Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní

AKUSTICKÁ EMISE PŘI RYTÍ MODELEM BRUSNÉHO ZRNA

Diplomová práce

1996 **Olga Sinkulová**

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní Katedra obrábění a montáže

Obor: strojírenská technologie
Zaměření: obrábění a montáž

Akustická emise při rytí modelem brusného zrna

KOM - 893

Olga Sinkulová

Vedoucí práce: Ing. Jan Žižka, CSc. (KOM)

Konzultant: Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc. (KOM)
Ing. Jaroslav Votoček (KOM)

Počet stran: 63
Počet příloh: 17
Počet obrázků: 21

Liberec 23.května 1996

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1995/96

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro: Olgu SINKULOVOU

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:

Akustická emise při rytí modelem brusného zrna

Zásady pro vypracování:

1. Studium teoretických poznatků z oblasti použití akustické emise.
2. Studium teoretických poznatků z oblasti rytí modelem jednoho brusného zrna.
3. Navržení metodiky provedení experimentů pro rytí modelu jednoho brusného zrna a sledování.
4. Vyhodnocení experimentálních měření.
5. Shrnutí poznatků a závěry.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voronežská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

KOM/OM
63 s., 54 s. příl.,
V 82/96 S

ANOTACE

Označení DP: 893 Řešitel: Olga Sinkulová

AKUSTICKÁ EMISE PŘI RYTÍ MODELEM BRUSNÉHO ZRNA

Diplomová práce se zabývá sledováním rytí modelem brusného zrna metodou akustické emise. V teoretické části je pojednáno o broušení, jeho definici, sestavování modelu brusného zrna a o akustické emisi - jejím vzniku, zdrojích, parametrech. V části experimentální je uveden popis návrhu experimentů, metodiky měření a vyhodnocování a popis měřící aparatury. Konzultace výsledků měření a jejich zhodnocení je náplní další kapitoly a výsledky jsou přehledně uspořádány do tabulek a grafů uvedených v příloze. V závěru diplomové práce jsou shrnuty nejdůležitější poznatky a dále je nastíněn další možný postup práce v dané oblasti.

Desetinné třídění: DT 621.9
Klíčová slova: MODEL BRUSNÉHO ZRNA, AKUSTICKÁ EMISE

Zpracovatel : TU v Liberci, KOM
Dokončeno: 1996
Archivní označ.zprávy:

Počet stran: 63
Počet příloh: 17
Počet obrázků: 21
Počet tabulek: 19
Počet diagramů: 72

OBSAH

Seznam použitých zkratek a symbolů 8

1. Úvod 10

2. Modelování brusného procesu 12

2.1 Objasnění fyzikální podstaty procesu řezání při broušení ... 12

2.2 Modelování procesu broušení jendím zrnem 13

2.2.1 Význam modelování 13

2.2.2 Fyzikální podobnost jako základ modelování 14

2.2.3 Některé práce o rytí osamoceným brusným zrnem 16

3. Akustická emise 27

3.1 Historie a přehled vývoje AE 27

3.2 Základní pojmy 28

3.3 Vznik signálu AE 28

3.4 Zdroje AE v kovech a jejich charakteristiky 29

3.4.1 Dislokační pohyb a AE 32

3.4.2 AE při nukleaci a růstu mikrotrhlin 33

3.4.3 Aplikace AE v lomové mechanice 33

3.4.4 Fázové transformace jako zdroj AE 34

3.5 Parametry signálu AE 35

3.6 Podmínky limitující užití metody AE 36

3.7 Diagnostika signálu AE 37

3.7.1 Snímače 37

3.7.2 Lineární zesilovače 38

3.7.3 Elektronické filtry 39

3.8 Využití metody AE v procesu broušení 39

4. Experimentální část 40

4.1 Návrh experimentu 40

4.2 Popis použitého zařízení, materiálu a nástroje 41

4.3 Metodika měření 45

4.3.1 Postup měření 47
4.4 Vyhodnocení prováděných experimentů 47
4.4.1 Testování sond 47
4.4.2 Vyhodnocení rytí modelem brusného zrna 49
5. Shrnutí 50
5.1 Konzultace výsledků 50
5.1.1 Testování sond 50
5.1.2 Rytí modelem brusného zrna 50
5.1.3 Podíl plastické deformace 52
5.1.4 Rozptyl signálu AE 53
6. Závěr 54
Seznam literatury 57
Seznam příloh 59

Seznam použitých zkratek a symbolů:

Symbol	Název	Jednotky
a_z	tloušťka třísky	[mm]
AE	akustická emise	
E_g	energie akumulovaná v zrně	[J]
F	řezná síla	[N]
f_d	hranice spodního filtru	[MHz]
f_h	hranice horního filtru	[MHz]
F_y	kolmá složka řezné síly	[N]
F_z	vodorovná složka řezné síly	[N]
f_1	plocha průřezu rýhy	[mm^2]
f_2	plocha průřezu valu	[mm^2]
h	hloubka řezu	[mm]
HV	tvrdost materiálu podle Vickerse	[1]
l_1	délka oblasti vstupu brusného zrna do materiálu	[mm]
l_2	délka oblasti výstupu brusného zrna z materiálu	[mm]
n	otáčky stroje	[$ot.min^{-1}$]
Nc1	počet překmitů signálu AE	[1]
p, p_1	podíl plastické deformace	[1]
R	poloměr	[mm]
$R_{e\,min}$	minimální mez kluzu materiálu	[MPa]
$R_{m\,min}$	minimální mez pevnosti materiálu	[MPa]
s	příčný posuv stolu frézky	[$mm.min^{-1}$]
T	těžiště plochy energie signálu AE	[1]
v	řezná ryvhlost	[m.s-1]
v_K	řezná rychlost brousícího kotouče	[$m.s^{-1}$]
v_{OB}	řezná rychlost obrobku	[$m.s^{-1}$]
α	konstanta závislá na velikosti zrna	[mm]
β	velikost aplikovaného napětí	[MPa]

δ	úhel řezu	[°]
$\varepsilon_1, \varepsilon_r$	vrcholový úhel	[°]
ρ_z	poloměr zaoblení vrcholu	[mm]

1.ÚVOD

Už v dávné minulosti člověk pískovcem jako abrazívním nástrojem obrušoval nástroje, které se zhotovovaly nejprve z kamene a později z bronzu a železa. Muselo uplynout mnoho staletí, aby se od ručního broušení přešlo k současným, programově řízeným bruskám.

