘN z časové četnosti je rozdíl mezi signálem AE ostrého a tupého ŘN velký. Při obrábění otupeným nástrojem se počet impulsů zvýší až o dva řády oproti počtu impulsů od ostrého nástroje. Zároveň vzrůstá rozptyl registrovaných amplitud signálu AE. Při opotřebování, které se blíží kritickému, bylo též u některých experimentů, při nichž se obrábělo rychlořeznou ocelí, zaznamenáno zvýšení rozkmitání některých parametrů signálu (především četnosti). V některých případech se může projevovat porušení břitu křehkým lomem. Dochází k němu v případě, překročí-li zatížení břitu na některém jeho místě pevnost materiálu v ohybu. Vzniku křehkých lomů při práci nástroje napomáhají mikrotrhlínky materiálu břitu, vzniklé velkým teplotním spádem a následným velkým vnitřním pnutím.

Při porušení břitu ŘN křehkým lomem se zvyšuje energetická hladina signálu AE. Je to dáno náhlým zvětšením kontaktní plochy mezi obrobkem a ŘN.

4.7. Vliv vzdálenosti snímače od zdroje AE [25]

Šíří-li se akustická vlna prostředím, pak její intenzita klesá se vzdáleností ve směru jejího šíření. Zkoumáme-li fyzikálně šíření vlnění v tuhých látkách, je nutné uvažovat koeficient vnitřního tření a činitele vedení tepla jako rozhodující parametry, které absorbují energii vlnění. Tlumení vlnění, které prochází tuhým tělesem, způsobí též pokles rychlosti šíření. Ztráty energie vln v kovech lze připsat rozptylu energie na hranicích zrn kovů. V porovnání s absorpcí vlnění v kapalinách a plynech je útlum vlnění u kovů velmi malý.

4.8. Vliv nárůstku [27]

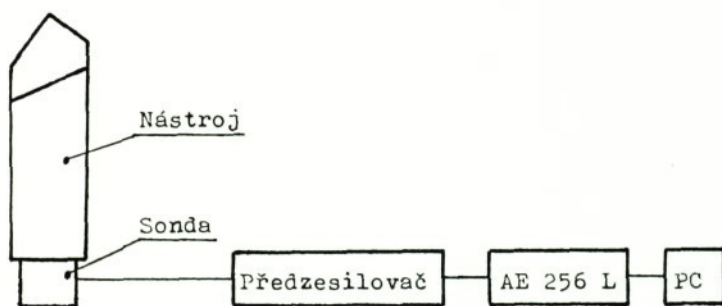
Vysoké teploty a tlaky mezi třískou a čelem nástroje umožňují místní plastickou deformaci, při níž se obnažuje čistý kovový povrch nástroje. Na vznikajícím kovově čistém kontaktu ploch dochází k místním svarům mezi čelem nástroje a třískou. Na čele nástroje ulpívá vrstva materiálu, kterou nazýváme nárůstek. Materiál nárůstku je intenzivně plasticky deformovaný, nárůstek se proto vyznačuje vysokou pevností a 3 - 5 krát větší tvrdostí, než má obráběný materiál. Nárůstek často přebírá funkci břitu, v závislosti na jeho tvaru a velikosti. Nárůstek také výrazně mění geometrii břitu (zvyšuje se úhel čela). Nárůstek má různý tvar v závislosti na vlastnostech obráběného materiálu, teplotě ve styčných plochách nástroje a třísky a rozložení napětí ve styčné ploše. Nárůstek na čele nástroje však není stabilní útvar, ale jeho tvar a velikost se periodicky mění, přičemž části odcházejícího nárůstku ulpívají na obrobené ploše a jsou zamačkávány do odcházející třísky. Udává se, že frekvence odchodu variabilní části nárůstku je 10^2 až 10^3 Hz. Tato periodická změna nárůstku, jeho odtrhávání, ulpívání na obrobené ploše a v třísce je zdrojem akustických vln.

Nárůstek zvyšuje úhel čela, čímž dochází ke snížení počtu emisních událostí. Vytrhávání a znovuvytváření nárůstku zvyšuje počet i rozptyl emisních událostí [15].

5. Metodika sledování signálu AE a jeho vyhodnocení

5.1. Použité experimentální zařízení

AE byla měřena v dílnách KOM TU v Liberci. Experimenty byly prováděny na různých strojích. Měřicí aparatura byla sestavena z piezoelektrického snímače, z analyzátoru AE 256L doplněného nízkošumovým předzesilovačem 40 dB s dolnofrekvenčním filtrem a počítačem PC 486/DX 33MHz.



Obr. č. 6: Zapojení experimentálního zařízení

5.1.1. Analyzátor akustické emise AE 256 L [23]

Analyzátor akustické emise AE 256 L je 256 kanálový amplitudový analyzátor stavebnicové konstrukce řízený počítačem. Tento analyzátor umožňuje nastavení všech parametrů přístroje klávesnicí počítače a provádění automatizovaných měření metodou AE. Veškeré funkce jsou řízeny PC, což zvyšuje komfort obsluhy, automatizuje měření podle předem naprogramované posloupnosti operací a umožňuje vykonávání speciálních programů.



Obr. č. 7: Analyzátor AE 256 L s počítačem PC 486 DX

5.1.2. Použité snímače

Pro měření signálu AE byla použita jedna piezoelektrická sonda D9204 od firmy DUNEGAN - ENDEVCO a dále čtyři piezokeramické sondy od firmy META (sondy č. 870715, 960798, 860711, 087).

5.2. Ovládání aparatury

K ovládání aparatury, k zobrazení a k ukládání dat byl použit program AED SCANNER. Před započítím vlastního měření tento program slouží k nastavení vhodného zesílení v rozsahu 0 až 21 dB (vždy po 3 dB) a k nastavení aktivních filtrů v rozsahu 0,03 až 2 MHz. Tyto filtry umožňují nastavení vhodného kmitočtového pásma ze zkoumané frekvenční oblasti AE a umožňují také ostře potlačit nežádoucí složky signálů. Dále tento program umožňuje testování funkce snímače při přípravě měření.

Během měření se data průběžně zobrazují ve formě sloupcového diagramu, který slouží k základní orientaci obsluhy. Úplná a přesná data se zaznamenávají do diskového souboru, který po odměření slouží jako podklad pro analýzu dat.

5.3. Vyhodnocení signálu AE [24]

Pro vyhodnocování dat byl použit program AED Viewer Analyser V 4.9. Tento program má široké možnosti vyhodnocování naměřeného signálu. Je s ním možno provádět:

- prohlížení souboru po zvolených časových úsecích
- analýzu dat v daném časovém okamžiku
- zastínění libovolných energetických úrovní
- závěrečnou analýzu

V této diplomové práci byla pro vyhodnocování jednotlivých měření použita závěrečná analýza, u které lze volit:

- časový interval analýzy
- rozsah energetických úrovní
- měřítko na ose Y

Vstupem analýzy je formulář a výstupem je sloupcový diagram sumárního rozdělení překmitů (závislost četnosti překmitů na jednotlivých energetických hladinách). Ve formuláři je uvedeno:

- číslo experimentu
- druh obrábění
- datum měření
- pracoviště
- pracovník
- charakteristika nástroje
- řezné podmínky
- charakteristika obrobku
- řezné prostředí
- stroj

- sonda
- zesílení
- frekvenční rozsah
- doplňující údaje

Výsledkem analýzy je záznam z měření, na němž je uveden graf sumárního rozdělení překmitů a charakteristiky tohoto rozdělení:

- průměr
- rozptyl
- modus
- exces
- asymetrie
- četnost pro modus N_{CM}
- absolutní součet emisních událostí ve zvoleném časovém intervalu
- absolutní součet emisních událostí za sekundu N_{cl}

Průměr je definován jako součet všech hodnot dělený jejich počtem:

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

n ...počet znaků

x_i ...velikost jednotlivých znaků

Rozptyl je součet kvadratických odchylek od průměru, dělený rozsahem souboru zmenšeným o 1:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Modus je nejčetnější hodnota překmitů.

Exces je definován takto:

$$K_{m-3} = \frac{1}{n} \sum \frac{(x_i - \bar{x})^4}{s^4} - 3$$

Při použití tohoto vztahu má normální normované rozdělení $K_{m-3} = 0$. Je-li rozdělení špičatější než normální normované, má K_{m-3} větší než 0.

Asymetrie je definována vztahem:

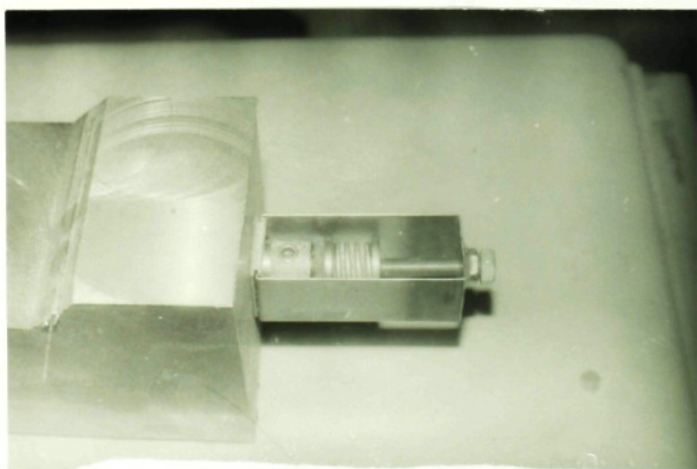
$$S_m = \frac{1}{n} \sum \frac{(x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

V případě symetrického rozdělení je $S_m = 0$.

6. Experimentální část

6.1. Upevnění snímače

Snímač byl upevněn pomocí klece, která zapadala do drážek destičky přilepené na těleso nože (u soustružení) nebo na obrobek (u frézování a u vrtání). Přítlačná síla na snímač byla vyvozena tlačnou pružinou. Stlačení pružiny zajišťoval šroub.



Obr. č. 8: Detail upevnění snímače na těleso

6.2. Experimenty při soustružení

Pro sledování signálu AE při podélném soustružení byl použit stroj SR 315 (umožňuje plynulou změnu otáček, uskutečněnou WARD - LEONARDOVÝM soustrojím a tuhé upnutí obrobku). Pro současné měření řezných sil a signálu AE byl použit soustruh SU 50. Jeho nevýhodou je stupňovitá změna otáček a tudíž řezná rychlost byla nastavena vždy jako nejbližší možná. Pro čelní soustružení byl použit soustruh maďarské výroby EE-800-01.

Obrobek při podélném soustružení měl tvar kruhové tyče, byl upnut způsobem sklíčidlo - hrot koníka. Při čelním (příčném) soustružení měl obrobek tvar kruhového kotouče, který byl upnut pouze ve sklíčidle. Jako řezný nástroj byl použit nožový držák CSBPR 25x25 M12 s výměnnými břitovými destičkami:

SPUN 120308 S20(nepovlakovaný SK)

SPUN 120308 P535 (povlakovaný SK)

SPUN 120308 RO 19830

SPUA 120308 T 01 520 N D210 (řezná keramika s fazetkou 0,15x20)

Břítová destička byla upínána pomocí upínky.

Pro lepší utváření třísky byl použit utvařeč SU 121202 G2.

Nožový držák byl do nožové hlavy upínán pomocí dvou šroubů.

Geometrie řezné části byla konstantní:

úhel nastavení hlavního ostří: $\alpha_r = 75^\circ$

úhel čela: $\lambda_o = 5^\circ$

úhel hřbetu: $\lambda_o = 6^\circ$

úhel sklonu ostří: $\lambda_s = 0^\circ$

poloměr zaoblení špičky: $r_\epsilon = 0,8 \text{ mm}$

Vyložení nástroje bylo voleno 35 mm, při společném měření s řeznými silami muselo být vzhledem k upínání nože do dynamometru změněno na 43 mm.

Snímač AE byl umístován na zadní plochu nástroje.

6.2.1. Obráběné materiály

Pro soustružení byly použity tyto materiály:

- 11373 -konstrukční uhlíková ocel o tvrdosti 111 HB,
obrobitelnost 14b
- 12020 -konstrukční cementační ocel o trdosti 119 HB,
obrobitelnost 15b
- 12050 -konstrukční ocel ke kalení, tvrdost 200 HB,
obrobitelnost 14b
- 13240 - konstrukční ocel legovaná Mn-Si, tvrdost 202HB,
obrobitelnost 10b
- 14220 -konstrukční ocel legovaná Mn-Cr, tvrdost 180 HB,
obrobitelnost 13b
- 14260 -konstrukční ocel legovaná Si-Cr, tvrdost 219 HB,
obrobitelnost 13b
- 14340 -konstrukční ocel legovaná Cr-Al, tvrdost 247 HB,
obrobitelnost 12b
- 15230 -konstrukční ocel legovaná Cr-V, tvrdost 184 HB,
obrobitelnost 13b
- 15260 -konstrukční ocel legovaná Mn-Cr-V, tvrdost 234 HB
obrobitelnost 11b
- 17481.4-konstrukční ocel
- 19312 -nástrojová ocel legovaná Mn-V, tvrdost 203 HV,
obrobitelnost 11b
- 19436 -nástrojová ocel chromová, tvrdost 242 HV,
obrobitelnost 9b
- 19810 -nástrojová ocel rychlořezná, tvrdost 171 HV,
obrobitelnost 9b
- 19830 -nástrojová ocel rychlořezná, tvrdost 250 HV,
obrobitelnost 9b
- 19855 -nástrojová ocel rychlořezná, tvrdost 302 HV
obrobitelnost 9b
- 422306 - tvárná litina perliticko-feritická, tvrdost 230 HB,
obrobitelnost 9a

- 423018 -tvářená slitina mědi CuSn8, tvrdost 95 HB,
obrobitelnost 10c
- 423046 -tvářená slitina mědi CuAl10Fe3Mn1,5, tvrdost 195HB,
obrobitelnost 6c
- 424201 -tvářená slitina hliníku AlCu4Mg, tvrdost 86HB,
obrobitelnost 9d

Více je o jednotlivých materiálech uvedeno v [29], kde jsou také uvedeny metalografické výbrusy.

6.2.2. Vliv přitlačné síly na snímač

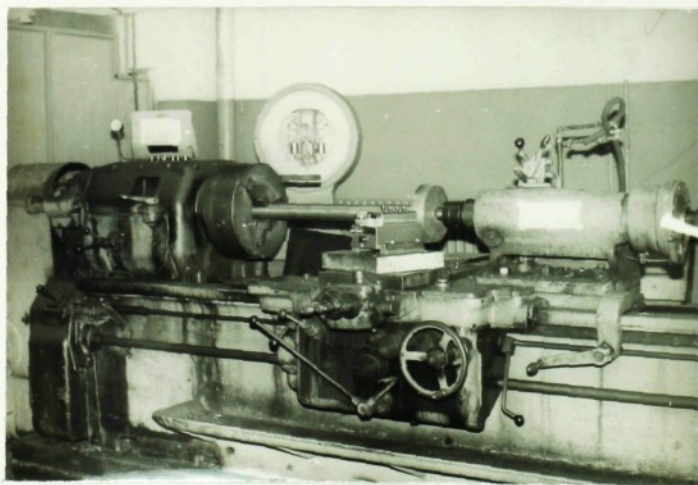
Tyto experimenty probíhaly na soustruhu SR 315. Jako obrobek byla použita ocel 17481.4. Obrábění probíhalo při podélném soustružení s ostrou břitovou destičkou SPUN 120308 S20. Řezné podmínky byly následující:

$v = 60 \text{ m/min}$, $s = 0.188 \text{ mm/ot}$, $h = 2 \text{ mm}$. Pro snímání signálu byla použita sonda Dunegan, která byla umístěna zezadu na soustružnickém noži. Zesílení bylo konstantní 12 dB, frekvenční rozsah byl 0.3 - 2 MHz. Přitlačnou sílu jsme nastavovali různým stlačením pružiny. Měření probíhalo vždy 10 s a vyhodnocen byl časový interval od 4 do 8 s.

Při tomto měření jsme též ověřili vliv přechodového media mezi sondou a nástrojem. Podle doporučení výrobce má být přechodová vrstva vyplněna silikonovou vazelinou. Měření jsme provedli jednou s použitím silikonové vazelíny v přechodové vrstvě mezi nástrojem a snímačem a poté za stejných podmínek bez silikonové vazelíny. Cílem těchto experimentů bylo zjistit nejvhodnější podmínky pro upevnění snímače v dalších experimentech.

6.2.3. Porovnání jednotlivých snímačů

Cílem těchto experimentů bylo porovnat signál od jednotlivých snímačů při experimentech provedených za konstantních podmínek a na základě výsledků vybrat nejvhodnější snímač pro další experimenty. Měření probíhalo při podélném soustružení oceli 17481.4 ostrou břitovou destičkou S20. Řezné podmínky byly konstantní: $v=60$ m/min, $s = 0.188$ mm/ot a $h = 2$ mm. Obráběli jsme na soustruhu SR 315. Frekvenční pásmo bylo nastaveno od 0.7 do 2 MHz, zesílení jsme nastavovali 0 a 21 dB. Měření probíhalo 10 s a vyhodnocen byl signál AE mezi 4 a 8 s.



Obr. č. 9: Soustruh SR 315

6.2.4. Vliv zesílení

Experimenty probíhaly na soustruhu SR 315 při podélném soustružení oceli 17481.4 ostrou břitovou destičkou SPUN 120308 S20. Řezné podmínky byly konstantní:

$v = 60 \text{ m/min}$, $h = 2 \text{ mm}$, $s = 0.188 \text{ mm/ot}$.

Měření bylo provedeno sondou Dunegan ve frekvenčním pásmu 0.3 - 2 MHz a 0.7 až 2 MHz. Zesílení jsme volili 0,12 a 21 dB. Pro vyhodnocení byl opět uvažován signál AE mezi 4 a 8s. Výsledky těchto experimentů byly též ověřeny při podélném soustružení oceli 15260 na soustruhu SU 50. Při tomto experimentu byla nastavena řezná rychlost $v = 80 \text{ m/min}$, posuv $s = 0.2 \text{ mm/ot}$ a hloubka $h = 1 \text{ mm}$. Pro toto měření byla použita sonda 870715, frekvenční pásmo 0.3 až 2 MHz a 0.7 až 1.2 MHz. Zesílení jsme zde nastavovali 0, 6, 12, 18 a 21 dB.

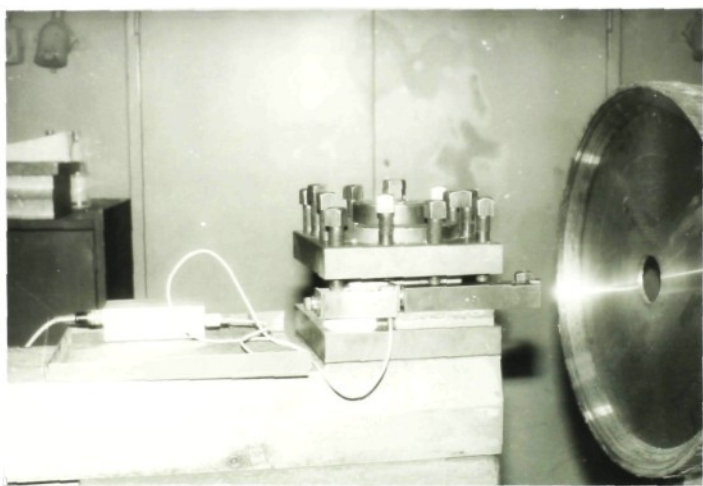
6.2.5. Sledování signálu AE při kontinuálních zkouškách

Sledování vlivu katastrofického opotřebení na signál AE probíhalo při kontinuální zkoušce na soustruhu EE - 800 - 01 nástrojem CSBPR 25x25 M12 s břitovou destičkou SPUN 120308 S20 nebo SPUA 120308 T 01 520 N D210. Obrobek byl z kalené ocele 17481.4 a 19436.4. Řezné podmínky byly pro ocel 17481.4 následující: $v = 200 \text{ m/min}$, $s = 0.2 \text{ mm/ot}$, $h = 2 \text{ mm}$, pro ocel 19436.4 $v = 48 \text{ m/min}$, $s = 0.2 \text{ mm/ot}$, $h = 2 \text{ mm}$. Byla použita sonda Dunegan, zesílení 0, 12, 21 dB a frekvenční rozsah 0.3-2 MHz. Signál AE byl měřen od počátku až do konce zkoušky a vyhodnocen v celém tomto úseku.

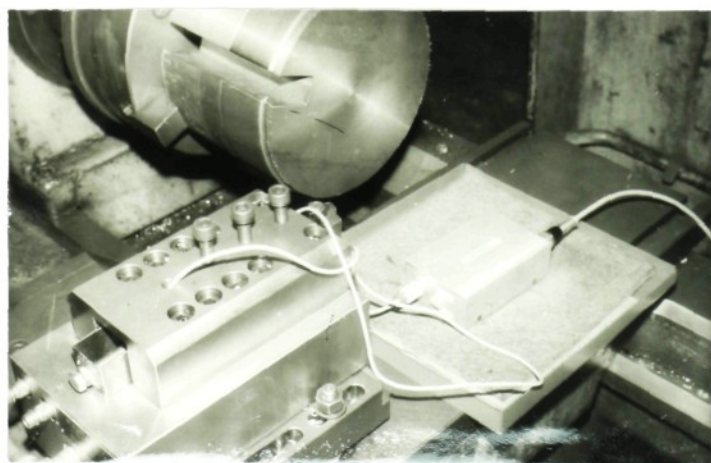
6.2.6. Vliv řezné rychlosti

Toto měření probíhalo při čelní zkoušce (posuv nástroje je kolmý k ose rotace) na soustruhu EE-800-01. Jako obrobek byla použita ocel 15230 a litina 422306. Obráběli jsme nástrojem CSBPR 25x25 M12 s různými břitovými destičkami (RO,

S20, P535 a D210). Hloubka řezu byla volena 1 mm, posuv na otáčku byl 0.2 mm/ot. Rychlost postupně vzrůstala s rostoucím průměrem obrábění. Frekvenční rozsah byl konstantní 0.3-2 MHz, zesílení 0, 12 nebo 21 dB.



Obr. č. 10: Upevnění snímače při čelních zkouškách



Obr. č. 11: Upevnění snímače do dynamometru Kistler na soustruhu SU 50

6.2.7. Společné měření AE a řezných sil

Toto měření probíhalo na soustruhu SU 50 společně při měření řezných sil. Řezné síly byly měřeny dynamometrem Kistler. Obráběli jsme při podélném soustružení nástrojem CSBPR 25x25 M 12 s břitovou destičkou S20. Řezné podmínky byly: $v = 60$ m/min, $v = 200$ m/min a normativní rychlost pro každý materiál, $s = 0.2$ mm/ot, $h = 2$ mm. Měřicí obvod byl sestaven z dynamometru 9265A1 Kistler, zesilovače 5006, skříňky s voltmetry a zapisovače. Snímání zajišťovala sonda 870718, zesílení bylo 12 dB a frekvenční rozsah 0.3-2 MHz. Experimenty probíhaly 10 s a signál byl vyhodnocen od 4 do 8 s.

6.3. Experimenty provedené při vrtání

Sledování signálu AE při vrtání probíhalo na vrtačce V 20. Experimenty byly provedeny při vrtání konstantní posuvovou silou $F_r = 900$ N a s konstantním posuvem na otáčku $s = 0.08$ mm/ot. Hloubka vrtané díry byla vždy konstantní 10 mm a řezná rychlost 17.8 m/min. Nástrojem byl vrták ČSN 221121 z RO povlakovaný TiN. Signál AE byl měřen od začátku až do konce zkoušky. Zesílení jsme při těchto experimentech používali 12 dB a frekvenční rozsah 0.3 až 2 MHz. Sonda byla upevňována na obrobek.

6.3.1. Použité materiály obrobků

Pro vrtání byl použit materiál 12050 (tvrdost 200 HB) a 12020 (tvrdost 119 HB).

6.3.2. Vliv vzdálenosti sondy od zdroje AE

Tyto experimenty jsme provedli při vrtání konstantní posuvovou silou. Vrtání bylo provedeno postupně ve vzdálenosti 15, 45 a 75 mm od snímače. Vrtání bylo provedeno tupým vrtákem za sucha.

6.3.3. Vliv chlazení při vrtání

Tyto experimenty byly provedeny ostrým vrtákem při vrtání konstantní posuvovou silou. Obrábění bylo provedeno nejdříve za sucha a poté s chlazením emulzí. Vzdálenost od sondy byla konstantní 30mm.

6.3.4. Vliv otupení břitu

Tyto experimenty byly provedeny za stejných podmínek s ostrým a tupým vrtákem. Zkouška probíhala s konstantní posuvovou silou na materiálu 12050. Vrtalo se ve vzdálenosti 30 mm od sondy za sucha.

6.3.5. Porovnání signálu AE u vrtání s konstantní posuvovou silou a s konstantním posuvem

Tyto experimenty probíhaly při obrábění ostrým vrtákem ve vzdálenosti 30 mm od snímače. Nejprve byl otvor vyvrtán s konstantní posuvovou silou a poté s konstantním posuvem. Obrábění probíhalo bez chlazení. Obrobek byl v tomto případě ocel 12020.

Blíže se sledováním signálu AE při vrtání zabývá [30].

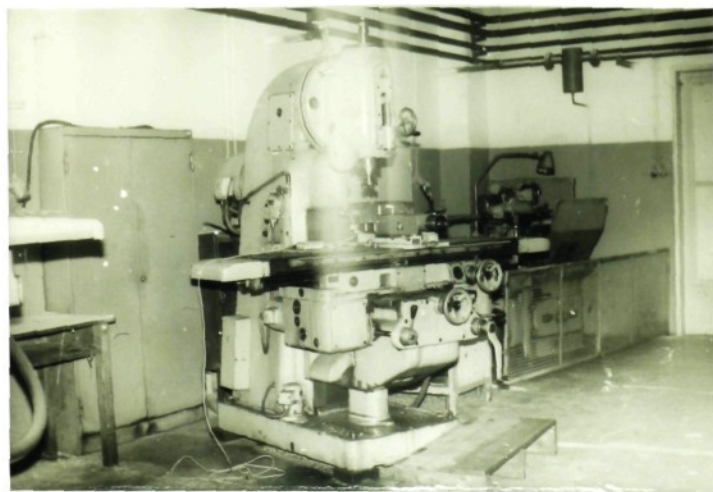
6.4. Experimenty provedené při frézování

Sledování signálu AE při frézování probíhalo na vertikální frézce FA 4 V. Nástrojem byla frézovací hlava PN 222348 o průměru 250 mm s vyměnitelnými řeznými noži s řeznou částí ze slinutého karbidu S2. Tato frézovací hlava byla s výhodou použita pro sledování signálu AE při přerušovaném řezu obráběním jedním i několika břity. Obrobek ve tvaru hranolu byl upínán do svěráku umístěného na stůl frézky. Geometrie břitů byla následující: $\alpha_r = 55^\circ$

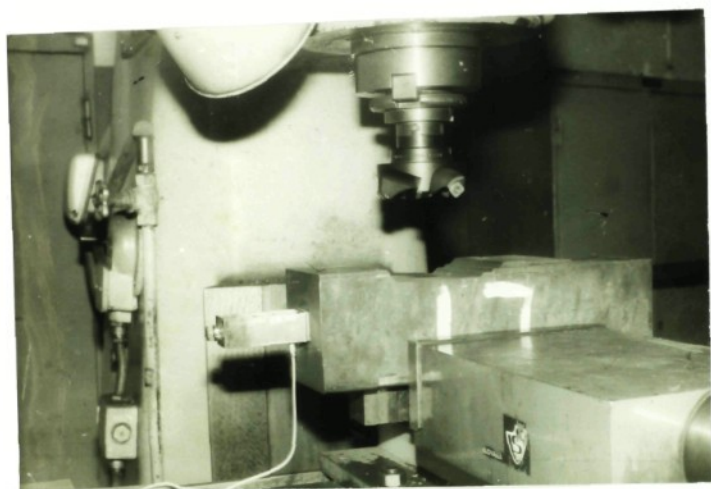
$$\alpha_o = 10^\circ$$

$$\phi_o = 5^\circ$$

$$\lambda_s = -4^\circ$$



Obr. č. 12: Frézka FA 4 V



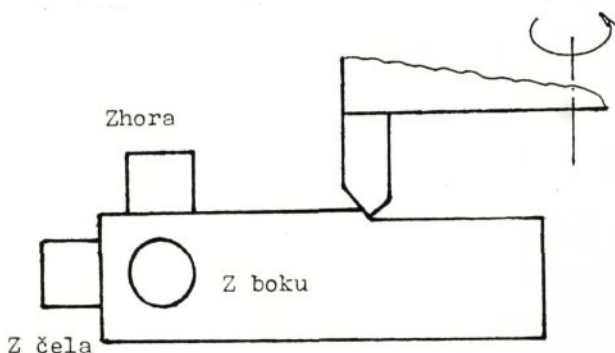
Obr. č. 13: Upevnění sondy při frézování

6.4.1. Obráběné materiály

Pro obrábění byla zvolena konstrukční ocel 12050 o tvrdosti 200 HB.

6.4.2. Sledování vlivu polohy sondy na signál AE

Tyto experimenty probíhaly na obrobku z oceli 12050 o rozměrech 52x52x270 mm při obrábění frézovací hlavou PN 222348 průměr 250mm s jedním břitem ze slinutého karbidu S2. Sonda byla postupně umísťována zhora, z boku a ze zadního čela obrobku. Řezné podmínky byly následující: $v = 25,13 \text{ m/min}$, $h = 1 \text{ mm}$ a posuv na zub $s_z = 0,312 \text{ mm/zub}$. Byla použita sonda Dunegan, zesílení 12 dB a frekvenční rozsah 0.3 - 2 MHz. Vyhodnocení jsme provedli sečtením impulsů AE od počátku do konce jednotlivých záběrů a z těchto hodnot jsme vypočetli střední hodnoty, které jsme pro jednotlivé polohy snímačů porovnali.



Obr. č. 14: Polohy sondy při frézování

6.4.3. Vliv vzdálenosti sondy od snímače

Experimenty probíhaly na obrobku z oceli 12050 o rozměrech 52x52x270 mm při obrábění jedním břittem. Řezné podmínky, zesílení i frekvenční rozsah byly stejné jako u sledování vlivu polohy sondy.

Sonda byla umísťována shora v různých vzdálenostech od místa záběru nože (od zdroje signálu). Vyhodnocení jsme provedli stejně jako u sledování vlivu polohy sondy.

6.4.4. Sledování signálu při přerušovaném řezu

Tyto experimenty probíhaly při frézování frézovací hlavou postupně osazenou jedním, třemi a šesti břity souměrně umístěnými po obvodu. Při osazení frézovací hlavy třemi břity byl v záběru vždy jeden břit (v okamžiku jeho vyjetí ze záběru vjížděl do záběru další břit), při osazení šesti břity byly v záběru vždy dva zuby. Řezné podmínky byly

následující: $v = 25.13 \text{ m/min}$, $sz = 0.312 \text{ mm/zub}$ (u tří a šesti břitů $sz = 0.292 \text{ mm/zub}$), $h = 1 \text{ mm}$. Zesílení jsme nastavili 12 dB, frekvenční rozsah 0.3-2 MHz.

Blíže se sledováním signálu AE při frézování zabývá [31].

6.5. Sledování signálu AE při vzniku a šíření trhliny

Tyto experimenty byly provedeny při technologických zkouškách plechů.

6.5.1. Zkouška plechů hloubením podle Erichsena

Zkouška plechů hloubením podle Erichsena je dána normou ČSN 420406. Patří mezi zkoušky tvárnosti. Podstatou je vtlačování kulového razníku do zkoušeného plechu. Zkouška končí při vzniku trhliny. Vyhodnocuje se prohloubení, což je dráha, kterou vykoná razidlo na zkušebním přístroji z polohy nulové do polohy, v níž vznikla trhlina.

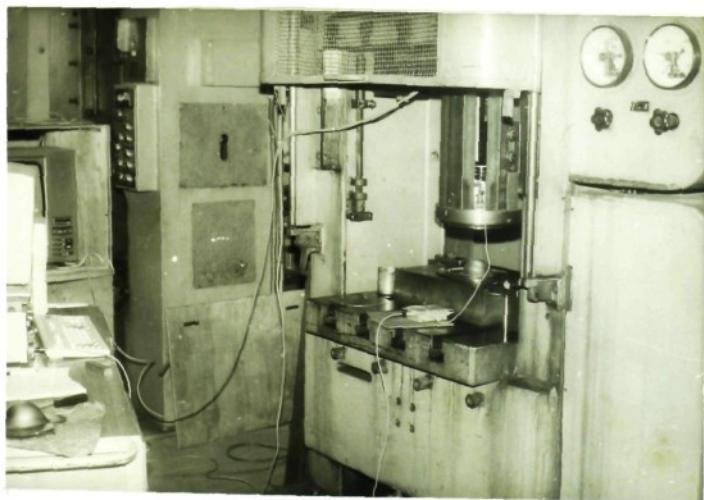
Snímač AE jsme upevnili přímo na pás plechu, který byl upnut v čelistech přístroje. Pro snížení tření byla na povrch plechu v místě vtlačování razidla nanесena vrstva mazacího tuku. Zesílení jsme volili 21 dB a frekvenční pásmo 0.3-2 MHz nebo 0.03-2 MHz. Byl použit plech FePO5 o tloušťce 0.8 mm.

6.5.2. Zkouška plechů vypínáním na lisu

Tato zkouška probíhala podobně jako Erichsenova zkouška. Byla provedena na lisu CBA 300, kdy do kruhového výstřižku z plechu je vtlačován kulový razník. Pohyb razníku je buď

strojn  nebo ru n . V našem p  pad  bylo p  edtvarov n 
strojn  a poté jsme pokračovali ru n .

Sonda byla umístěna na tažnici lisu. Zesílení jsme použili
21 dB, frekvenční pásma 0.3-2 MHz a 0.03-2 MHz. Pro zkoušku
byl použit plech FePO5 tlouštky 0.8 mm a plech Fe-Zn také
tlouštky 0.8 mm.



Obr.  . 15: Lis CBA 300 péči zkoušce vypínání plechů



Obr. č. 16: Upevnění snímače při vypínání plechů

6.6. Sledování signálu AE při tření

6.6.1. Vliv rychlosti pohybu na signál AE při tření

Signál AE vznikající třením byl sledován na soustruhu. Na rotující obvod tyče upevněné ve vřetení a podepřené hrotem koníka byl volně položen hranol 25x25x250 mm s upevněným snímačem. Zatížení bylo pouze vlastní vahou hranolu. Tyto experimenty byly provedeny při rychlostech 0.33, 1 a 3.33 m/s. Zesílení bylo 12 dB a frekvenční pásmo od 0.3 do 2 MHz.

6.6.2. Vliv zatížení na signál AE při tření

Sledování tření při zatížení bylo provedeno při rychlosti 0.33 m/s. Hranol 25x25x250 s upevněným snímačem byl upnut do dynamometru Kistler místo soustružnického nože. Tento hranol byl příčným suportem přitlačován na obvod rotujícího materiálu. Přítlačná síla byla měřena dynamometrem. Zesílení bylo 12 dB a frekvenční pásmo 0,3-2 MHz.

7. Vyhodnocení provedených experimentů

7.1. Experimenty při soustružení

Z provedených experimentů byly sestaveny následující tabulky a grafy:

Experiment	Tabulka	Graf	Závislost
Vliv přítlatl. síly a přechod. media	1	1	$Nc1=f(\text{přítlatku})$
		2	$Nc1=f(\text{přech. med.})$
Porovnání snímačů	2	3	$Nc1=f(\text{snímače})$
Vliv zesílení	3	4	$Nc1=f(\text{zesílení})$
	4	5	$Nc1=f(\text{zesílení})$
	5	6	$Nc1=f(\text{zesílení})$
	6	7	$Nc1=f(\text{zesílení})$
	7	8	$Nc1=f(\text{zesílení})$
	8	9	$Nc1=f(\text{zesílení})$
Kontinuální zkoušky	9	10	$Nc1=f(t)$
		11	$\text{Průměr}=f(t)$
		12	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		13	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		14	$\text{Exces}=f(t)$
	10	15	$Nc1=f(t)$
		16	$\text{Průměr}=f(t)$
		17	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		18	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		19	$\text{Exces}=f(t)$
Kontinuální zkoušky	11	20	$Nc1=f(t)$
		21	$\text{Průměr}=f(t)$
		22	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		23	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		24	$\text{Exces}=f(t)$
	12	25	$Nc1=f(t)$
		26	$\text{Průměr}=f(t)$
		27	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		28	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		29	$\text{Exces}=f(t)$
		30	$Nc1=f(t)$
		31	$Nc1=f(t)$

Pokračování tabulky:

Experiment	Tabulka	Graf	Závislost
Vliv řezné rychlosti Sledování signálu AE společně s řeznými silami	13	32	$Nc1=f(v)$
		33	$Nc1=f(v)$
		34	$Nc1=f(v)$
		35	$Nc1, F_c=f(\text{materiálu})$
		36	$Nc1, F_p=f(\text{materiálu})$
		37	$Nc1, F_r=f(\text{materiálu})$
		38	$Nc1, F_c=f(\text{materiálu})$
		39	$Nc1, F_p=f(\text{materiálu})$
		40	$Nc1, F_r=f(\text{materiálu})$
		41	$Nc1 = f(v)$
		42	$Nc1 = f(v)$
		43	$Nc1 = f(v)$

7.2. Sledování signálu AE při vrtání

Výsledky těchto experimentů jsou přehledně zaznamenány do následujících tabulek a grafů:

Experiment	Tabulka	Graf	Závislost
Vliv vzdálenosti sondy od zdroje	15	44	$Nc1=f(t)$
	16	45	$Nc1=f(\text{vzdálenosti})$
	17		
Vliv opotřebení ŘN	18	46	$Nc1=f(t)$
	19	47	$\text{Průměr}=f(t)$
		48	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		49	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		50	$\text{Exces}=f(t)$
Vliv chlazení na signál AE	19	51	$Nc1=f(t)$
	20	52	$\text{Průměr}=f(t)$
		53	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		54	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		55	$\text{Exces}=f(t)$
Porovnání vrtání s konst. posuvovou a s konst. posuvem	21	56	$Nc1=f(t)$
	22	57	$\text{Průměr}=f(t)$
		58	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		59	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		60	$\text{Exces}=f(t)$

7.3. Experimenty při frézování

Výsledky těchto experimentů jsou uspořádány do těchto tabulek a grafů:

Experimenty	Tabulka	Graf	Závislost
Vliv polohy sondy	23	61	$Nc1=f(\text{polohy})$
Vliv vzdálenosti sondy od zdroje	24	62	$Nc1=f(\text{vzdálenosti})$
Sledování přeruš. řezu	25	63	$Nc1=f(t)$
		64	$\text{Průměr}=f(t)$
		65	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		66	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		67	$\text{Exces}=f(t)$
		68	$\text{Modus}=f(t)$
	26	69	$Nc1=f(t)$
		70	$\text{Průměr}=f(t)$
		71	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		72	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		73	$\text{Exces}=f(t)$
	27	74	$\text{Modus}=f(t)$
		75	$Nc1=f(t)$
		76	$\text{Průměr}=f(t)$
		77	$\text{Rozptyl}=f(t)$
		78	$\text{Asymetrie}=f(t)$
		79	$\text{Exces}=f(t)$
		80	$\text{Modus}=f(t)$

7.4. Sledování vzniku a šíření trhliny

Z provedených experimentů byly sestaveny následující tabulky a grafy:

Experiment	Tabulka	Graf	Závislost
Zkouška plechu hloubením podle Erichsena	28	81	$Nc1=f(t)$
		82	$Průměr=f(t)$
		83	$Rozptyl=f(t)$
		84	$Asymetrie=f(t)$
		85	$Exces=f(t)$
	29	86	$Nc1=f(t)$
		87	$Průměr=f(t)$
		88	$Rozptyl=f(t)$
		89	$Asymetrie=f(t)$
		90	$Exces=f(t)$
	30	91	$Nc1=f(t)$
		92	$Průměr=f(t)$
		93	$Rozptyl=f(t)$
		94	$Asymetrie=f(t)$
		95	$Exces=f(t)$
Vypínání plechů	31	96	$Nc1=f(t)$
		97	$Průměr=f(t)$
		98	$Rozptyl=f(t)$
		99	$Asymetrie=f(t)$
		100	$Exces=f(t)$
	32	101	$Nc1=f(t)$
		102	$Průměr=f(t)$
		103	$Rozptyl=f(t)$
		104	$Asymetrie=f(t)$
		105	$Exces=f(t)$
	33	106	$Nc1=f(t)$
		107	$Průměr=f(t)$
		108	$Rozptyl=f(t)$
		109	$Asymetrie=f(t)$
		110	$Exces=f(t)$

7.5. Sledování tření

Z provedených experimentů byly sestaveny následující tabulky a grafy:

Experiment	Tabulka	Graf	Závislost
Vliv rychlosti	34	111	$Nc1=f(t)$
		112	$Průměr=f(t)$
		113	$Rozptyl=f(t)$
		114	$Asymetrie=f(t)$
		115	$Exces=f(t)$
Vliv zatížení	35	116	$Nc1=f(t)$
		117	$Průměr=f(t)$
		118	$Rozptyl=f(t)$
		119	$Asymetrie=f(t)$
		120	$Exces=f(t)$

8. Shrnutí výsledků experimentů

1. S rostoucí přítlačnou silou na snímač roste do určité hodnoty i počet zaznamenaných emisních událostí, při dalším vzrůstu přítlačné síly však dochází k poklesu zaznamenaných EU (graf č. 1). Tento pokles je zřejmě způsoben vytlačením maziva z přechodové vrstvy mezi tělesem a snímačem. Vzhledem k tomuto závěru byla v dalších experimentech použita přítlačná síla $F = 23 \text{ N}$, při níž jsme zaznamenali nejvíce EU.
2. Vyplnění přechodové vrstvy mezi snímačem a měřeným místem silikonovou vazelinou zvyšuje počet zaznamenaných emisních událostí (graf č. 2).
3. S rostoucím zesílením vzrůstá počet zachycených emisních událostí (grafy č. 4 až 9). Při použití frekvenčního pásma 0.3 až 2 MHz zachytíme mnohem více EU než při frekvenčním pásmu 0.7 až 2 MHz.
4. Při obrábění slinutým karbidem S20 dochází při katastrofickém opotřebení ke zvýšení četnosti překmitů, asymetrie, excessu a k poklesu průměru a rozptylu (graf č. 10 až 29).
5. Při obrábění břitovou destičkou ze slinutého karbidu S20 nedochází před katastrofickým opotřebením k rozkmitání četnosti překmitů. Toto rozkmitání se projevovalo u obrábění nástrojem z RO [17]. Tento rozdíl je zřejmě způsoben rozdílným charakterem a mechanismem opotřebení.
6. S rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá do určité hodnoty i počet překmitů, poté dochází k poklesu překmitů (graf č. 32 až 34). Tento pokles je zřejmě způsoben vzrůstem teploty v místě řezu a změnou vlastností obrobku, zejména poklesem přetvárné práce a tím i měrného řezného odporu.
7. Řezný materiál nemá výrazný vliv na získaný signál AE (graf č. 33,34).

8. Nebyla prokázána přímá souvislost signálu AE s obrobiteľností materiálu ani s jednotlivými složkami řezných sil (graf č. 35 až 40).
9. S rostoucí vzdáleností od zdroje klesá počet EU u vrtání (graf č. 45,46).
10. Otupený vrták vykazuje výrazně vyšší počet EU než ostrý (graf č. 46).
11. Při použití chlazení dochází u vrtání k poklesu průměru, pokles četnosti překmitů se nám nepotvrdil (graf č. 51 až 55).
12. Počet zachycených EU závisí na poloze snímače. U frézování je nejvíce EU zachyceno při umístění sondy nahoře, nejméně při umístění sondy na boku obrobku (graf č. 61).
13. Při frézování bylo prováděno vyhodnocování v nejmenším možném časovém intervalu, který je 0,0549 s. Tento časový interval je příliš velký a nelze zachytit okamžik záběru dalšího břitu při obrábění více břity současně. Z ES při frézování je však možné posuzovat rovnoměrnost záběru a seřízení nástroje.
14. Vznik trhliny se projeví náhlou změnou všech parametrů signálu AE, zejména vzrůstem četnosti překmitů (graf č. 81 až 110).
15. Počet EU, vznikajících při tření, vzrůstá s rychlostí vzájemného pohybu třecích ploch a s rostoucím zatížením (graf č. 111 až 120).
16. Při monitorování řezného procesu metodou AE není možné sledovat jen jeden parametr rozdělení signálu, ale je nutné sledovat vždy několik parametrů současně a na základě změny několika z nich učinit zásah do řezného procesu.

9. Závěr

Akustická emise se jeví jako velmi vhodná metoda pro sledování řezného procesu. Výhoda této metody spočívá v tom, že vznik signálu AE je podmíněn samotným procesem obrábění a touto metodou lze sledovat deformační procesy v oblasti vzniku třísky. Je tedy velká naděje, že měření signálu AE se postupně stane důležitou metodou pro sledování řezného procesu. Lze předpokládat, že touto metodou bude možné sledovat stav ŘN během procesu obrábění, tvorbu a tvar odřezávané třísky, kvalitu opracovaného povrchu a některé další parametry procesu obrábění.

U sledování řezného procesu metodou AE nebude možné sledovat jen jeden parametr signálu, ale vždy půjde o řadu těchto parametrů. Jako nejvhodnější parametry, které nesou informace o řezném procesu se jeví četnost překmitů, průměr, rozptyl, asymetrie a exces získaného rozdělení signálu.

Hlavními problémy pro běžné využití této metody jsou zejména poměrná složitost aparatury, obtížné rozlišení signálu přicházejícího z různých zdrojů a ne zcela známé závislosti mezi parametry obrábění a signálem AE.

Pro objasnění těchto závislostí doporučuji provést víceparametrické sledování řezného procesu. Při tomto víceparametrickém sledování řezného procesu bude nutné zaměřit se na hledání souvislostí mezi signálem AE a ostatními parametry řezného procesu (řezné síly, teplota, chvění). Dále je nutné se podrobněji zabývat sledováním základních zdrojů AE, tj. třením, vznikem a šířením trhliny. Sledování těchto zdrojů by mohlo vést i k upřesnění frekvenčního pásma, v němž sledujeme signál AE. Pro sledování přerušovaného řezu bude vhodné zdokonalit měřící aparaturu, zejména bude nutno nahradit vyhodnocování nekontinuální vyhodnocováním spojitým, neboť pro sledování okamžiku záběru nástroje je časový krok 0,0549 sekundy příliš velký.

Seznam použité literatury:

- [1] SMĚRNICE CDS č. 70/1988, AE - názvosloví
- [2] KOŠEK, O. : Vliv obrobitelnosti materiálu na signál AE při obrábění, VŠST Liberec, DP 1994
- [3] ŽIŽKA, J. : AE při obrábění akrylonu, sborník prací VŠST v Liberci, 1989, str. 223
- [4] KAVALCOVÁ, L.: Strojírenství, 36, 1986, č.10, str.589
- [5] BALEW, S. Y.: Sledování procesu obrábění pomocí AE, DP VŠST Liberec, 1992
- [6] LICHT, T. : Acoustic emission. Technical Review 1979, č.2, Bruel Kjaer, Naerum Dánsko
- [7] PETRŽÍLKA, V. : Piezoelektrika a její technické použití. Praha, ČSAV 1960
- [8] MARTIN, H. J. : Die Ferroelektrika. Lipsko, Akademische Verlagsgesellschaft Geest u. porting 1964
- [9] HIRŠL, J. : Keramická piezoelektrika, TESLA -VÚST Praha
- [10] HAAS, O. : Studium obrábění s využitím AE, Diplomová práce VŠST LIBEREC 1993
- [11] PŘIKRYL, Z. - MUSÍLKOVÁ, R. : Teorie obrábění, Praha, SNTL ALFA 1982
- [12] PLUHAŘ, J. : Nauka o materiálech, SNTL/ALFA, PRAHA 1989
- [13] VOCEL, M., DUFEK, V. : Tření a opotřebení strojních součástí. SNTL Praha, 1976
- [14] KAŠÁK, M.: Součinitel tření a opotřebení materiálu pro brzdná obložení. VŠST Liberec, DP 1985
- [15] GREŠNIKOV, V. A., DROBOT, J. B. : Akustičeskaja emissija, Izdatčistvo standartov, Moskva 1976
- [16] ZEHNULA, K., MATYÁŠ, V.: Měření ultrazvukové emise, Slaboproudý obzor 46, č. 1, VUT Brno, 1985
- [17] ONDRÁČEK, J. : Vliv obrobitelnosti materiálu na signál AE při soustružení, VŠST Liberec, DP 1994
- [18] NOVOTNÝ, A. : Využití AE v procesu obrábění. DP VŠST Liberec, 1992

- [19] POPPEOVÁ, V. a kol. : Nové technológie obrábania a metrologické metódy, časť 2/1, VŠDS Žilina, KTOLV 176/92
- [20] ŽIŽKA, J. : Kontrola stavu řn pomocí amplitudové analýzy signálu AE, Sborník prací VŠST Liberec 1989
- [21] PODURAJEV, V. N. :Těchnologičeskaja diagnostika rezanija metodom AE, Mašinostrojenje. Moskva 1988
- [22] ČELIŠ, P. : Vliv geometrie řN na signál AE, DP VŠST Liberec,1993
- [23] DUŠEK, F. : Analyzátor AE 256 L, Brno 1992
- [24] PÁRAL, Z. : Popis ovládání programu AED SCANNER V932.4, Brno 1992
- [25] TARABA, O. : Vybrané stati z fyzikální akustiky I, Ultrazvuk, ČVUT Praha, 1972
- [26] DRÁB, V.: Technologie I, VŠST Liberec,1985
- [27] HLÁSEK, P. : Strojírenská technologie III, SNTL Praha, 1986
- [28] POPPEOVÁ, V.- URÍČEK, J.- KUMIČÁKOVÁ, D.: Výsledky štúdia signálu AE pri sústružení, IX. vědecké sympozium VŠST Liberec - TU Dresden
- [29] PECHAROVÁ, V.: Řezné síly při obrábění technických materiálů, DP TU Liberec, 1995
- [30] RATANA, S.: Krátkodobé zkoušky s využitím AE, DP TU Liberec, 1995
- [31] VRZÁŇ, T.: Studium obrábění jednobřítým a vícebřítým nástrojem pomocí AE, DP TU Liberec, 1995

Na závěr své diplomové práce bych chtěl poděkovat panu Ing. Aleši Průškovi, CSc., Ing. Janu Žižkovi, CSc., Ing. Janu Matuskému, CSc. a Doc. Ing. Vladimíru Gabrielovi, CSc. za odborné vedení diplomové práce a množství cenných rad a připomínek. Dále bych chtěl poděkovat panu Tomáši Vrzáňovi za spolupráci při prováděných experimentech a všem, kteří mi pomohli ke zdárnému dokončení této diplomové práce.