V současnosti má broušení v průmyslu velmi důležitou úlohu. Obrábění každé součástky bezprostředně nebo nepřímo souvisí s broušením. Objem brousících operací je v průměru 25% a někde až 70% z celkového objemu operací, realizovaných na obráběcích strojích. V dnešní době proto nepředstavuje pouze dokončovací operaci, ale v mnoha případech je využíváno jako hrubovací operace.

Stejně, jako se rozvíjí brousící operace, neustále roste i náročnost na konstrukčně technologické řešení nejen výrobků jako celků, ale i jejich jednotlivých detailů a uzlů, neboť stále výrazněji je určována a požadována efektivnost využití. Vzhledem k tomuto přirozenému tlaku se mnohdy dostáváme do situace, kdy se blížíme k hranici technických možností daných zařízení. V této fázi má svoje významné postavení spolehlivost, která není jen technickým problémem, ale představuje významnou složku i v ekonomické a sociální oblasti.

Se spolehlivostí úzce souvisí diagnostika, která umožňuje odkrýt celou dynamiku procesu degradace sledovaného celku, ale také stanovit prognózu života do vzniku poruchy, a tedy plánované opravy s včasným odstraněním závad.

Cílem diplomové práce je přispět novými poznatky k rozšiřování možností diagnostiky obráběcích operací metodou akustické emise, jejíž výzkum probíhá na Technické univerzitě v Liberci již několik let. Tato práce má za úkol vysledovat přímé závislosti signálu akustické emise na druhu obráběného materiálu, na hloubce řezu a na množství přetvořeného a odebraného materiálu z místa řezu při rytí modelem brusného zrna při

stanovených konstantních podmínkách. Je třeba uvést, že experimenty byly prováděny při velmi malé rychlosti řezání. Rychlost byla volena tak, aby bylo možno snímat a zaznamenávat dostatečný počet signálů akustické emise, protože použitá měřící aparatura je schopna měřit hodnoty pouze po určitém časovém intervalu. Tzn. že při použití reálných brousících rychlostí bychom nezaznamenali dostatečný počet hodnot s určitou vypovídací schopností.

2.MODELOVÁNÍ BRUSNÉHO PROCESU [7]

Broušení je velmi složitý řezný proces, který má specifické zvláštnosti, jimiž se odlišuje od ostatních způsobů obrábění. Je známo, že geometrie brousících zrn v kotouči není dobře definovatelná a také poloha jednotlivých elementů je na kotouči náhodná. Brousící zrna vytvářejí velice složitý pracovní profil brusného kotouče, protože výsledkem jejich náhodné polohy není souvislý břit. Zrna jsou různě vysoká se zaoblenými vrcholy, které mohou mít jak záporný, tak i méně často kladný úhel čela.

Při broušení dochází k otupování zrn vlivem jejich odírání o povrch obráběného materiálu. Otupení zrna má za následek růst řezného odporu, který vede až k jeho vylomení. Proces vylamování je také podpořen velikými teplotními výkyvy. Při tření nebo rytí zrna dochází k prudkému nárůstu jeho teploty. Vystupuje-li zrno z řezu, nebo působí-li na něj chladící kapalina, následuje velice rychlé ochlazení. Svou roli hraje také řezná rychlost, která se pohybuje přibližně v rozmezí 15 - 200 $m.s^{-1}$. Důsledkem vysokých řezných rychlostí brousícího kotouče a malé hloubky řezu je to, že se tříska odebírá v nepatrném časovém intervalu a za časovou jednotku dochází k odebrání obrovského množství třísek velmi malé hmotnosti.

2.1 OBJASNĚNÍ FYZIKÁLNÍ PODSTATY PROCESU ŘEZÁNÍ PŘI BROUŠENÍ [6, 11]

Při sledování tendence výzkumu v oblasti broušení kovů je možno konstatovat, že doposud se nepodařilo dosáhnout komplexního řešení problémů mechaniky procesu broušení. Bylo získáno mnoho údajů o tvaru abrazívních zrn, tvaru a poloze řezných hran a o tom, jaký mají tyto faktory vliv v brousícím procesu.

2.2 MODELOVÁNÍ PROCESU BROUŠENÍ JEDNÍM ZRNEM [6]

Výzkum broušení poskytuje velké množství informací průmyslu pro přímé použití , který se týká zejména zvýšení přesnosti výroby a jejího zproduktivnění. Přesto však stále nelze úplně přesně stanovit optimální řezné podmínky, spolehlivost apod.

Zvláštnosti práce brusného zrna způsobují značné obtíže při výzkumu a dávají možnost postupovat dvěma rozdílnými způsoby:

1) výzkum modelováním procesu broušení jednak fyzikálními modely brusných zrn a jednak matematickým modelováním (zejména kinematiky brusného procesu),

2) výzkum realizovaný na reálných brousících kotoučích, jehož výsledkem jsou zpravidla matematické modely procesu broušení.

Oba postupy umožňují použít k řešení experimentální i teoretické metody. Oba jsou téměř rovnocenné co do vyvolávaných obtíží, které vyplývají zejména ze složitosti a nestejnorodosti stavby brusných kotoučů a z odlišnosti geometrických parametrů jednotlivých třísek.

Protože závěry, které lze získat výzkumem broušení ve skutečných podmínkách, se od sebe často liší a příčiny odlišnosti nelze postihnout , objevují se práce, které modelováním brusného procesu pomocí osamoceného brusného zrna chtějí získat přesnější a použitelnější informace.

2.2.1 Význam modelování [11]

Modelování je teoretický poznávací proces vycházející z abstraktního myšlení. Abstrakce spočívá v tom, že u objektů určité třídy bere v úvahu jen ty vlastnosti, které jsou u všech předmětů zkoumání shodné. Při abstrakci tedy formulujeme předmět zkoumání. Získané poznatky o takto vymezeném předmětu platí pro celou třídu, jíž jsou sledované vlastnosti i chování společné.

Takový postup je třeba volit proto, že vytvořit model, který by byl dokonale shodný ve struktuře i chování se sledovaným objektem, je úloha obyčejně nesplnitelná. Prakticky bychom potřebovali model v měřítku 1:1. To by znamenalo experimentovat s vlastním objektem, který buď není k dispozici, nebo je naopak tak malý, že by provádění experimentů bylo nemožné. Přijetí některých málo významných rozdílů mezi dílem a modelem může úlohu podstatně usnadnit, nebo ji vůbec umožnit. Velký význam má proto především přibližné modelování, které sice nesplní důsledně všechny zákony podobnosti, ale vcelku poskytuje o chování systému užitečné informace, od skutečnosti jen málo odlišné.

Přibližný model je zjednodušené zobrazení zkoumané skutečnosti , tzn. díla (objektu). Chování modelu v různých podmínkách bývá jeho důležitou charakteristikou, a proto se snažíme, aby bylo co nejpodobnější chování modelovaného objektu.

Modelování má praktický i gnozeologický význam. Řada úspěšně řešených úloh přináší užitečné praktické poznatky, které urychlují řešení technických problémů. Současně také obohacuje nebo opravuje formulaci dosud platných teorií.

Mnoho problémů lze řešit experimentálně na modelu a výsledek pak přenést na modelovaný objekt pomocí zákonů podobnosti. Podmínkou při tom je, aby model a objekt byly fyzikálně podobné, což předpokládá geometrickou podobnost uspořádání a umístění systému v okolí.

2.2.2 Fyzikální podobnost jako základ modelování [7 , 11]

Nejschůdnější cestou pro analýzu fyzikálního procesu je experimentální výzkum , prováděný za podmínek fyzikální podobnosti. Můžeme pak stanovit základní podmínky, za kterých budou dva procesy podobné:

1. Geometrická podobnost - tělesa vstupující do uvažovaného procesu jsou si geometricky podobná. Tzn. že dílo a model jsou si geometricky podobné, jestliže jsou rovnoběžné odpovídající si délky a jsou zmenšené (zvětšené) všude ve stejném poměru.

2. Napěťová, deformační a teplotní podobnost - napěťová, deformační a teplotní pole jsou si podobná, jestliže si budou geometricky podobné všechny charakteristické plochy těchto polí. Pod pojmem plocha rozumíme takovou, na níž má daná veličina (hloubka řezu, geometrie břitu brusného zrna, délka stykového oblouku zrna s obrobkem apod.) stejnou hodnotu.

3.Podobnost procesů fyzikálního i jiného charakteru - takové procesy jako chemické reakce, chvění apod. Podle předchozích úvah lze vyslovit tvrzení, že uvažovaný model bude za uvedených podmínek vykazovat charakter práce velmi blízký povaze práce jednotlivého brusného zrna na kotouči.

Při modelování broušení byly dodrženy tyto hlavní zásady modelování:

1. Geometrie a velikost modelu brusného zrna odpovídá zásadám podobnosti.

2. Materiál modelu brusného zrna je chemicky a fyzikálně shodný s materiálem reálných brusných kotoučů. Lze tedy předpokládat, že chemické a difuzní procesy jsou stejné.

3. Kinematiku záběru modelu brusného zrna je možno považovat za shodnou s kinematikou skutečného zrna brousícího kotouče.

Podle popsaných zásad by měl navržený model brusného zrna za stanovených podmínek vykazovat charakter pr áce, který bude velmi blízký povaze práce jednotlivého brusného zrna na kotouči. Je však nutno předpokládat, že odlišnost chvění modelu a reálného brusného zrna nebude mít podstatný vliv na výsledky experimentů.

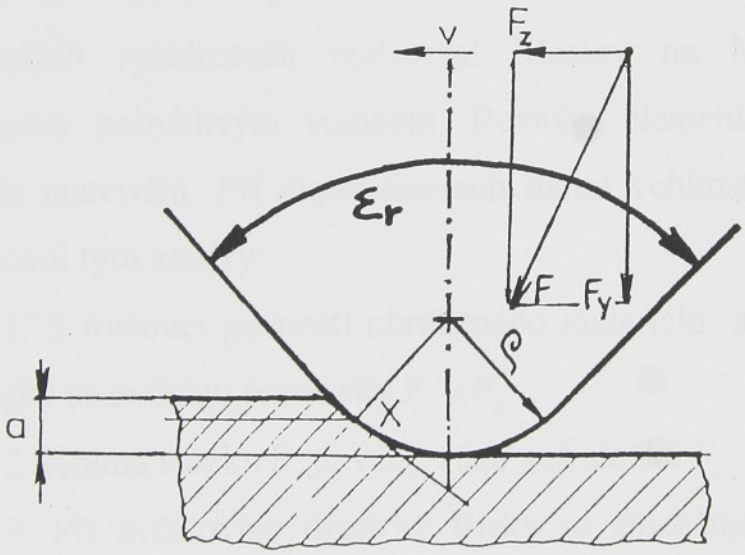
2.2.3 *Některé práce o rytí osamoceným brusným zrnem*

Brusné kotouče tvoří , jak již bylo uvedeno, velmi významnou část řezných nástrojů. Tyto nástroje tvoří nepravidelná zrna brusiva spojená pojivem. Při broušení obrobků vznikají, jako u ostatních způsobů obrábění, vedle účinků kinematických také dost velké plastické deformace materiálu.

1. J.N.Maslov [12]

První poznatky získané na základě modelování broušení rytím osamoceného brusného zrna jsou formulovány v Maslovově teorii o odírání kovů.

Při broušení odírají zrna povrchovou vrstvu materiálu hromadně. Výzkum záběru jednotlivého zrna brusiva vede ke studiu mechanismů mikrořezání - tzv. odírání, jehož schema je znázorněno na obr.2.1.