V Liberci 26. května 1995

Pavel Bláha

Pavel Bláha

Vliv prittiacne sily - soustruzeni								
Tabulka cislo 1		Sonda: Dunegan						
E1016 az E1020		Zesileni: 12 dB						
		Frekvence: 0,3 az 2 MHz						
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 174814						
$\alpha_s = 6^\circ$		$\beta_s = 5^\circ$		$\gamma_r = 75^\circ$				
$v = 60 \text{ m/min}$		$s = 0,188 \text{ mm/ot}$					$h = 2 \text{ mm}$	
Pritlacna sila [N]	Absol. soucet/s	Prumer	Asymetrie	Smerodatn odchylna	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.	Prechod. vrstva
2,5	93991	34,79	3,61	33,46	17,14	22	2510	vazelina
12,7	99062	31,02	3,76	23,64	25,85	22	2972	vazelina
23	135002	31,24	3,53	22,29	25,44	22	3951	vazelina
29,6	125067	32,11	3,66	24,38	24,62	22	3414	vazelina
23	53487	28,27	3,65	11,62	45,56	27	3126	bez vazel

Soustruzeni - vliv sondy								
Tabulka cislo 2		Frekvence: 0,7 az 2 MHz						
E1010 az E1015		Zesileni: 0 a 21 dB						
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 174814						
$\alpha_s = 6^\circ$		$\beta_s = 5^\circ$		$\gamma_r = 75^\circ$				
$v = 60 \text{ m/min}$		$s = 0,188 \text{ mm/ot}$					$h = 2 \text{ mm}$	
Sonda	Zesileni [dB]	Absolutn. soucet/s	Prumer	Asymetrie	Smerod. odchylna	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
Dunegan	0	178	10,68	2,63	14,76	5,68	6	21
870715	0	59	20,98	1,24	23,12	-8,59	6	6
860798	0	11	17,17	1,68	18,78	1,17	8	2
860711	0	23	10,39	4,34	10,8	19,71	5	7
87	0	17	8,59	1,66	6,85	3,6	1	3
Dunegan	21	2797	16,73	7,12	22,86	56,81	12	209
870715	21	5334	14,6	8,59	16,44	96,3	14	315
860798	21	3252	10,9	9,6	12,45	137	6	220
860711	21	2248	17,71	8,05	21,05	75,45	15	155
87	21	463	12,18	14,14	12,49	264,77	11	37

Soustružení - vliv zesílení							
Tabulka číslo 3		Sonda: 870715 Frekvence: 0,3 až 2 MHz					
E0791 až E0810							
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 15260					
$\alpha_o = 6^\circ$		$\lambda_o = 5^\circ$		$\alpha_r = 75^\circ$			
$v = 80 \text{ m/min}$		$s = 0,2 \text{ mm/ot}$		$h = 1 \text{ mm}$			
Zesílení [dB]	Absolutní součet/s	Průměr	Asymetrie	Smerod. odchylka	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
6	34840	19,05	4,48	5,14	182,35	18	3067
12	152875	19,93	2,63	5,25	92,28	21	13500
18	213592	20,44	2,62	6,88	63,63	22	14956
21	233823	21,6	1,93	9,77	26,85	22	11998

Soustružení - vliv zesílení							
Tabulka číslo 4		Sonda: 870715 Frekvence: 0,7 až 1,2 MHz					
E0791 až E0865							
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 15260					
$\alpha_o = 6^\circ$		$\lambda_o = 5^\circ$		$\alpha_r = 75^\circ$			
$v = 80 \text{ m/min}$		$s = 0,2 \text{ mm/ot}$		$h = 1 \text{ mm}$			
Zesílení [dB]	Absolutn. součet/s	Průměr	Asymetrie	Smerod. odchylka	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	31	6,55	0,27	3,58	-0,87	6	6
6	89	8,91	0,42	5,65	-0,67	2	9
12	432	10,39	10,14	17,62	-0,82	2	37
18	794	9,18	0,57	5,47	-9,35	8	65
21	1532	9,72	0,91	5,31	3,63	10	121

Soustružení - vliv zesílení							
Tabulka číslo 7		Sonda: Dunegan					
E0986 a E1009		Frekvence: 0,7 až 2 MHz					
Brit: SPUA 120308 T 01 520 N D210				Obrobek: 174814			
$\alpha_b = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\gamma_r = 75^\circ$			
v = 60 m/min		s = 0,188 mm/ot			h = 2 mm		
Zesílení [dB]	Absolutní součet/s	Průměr	Asymetrie	Smerod. odchylka	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	66	14,62	2,04	19,14	2,69	5	9
12	1569	14,81	6,25	21,71	48,48	12	96
21	11931	15,75	8	19,52	76,8	14	697

Soustružení - vliv zesílení							
Tabulka číslo 8		Sonda: Dunegan					
E0986 až E1009		Frekvence: 0,3 až 2 MHz					
Brit: SPUA 120308 T 01 520 N D210				Obrobek: 174814			
$\alpha_b = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\gamma_r = 75^\circ$			
v = 60 m/min		s = 0,188 mm/ot			h = 2 mm		
Zesílení [dB]	Absolutní součet/s	Průměr	Asymetrie	Smerod. odchylka	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	5530	24,99	2,64	11,46	24,16	22	345
12	136615	23,78	5,19	12,98	67,84	22	6553
21	164543	27,58	2,08	162677	17,66	25	164543

Kontinualni zkouska							
Tabulka cislo 9		Sonda: 870715					
E0968		Zesileni: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2MHz					
Brit:		SPUA 120308 D210		Obrobek: 194364			
$\alpha_o = 6^\circ$		$\phi_o = 5^\circ$		$\alpha_r = 75^\circ$			
$v = 48 \text{ m/min}$		$s = 0,2 \text{ mm/ot}$		$h = 2 \text{ mm}$			
Cas [s]	Absolutni soucet/s	Prumer	Modus	Abs. cetn. pro mod.	Rozptyl	Asymetrie	Exces
0	75493	47,6	31	554	3242	2,27	4,39
1,15	32608	73,7	3	201	6088	1,08	-0,26
2,25	18261	94,2	1	79	6594	0,59	-1,09
3,35	18148	124,1	254	46	6112	0,09	-1,3
4,49	17748	127,9	7	41	5951	0	-1,27
5,55	16993	128,9	254	47	5935	-0,01	-1,27
6,65	16880	125,7	31	44	6025	0,03	-1,29
7,75	16301	127,3	3	44	6064	0,01	-1,28
8,9	17631	124,6	2	41	6068	0,05	-1,29
10	17584	127,7	251	36	5899	0,01	-1,27
11,09	17929	126,6	31	40	6172	-0,01	-1,31
12,19	17260	124,9	31	43	5972	0,05	-1,28
13,29	16984	126,2	31	48	6030	0,02	-1,28
14,39	16516	127,3	188	108	6366	-0,03	-1,36
15,49	16274	110,5	3	70	6550	0,28	-1,32
16,64	23519	85,2	1	124	6640	0,78	-0,86
17,74	23949	83,6	1	140	6490	0,83	-0,75
18,84	115389	39,2	22	687	1910	2,92	9,4
19,94	63034	47,5	3	381	3138	2,18	4,17
21,04	120144	35,7	31	962	1739	3,21	11,35

Kontinualni zkouska							
Tabulka cislo 10		Sonda: Dunegan					
E0970		Zesileni: 21 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 174814					
$\alpha_o = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\alpha_r = 75^\circ$			
v = 200 m/min		s = 0.2 mm/ot		h = 2 mm			
Cas [s]	Absolutni souc./s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
0	12485	110	0,43	4017	-0,56	84	61
2,03	8881	115,8	0,39	4251	-0,72	87	47
4	8497	118,3	0,33	4255	-0,75	90	49
5,98	9515	115,7	0,38	4218	-0,74	87	51
8,02	9295	115,2	0,4	4258	-0,74	94	53
9,99	10448	113,8	0,38	4260	-0,7	79	56
11,97	10475	113,4	0,4	4292	-0,72	58	48
14	10425	112,1	0,44	4224	-0,66	96	57
15,98	10983	111,2	0,42	4222	-0,68	63	59
17,96	10606	111,7	0,44	4231	-0,67	139	81
19,94	11065	110,3	0,42	4423	-0,75	90	50
21,97	13932	99,9	0,55	5015	-0,77	14	68
23,94	61859	52,7	1,85	2374	3,79	3	560
25,92	172440	37,3	0,65	372	1,83	33	2329
27,96	162382	41,9	0,64	576	1,11	33	1567

Kontinualni zkouska							
Tabulka cislo 11		Sonda: Dunegan					
E0971		Zesileni: 21 dB					
		Frekvence: 0,7 az 2 MHz					
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 174814					
$\alpha_o = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\alpha_r = 75^\circ$			
$v = 200 \text{ m m/min}$		$s = 0,2 \text{ mm/ot}$		$h = 2 \text{ mm}$			
Cas [s]	Absolutni souc./s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
0	184	13,6	0,74	26,2	0,06	12	25
9,5	6875	93,05	0,61	6767,9	-1,08	225	137
19	5125	91,95	0,62	6915,3	-1,1	1	115
28,51	4411	96,46	0,52	7175,5	-1,23	1	98
38	5358	95,28	0,57	7033,7	-1,15	1	134
47,51	4675	92,2	0,6	6811,8	-1,11	1	100
57,01	5636	96,55	0,53	7104,7	-1,22	1	123
66,51	6426	96,41	0,54	7130,9	-1,2	3	144
76,01	6484	98,36	0,49	7100,7	-1,23	1	148
85,52	7099	100,13	0,47	7023,4	-1,26	225	174
95,02	7942	99,43	0,49	7107,1	-1,24	225	174
104,52	10039	98,75	0,51	7227,7	-1,24	225	285
114,03	10058	98,71	0,51	7182,1	-1,23	225	239
123,52	9973	98,08	0,51	7047,5	-1,2	95	434
133	80683	25,09	3,36	2119,3	11,03	3	4601

Kontinualni zkouska							
Tabulka cislo 12		Sonda: Dunegan					
E0969		Zesileni: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Brit: SPUN 120308 S20		Obrobek: 174814					
$\alpha_o = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\beta_r = 75^\circ$			
v = 200 m/min		s = 0,2 mm/ot		h = 2 mm			
Cas [s]	Absol. soucet/s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
0	11104	105,68	0,36	6588,8	-1,27	2	146
3,9	12711	104,8	0,36	6431,9	-1,24	1	151
7,79	11753	112,58	0,23	6455,3	-1,32	3	123
11,7	11882	112,53	0,25	6375,9	-1,29	12	120
15,6	11844	115,27	0,2	6438,3	-1,32	164	170
19,44	11855	114,41	0,22	6304,1	-1,29	66	134
23,34	11992	116,34	0,18	6399,8	-1,31	3	138
27,24	12026	117,24	0,17	6498,2	-1,34	3	118
31,14	11849	115,27	0,2	6387,3	-1,32	7	124
34,99	12013	116,7	0,19	6422,6	-1,32	3	128
38,89	12404	115,6	0,2	6386,7	-1,31	7	132
42,79	12613	117,3	0,17	6450,9	-1,33	3	118
46,69	12763	117,9	0,17	6374,6	-1,31	3	116
50,59	12724	118,7	0,17	6352,5	-1,31	18	120
54,43	47149	63,9	1,39	4654,7	0,85	7	1111

Rezne sily a AE						
Tabulka cislo 13		Sonda: 870715				
		Zesileni: 12 dB				
E1023 az E1123		Frekvence: 0,3 az 2 MHz				
Brit: SPUN 120308 S20 ostry						
$\alpha_o = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\gamma_r = 75^\circ$		
v = 60 m/min		s = 0,2 mm/ot		h = 2 mm		
Cislo	Material obrobku	Trida obrobitelny	Absolutni soucet	Rezne sily		
				Fc [N]	Fp [N]	Ff [N]
1	19830	9	201529	640	357	360
2	19810	9	160335	1020	442	640
3	19436	9	191825	1150	505	768
4	13240	10	207757	600	270	328
5	15260	11	220085	740	335	400
6	19312	11	143800	1140	457	704
7	14340	12	77988	610	250	352
8	14220	13	102771	750	240	416
9	15230	13	202738	630	330	384
10	11373	14	103807	780	364	560
11	12020	15	140359	580	338	372

Rezne sily a AE						
Tabulka cislo 14		Sonda: 870715				
		Zesileni: 12 dB				
E1023 az E1123		Frekvence: 0,3 az 2 MHz				
Brit: SPUN 120308 S20 ostry						
$\alpha_o = 6^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\gamma_r = 75^\circ$		
v = 200 m/min		s = 0,2 mm/ot		h = 2 mm		
Cislo	Material obrobku	Trida obrobiteľn	Absolutni soucet	Rezne sily		
				Fc [N]	Fp [N]	Ff [N]
1	19830	9	154254	540	255	240
2	19810	9	215669	940	372	492
3	19436	9	65474	1040	425	560
4	13240	10	151713	520	240	240
5	15260	11	219111	660	345	376
6	19312	11	211268	1000	450	616
7	14340	12				
8	14220	13	174758	760	220	408
9	15230	13	169850	570	260	272
10	11373	14	213267	480	176	268
11	12020	15	219852	470	240	264

Zkouska vrtanim							
Tabulka cislo 16		Sonda: 870715					
E1214		Zesileni: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2MHz					
Vrtak: CSN 221121 tupy		Obrobek: 12050					
		Vzdalenost sondy od zdroje: 45 mm					
		v = 17,8 m/min h = 10 mm					
Cas [s]	Absolutni soucet/s	Prumer	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	50947	18,61	51,94	2,68	62,13	18	1911
1,87	122651	18,43	46,34	3,11	87,77	19	4356
3,73	184502	18,86	72,09	3,73	69,26	18	5402
5,6	206971	18,39	76,87	3,19	61,54	18	5390
7,46	201764	17,83	58,51	2,28	53,33	17	5837
9,33	185592	18,29	58,58	0,71	10,11	18	5362
11,2	190413	18,42	62,73	1,12	17,19	18	5238
13,01	193973	17,87	60,47	1,42	24,97	18	6183
14,88	210505	17,83	82,28	4,51	92,34	18	5494
16,75	220276	17,48	67,68	0,92	9,15	17	5578
18,61	231183	18,63	125,31	3,85	53,33	18	5068
20,48	235523	17,23	82,66	2,39	40,58	17	5617
22,41	234432	18,05	91,21	1,81	24,11	17	5279
24,22	230908	17,77	87,66	2,56	40,24	17	5508
26,03	218504	18,26	102,89	4,28	69,06	18	5478

Vrtani s konstantni posuvovou silou							
Tabulka	cislo 17	Sonda: 870715					
		Zesileni: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2MHz					
E1216							
Vrtak:		CSN 2211 21		tupy		Obrobek: 12050	
		Vzdalenost zdroje od		snimace:		75 mm	
		v = 17,8 m/min		h = 10 mm			
Cas	Absolutni	Pumer	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost
[s]	soucet/s						pro mod.
0	37261	17,16	38,95	0,15	0,92	17	1561
1,81	146871	18	62,63	6,35	143,39	19	4942
3,57	182364	18,29	53,41	1,17	18,63	19	5635
5,32	219319	17,77	54,22	1,03	18,31	18	6412
7,08	194762	18,42	66,63	3,49	71,28	18	5650
8,84	204280	17,65	57,92	1,27	23,96	18	6002
10,6	196063	17,84	48,13	1,23	28,05	19	6196
12,35	179690	17,81	51,61	1,58	35,89	18	6228
14,17	191556	17,96	62,57	1,76	28,44	18	5526
15,92	205571	17,55	57,22	1,66	33,41	18	5946
17,68	216456	17,33	62,36	1,69	30,39	18	5999
19,44	198450	17,94	98,66	4,87	82,71	18	5522
21,2	239823	17,32	79,58	4,88	79,58	17	6480
22,95	204298	17,93	81,63	1,85	81,63	17	5046
24,72	240649	18,07	87,67	3,46	87,67	17	6199

Vrtani s konstantni posuvovou silou							
Tabulk E1213	cislo 18	Sonda: 870715					
		Zesileni: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2MHz					
Vrtak:		CSN 221121 tupy			Obrobek: 12050		
		Vzdalenost sondy od zdroje:			30 mm		
		v = 17,8 m/min			h = 10 mm		
Cas [s]	Absolutni soucet/s	Prumer	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	19885	17,23	69,2	8,22	199,08	19	763
1,87	171391	17,91	64,49	5,05	110,02	18	5371
3,73	196646	18,45	57,44	1,46	26,16	19	5692
5,6	228956	17,59	70,64	2,63	54,06	17	5865
7,46	228153	18,16	73,38	1,56	25,78	18	5630
9,33	220357	18,03	91,7	5,38	101,63	17	5679
11,2	223401	18,67	105,67	3,22	47,24	18	5253
13,01	210425	17,82	69,36	1,51	22,87	18	6135
14,88	223982	17,96	70,02	1,04	13,36	17	5648
16,75	219096	17,99	69,78	1,46	23,47	18	5701
18,61	228505	18,93	103,46	3,11	44,45	17	5153
20,48	229773	17,68	75,27	1,71	24,42	17	5651
22,41	231044	17,55	70,87	1,77	30,34	17	5230
24,22	237800	17,95	123,97	3,71	50,52	14	5171
26,03	218404	18,19	103,35	3,89	59,24	18	5168

Vrtani s konstantni posuvovou silou							
Tabulka číslo 19		Sonda: 870715					
E1333		Zesílení: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 až 2MHz					
Vrtak:		CSN 221121 ostrý			Obrobek: 12050		
		Vzdálenost sondy od zdroje: 30 mm					
		$v = 17,8 \text{ m/min}$			$h = 10 \text{ mm}$		
Čas [s]	Absolutní součet/s	Průměr	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Četnost pro mod.
0	684	17,27	25,48	-0,5	0,85	18	42
1,81	699	16,89	55,98	3,23	29,87	18	33
3,57	1620	18,16	23,59	-0,3	0,6	19	84
5,38	3467	17,88	28,49	0,83	4,87	18	165
7,14	1959	18,04	27,87	0,14	1,97	17	96
8,95	5251	24,28	182,49	1,09	0,99	18	159
10,71	3229	17,75	18,85	-0,25	0,82	18	182
12,52	5868	17,61	24,46	-0,22	0,54	17	297
14,28	3526	17,71	24,31	0,11	1,39	17	182
16,09	4464	18,61	30,14	0,63	3,55	17	210
17,85	3056	18,28	23,11	-0,17	0,94	18	172
19,66	2275	17,63	22,8	-0,4	0,79	20	107
21,42	10397	18,16	28,25	0,27	1,78	17	492
23,23	3139	17,37	23,21	-0,26	0,34	17	149
24,99	6127	18,56	24,57	-0,05	1,35	18	288

Vrtání s konstantní posuvovou silou							
Tabulka číslo 20		Sonda: 870715					
E1330		Zesílení: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 až 2MHz					
Vrták: CSN 221121 ostrý				Obrobek: 12050			
Chlazení emulzí				Vzdálen. od zdroje: 30 mm			
v = 17,8 m/min				h = 10 mm			
Cas [s]	Absolutní součet/s	Průměr	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	2749	14,27	33,07	0,29	0,18	12	94
1,53	4569	15,99	27,07	0,42	0,62	15	156
3,02	61249	16,77	101,08	10,52	205,63	14	1757
4,5	2626	15,32	17,11	-0,02	0,46	14	130
6,04	746	14,4	25,68	-0,03	0,24	14	34
7,52	1976	15,31	24,11	0,09	0,12	14	76
9	2020	16,01	27,87	0,46	1,89	14	81
10,49	4119	16,04	31,44	0,71	3,24	15	169
12,02	4525	16,14	28,48	0,26	0,96	15	157
13,51	3615	15,48	31,28	-0,04	-0,06	17	122
14,99	3555	16,58	27,06	-0,13	0,33	17	130
16,47	11099	17,55	75,88	9,56	226,01	17	368
18,01	12840	17,23	39,75	0,66	2,44	15	383
19,49	7501	16,56	39,23	0,92	5,99	15	247
20,98	5633	16,92	52,29	2,16	23,81	18	178

Vrtání s konstantní posuvovou silou							
Tabulkové číslo 21 E1236	Sonda: 870715						
	Zesílení: 12 dB						
	Frekvence: 0,3 až 2MHz						
Vrták: CSN 221121 ostrý				Obrobek: 12020			
Vzdálenost sondy od zdroje: 30 mm							
v = 17,8 m/min				h = 10 mm			
Cas [s]	Absolutní součet/s	Průměr	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Četnost pro mod.
0	14173	19,79	37,26	1,68	18,21	21	868
1,81	22525	20,06	144,37	8,94	136,05	21	1178
3,62	90328	20,16	22,79	2,58	79,81	21	5529
5,44	107750	20	25,98	2,51	53,58	21	6422
7,25	98879	19,97	77,81	10,78	221,26	20	5189
9,06	124670	20,4	51,82	6,22	136,26	21	6565
10,87	108061	19,99	33,93	8,52	285,82	21	6287
12,68	128325	20,63	48,57	7,43	171,36	21	6980
14,5	116768	20,13	41,68	5,74	146,52	21	6453
16,31	145168	19,96	83,84	9,83	191,64	21	7079
18,12	131125	20,34	33,02	8,56	267,44	21	7575
19,94	174863	20,08	40,06	8,48	229,24	21	8932
21,75	140331	19,87	32,98	8,6	281,53	21	7895
23,5	145899	20,37	51,03	11,14	298,58	21	8372

Vrtani s konstantnim posuvem							
Tabulka číslo 22		Sonda: 870715					
E1383		Zesílení: 12 dB					
		Frekvence: 0,3 až 2MHz					
Vrták: CSN 221121 ostrý		Obrobek: 12020					
Vzdálenost sondy od zdroje: 30 mm							
v = 17,8 m/min		s = 0,08 mm/ot		h = 10 mm			
Cas [s]	Absolutní součet/s	Průměr	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Četnost pro mod.
0	2546	17,87	138,24	8,68	132,49	16	94
1,31	13272	18,84	29,27	0,41	2,68	19	499
2,63	22464	19,37	47,84	9,33	252,94	20	800
3,9	16356	19,19	44,62	13,79	407,47	19	765
5,21	29099	19,14	20,41	0,05	3,42	20	1167
6,53	26519	19,14	27,5	6,59	225,4	19	1036
7,8	36822	19,15	24,96	4,92	167,2	20	1774
9,12	123146	20,18	177,89	9,89	140,84	19	3856
10,44	95331	19,75	84,81	11,16	231,49	19	3342
11,7	80886	20,18	145,02	12,03	192,68	19	2987

Rovinne frezovani vliv polohy sondy							
Tabulka cislo 23		Sonda: 870715					
		Zesileni: 12 dB					
E1176 az 1178		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Freza: PN 22234 S2				Obrobek: 12050			
$\alpha_r = 55^\circ$		$\alpha_o = 10^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\lambda_s = -4^\circ$	
v = 25,13 m/min		h = 1 mm		s = 0,312 mm/zub			
Poloha sondy	Abs. souc pro zaber	Prumer	Smerod. odchylka	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
Zezadu	7039	28,37	14,55	3,456	31,74	23	359
Na boku	6227	28,44	17,11	4,263	37,11	23	327
Zhora	8713	26,148	12,29	3,308	41,02	22	472

Frezovani - vliv vzdalenosti sondy							
Tabulka cislo 24		Sonda: Dunegan					
		Zesileni: 12 dB					
E1174 az E1176		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Freza: PN 222348 prumer 250 mm		Obrobek: 12050					
$\alpha_r = 55^\circ$		$\alpha_o = 10^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\lambda_s = -4^\circ$	
$v = 25,13 \text{ m/min}$		$sz = 0,312 \text{ mm/zub}$				$h = 1 \text{ mm}$	
Vzdalen. od zdroje	Abs. souc pro zaber	Prumer	Smerod. odchylka	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
90	8713	26,148	12,29	3,308	41,025	22	472
170	7529	27,508	15,95	4,93	51,42	22,6	400
240	5337	28,025	14,56	4,193	45,85	24	289

Frezovani jednim břitem							
Tabulka cislo 25 E1200	Sonda: Dunegan						
	Zesileni: 12 dB						
	Frekvence: 0,3 az 2 MHz						
Freza: PN222348 S2				Obrobek: 12050			
$\alpha_r = 55^\circ$		$\alpha_o = 10^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\lambda_s = -4^\circ$	
v = 25,13 m/min		sz = 0,292 mm/zub			h = 1 mm		
Cas [s]	Abs. souc pro krok	Přumer	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	6	22,16	7,8	-0,03	-1,34	18	1
0,054	15	18,53	12,64	-1,46	1,41	18	3
0,109	206	20,55	23,71	-0,23	0,03	24	19
0,164	1912	21,53	38,7	-0,24	0,86	23	160
0,219	1596	24,01	41,72	-0,24	0,66	25	128
0,274	2002	23,51	47,18	0,24	0,56	23	138
0,329	818	24,61	23,54	0,16	0,02	22	80
0,384	1344	22,5	31,44	-0,14	0,38	22	122
0,439	1691	25,9	139,66	3,73	37,49	22	118
0,494	1819	22,93	34,62	-0,06	0,32	22	143
0,549	563	21,26	42,42	-0,16	-0,14	22	46
2,087	1800	21,56	44,23	-0,03	0,84	22	138
2,142	2707	20,57	45,96	0,47	2,02	22	207
2,197	3474	20,59	33,78	0,05	1,33	20	274
2,251	2444	21,04	26,14	0,08	0,074	22	229
2,306	901	22,75	31,9	-0,24	0,33	22	70
3,57	6297	28,58	227,11	3,29	29,74	25	279
3,625	2955	26,97	68,83	0,48	1,04	25	181
3,68	3849	26,95	113,6	2,29	15,7	25	249
3,734	4104	27,17	89,66	0,7	3,02	25	237
3,789	3549	29,16	185,4	1,65	2,21	24	150
3,844	3129	26,6	87,57	0,75	1,67	25	173
3,899	773	22,98	20,71	-0,21	1,12	23	78
3,954	933	22,95	31,73	-0,21	0,94	22	85
4,009	4606	30,77	269,09	4,61	44,93	25	226
4,064	1553	26,66	106,05	1,77	15,72	22	88

Rovinne frezovani tremi brity							
Tabulka cislo 26		Sonda: Dunegan					
E1201		Zesileni: 12 dB					
		Frekvence : 0,3 az 2 MHz					
Freza: PN 222348 S2		Obrobek: 12050					
$\alpha_r = 55^\circ$		$\alpha_o = 10^\circ$		$\beta_o = 5^\circ$		$\lambda_s = -4^\circ$	
v = 25,13 m/min		sz = 0.292 mm/zub			h = 1 mm		
Cas [s]	Abs. souc. pro krok	Prumer	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost. pro modus
0	3981	26,27	48,57	0,23	0,72	25	272
0,054	3052	30,57	636,54	4,73	31,64	22	135
0,109	3021	28,5	621,41	3,5	28,12	22	124
0,164	3124	28,94	612,4	3,12	27,15	23	112
0,219	2541	27,02	519,24	2,51	12,2	22	98
0,274	791	26,3	88,44	0,91	0,66	22	66
0,329	6489	31,65	264,69	2,84	22,54	25	257
0,384	7169	26,51	98,08	1,08	2,65	24	420
0,439	6292	32,86	201,87	1,29	6,41	27	242
0,494	3084	26,88	137,39	1,87	14,43	23	165
0,549	4554	30,11	281,83	3,4	27,46	22	205
0,604	2579	23,44	36,2	1,75	19,89	22	255
0,659	2004	22,37	70,5	1,83	27,29	22	124
0,714	1951	22,13	62,15	1,24	22,14	23	112
0,768	1243	21,14	31,23	0,95	12,15	22	62
0,823	253	20,94	16,85	0,05	0,47	22	30
0,878	6808	33,09	278,81	2,85	24,8	25	244
0,933	3082	30,08	208,52	4,19	38,39	25	187
0,988	5365	35,19	322,81	2,24	15,42	25	198
1,043	3037	27,73	104,22	0,97	2,19	22	171
1,098	968	25,38	42,29	0,71	2,44	23	87
1,153	2124	22,37	37,08	0,25	1,69	23	171
1,208	422	22,07	14,81	-0,09	0,44	22	53
1,263	343	21,09	26,32	-0,58	0,81	23	34
1,318	452	22,19	34,25	1,22	4,15	22	42
1,373	1343	30,33	273,29	4,22	50,63	22	57
1,428	6753	32,32	333,33	3,79	32,2	27	242
1,482	5369	30,89	236,67	3,15	26,44	27	318
1,537	3034	24,21	52,84	0,37	0,69	24	209
1,592	7405	32,84	220,15	1,91	16,36	27	302
1,647	6171	29,74	191,4	2,29	17,3	27	273
1,702	7885	29,7	202,19	2,4	22,93	25	345
1,757	6704	31,79	191,4	1,84	11,36	25	278
1,812	3129	27,59	158,67	5,47	77,68	23	195
1,867	530	30,59	99,62	0,63	0,64	27	43
1,922	620	27,25	54,24	0,71	1,24	19	59
1,977	2275	25,44	47,74	0,75	1,88	24	177
2,032	6888	31,83	307,22	3,73	32,47	27	293
2,087	3530	27,73	83,56	0,78	1,7	25	203
2,142	5740	30,55	250,41	2,55	25,32	25	211
2,197	3916	35,11	251,35	1,54	11,16	29	134
2,251	4177	31,79	221,05	4,25	45,77	23	207
2,306	6821	31,58	199,07	2	18,24	27	272

Pokracovani tabulky 26

2,361	3203	28,57	150,32	1,44	5,18	25	197
2,416	2092	24,81	79,31	0,7	1,58	25	145
2,471	1998	26,31	82,15	1,01	1,6	24	129
2,526	1842	30,87	151,22	1,05	1,69	24	107
2,581	3326	30,53	144,89	0,72	1,02	26	148
2,636	4943	36,01	665,21	4,03	25,42	27	190
2,691	1711	23,79	38,24	0,6	1,68	24	136
2,746	3245	30,6	195,76	3,16	27,04	25	167
2,801	4326	33,73	430,59	4,49	36,43	25	160
2,856	1331	28,91	144,95	1,62	6,45	24	72
2,911	2172	25,36	46,12	0,75	2,25	25	170
2,965	246	18,85	21,52	-0,69	0,78	20	31
3,02	1139	20,72	69,91	3,21	47,3	21	85
3,075	368	25,29	33,03	0,38	0,29	21	33
3,13	3277	31,01	290,46	3,92	35,52	27	162
3,185	3555	31,55	168,58	2,5	20,99	27	180
3,24	3045	34,21	473,63	4,18	32,03	25	122
3,295	1437	27,14	50,21	0,62	0,66	24	97
3,35	4885	31,54	230,49	2,51	24,23	25	193
3,405	3770	33,56	297,85	3,34	32,15	22	129
3,46	5626	30,31	160,15	2,26	25,69	25	262
3,515	3360	28,61	114,67	1,45	8,05	24	180
3,57	4366	28,34	200,59	5,39	62,33	25	247
3,625	343	23,91	55,94	0,23	0,48	22	32
3,68	2056	29,33	103,53	1,16	2,45	27	113
3,734	4163	32,57	241,41	2,3	17,12	24	171
3,789	4601	33,94	359,93	3,77	28,7	27	181
3,844	2918	22,34	32,78	-0,12	0,81	24	245
3,899	2738	25,25	35,58	0	0,53	24	217
3,954	2634	28,14	104,05	1	1,73	22	176
4,009	4702	28,83	189,1	3,82	40,93	25	239
4,064	3391	37,27	451,71	2,6	14,25	29	116
4,119	4197	35,56	396,49	3,15	24,77	24	130
4,174	3473	34,52	376,06	4,23	35,84	33	135
4,229	2032	29,57	148,61	0,73	1,24	25	101
4,284	1570	25,19	34,28	0,28	0,86	25	138
4,339	230	22,65	10,62	-0,05	1,91	22	37
4,394	227	21,79	10,92	-0,21	0,16	22	29
4,448	517	23,23	17,6	0,16	0,71	21	55
4,503	2675	25,52	43,59	0,52	0,83	25	204
4,558	4841	35,48	307,07	2,1	14,24	25	180
4,613	34,28	26,35	79,42	0,96	2,27	22	219
4,668	2951	25,01	69,06	1,12	3,38	24	202
4,723	2336	29,07	81,97	1,23	4,6	27	170
4,778	2767	27,21	101,61	0,74	1,61	22	150
4,833	209	23,65	23,81	0,06	0,04	27	24
4,888	5451	30,24	189,39	1,67	10,54	24	232
4,943	2761	21,66	48,21	0,06	0,86	22	215
4,998	4729	31,55	373,47	3,65	29,63	25	202

Frezování sestí brity							
Tabulka číslo 27		Sonda: Dunegan Zesílení: 12 dB Frekvence: 0,3 až 2 MHz					
E1202		Freza: PN 222348 průměr 250, S2 Obrobek: 12050 $\alpha_r = 55^\circ$ $\alpha_o = 10^\circ$ $\lambda_o = 5^\circ$ $\lambda_s = -4^\circ$ $v = 25,13 \text{ m/min}$ $az = 0,292 \text{ mm/zub}$ $h = 1 \text{ mm}$					
Cas [s]	Abs. souc. pro krok	Průměr	Rozptyl	Asymetrie	Exces	Modus	Cetnost pro mod.
0	4685	25,64	74,23	0,75	1,58	22	302
0,054	4157	27,99	171,64	3,75	34,97	25	242
0,109	5970	33,95	228,54	2,06	15,1	26	202
0,164	13423	30,99	295,82	3,2	26,85	25	541
0,219	6785	26,52	140,18	0,99	3,11	25	320
0,274	3512	32,27	380,09	3,95	29,66	24	169
0,329	4266	30,6	193,94	2,3	15,81	22	208
0,384	4410	30,48	382,55	4,64	38,12	25	226
0,439	5922	32,87	205,47	1,23	3,99	25	256
0,494	1566	27,8	108,02	1,18	1,98	23	104
0,549	6088	30,27	144,51	1,25	4,81	27	283
0,604	6558	34,09	335,39	2,36	14,76	24	236
0,659	5910	28,06	135,04	1,08	3,84	22	296
0,714	6145	28,12	91,88	0,64	1,48	27	312
0,768	2598	29,36	103,63	1,04	1,39	22	158
0,823	7440	29,41	166,09	1,56	12,96	27	309
0,878	5367	27,47	207,33	4,6	50	22	326
0,933	6421	31,69	202,15	1,36	4,31	27	270
0,988	5222	29,21	213	3,79	37,35	25	253
1,043	4376	30,61	185,56	1,55	6,81	25	230
1,098	6018	26,9	110,43	0,84	2,3	27	284
1,153	7465	27,65	132,69	1,29	4,12	25	393
1,208	8055	29,37	220,42	2,36	20,72	23	301
1,263	6788	31,03	191,26	2,2	20,99	27	286
1,318	4774	25,83	139,63	4,57	64,42	25	266
1,373	4001	25,05	64,18	0,98	2,61	22	273
1,428	6199	27,53	131,89	1,41	7,25	24	298
1,482	7470	28,2	134,51	1,21	5,82	25	328
1,537	6662	28,11	193,77	2,42	18,11	24	294
1,592	5487	28,21	155,94	1,92	9,3	25	296
1,647	2430	22,4	40,75	0,04	0,88	21	188
1,702	4396	27,81	137,67	2,31	14,54	24	275
1,757	7016	33,87	317,23	2,89	24,78	27	242
1,812	6682	30,87	183,03	1,72	10,6	25	279
1,867	5360	27,28	101,41	0,81	2,23	27	283
1,922	3861	27,5	149,2	1,62	6,06	23	212
1,977	4549	30,79	349,32	3,63	28,85	22	212
2,032	5743	31,33	294,16	3,5	29,41	22	244
2,087	7028	34,07	420,68	3,27	22,37	29	234
2,142	5327	32,02	327,11	4,11	32,99	25	275
2,197	6548	30,47	212,63	2,76	26,17	25	299
2,251	2928	32,66	265,67	1,54	4,14	25	148
2,306	3563	26,76	131,05	1,54	4,29	23	217

Pokracovani tabulky 27

2,361	3934	28,33	121,04	1,35	2,72	24	224
2,416	5268	28,35	109,27	0,89	2,04	27	258
2,471	6330	33,6	240,78	2,02	13,85	28	242
2,526	4266	30,02	141,97	1,22	2,68	24	227
2,581	5095	27,92	249,51	4,48	40,97	22	262
2,636	6343	29,63	207,04	2,92	28,79	25	300
2,691	7713	34,42	319,91	2,29	17,34	27	264
2,746	6434	29,63	178,48	2,86	30,16	25	286
2,801	2978	27,35	126,83	1,35	5,34	22	171
2,856	5417	28,49	139,67	1,17	4,97	24	251
2,911	6503	29,89	268,55	3,81	33,46	27	268
2,965	7122	33,4	238,11	1,9	14,69	31	276
3,02	7048	29,4	240,67	2,86	28,61	24	251
3,075	6555	33,43	318,74	2,67	19,97	27	248
3,13	6991	30,32	185,6	1,38	9,67	25	297
3,185	4549	26,46	108,34	1,31	5,33	24	251
3,24	3958	23,82	60,5	0,93	9,25	23	278
3,295	4335	25,44	147,66	4,35	44,58	25	280
3,35	6105	36,23	614,11	3,95	26,92	31	177
3,405	1617	25,47	53,13	1,11	2,65	23	128
3,46	3140	29,57	230,59	3,69	33,69	24	181
3,515	6136	25	137,66	3,36	36,09	21	337
3,57	4220	27,32	129,14	1,51	3,4	23	258
3,625	2263	25,41	105,78	3,91	48,81	22	186
3,68	5629	27,28	85,72	0,58	1,46	27	312
3,734	5894	29,52	227,9	4,99	53,13	27	284
3,789	6418	28,63	207,21	3,27	31,74	27	295
3,844	5493	28,78	233,1	3,3	29,85	22	282
3,899	5304	30,87	191,43	1,42	5,5	27	222
3,954	3451	26,44	96,56	1,35	5,8	22	225
4,009	1342	22,24	24,89	0,13	0,64	22	141
4,064	6464	28,13	114,66	1,79	16,22	24	307
4,119	5523	32,31	262,21	2,42	15,21	22	242
4,174	5229	26,75	83,53	1,24	6,76	22	314
4,229	4350	23,91	37,57	0,12	0,55	22	330
4,284	2688	22,67	110,96	0,82	4,4	22	146
4,339	5534	24,94	142,39	4,8	64,2	22	296
4,394	7649	30,72	202,95	2,26	21,21	27	289
4,448	5622	25,18	91,13	0,99	5,23	22	347
4,503	6708	29,84	251,45	4,48	46,47	27	304
4,558	6999	34,45	438,08	3,63	27,95	25	218
4,613	7469	28,26	179,01	2,1	15,68	22	320
4,668	6376	29,52	217,91	2,47	17,04	24	308
4,723	7837	32,04	265,4	2,56	22,61	27	301
4,778	6355	34,52	314,54	2,63	20,53	30	233
4,833	6291	31	241,35	2,95	27,72	24	245
4,888	6663	32,62	237,9	1,92	16,22	25	235
4,943	3057	26,56	100,5	2,82	30,52	24	203
4,998	5037	31,63	392	3,89	30,72	25	215

Zkouska plechu hloubenim podle Erichsena							
Tabulka cislo 28		Sonda: 870715					
E1430		Zesileni: 21 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Plech: FePO5				Tloustka: 0,8 mm			
Cas [s]	Absolutni souc./s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
1,482	1	3	0	0	0	3	1
3,295	1	3	0	0	0	3	1
7,25	157	17,66	-0,21	47,19	-0,28	19	14

Zkouska plechu hloubenim podle Erichsena							
Tabulka cislo 29		Sonda: 870715					
E1443		Zesileni: 21 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Plech: FePO5				Tloustka: 0,8 mm			
Cas [s]	Absol. soucet/s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
3,51	258	18,05	2,65	107,76	15,41	20	23
3,62	160	18,74	-0,84	26,19	1,71	21	20
3,72	14	10,64	-0,26	17,37	-0,72	13	3
3,78	59	13,22	0,73	56,31	1,88	16	5
4,12	106	15,82	-0,5	38,51	-0,67	19	10
4,45	1	14	0	0	0	14	1

Zkouska plechu hloubenim podle Erichsena							
Tabulka cislo 30		Sonda: 870715					
E1427		Zesileni: 21 dB					
		Frekvence: 0,03 az 2 MHz					
Plech: FePO5		Tloustka: 0,8 mm					
Cas [s]	Absolutni souc./s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
5,6	1	5	0	0	0	5	1
12,52	48	25,17	-0,21	61,47	0,1	21	5
13,51	2	24,5	0	0,25	-2	24	1
15,05	2	8,5	0	42,25	-2	2	1
16,42	232	44,98	1,45	930,07	2,79	40	7
17,41	2	28,5	0	2,25	-2	27	1
22,51	5	13,4	-0,93	45,84	-0,47	1	1

Zkouska plechu hloubenim podle Erichsena							
Tabulka cislo 31		Sonda: 870715					
E1420		Zesileni: 21 dB					
		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Plech: FePO5		Tloustka: 0,8 mm					
Cas [s]	Cetnost pro krok	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
5,767	1	8	0	0	0	8	1
13,731	7	10,57	0,64	96,1	-0,85	3	2
14,225	560	18,92	-0,17	15,87	1,02	19	70
14,72	1	8	0	0	0	8	1
14,774	8	65,37	1,01	6650,48	-0,71	13	2
14,83	3	30,66	0,6	971,56	-1,5	2	1
15,049	12	19,66	0,97	10,55	0,21	17	2
15,104	494	25,85	4,49	817,74	25,03	20	39
15,159	921	22,19	7,72	327,14	81,46	20	70

Zkouška plechu hloubením podle Erichsen							
Tabulka číslo 32		Sonda: 870715					
E1421		Zesílení: 21 dB					
		Frekvence: 0,03 až 2 MHz					
Plech: FePO5		Tloušťka: 0,8 mm					
Cas [s]	Cetnost pro krok	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
0	19	31,89	0,23	26,51	-0,46	32	3
0,494	1	21	0	0	0	21	1
0,659	8	4,12	1,14	26,36	-0,68	1	5
1,263	1	28	0	0	0	28	1
1,428	1	27	0	0	0	27	1
1,977	7	28,85	0	29,84	-0,89	21	1
2,856	15	32,33	0,47	45,02	0,17	28	2
2,966	3	26,67	0,65	9,55	-1,5	24	1
3,185	14	30,07	-0,52	36,78	-0,98	25	3
3,57	3	29,33	-0,57	14,89	-1,5	24	1
4,503	3	29,67	-0,53	11,56	-1,5	25	1
5,272	1	21	0	0	0	21	1
5,547	1	13	0	0	0	13	1
6,206	1	18	0	0	0	18	1
8,01	1	17	0	0	0	17	1
8,238	11	27,27	-0,01	47,47	-1,32	18	2
8,293	7	31,43	-0,21	27,1	-1,7	37	2
9,337	1	17	0	0	0	17	1
9,557	1	20	0	0	0	20	1
9,667	2	25	0	36	-2	19	1
10,435	11	23,64	0,43	41,32	-0,52	17	2
10,6	7	27,14	0,45	34,12	-0,63	19	1
10,71	1	15	0	0	0	15	1
10,875	13	29,38	0,14	31,47	-0,96	23	2
11,479	6	21,67	0,17	9,89	-1,7	19	2
11,589	2	20	0	9	-2	17	1
11,699	1	13	0	0	0	13	1
11,863	1	17	0	0	0	17	1
12,358	3	28,33	-0,29	10,88	-1,5	24	1
12,413	4	22,75	0,95	24,19	-0,85	19	2
12,468	1	13	0	0	0	13	1
12,797	10	20,6	-0,27	17,24	-0,96	14	2
13,017	3	25,33	-0,48	57,56	-1,5	15	1
13,237	1	21	0	0	0	21	1
13,896	4	21,25	0,69	45,69	-1,13	15	1
14,06	10	23,6	0,34	79,44	-1,36	14	2
14,5	3	32	0,71	18	-1,5	29	2

Pokracovani tabulky 32

Cas [s]	Cetnost pro krok	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
14,61	1	20	0	0	0	20	1
14,829	2	21	0	0	0	21	2
15,379	5	24	0	2	-1,29	22	1
16,257	1	29	0	0	0	29	1
16,367	10	20,6	-0,4	65,64	-0,38	14	2
16,697	1	23	0	0	0	23	1
17,136	1	24	0	0	0	24	1
17,905	14	22,36	0,09	42,37	-1,09	18	2
17,96	30	23,13	-0,02	92,52	-0,63	17	4
19,718	6	22,67	0,28	9,22	-0,47	18	1
19,992	1	25	0	0	0	25	1
20,212	1	22	0	0	0	22	1
20,597	2	22,5	0	30,25	-2	17	1
20,816	3	21,33	-0,65	9,55	-1,5	17	1
21,091	12	6,33	0,74	34,56	-0,87	1	4
21,201	2	22	0	9	-2	19	1
21,311	3	25,67	-0,5	40,22	-1,5	17	1
22,958	1	21	0	0	0	21	1
24,277	1	21	0	0	0	21	1
24,771	2	28	0	100	-2	18	1
25,155	1	25	0	0	0	25	1
25,54	4	16,5	0,28	14,75	-1,42	12	1
26,144	1	25	0	0	0	25	1
27,682	2	25,5	0	2,25	-2	24	1
28,396	11	22	-1,17	60,36	1,61	2	1
28,945	1	17	0	0	0	17	1
29,11	6	23	0,46	31	-0,52	15	1
29,385	26	22,5	0,46	42,87	-0,79	18	4
29,44	1	20	0	0	0	20	1
30,813	18	21,94	-0,76	11,94	2,1	22	4
31,252	60	25,32	0,83	82,82	0,95	18	5
31,582	18	10,72	0,41	30,09	-0,07	8	3
31,637	4	13	0,816	13,5	-1	10	2
31,692	1	27	0	0	0	27	1
31,801	2	24,5	0	20,25	-2	20	1
32,57	10	24	0,35	6,2	-0,49	22	3
32,735	1	21	0	0	0	21	1
32,845	2	21,5	0	0,25	-2	21	1
33,284	1	17	0	0	0	17	1
33,614	3	23,33	0,44	17,56	-1,5	19	1
33,779	1	15	0	0	0	15	1
33,834	1	18	0	0	0	18	1
33,944	1	16	0	0	0	16	1

Pokracovani tabulky 32

Cas [s]	Cetnost pro krok	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
34,712	3	30,67	0,38	6,22	-1,49	28	1
36,086	1	32	0	0	0	32	1
36,525	4	20,25	-0,14	84,69	-1,65	8	1
37,074	1	17	0	0	0	17	1
37,239	6	17	1,15	24	0,15	16	2
37,459	212	29,4	5,17	766,41	36,19	27	11
37,569	5	23,2	-0,44	46,16	-0,93	12	1
37,678	339	28,5	2,35	428,34	7,58	21	17
38,008	2	31	0	4	-2	29	1
38,063	1	17	0	0	0	17	1
38,337	1	19	0	0	0	19	1
38,392	104	25,6	0,28	130,47	0,1	27	7
38,722	1	17	0	0	0	17	1
38,777	12	22,75	-1,04	42,52	0,45	21	2
38,887	34	22,41	0,18	44,54	-0,42	24	2
38,942	40	22,12	-0,23	86,51	-0,05	24	4
38,997	3	31	0	2,67	-1,48	29	1
39,107	4	20,75	0,43	2,19	-1,15	19	1
39,217	16	30,68	0	66,09	-0,89	23	2
39,382	1	27	0	0	0	27	1
39,547	2	17	0	64	-2	9	1
39,602	1	15	0	0	0	15	1
39,712	1	23	0	0	0	23	1
39,767	7	21,71	-0,9	51,35	-0,09	19	2
39,876	97	30,93	2,99	3086,97	7,81	7	7
40,205	1	17	0	0	0	17	1
40,26	8	21,75	0,17	15,94	-0,8	24	2
40,315	40	24,92	-0,44	81,97	-0,21	20	4
40,535	231	27,1	1	154,25	2,13	20	14
40,645	1	20	0	0	0	30	1
40,7	3	18,33	-0,38	6,22	-1,5	15	1
40,81	1	21	0	0	0	21	1
41,249	1	24	0	0	0	24	1
41,743	6	21,5	1,2	2,92	0,14	20	2
42,182	120	33,11	2,23	614,25	6,36	20	7
42,347	3	19,33	0,67	16,22	-1,5	16	1
42,457	7	19	-0,05	64,57	-1,45	8	1
42,512	10	24,3	-0,35	49,01	-1,35	31	2
43,555	4	21,75	-0,24	38,69	-1,5	13	1
43,72	8	21,88	0,99	21,36	0,31	22	2
43,83	4	17	0	6,5	-1,85	14	1

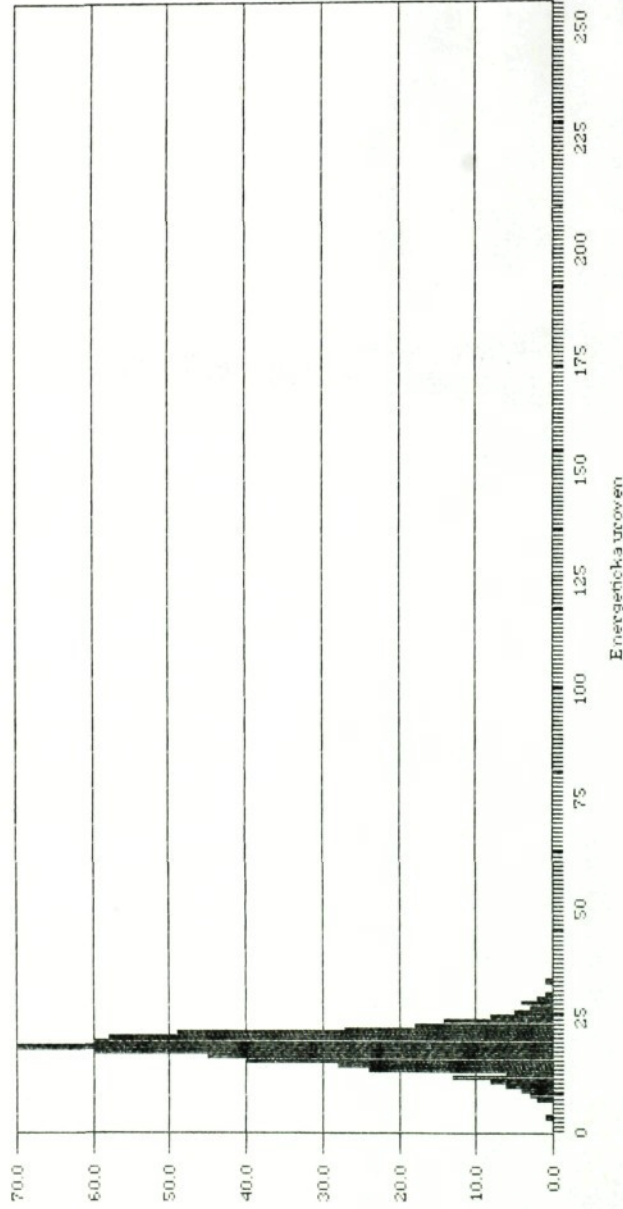
Zkouška plechu hloubením podle Erichsen							
Tabulka číslo 33		Sonda: 870715					
E1418		Zesílení: 21 dB					
		Frekvence: 0,3 až 2 MHz					
Plech: Fe-Zn		Tloušťka: 0,8 mm					
Cas [s]	Cetnost pro krok	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
10,985	2	17,5	0	12,25	-2	14	1
11,204	145	17,01	7,25	554,96	63,4	11	12
25,43	3	20,33	0,964	384	-1,5	5	1
25,54	6	11,67	0,19	47,22	-0,73	10	2
28,012	13	21,92	2,79	1033,3	6,51	5	2
28,836	275	15,68	11,74	236,14	171,21	17	21
32,955	1	19	0	0	0	19	1
35,097	3	17,33	0,63	6,88	-1,5	15	1
42,951	4	8,25	-0,18	9,18	-1,41	4	1
44,544	2	13,5	0	2,25	-2	12	1
47,895	1	22	0	0	0	22	1
48,059	29	17,52	-0,34	9,84	-0,59	18	6
48,114	262	19,84	0,65	62,47	1,48	19	19
48,389	592	18,93	12	147,8	223,19	19	56
49,103	104	18,51	3,52	45,52	25,84	18	12
49,158	51	18,43	-0,69	12,21	0,64	20	7
49,268	6	18,33	-0,83	5,22	-0,47	19	2
49,432	4	15	-0,31	4,5	-1,59	17	2

Vnejsi treni							
Tabulka cislo 34		Sonda: 870715					
		Zesileni: 12 dB					
E1336 az E1338		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
Zatizeni 5 N				Treni za sucha ocel - ocel			
Rychlost [m/s]	Absolutni souc./s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
0,3	63	15,89	-0,28	26,63	-0,08	17	25
1	7970	18,67	-0,2	18,06	1,15	18	3228
3,3	28308	19,06	-0,11	16,32	0,38	19	11373

Vnejsi treni							
Tabulka cislo 35		Sonda: 870715					
		Zesileni: 12 dB					
E1370		Frekvence: 0,3 az 2 MHz					
v=20m/min				Treni za sucha ocel - ocel			
Zatizeni [N]	Absolutni souc./s	Prumer	Asymetrie	Rozptyl	Exces	Modus	Abs. cetn. pro mod.
5	63	15,89	-0,28	26,63	-0,08	17	25
200	3089	17,17	-0,51	26,73	0,48	19	1111

OKAMZITE ROZDELENI

Cas.okamzika: 14.2257027388 [sec]



STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY

Průměr : 18.9232139587

Směrochylka : 3.98382925987

Abs.součet : 560.

Asymetrie : -0.168900113225

Exces : 1.02258348465

Exp.c.: 1420

Modus : 19

Abs.cet pro modus : 70.