Obr.2.1 - Silové působení v průběhu mikrořezání [11]

Řezný element má zaoblený vrchol o poloměru , který zajišťuje vysokou mechanickou pevnost břitu. Při odírání se kov pod řezným elementem a po bocích řezné částice plasticky deformuje.

Velikost objemu materiálu, který je zasažen plastickou deformací, závisí na tloušťce ubírané vrstvy. Čím je ubíraná vrstva silnější, tím větší je objem kovu zasaženého plastickou deformací.

Brousící element odebírá třísku jen tehdy, je-li smykové napětí vznikající v průběhu rytí větší, než pevnost broušeného materiálu ve smyku.

Maslov se zabýval zkoumáním sil působících na řezný element, kterým byl diamantový kužel s vrcholovým úhlem $\varepsilon = 90\ ^{\circ}$ a poloměrem zaoblení vrcholu $\rho_x = 6$ m. Sílu F působící na řezný element rozložil na složky F_y a F_z a odvodil vzorec pro stanovení jejich velikostí. Odřezávání třísky způsobuje složka F_z, zatímco složka F_y přitlačuje řeznou částici k obráběné ploše (obr.2.1).

Experimentální výzkum silových vztahů při mikrořezání zrnem brusiva při malých rychlostech realizoval Maslov na Martensenově přístroji, doplněném pohyblivým vozíkem. Řezným elementem prováděl rytí do různých materiálů. Při experimentech měnil velikost síly F_y. Maslov pak formuloval tyto závěry:

1. S rostoucí pevností obráběného materiálu a se zvětšující se hloubkou třísky se zvětšují řezné síly F_y a F_z.

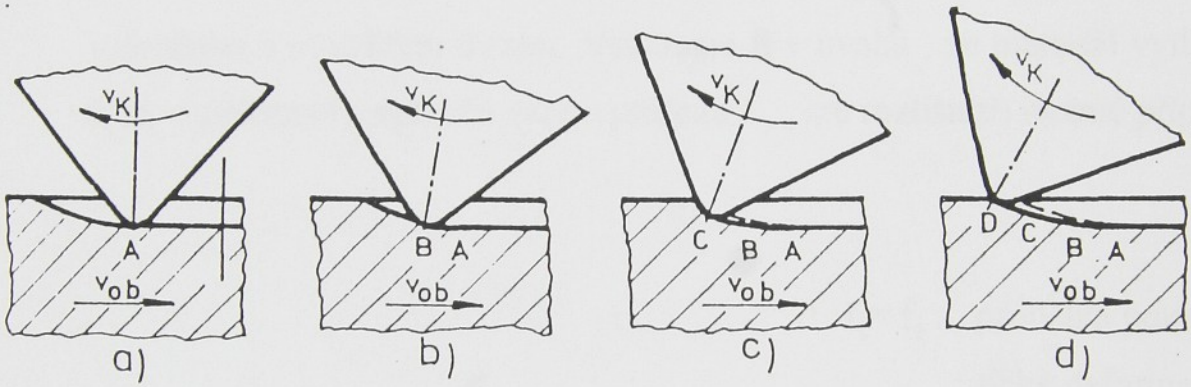
2. Kolmá složka F_y je vždy větší než složka F_z.

3. Při zvětšování tloušťky třísky se zmenšuje skutečný úhel řezu a klesá deformace kovu, řezný odpor a řezné síly potřebné k oddělení třísky.

4. Jsou-li třísky zvlášť tenké, je skutečný úhel řezu maximální a povrchové vrstvy materiálu jsou řeznou částicí pouze plasticky deformovány. Plastická deformace probíhá jen do určité hloubky třísky a závisí na poměru a_z/ρ, tzn. na skutečném úhlu řezu a na plasticitě materiálu obrobku.

Při odebírání jednotlivých třísek zrnem brousícího kotouče dochází ke klouzání zrna po povrchu obráběného kovu a k usmýknutí částice kovu. Zrno postupně prochází body A, B, C, D (obr.2.2).

Práci brusného zrna lze popsat následovně. Nejprve brusné zrno po obráběném povrchu klouže, potom dochází k otlačování kovu pod zrnem a vzniká pružně plastická deformace materiálu v okolí brusného zrna. Současně roste tloušťka materiálu , na kterou brusné zrno působí a zvětšují se síly působící na brusné zrno. Částice kovu se začínají usmýkávat v bodě D, kdy řezná síla působící čelem brusného zrna na vrstvu materiálu dosáhne takové velikosti, že vznikající smykové napětí je větší než pevnost materiálu ve smyku. Takto dochází ke vzniku třísky rytím jednoho brusného zrna do povrchu obrobku.



Obr.2.2 - Schema odebírání třísky zrnem brusiva [11]

a) prokluz zrna a počátek plastické deformace

b) mezní vektor pružných a plastických deformací

c) posun (smyk) částic odebíraného materiálu

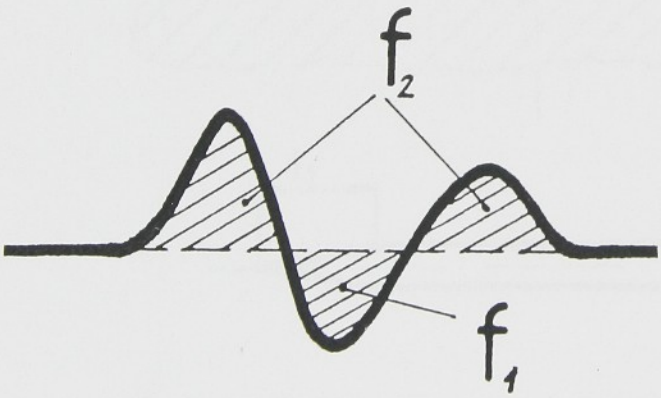
d) konec záběru brusného zrna

Maslov provedl kromě kinematického rozboru také výzkum dynamiky procesu broušení. Podrobně zpracoval otázky vlivu režimu broušení na kvalitu povrchové vrstvy obrobku a opotřebení a trvanlivost brousících kotoučů. Jeho práce se stala základem pro objasnění problematiky broušení.