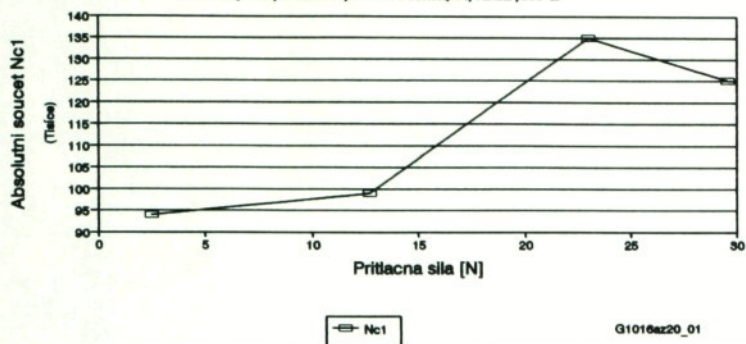
Datum: 12. 4. 1995

Abs.součet/sec: 10195.6298865

Soustruzeni, vliv pritl. sily, 17481.4

Graf c. 1

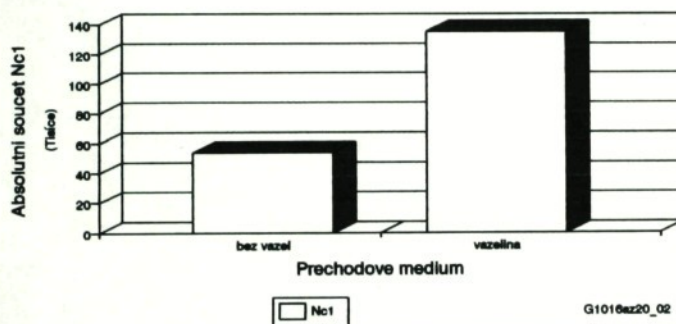
$v=60\text{m/min}$, $h=2\text{mm}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, 12dB, 0.3-2



Soustruzeni, 17481.4

Graf c. 2

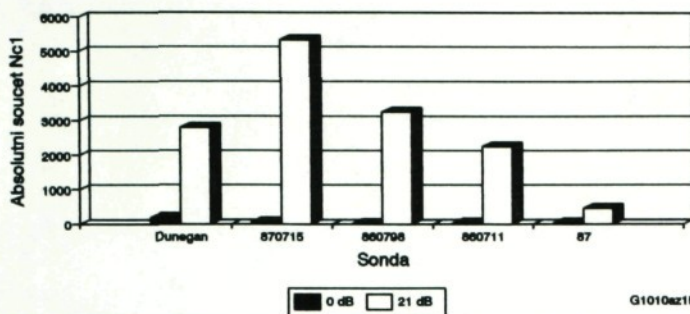
$v=60\text{m/min}$, $h=2\text{mm}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, 12dB, 0.3-2



Soustruzeni, vliv sondy, 17481.4, S20

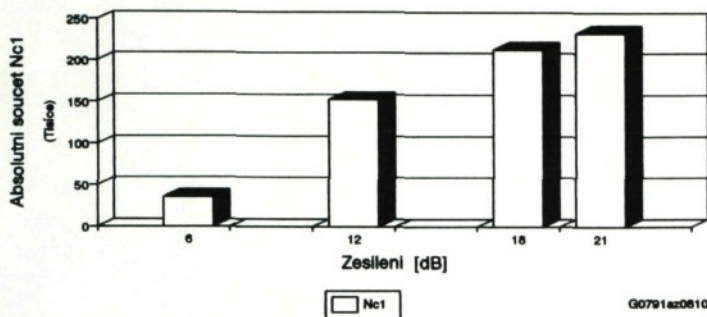
Graf c. 3

$v=60\text{m/min}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, $0.7\text{-}2\text{MHz}$



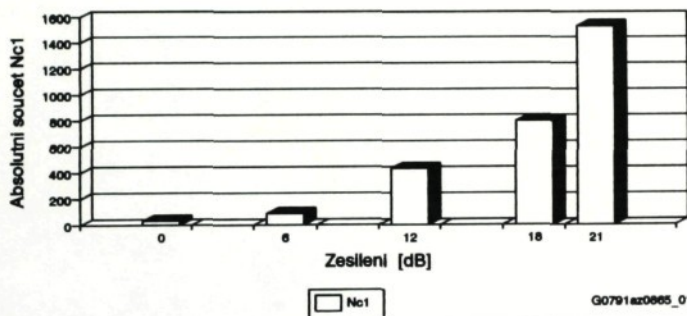
Soustruzeni, vliv zesileni, 0.3-2MHz
 $v=80\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=1\text{mm}, 15260$

Graf c. 4



Soustruzeni, vliv zesileni, 0.7-1,2MHz
 $v=80\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=1\text{mm}, 15260$

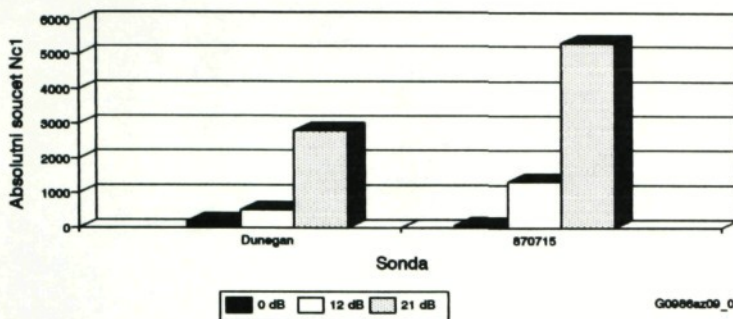
Graf c. 5



Soustruzeni, vliv zesileni, 17481.4,S20

Graf c. 6

$v=60\text{m/min}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, $0.7\text{-}2\text{MHz}$

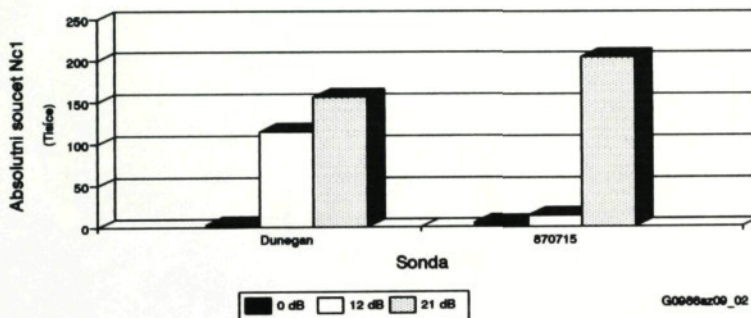


G00906sz00_01

Soustruzeni, vliv zesileni, 17481.4,S20

Graf c. 7

$v=60\text{m/min}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, $0.3\text{-}2\text{MHz}$

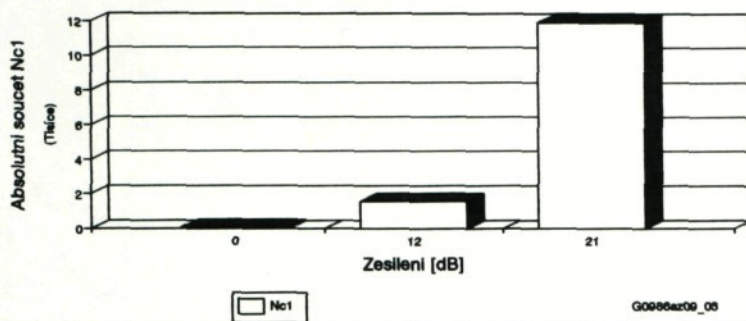


G00906sz00_02

Soustružení, vliv zesílení, 17481.4, D210

Graf c. 8

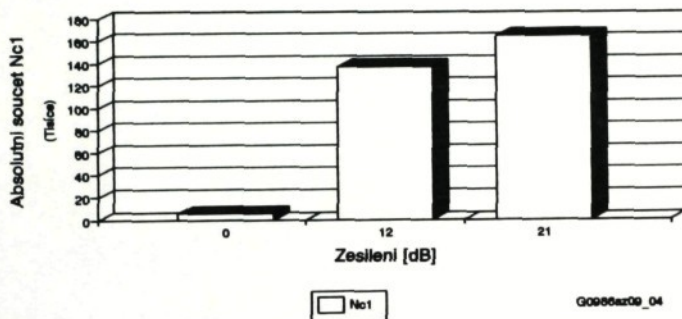
$v=60\text{m/min}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, $0.7\text{-}2\text{MHz}$



Soustružení, vliv zesílení, 17481.4, D210

Graf c. 9

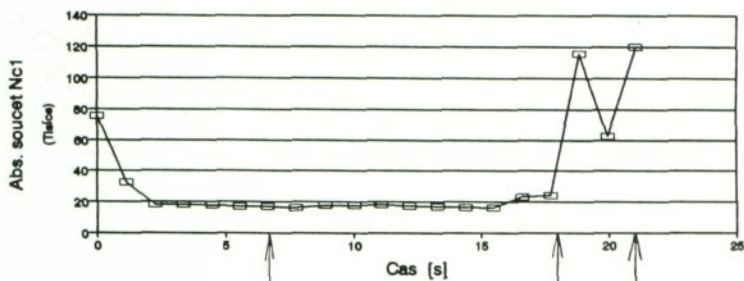
$v=60\text{m/min}$, $s=0.188\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, $0.3\text{-}2\text{MHz}$



Kontinualni zkouska, D210, 19436.4

Graf c. 10

$v=48 \text{ m/min}$, $s=0.2\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, 12dB , $0.3-2$



→ Nc1

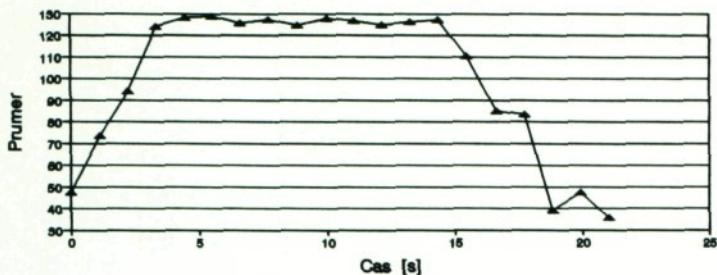
GOSES_01



Kontinualni zkouska, D210, 19436.4

Graf o. 11

$v=48 \text{ m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



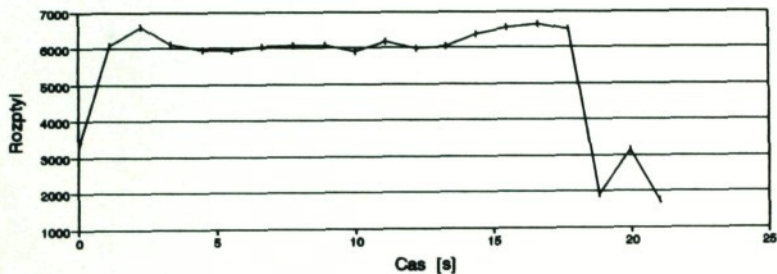
Prumer

G0908_02

Kontinualni zkouska, D210, 19436.4

Graf o. 12

$v=48 \text{ m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



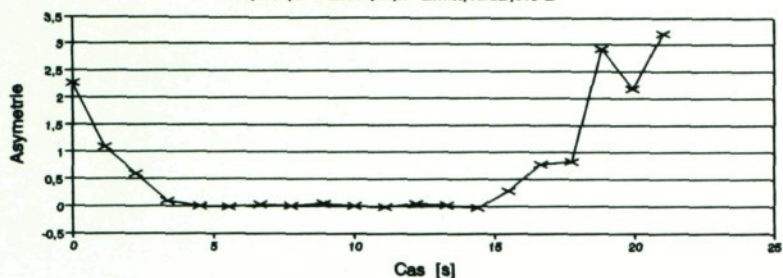
Rozptyl

G0908_06

Kontinualni zkouska, D210, 19436.4

Graf c. 13

$v=48 \text{ m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



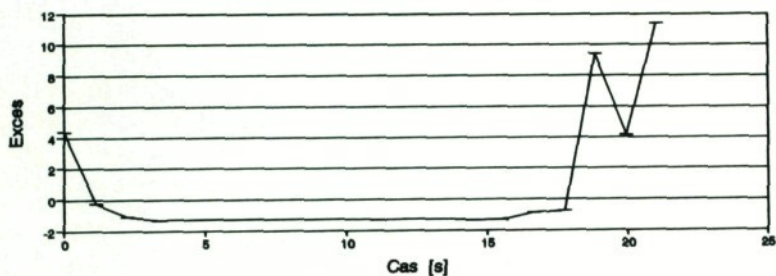
Asymetrie

G0098_04

Kontinualni zkouska, D210, 19436.4

Graf c. 14

$v=48 \text{ m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



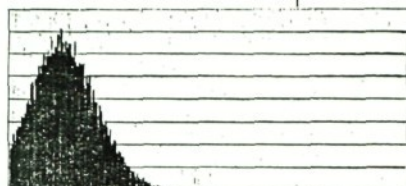
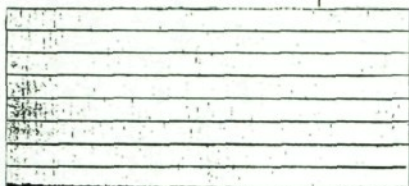
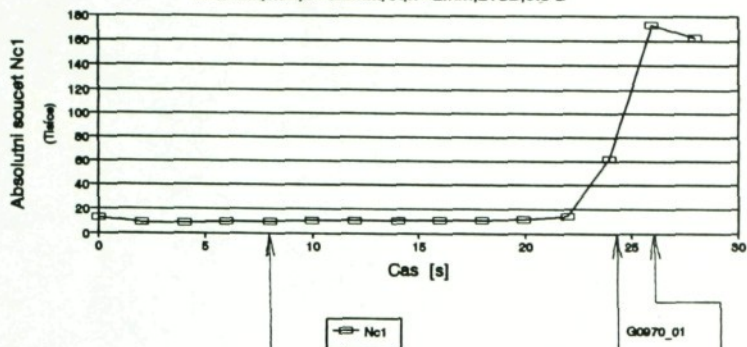
Exces

G0098_05

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf o. 15

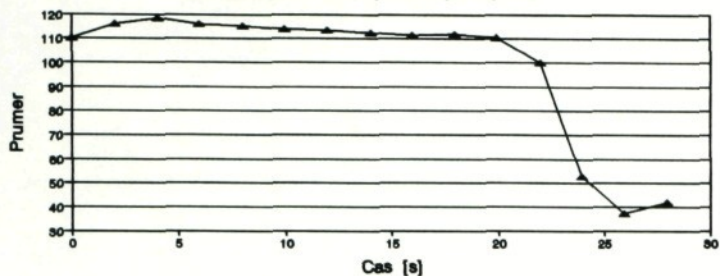
$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.3-2$



Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.3-2$

Graf c. 16



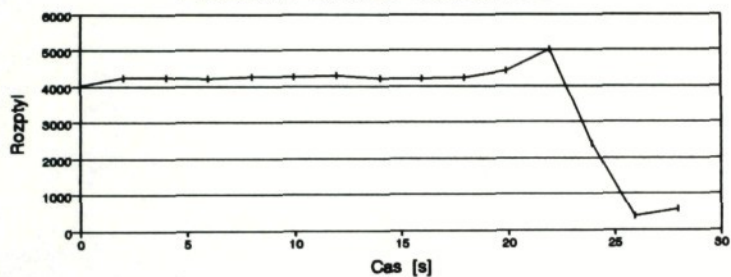
Prumer

G0070_02

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.3-2$

Graf c. 17



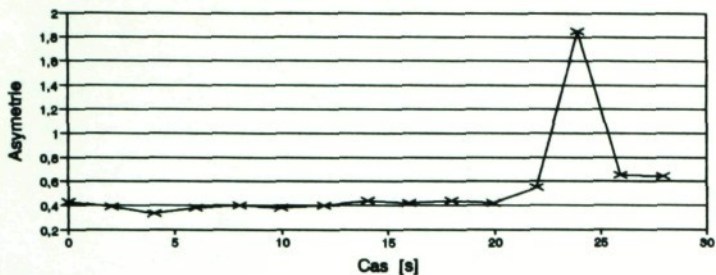
Rozptyl

G0070_03

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf c. 18

$v=200\text{m/min}$, $s=0.2\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, 21dB , $0.3-2$



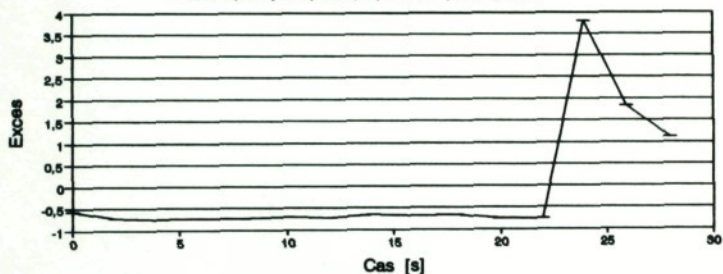
Asymetrie

G0870_04

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf c. 19

$v=200\text{m/min}$, $s=0.2\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, 21dB , $0.3-2$



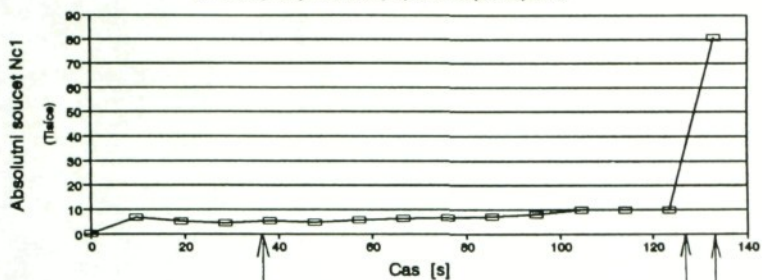
Exces

G0870_05

Kontinualni zkouska, S20,17481.4

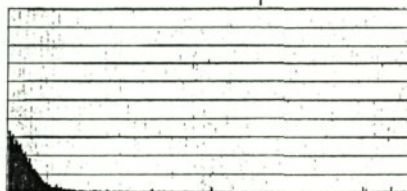
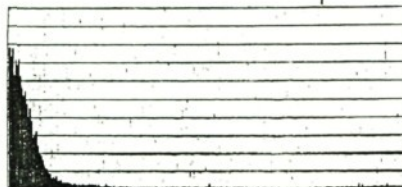
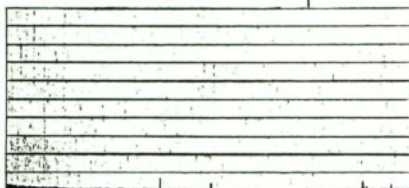
Graf c. 20

$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.7-2$



→ Nc1

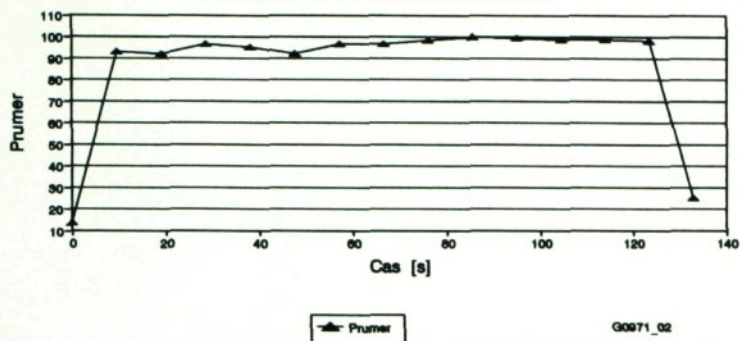
G0971_01



Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf c. 21

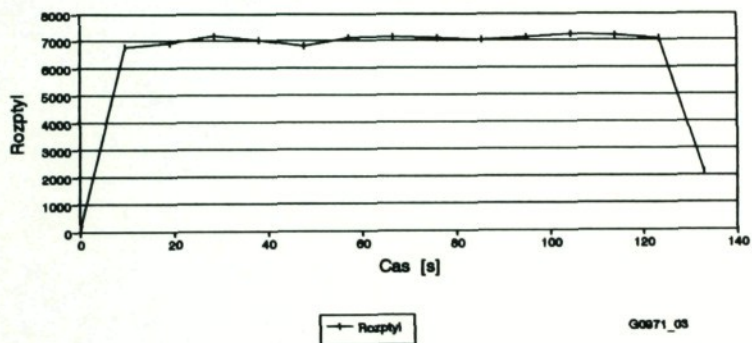
$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.7-2$



Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf c. 22

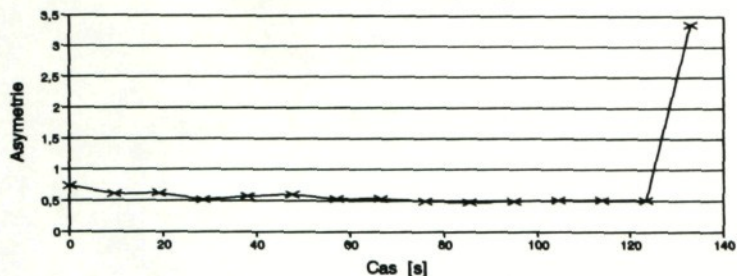
$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.7-2$



Kontinualni zkouska, S20,17481.4

Graf c. 23

$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.7-2$



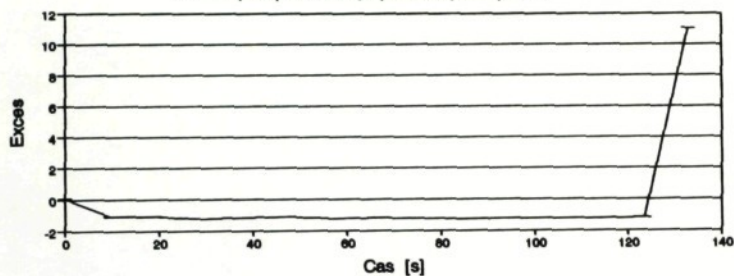
→← Asymetrie

G0971_04

Kontinualni zkouska, S20,17481.4

Graf c. 24

$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 21\text{dB}, 0.7-2$



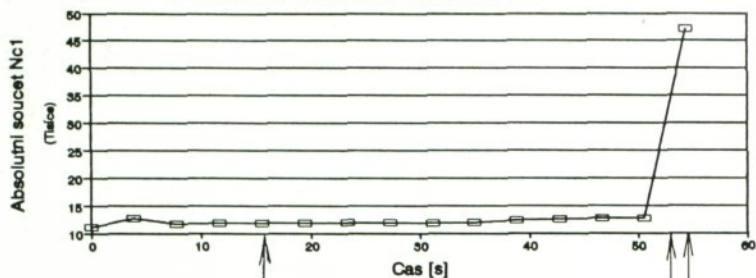
— Exces

G0971_05

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

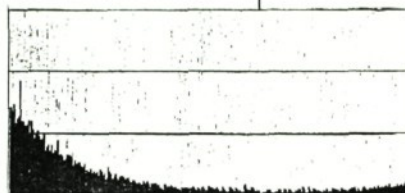
Graf c. 25

$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



→ Nc1

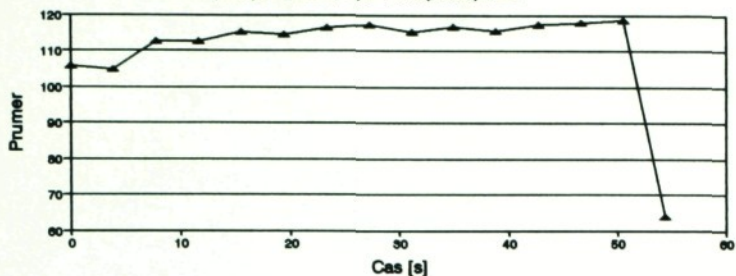
G0000_01



Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf o. 26

$v=200\text{m/min}$, $s=0.2\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, 12dB , $0.3-2$



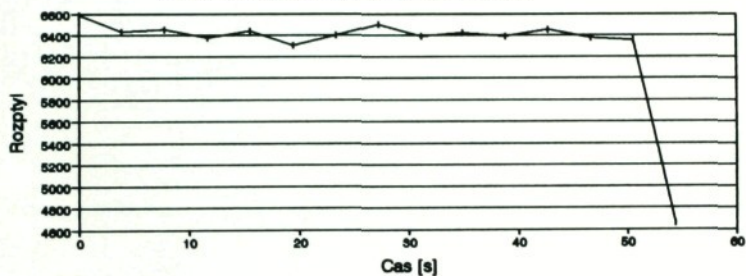
Prumer

G0000_02

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf o. 27

$v=200\text{m/min}$, $s=0.2\text{mm/ot}$, $h=2\text{mm}$, 12dB , $0.3-2$



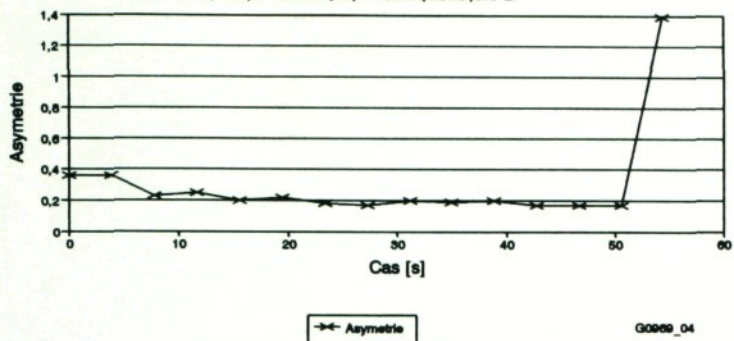
Rozptyl

G0000_03

Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf c. 28

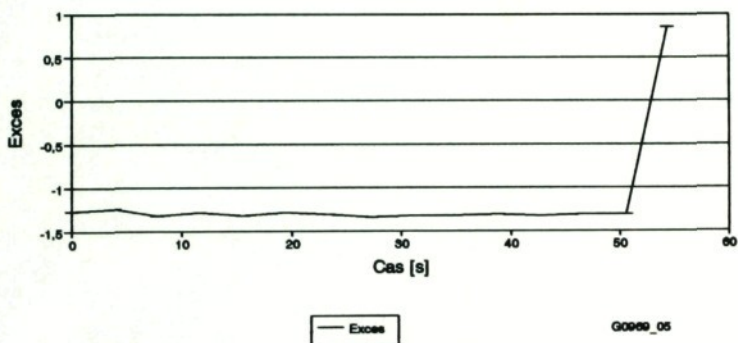
$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



Kontinualni zkouska, S20, 17481.4

Graf c. 29

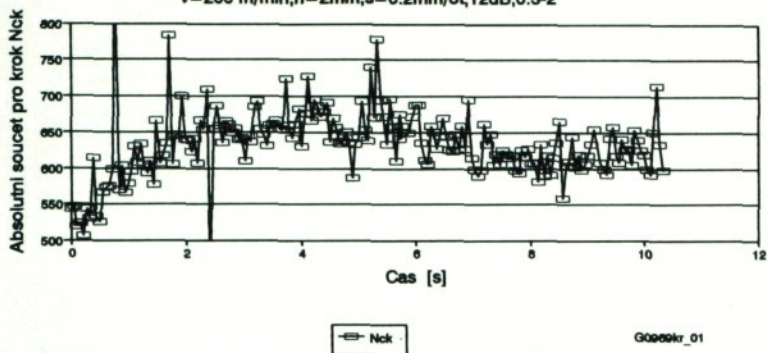
$v=200\text{m/min}, s=0.2\text{mm/ot}, h=2\text{mm}, 12\text{dB}, 0.3-2$



Kontinualni zkouska, 17481.4, S20

Graf c. 30

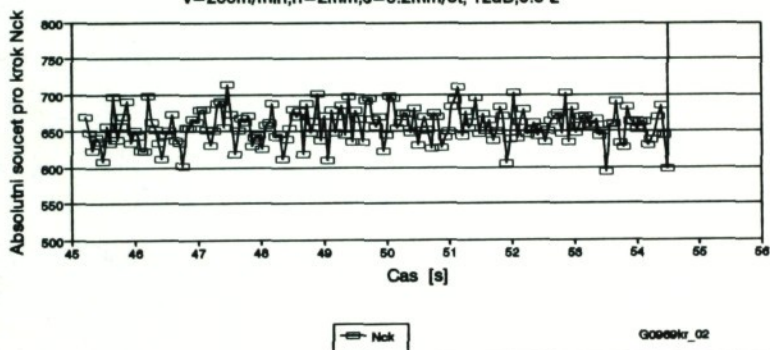
$v=200\text{ m/min}, h=2\text{ mm}, s=0.2\text{ mm/ot}, 12\text{ dB}, 0.3-2$



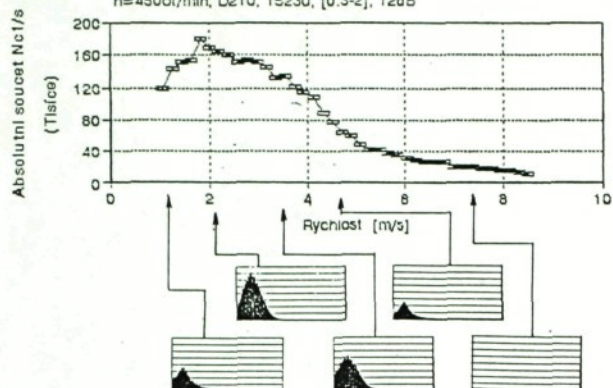
Kontinualni zkouska, 17481.4, S20

Graf c. 31

$v=200\text{ m/min}, h=2\text{ mm}, s=0.2\text{ mm/ot}, 12\text{ dB}, 0.3-2$



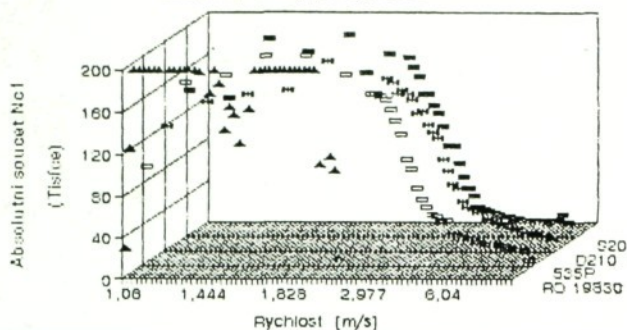
Celni zkouska

 $n=4500\text{ot/min}$, D210, 15230, [0.3-2], 12dB

Celni zkouska Nc1/Vc

n=450ot/min, 15230, [0,3-2], 12dB

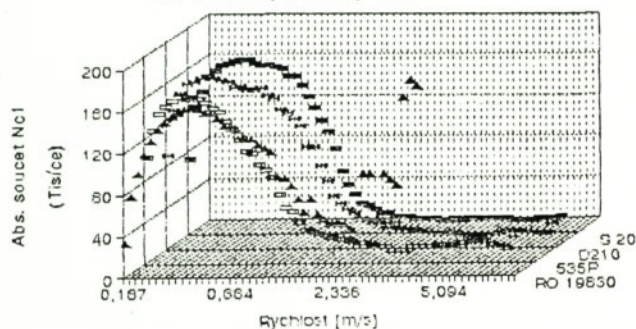
Graf c. 33



Zavislost Nc1/Vc

mat. 42 2308, [0,3-2MHz], 12dB

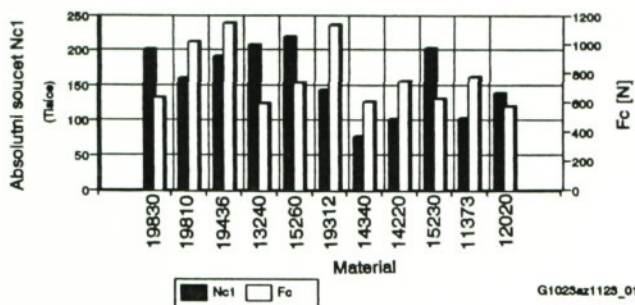
Graf c. 34



Rezne sily a AE, ostrý S20

Graf c. 35

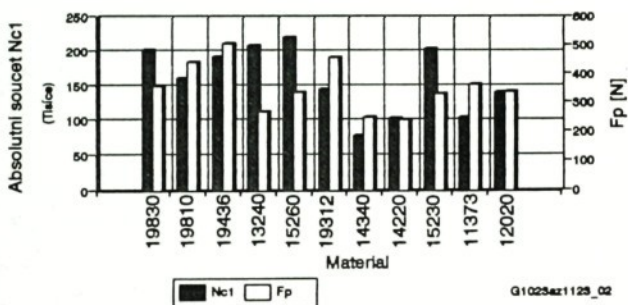
s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2,v=60m/min



Rezne sily a AE, ostrý S20

Graf c. 36

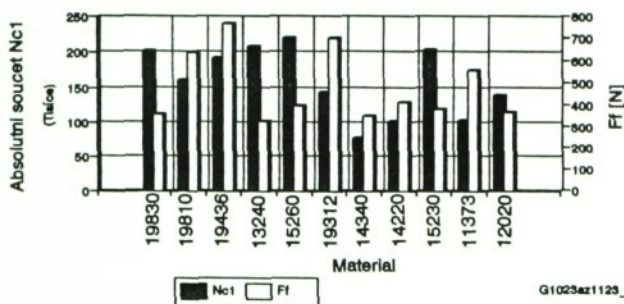
s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2,v=60m/min



Rezne sily a AE, ostrý S20

Graf c. 37

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2,v=60m/min

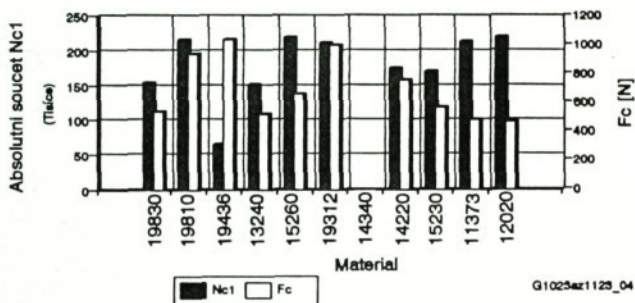


G1025az1123_05

Rezne sily a AE, ostrý S20

Graf c. 38

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2,v=200m/min

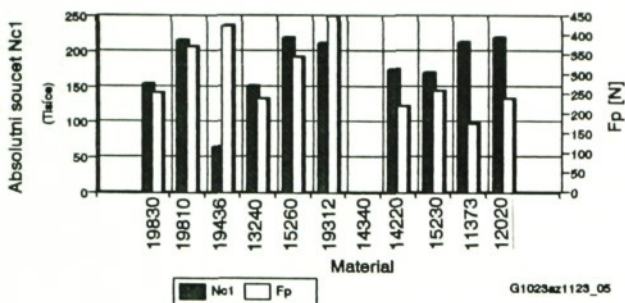


G1025az1123_04

Rezne sily a AE, ostrý S20

Graf c. 39

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2,v=200m/min

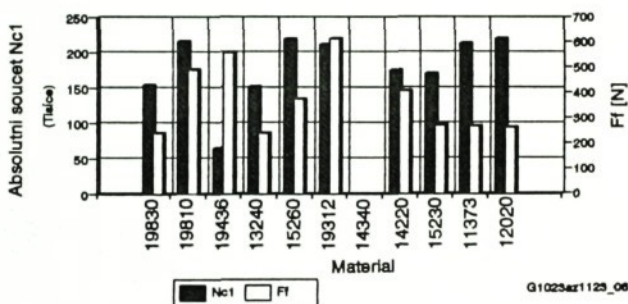


G1023az1125_05

Rezne sily a AE, ostrý S20

Graf c. 40

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2,v=200m/min

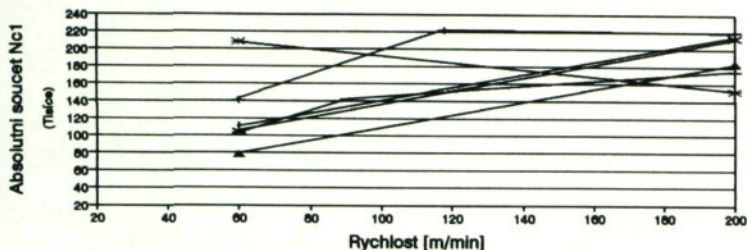


G1023az1125_06

Soustružení, ostry S20

Graf c. 41

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2MHz,s.870715

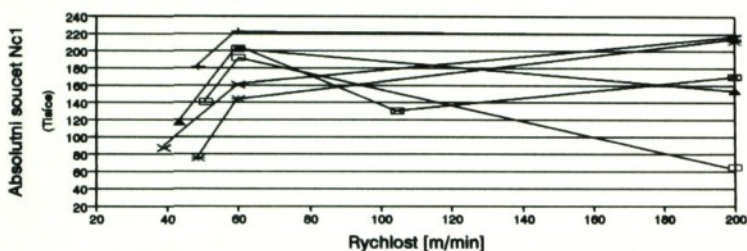


G1025az10_01

Soustružení, ostry S20

Graf c. 42

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2MHz,s.870715

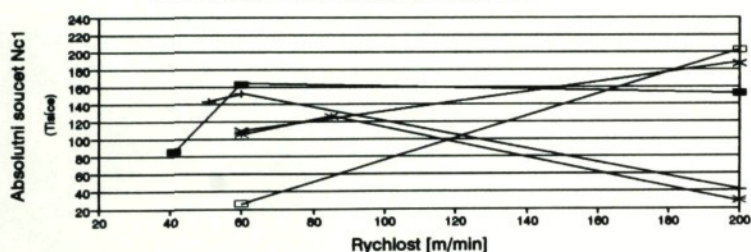


G1025az10_02

Soustružení, ostry S20

Graf c. 43

s=0.2mm/ot,h=2mm,12dB,0.3-2MHz,s.870715

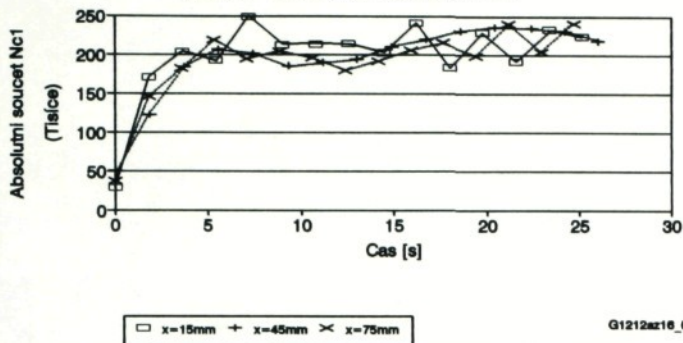


G1025az10_03

Vrtani s konst. posuv. silou

Graf c. 44

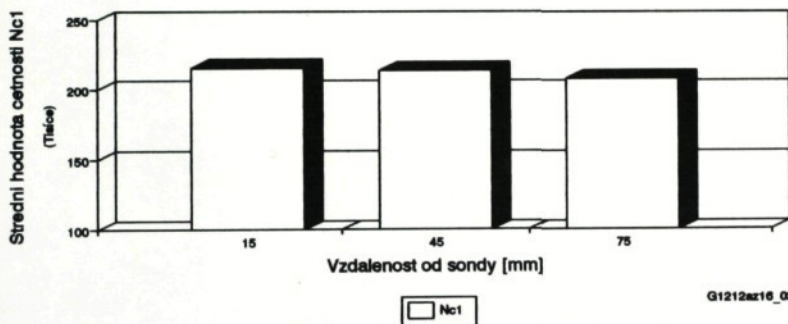
12050, $v = 17,8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, $0.3\text{-}2 \text{ MHz}$



Vrtani s konst. posuv. silou

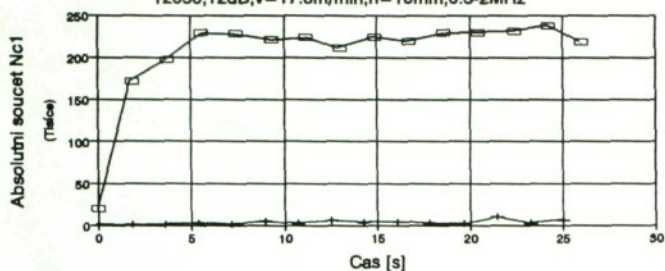
Graf c. 45

12050, $v = 17,8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, $0.3\text{-}2 \text{ MHz}$



Vrtani s konst. posuv. silou
12050, 12dB, $v = 17.8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, 0.3-2MHz

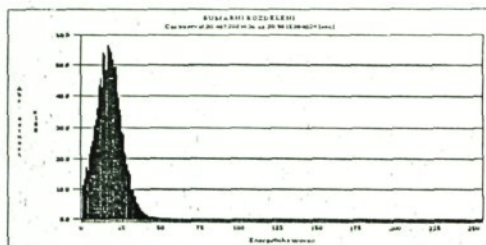
Grad. c. 46



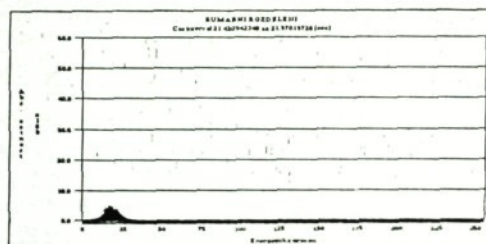
—□— tupy vrtak —+— ostrý vrtak

G1213a1555_01

Tupy vrtak



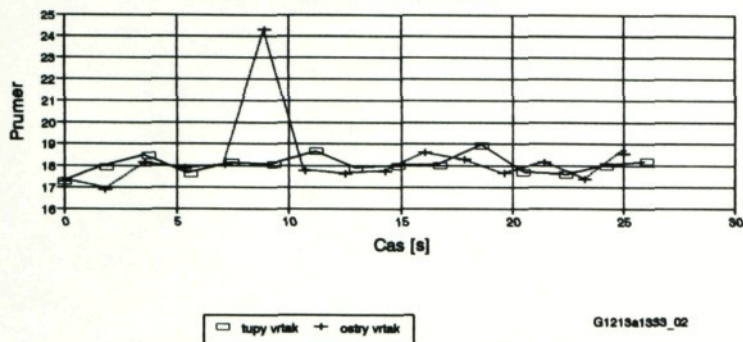
Ostrý vrtak



Vrtani s konst. posuv. silou

Graf c. 47

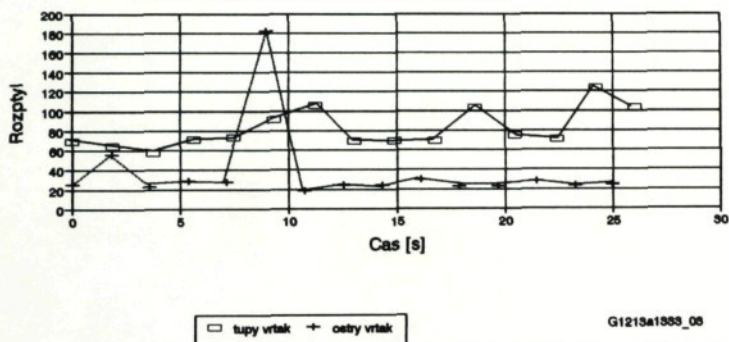
12050, 12dB, $v = 17.8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, 0.3-2MHz



Vrtani s konst. posuv. silou

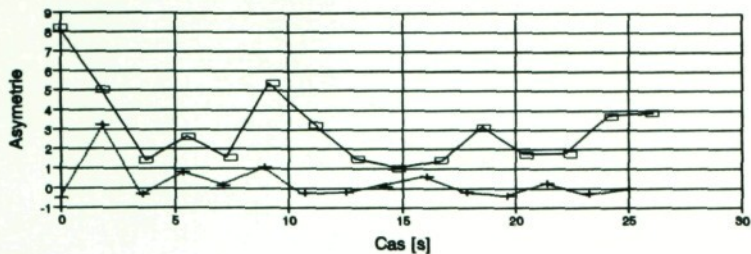
Graf c. 48

12050, 12dB, $v = 17.8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, 0.3-2MHz



Vrtani s konst. posuv. silou
12050,12dB, $v=17.8\text{m/min}$, $h=10\text{mm}$,0.3-2MHz

Graf c. 49

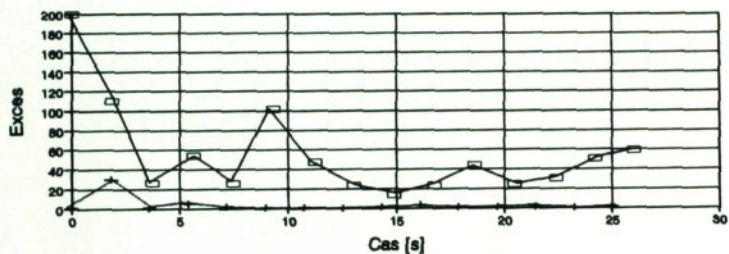


□ tupý vratak + ostrý vratak

G1213a1333_04

Vrtani s konst. posuv. silou
12050,12dB, $v=17.8\text{m/min}$, $h=10\text{mm}$,0.3-2MHz

Graf c. 50

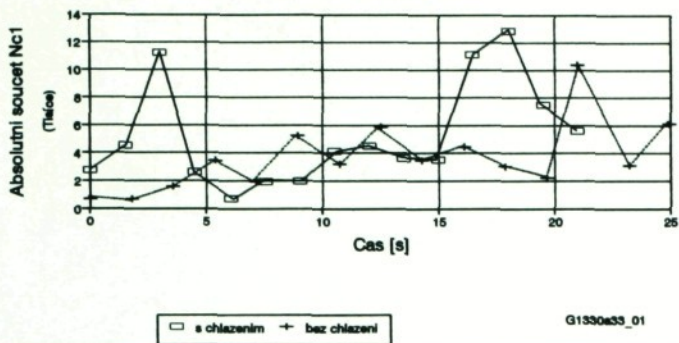


□ tupý vratak + ostrý vratak

G1213a1333_05

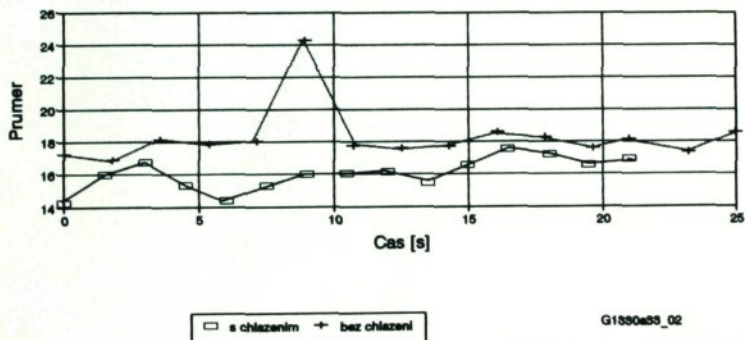
Vrtání s konst. posuv. silou
12050, 12dB, $v=17.8\text{m/min}$, $h=10\text{mm}$, 0.3-2MHz

Graf c. 51



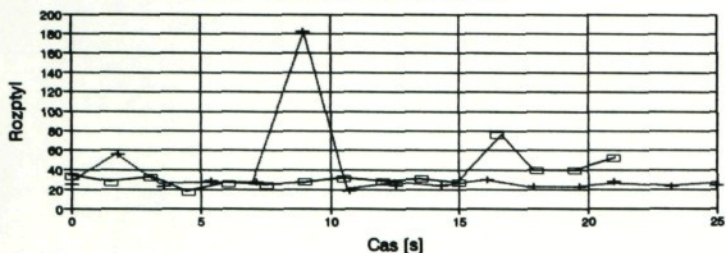
Vrtání s konst. posuv. silou
12050, 12dB, $v=17.8\text{m/min}$, $h=10\text{mm}$, 0.3-2MHz

Graf c. 52



Vrtání s konst. posuv. silou
12050, 12dB, $v = 17.8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, 0.3-2MHz

Graf č. 53

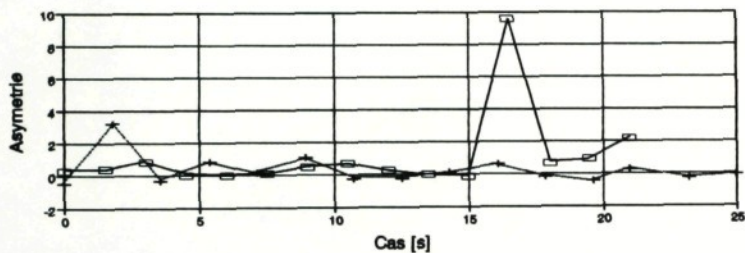


□ s chlazením + bez chlazení

G1330a33_03

Vrtání s konst. posuv. silou
12050, 12dB, $v = 17.8 \text{ m/min}$, $h = 10 \text{ mm}$, 0.3-2MHz

Graf č. 54



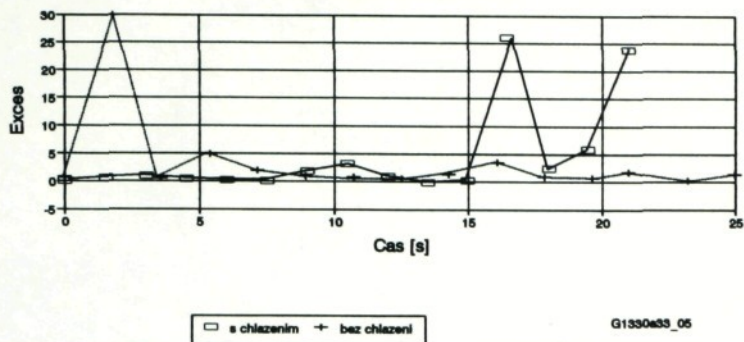
□ s chlazením + bez chlazení

G1330a33_04

Vrtani s konst. posuv. silou

Graf c. 55

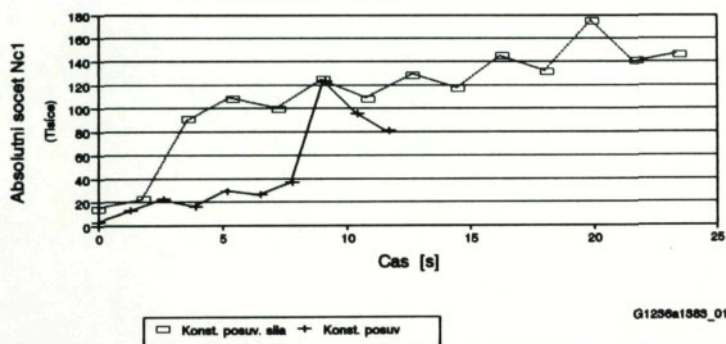
12050,12dB, $v=17.8\text{m/min}$, $h=10\text{mm}$,0.3-2MHz



Zkouska vrtanim,12020,12dB,0.3-2MHz

Graf c. 56

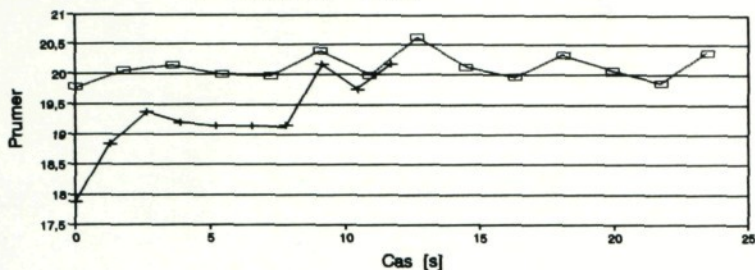
$v = 17.8\text{ m/min}$, $h = 10\text{ mm}$