2. *Práce Žebrowskiho a Mazurkiewicze* [12]

Žebrowski a Mazurkiewicz sledovali, jak se projeví náhodný tvar brusného zrna na velikosti síly F_z a na poměru plochy rýhy (f_1) vyhloubené zrnem k ploše valů (f_2) po jejích okrajích. Pokusy byly provedeny obdobným způsobem jako u Maslova s několika rozdíly. Zrna byla zalita do do zvláštních nástavců a pak vložena do Chruščovova mikrotvrdoměru. Křížovému stolku s upnutým vzorkem byla udělena rychlost $5 mm.min^{-1}$. Tvar zrna byl určován ze tří pohledů vzájemně pootočených o 120°.

Stručně lze říci, že došli ke stejným závěrům jako Maslov.Provedené pokusy potvrdily, že určitá hodnota poměru a_z/ρ tvoří hranici mezi mikrořezáním a obvyklým třením. Vezmeme-li v úvahu , že materiál vytlačený z rýhy o průřezu f_1 vytvořil valy o průřezu f_2 , lze rozlišit tři možné případy:



1. $f_1 = f_2$ ... proběhla pouze plastická deformace

   $\frac{f_1}{f_2} = 1$

2. $f_1 > f_2$ ... došlo k částečnému odebrání materiálu a také k určité plastické deformaci

   $\frac{f_1}{f_2} > 1$

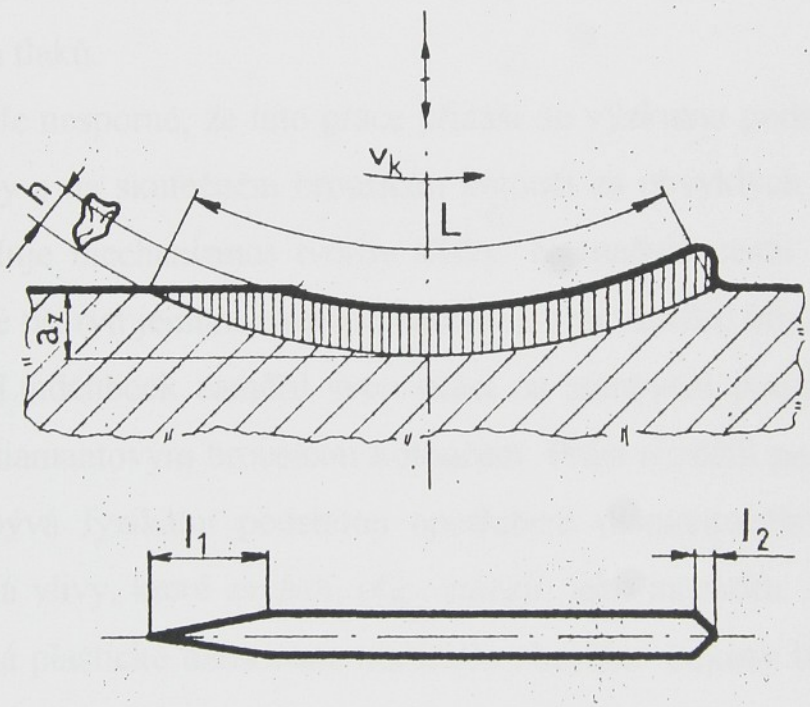
3. $f_2 = 0$ ... proběhlo pouze řezání

Obr. 2.3 - Poměr průřezu f_1 rýhy a průřezů f_2 valů vytlačených z rýhy [12]

Uvedené případy jsou jen obecnou úvahou , kde nebyly zahrnuty vlivy, jako jsou velikost síly F_y, poloměr zaoblení ρ, úhel řezu δ a některé další.

3. *Výzkum Kruga a Lindenbecka* [12]

Krug uvedl přehled možných výzkumných technik , jimiž lze studovat povrch vzorku po broušení, zejména z hlediska stop po jednotlivých brusných zrnech. Zvláštní pozornost věnoval zejména oblasti záběru brusných zrn do materiálu , charakterizované délkou l_1 a oblasti výstupu označené l_2 (obr.2.4).



Obr.2.4 - Znázornění stopy brusného zrna [12]

Stereoskopicky bylo zjištěno, že nejde o prostou rýhu s rovnými okraji. V převážné většině jsou na hranách rýh tzv. valy. Z toho lze usuzovat, že rýhy nevznikly jen odřezáním dané vrstvy materiálu. Současně s tím proběhla výrazná plastická deformace určité části materiálu. Tyto závěry souhlasí s vývody Maslova a Žebrowskiho a Mazurkiewicze.

Vzájemnou součinností velkého počtu brusných zrn v kotouči pak dochází k tomu, že do valů vytvořených předchozím zrnem zabírají zrna následující a tak je v podstatě uzavřen mechanismus broušení.

Z provedených pokusů lze dojít k těmto závěrům:

1. Mechanismus tvorby třísky a její oddělování stejně jako opotřebení brusných zrn, se odehrává v rozmezí tisícin milimetru.

2. Kovy se působením jednotlivých brusných zrn chovají jako plastické látky.

3. Síly vyvolávané hrotem brusného zrna na povrchovou vrstvu obráběného tělesa vyvolávají tak velký tlak, že je lze zařadit do fyziky vysokých tlaků.

Je nesporné, že tato práce přináší do výzkumu podstaty broušení nové pohledy a na skutečném brousícím kotouči za obvyklých řezných podmínek vysvětluje mechanismus tvorby třísky. Naznačuje cestu , jak lze výsledky získané při rytí jedním zrnem zobecnit na práci celého brousícího kotouče.

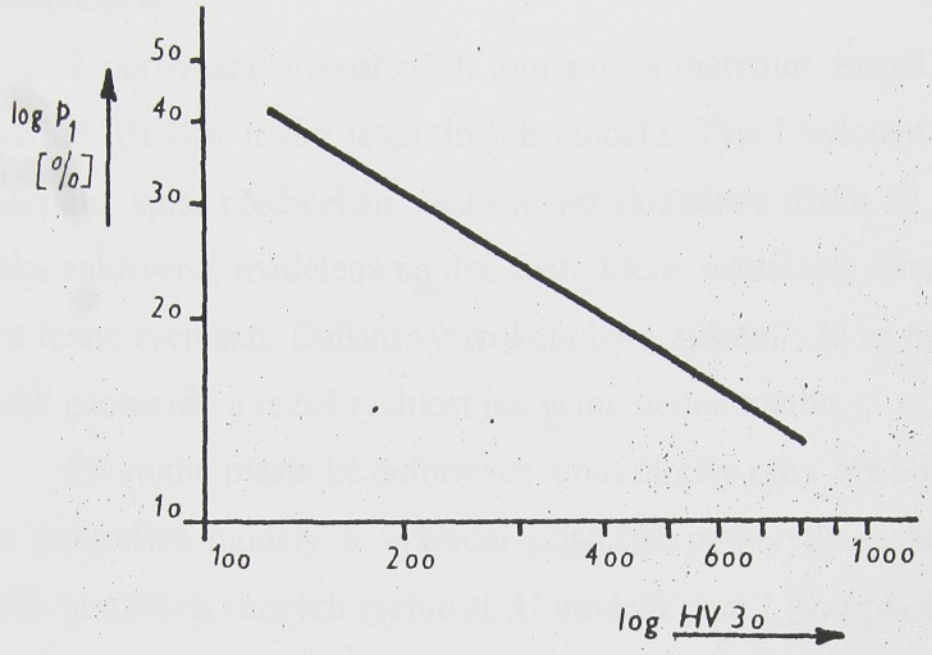
Lindenbeck zaměřil svou práci na stanovení podmínek pro broušení ocelí diamantovým brousícím kotoučem. Práci rozdělil na dvě části. V první se zabývá fyzikální podstatou opotřebení diamantového brusného zrna a zkoumá vlivy, které zvyšují, příp. snižují, jeho intenzitu. Ve druhé části pak zkoumá plastické deformace materiálu obrobku. Pokusy byly v obou částech prováděny nástroji s jedním brusným zrnem na různých materiálech.

Ve všech případech rytí různých druhů ocelí vznikaly po okrajích vytlačených rýh valy. Lindenbeck považuje poměr ploch f_1 rýhy a f_2 valů za podíl plastické deformace ne celkovém řezném pochodu:

$$p_1 = \frac{f_1}{f_2} \times 100[\%] \qquad (1)$$

Výsledek je znázorněn na diagramu na obr.2.5, ze kterého vyplývá, že tvrdší materiály vyvolávají menší a měkké silnější plastické deformace ve

probíhají silně i pod brusným zrnem a jsou příčinou vzniku otřepů po okrajích obrobků.



Obr. 2.5 - Závislost poměru p_1 na tvrdosti materiálu [12]

Z těchto výsledků lze usoudit, že drsnost povrchu je při broušení diamantovým brusným nástrojem závislá na materiálu obrobku. Stejným nástrojem obráběný tvrdý obrobek vykazuje vždy menší drsnost než měkký.
Také výsledky této práce se dobře shodují se závěry Maslova i Žebrowskiho a Mazurkiewicze.

4. *Kandidátská disertační práce J. Gazdy* [12]

Gazda sledoval práci brusného zrna při úběru materiálu. K tomuto účelu použil modelu, který představuje jedno brusné zrno. Vycházel z kinematického rozboru práce brusného zrna v brousícím kotouči a zdůvodnil použití modelu. Prováděl výzkum vzniku třísky a plastických deformací.

Při porovnávání vzniku třísky byly zkoušky zaměřeny na změnu řezných rychlostí při různých řezných úhlech modelů brusného zrna (obr.2.6). Použil dva typy modelů - trojboký jehlan (typ I) a čtyřboký jehlan (typ II) při

různých geometriích. Modely byly vybroušeny na diamantové brusce, ustaveny do zvláštních držáků a zality epoxidovou pryskyřicí, která se nechala vytvrdnout.

Z porovnání vytvořených fotografií a měřením dospěl k závěru, že se zásadně liší tvar třísky jednotlivých modelů. Typ I vykazoval nahromadění materiálu spíše před čelem nástroje než skutečnou třísku. U typu II vznikala tříska zakřivená, rozdělená na dvě části, které odcházely téměř kolmo k vektoru řezné rychlosti. Dalším výsledkem bylo zjištění , že se na utváření třísky podílí geometrie a řezná rychlost jen velmi malou měrou.

Při studiu plastické deformace určil plochy rýh (viz obr.2.3) pro jednotlivé modely a vyhledal příslušné podíly plastické deformace p_1 podle použitých řezných rychlostí. U modelů typu I jsou plastické deformace poněkud větší při nižších a menší při vyšších rychlostech. Naproti tomu u typu II je pokles podílu plastických deformací s růstem rychlosti poměrně rovnoměrný. Tzn. že i při vyšších rychlostech je vytlačování materiálu z rýhy do valů větší u modelů typu II, kdy model postupuje rýhou hranou vpřed.

Na plastickou deformaci měla vliv i hloubka řezu a z provedené experimenty ukázaly, že pro nízké řezné rychlosti je u typu I hodnota podílu plastických deformací v průměru nižší než u modelu typu II. Pro případy vyšších řezných rychlostí tyto závislosti nebyly tak jednoznačné.