Zkouska vrtanim, 12020, 12dB, 0.3-2MHz

Graf c. 57

$v = 17.8 \text{ m/min}, h = 10 \text{ mm}$



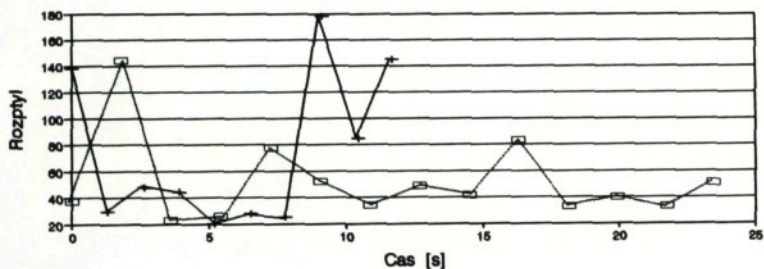
□ Konst. posuv, sila + Konst. posuv

G1296a1985_02

Zkouska vrtanim, 12020, 12dB, 0.3-2MHz

Graf c. 58

$v = 17.8 \text{ m/min}, h = 10 \text{ mm}$



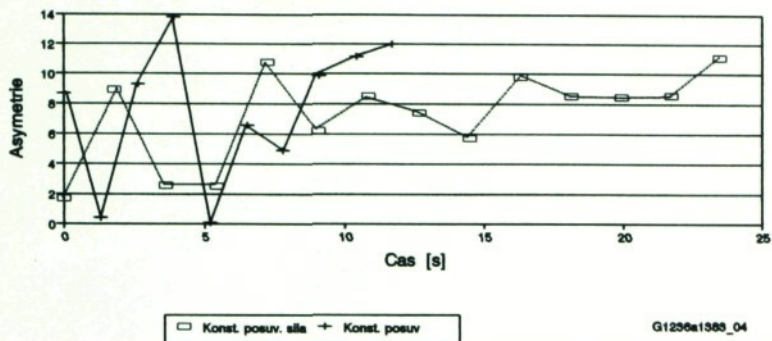
□ Konst. posuv, sila + Konst. posuv

G1296a1985_03

Zkouska vrtanim, 12020, 12dB, 0.3-2MHz

Graf c. 59

$v = 17.8 \text{ m/min}, h = 10 \text{ mm}$

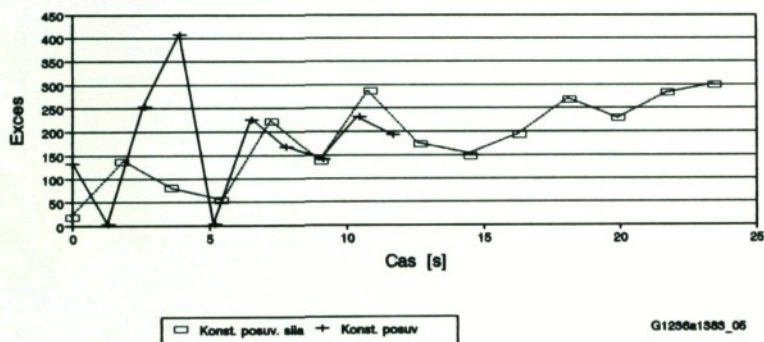


G1256e1585_04

Zkouska vrtanim, 12020, 12dB, 0.3-2MHz

Graf c. 60

$v = 17.8 \text{ m/min}, h = 10 \text{ mm}$

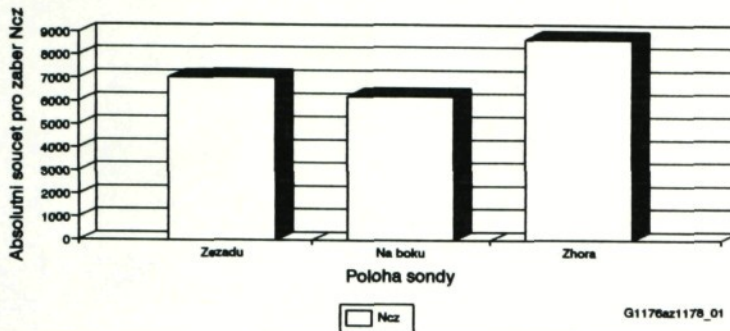


G1256e1585_05

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf č. 61

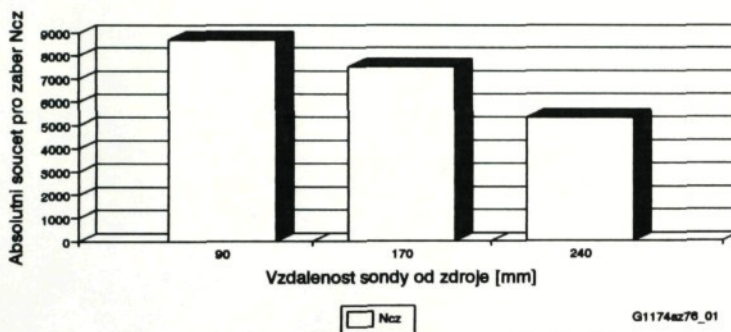
$v=25\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.312\text{mm/zub}$, 1 brit



Frezovani, 12050, S2, 0.3-2MHz, 12 dB

Graf č. 62

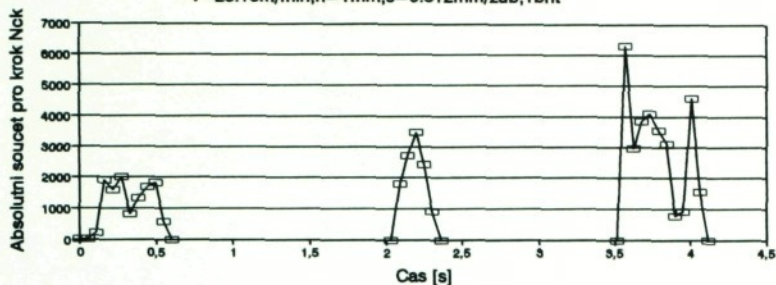
$v=25\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.312\text{mm/zub}$, 1 brit



Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 63

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.312\text{mm/zub}$, 1brit



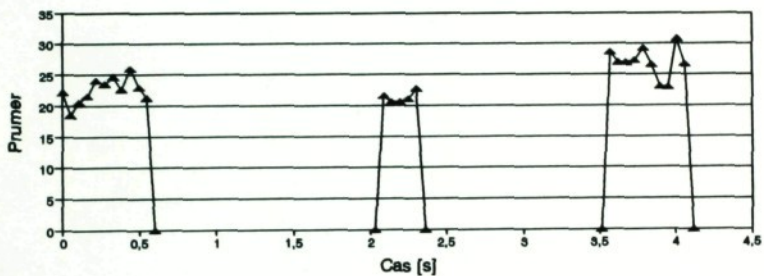
Nick

G1200_01

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 64

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.312\text{mm/zub}$, 1brit



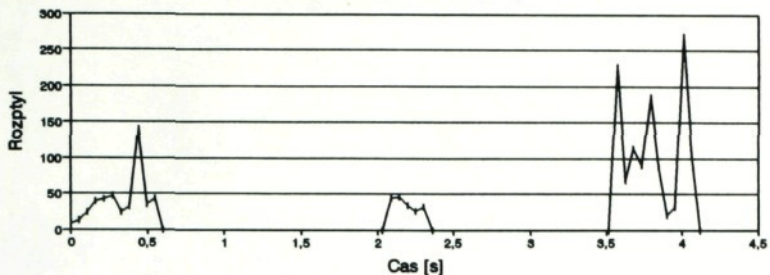
Prumer

G1200_02

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 65

$v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.312\text{mm/zub}, 1\text{brit}$



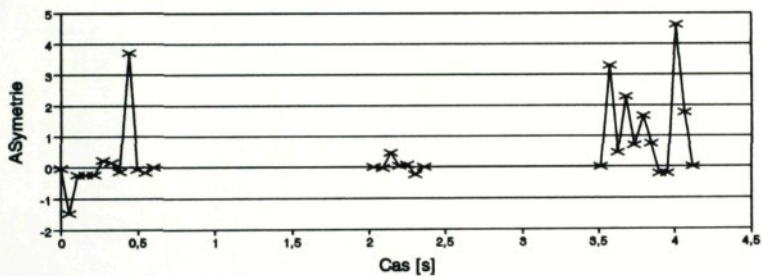
→ Rozptyl

G1200_03

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 66

$v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.312\text{mm/zub}, 1\text{brit}$

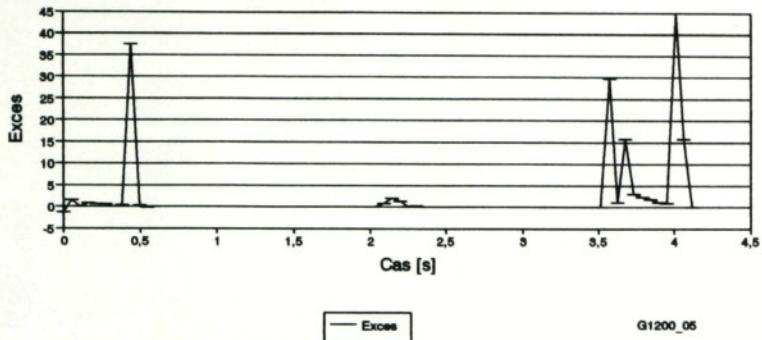


→ Asymetrie

G1200_04

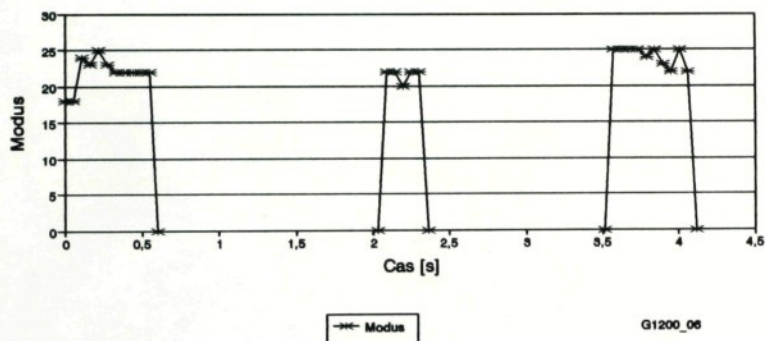
Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz
 $v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.312\text{mm/zub}, 1\text{brit}$

Graf c. 67



Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz
 $v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.312\text{mm/zub}, 1\text{brit}$

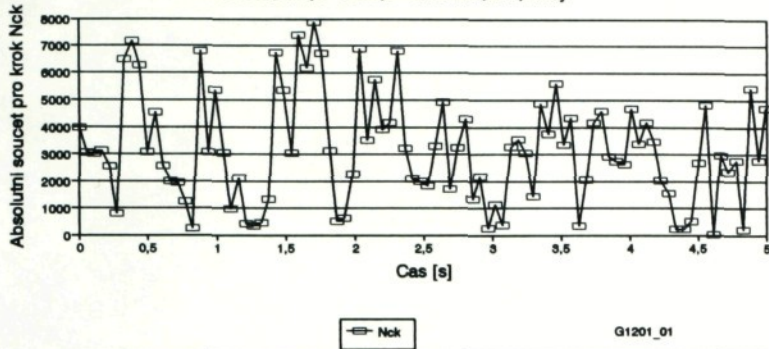
Graf c. 68



Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 69

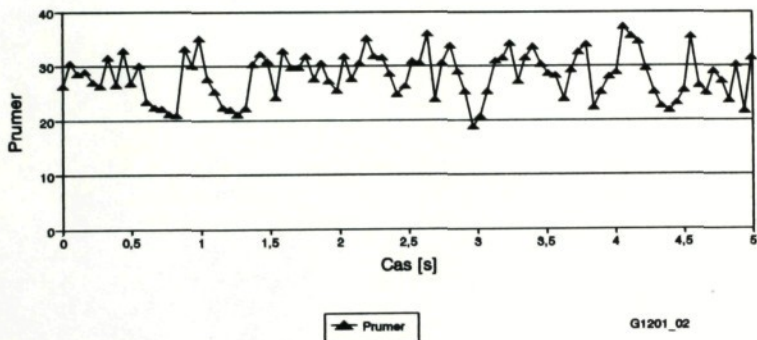
$v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.292\text{mm/zub}, 3\text{brity}$



Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 70

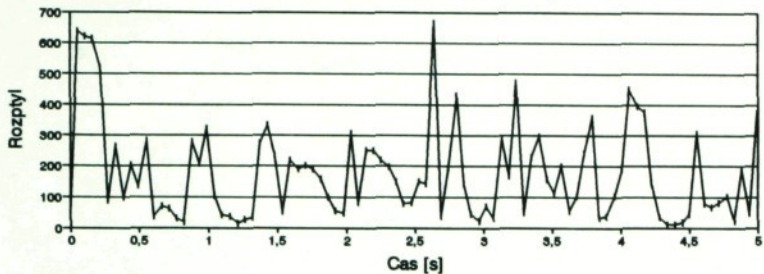
$v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.292\text{mm/zub}, 3\text{brity}$



Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 71

$v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.292\text{mm/zub}, 3\text{brity}$



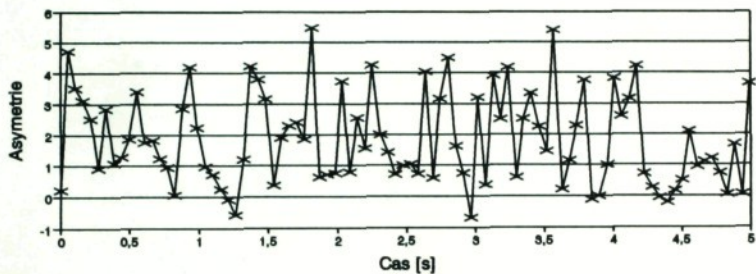
→ Rozptyl

G1201_03

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 72

$v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.292\text{mm/zub}, 3\text{brity}$



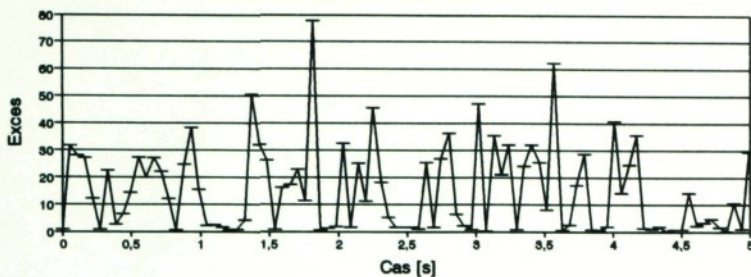
→ Asymetrie

G1201_04

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.292\text{mm/zub}$, 3brity

Graf c. 73



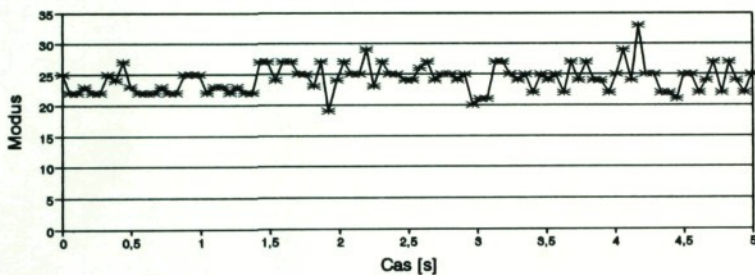
— Exces

G1201_05

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.292\text{mm/zub}$, 3brity

Graf c. 74

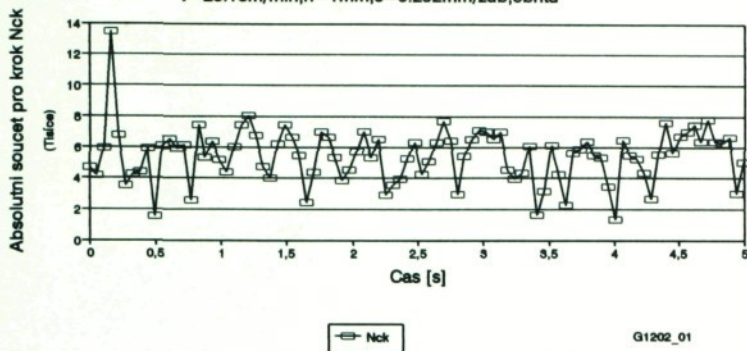


— Modus

G1201_06

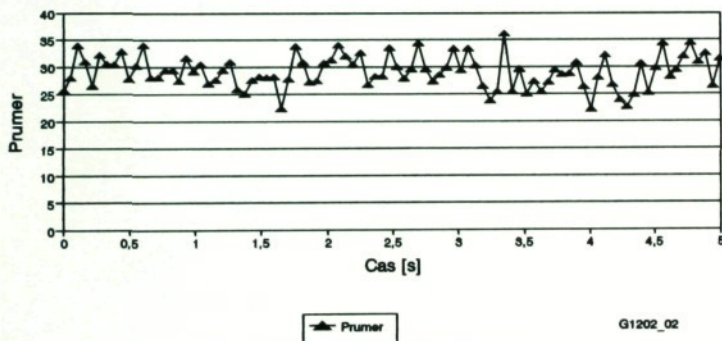
Frezovalni, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz
 $v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.292\text{mm/zub}, 6\text{britu}$

Graf c. 75



Frezovalni, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz
 $v=25.13\text{m/min}, h=1\text{mm}, s=0.292\text{mm/zub}, 6\text{britu}$

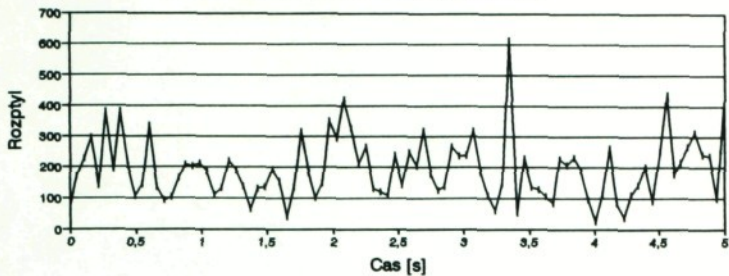
Graf c. 76



Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 77

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.292\text{mm/zub}$, 6britu



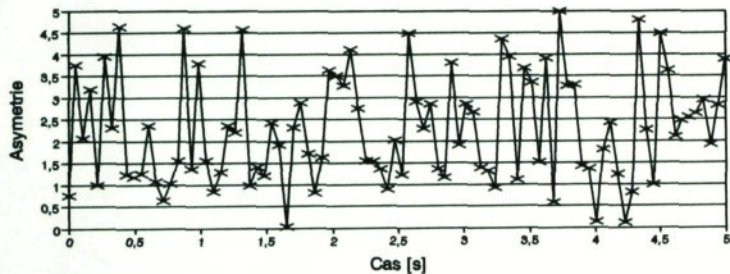
—+— Rozptyl

G1202_05

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 78

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.292\text{mm/zub}$, 6britu



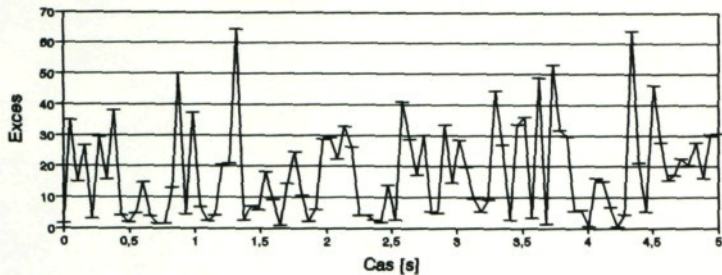
—x— Asymetrie

G1202_04

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 79

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.292\text{mm/zub}$, 6britu



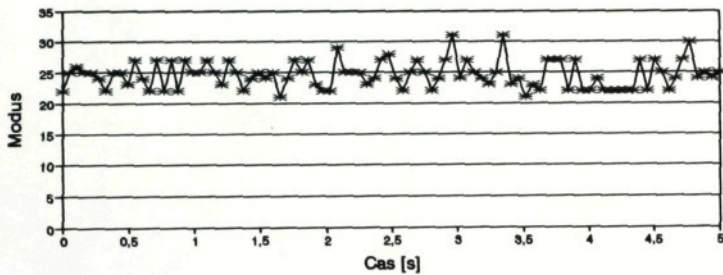
— Exces

G1202_05

Frezovani, 12050, S2, 12 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 80

$v=25.13\text{m/min}$, $h=1\text{mm}$, $s=0.292\text{mm/zub}$, 6britu

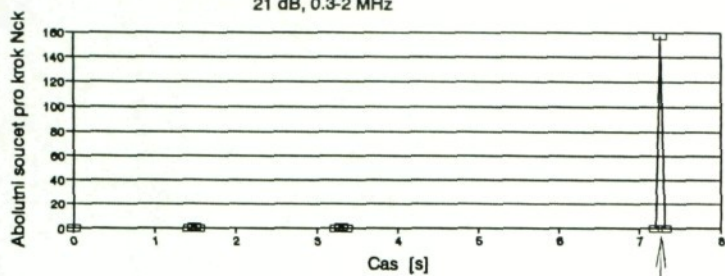


— Modus

G1202_06

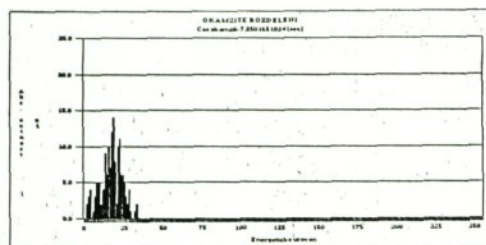
Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 81



← Nick

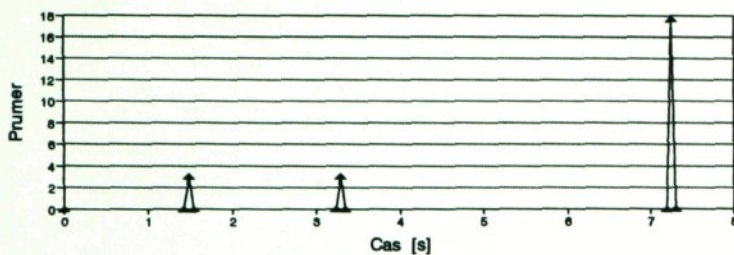
G1430_01



Erichsenova zkouska

21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 82



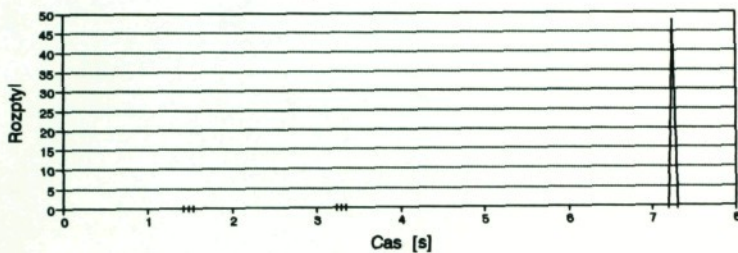
Prumer

G1430_02

Erichsenova zkouska

21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 83

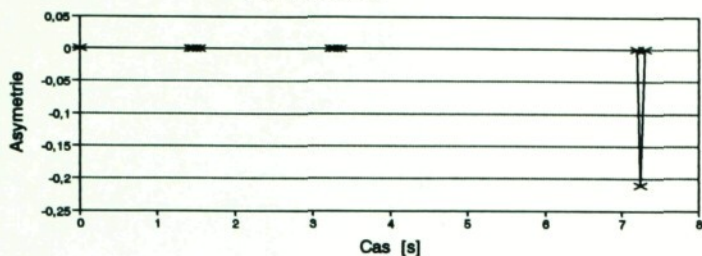


Rozptyl

G1430_03

Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 84

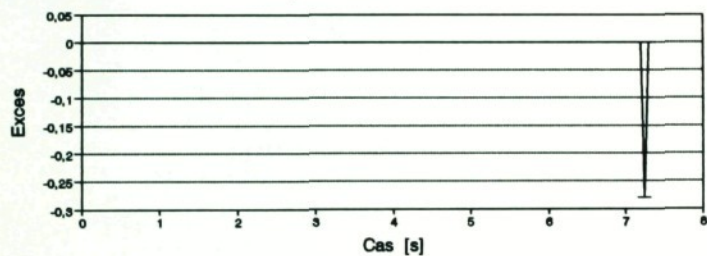


→← Asymetrie

G1430_04

Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 85

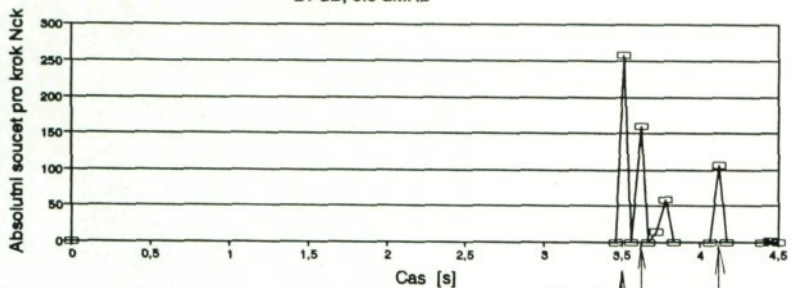


— Exces

G1430_05

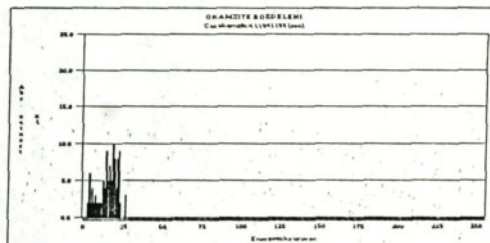
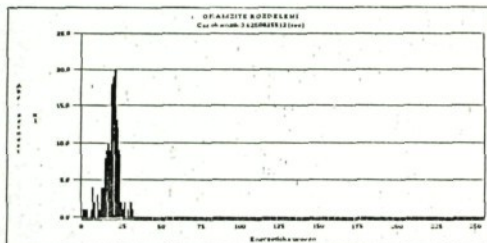
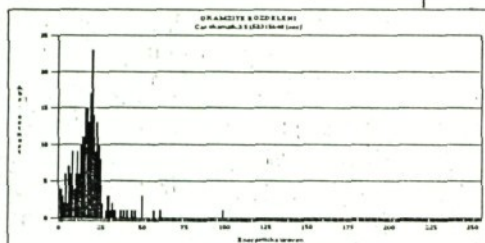
Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2MHz

Graf c. 86



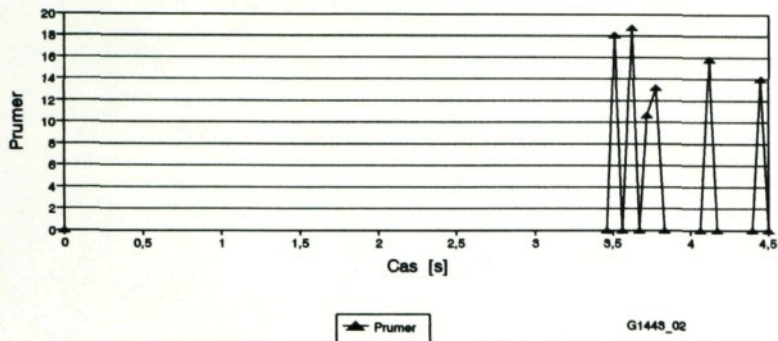
Nck

G144S_01



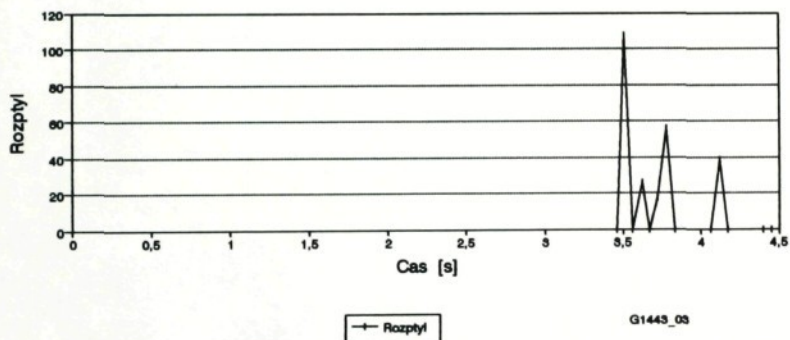
Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2MHz