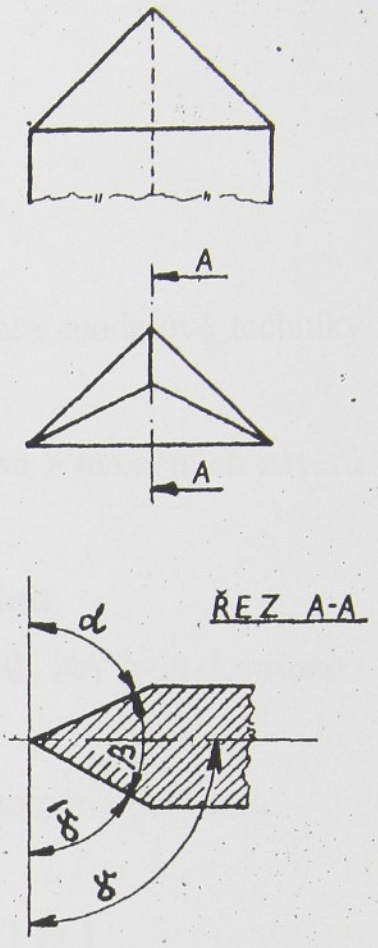
Gazda ve své práci došel k těmto závěrům:

1. Na utváření třísky má vliv především tvar modelu brusného zrna.

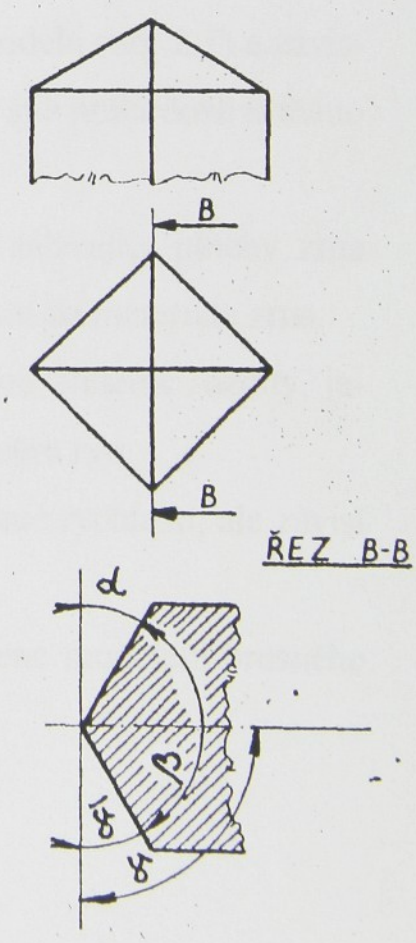
2. Provedenými zkouškami byl potvrzen výrazný vliv řezné rychlosti na snižování podílu plastické deformace.

3. Průběh závislosti plastických deformací na tloušťce třísky prokázal

Typ I - trojboký jehlan				
	A	B	C	D
α	10°	15°	18°	26°
β	100°	105°	112°	114°
$\bar{\gamma}$	70°	60°	50°	40°
γ	-20°	-30°	-40°	-50°
ρ	0,02	0,02	0,02	0,02



Typ II - čtyřboký jehlan					
	E	F	G	H	I
α	36°	36°	36°	36°	36°
β	99°	108°	113°	119°	124°
$\bar{\gamma}$	45°	35°	30°	25°	20°
γ	-45°	-55°	-60°	-65°	-70°
ρ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02



Obr. 2.6 - Typy brusného zrna [12]

tři fáze práce modelu brusného zrna

a) pružná deformace

b) plastická deformace

c) mikrořezání.

4. Docílené výsledky potvrzují správnost aplikace modelové techniky na proces broušení.

5. Pro dosažení vyšší účinnosti brusného procesu z uvedených závěrů vyplývá:

a) používat co možná největší řezné rychlosti,

b) přísuv volit vzhledem k velikosti zrna tak, aby bylo dosaženo optimální tloušťky třísky,

c) používat ostrohranná zrna s malými zápornými úhly čela.

5. *Výzkum na Kumamoto University v Japonsku* [13]

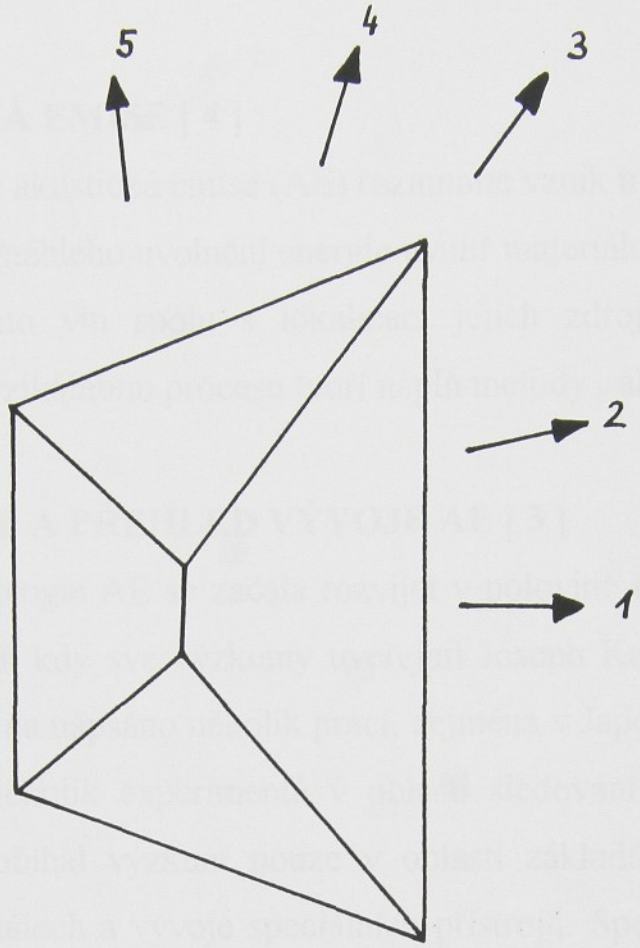
T. Matsuo, S. Toyoura, E. Oshima a Y. Obuchi sledovali při rytí modelem brusného zrna vliv řezné síly na různá nastavení modelu (obr.2.7) a závislost tohoto nastavení na vytváření valů podél rýhy. Ve své práci došli k těmto závěrům:

1. Řezné síly rostou v závislosti na velikosti zabírající plochy zrna lineárně a linearita nezávisí ani na materiálu obrobku, ani na materiálu zrna.

2. Mezi jednotlivými složkami řezných sil nejsou zřetelné rozdíly, jejich velikost však závisí na tvaru brusného zrna a na směru rytí.