Graf c. 87



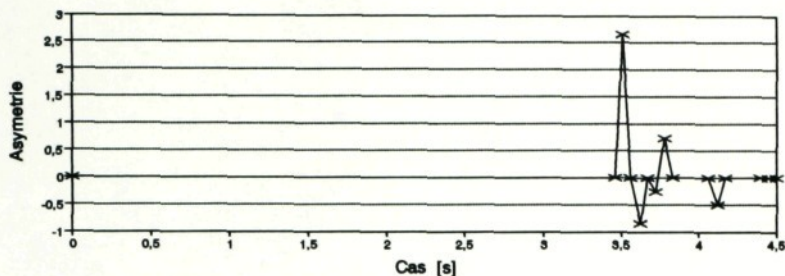
Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2MHz

Graf c. 88



Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2MHz

Graf c. 89

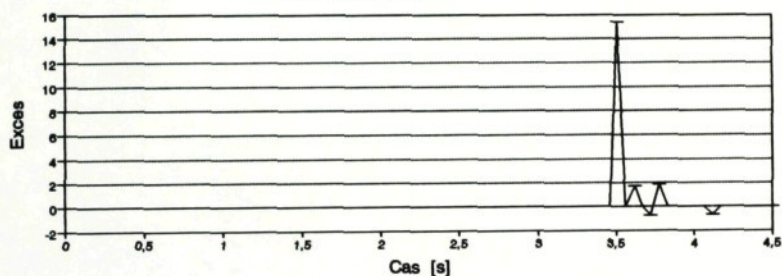


← Asymetrie

G1443_04

Erichsenova zkouska 21 dB, 0.3-2MHz

Graf c. 90

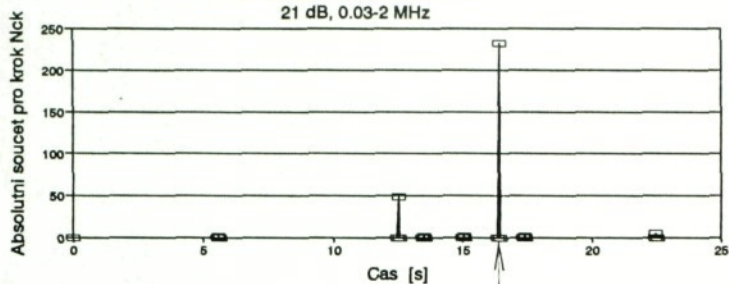


— Exces

G1443_05

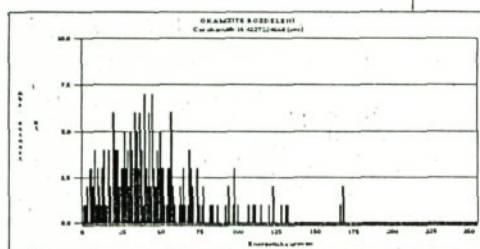
Erichsenova zkouska 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 91



⇒ Nick

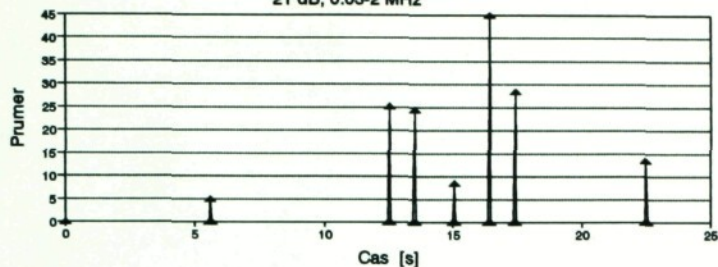
G1427_01



Erichsenova zkouska

21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 92



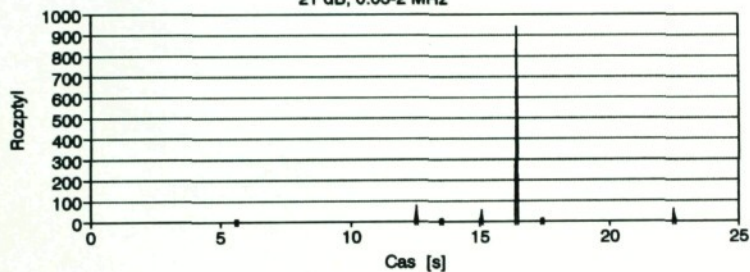
Prumer

G1427_02

Erichsenova zkouska

21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 93

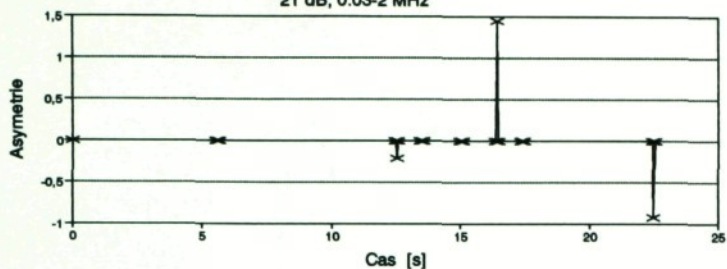


Rozptyl

G1427_03

Erichsenova zkouska 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 94

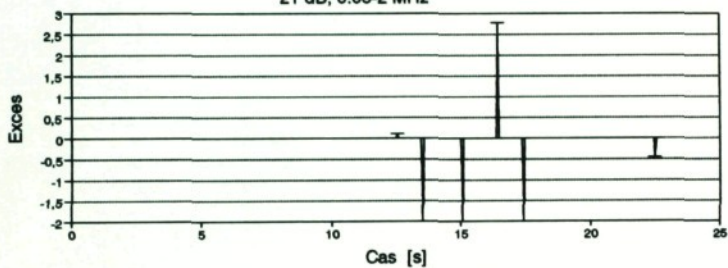


→ Asymetrie

G1427_04

Erichsenova zkouska 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 95



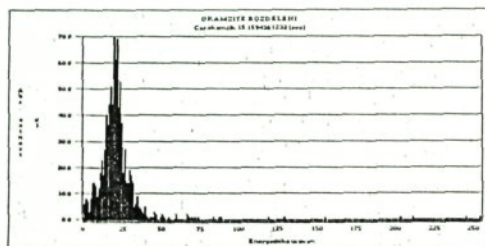
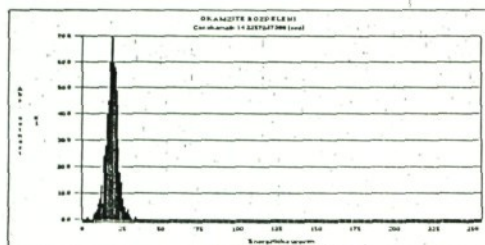
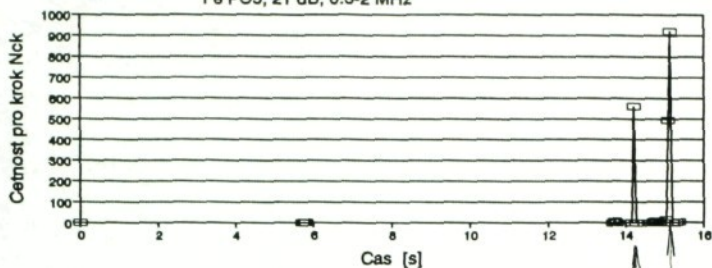
— Exces

G1427_05

Vznik a šíření trhliny

Fe PO5, 21 dB, 0.3-2 MHz

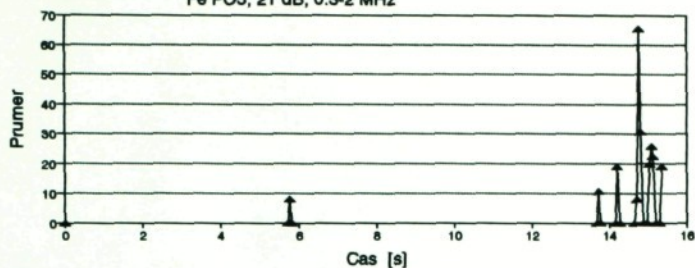
Graf č. 96



Vznik a sireni trhliny

Fe PO5, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 97



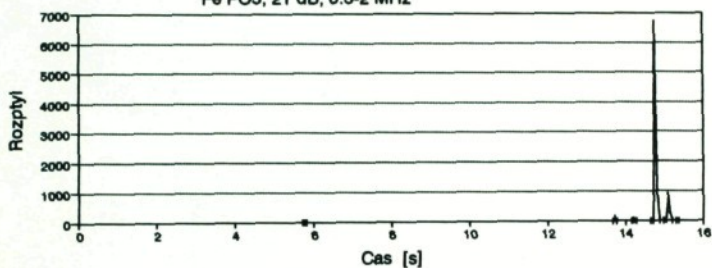
Prumer

G1420_02

Vznik a sireni trhliny

Fe PO5, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 98

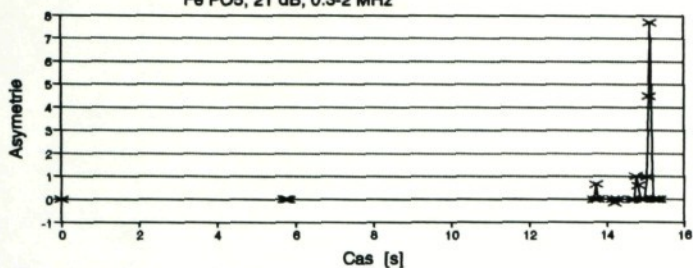


Rozptyl

G1420_03

Vznik a sireni trhliny Fe PO5, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 99

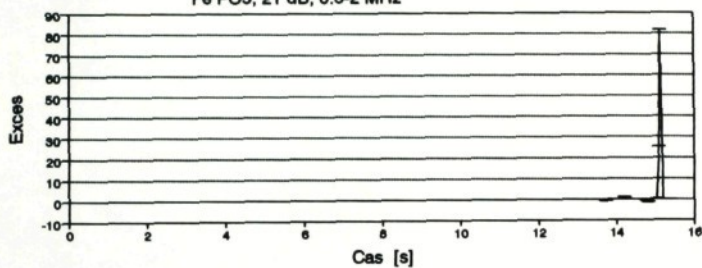


Asymetrie

G1420_04

Vznik a sireni trhliny Fe PO5, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 100

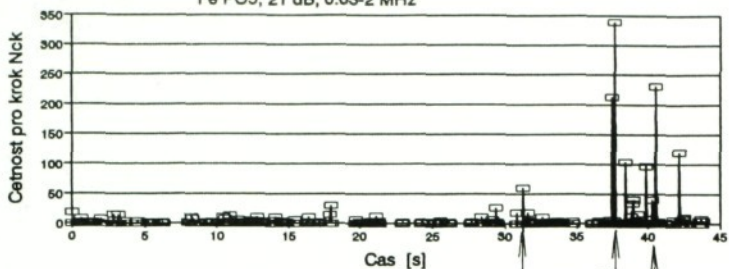


Exces

G1420_05

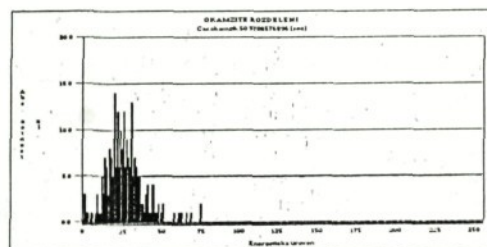
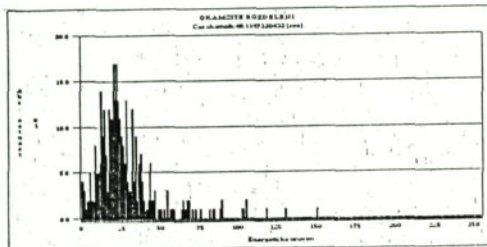
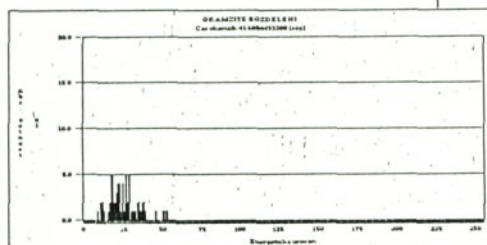
Vznik a šíření trhliny Fe PO5, 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf č. 101



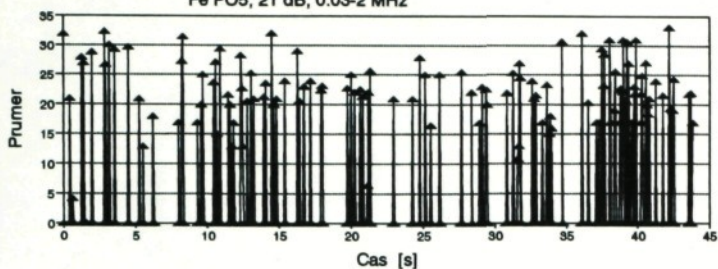
Nck

G1421_01



Vznik a sireni trhliny Fe PO5, 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 102

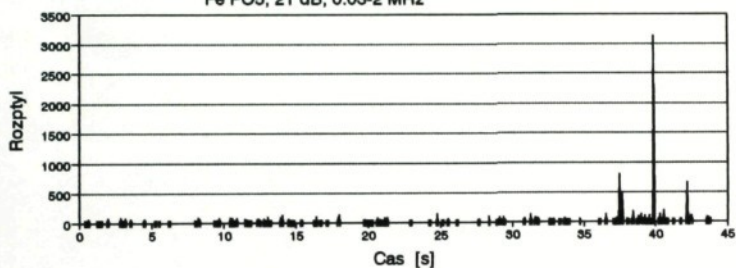


Prumer

G1421_02

Vznik a sireni trhliny Fe PO5, 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 103



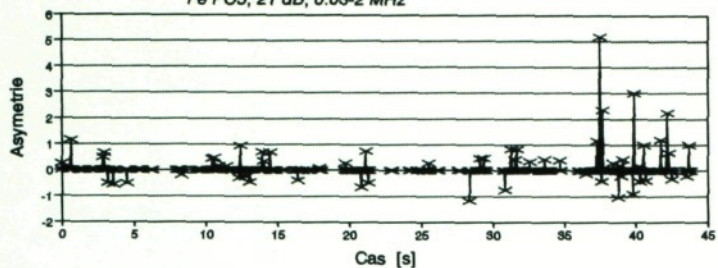
Rozptyl

G1421_03

Vznik a sireni trhliny

Fe PO5, 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 104



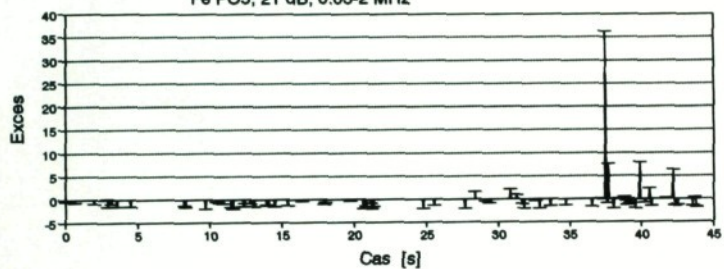
→← Asymetrie

G1421_04

Vznik a sireni trhliny

Fe PO5, 21 dB, 0.03-2 MHz

Graf c. 105

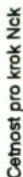


— Exces

G1421_05

Fe-Zn, 21 dB, 0.3-2 MHz

Grat c. 106



Cas [s]

 Nck

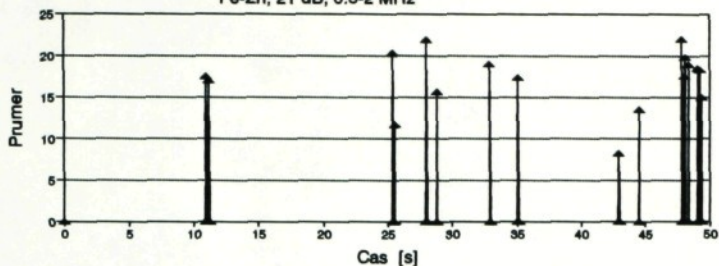
G1418_01



Vznik a sireni trhliny

Fe-Zn, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 107



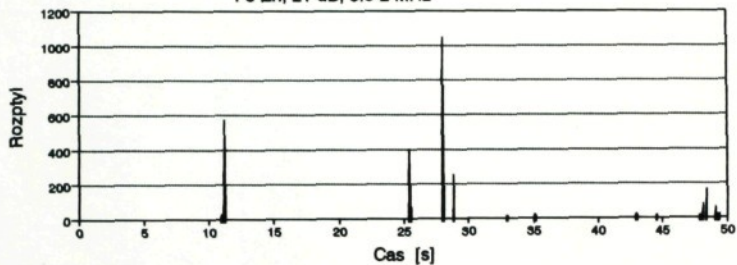
Prumer

G1418_02

Vznik a sireni trhliny

Fe-Zn, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 108

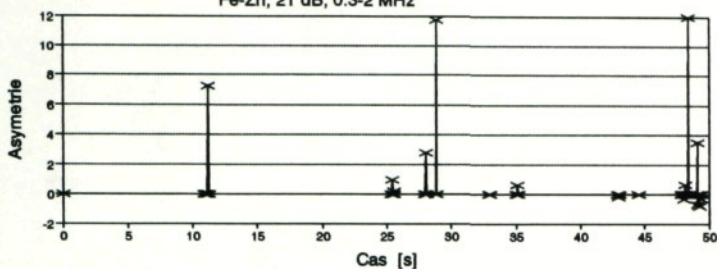


Rozptyl

G1418_03

Vznik a sireni trhliny Fe-Zn, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 109

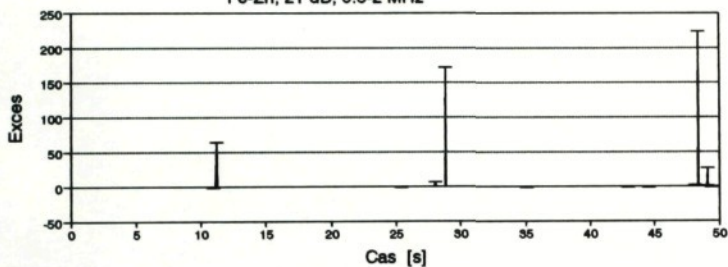


Asymetrie

G1418_04

Vznik a sireni trhliny Fe-Zn, 21 dB, 0.3-2 MHz

Graf c. 110

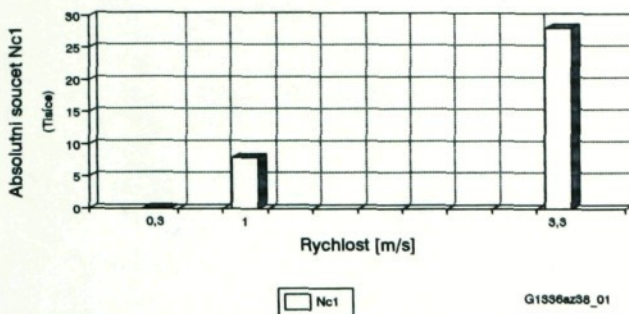


Exces

G1418_05

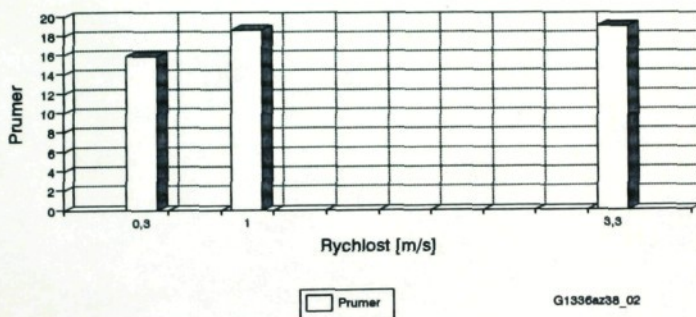
Vnejsi treni, 12dB, 0.3-2MHz
Zatizeni 5 N

Graf c. 111



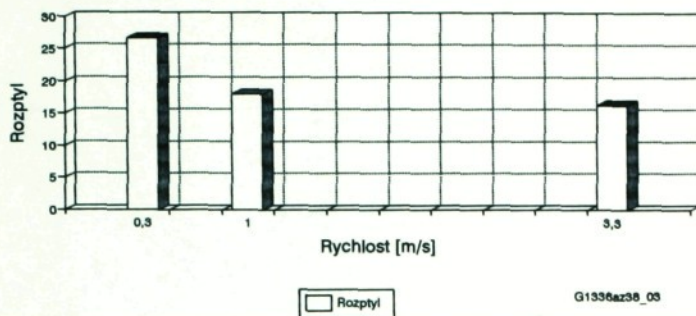
Vnejsi treni, 12dB, 0.3-2MHz
Zatizeni 5 N

Graf c. 112



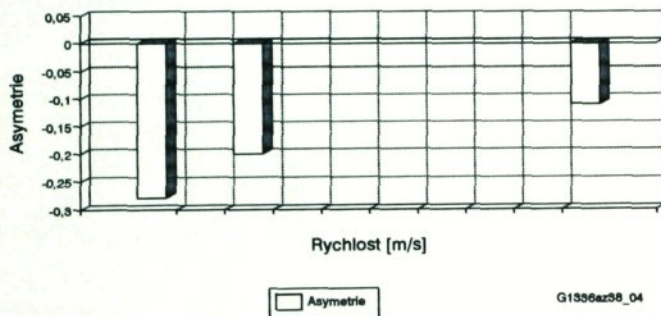
Vnejsi treni, 12dB, 0.3-2MHz
Zatizeni 5 N

Graf c. 113



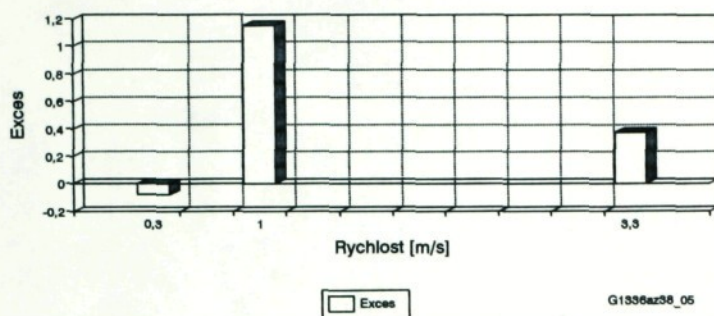
Vnejsi treni, 12dB, 0.3-2MHz
Zatizeni 5 N

Graf c. 114



Vnejsi treni, 12dB, 0.3-2 MHz
Zatizeni 5 N

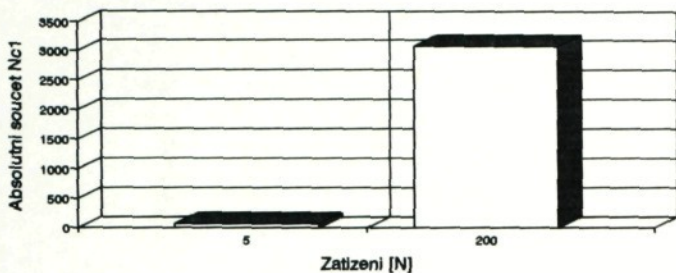
Graf c. 115



Vnejsi treni, 12dB,0.3-2MHz,s.870715

Graf c. 116

$v=20\text{m/min}$



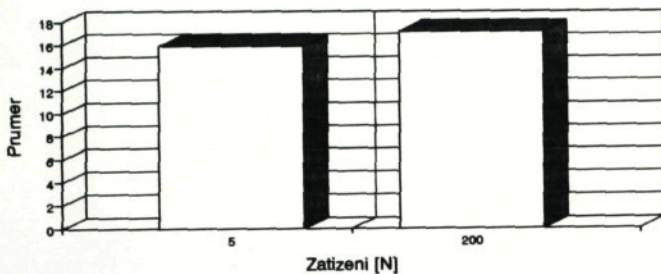
Nc1

G1870_01

Vnejsi treni, 12dB,0.3-2MHz,s.870715

Graf c. 117

$v=20\text{m/min}$



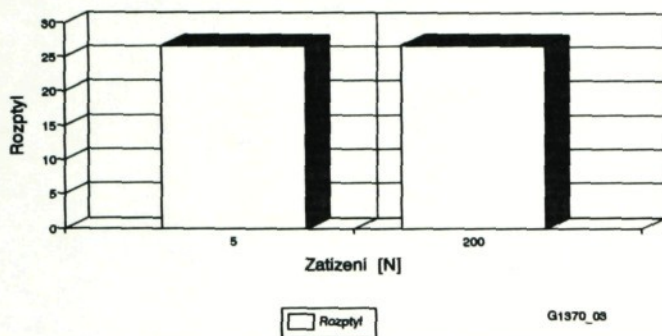
Prumer

G1870_02

Vnejsi treni, 12dB,0.3-2MHz,s.870715

Graf c. 118

$v=20\text{m/min}$

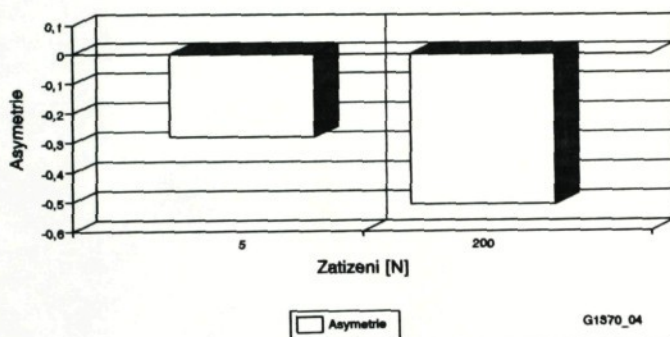


G1370_08

Vnejsi treni, 12dB,0.3-2MHz,s.870715

Graf c. 119

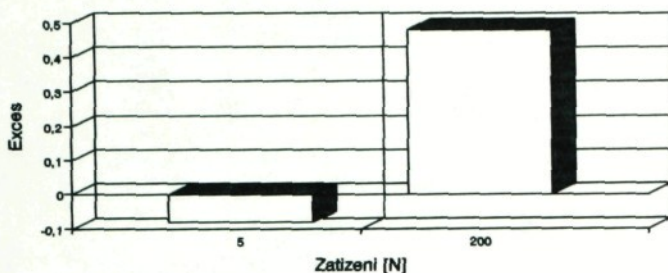
$v=20\text{m/min}$



G1370_04

Vnejsi treni, 12dB,0.3-2MHz,s.870715
 $v=20\text{m/min}$

Graf c. 120



Exces

G1370_05