3. Velikost řezných sil je jen málo závislá na řezné rychlosti, ale závisí na tom, je-li zrno ostré nebo tupé.

4. Vytváření a velikost valů podél rýhy vytvořené modelem brusného zrna závisí na směru broušení.



Obr.2.7 - Jednotlivé směry rytí modelem brusného zrna [13]

Z přehledu uvedených prací, zabývajícími se působením jednoho brusného zrna vyplývá fakt, že téměř vždy byla skutečná zrna nahrazena modely. Jde o pokusy modelovat brusný proces tak, aby co nejvíce odpovídal skutečnosti.

3.AKUSTICKÁ EMISE [4]

Pod pojmem akustická emise (AE) rozumíme vznik tranzitních napěťových vln v důsledku náhlého uvolnění energie uvnitř materiálu. Detekce a současná registrace těchto vln spolu s lokalizací jejich zdrojů a jejich přiřazení konkrétnímu fyzikálnímu procesu tvoří náplň metody akustické emise.

3.1 HISTORIE A PŘEHLED VÝVOJE AE [3]

Technologie AE se začala rozvíjet v polovině tohoto století a datuje se rokem 1950, kdy své výzkumy uveřejnil Joseph Kaiser. I když již dříve bylo na toto téma napsáno několik prací, zejména v Japonsku bylo provedeno ve 30.letech několik experimentů v oblasti sledování zemětřesení. Během 50.-60. let probíhal výzkum pouze v oblasti základů AE, chování AE v různých materiálech a vývoje speciálních přístrojů. Specifické vlastnosti AE se začaly s úspěchem uplatňovat při monitorování dynamických procesů.

V 70.letech se začaly formovat první pracovní skupiny a metody AE se začaly více používat při monitorování průmyslových procesů. V 80.letech se s rozvojem počítačové techniky začala registrovat a analyzovat první data na počítačích.

Současnost přesunuje aplikace metody AE spíše do průmyslu. Zatímco dříve bylo výhodou získávání mnoha údajů z rozdílných oborů s odbornými znalostmi přispívajícími ke kolektivnímu zdokonalení základních poznatků o AE, současnost se ubírá směrem opačným.

Dnes je AE nejvíce používána pro lokalizaci a určení poruch v tlakových nádobách. Detekce metodou AE se používá ke kontrole plastikových nádob, svarů a svařovaných konstrukcí, opotřebení a práce řezných nástrojů, k monitorování procesů obrábění ap. a nachází uplatnění i v letectví a petrochemii.

3.2 ZÁKLADNÍ POJMY [9]

AE - elastické vlnění, které je důsledkem náhlého uvolnění energie v materiálu

Emisní signál - signál získaný detekcí AE

Emisní událost - diskrétní materiálová změna, 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 - AE, jejíž signál má charakter výrazně časově oddělených impulsů

Spojitá emise - AE, jejíž signály nejsou v čase výrazně odděleny

Emisní zdroj - lokální proces, při kterém dochází v materiálu k AE

Rušivý signál - každý signál, který zhoršuje podmínky pro detekci užitečných signálů AE

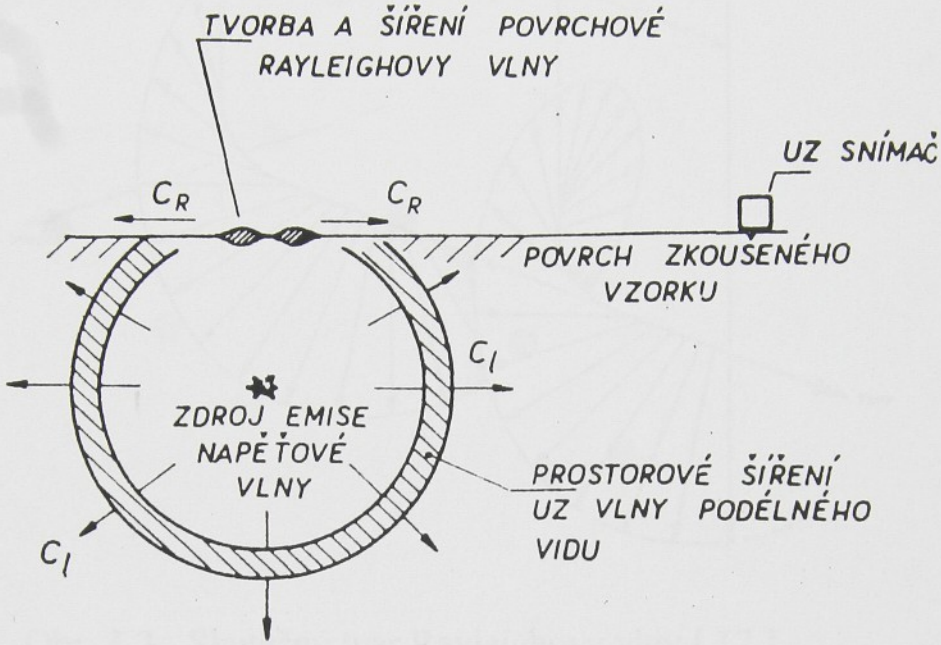
3.3 VZNIK SIGNÁLU AE [15, 16, 17]

Z fyzikálního hlediska je vznik AE určován jako okamžitý vnější projev nastupující a probíhající materiálové deformace,především v podmínkách počínajícího lomu. Vzniká uvolňováním nahromaděné deformační energie a to nejvýrazněji v místě počátku probíhajících změn při vznikajícím porušení strukturních vazeb materiálu.

V důsledku náhlého uvolnění energie uvnitř materiálu se, jak již bylo uvedeno, emitují tranzitní napěťové vlny. Ty se šíří tělesem od místa zdroje na volný povrch.

Průchodem napěťové vlny materiálem se část uvolněné energie mění v teplo, část vyvolá na povrchu povrchovou tzv. Rayleighovu vlnu a zbytek energie se vrací do materiálu prostřednictvím odražené vlny (obr.3.1).

Povrchová vlna je potom vhodným snímačem snímána a přeměněna na elektrický signál, kterému říkáme *signál emisní.*

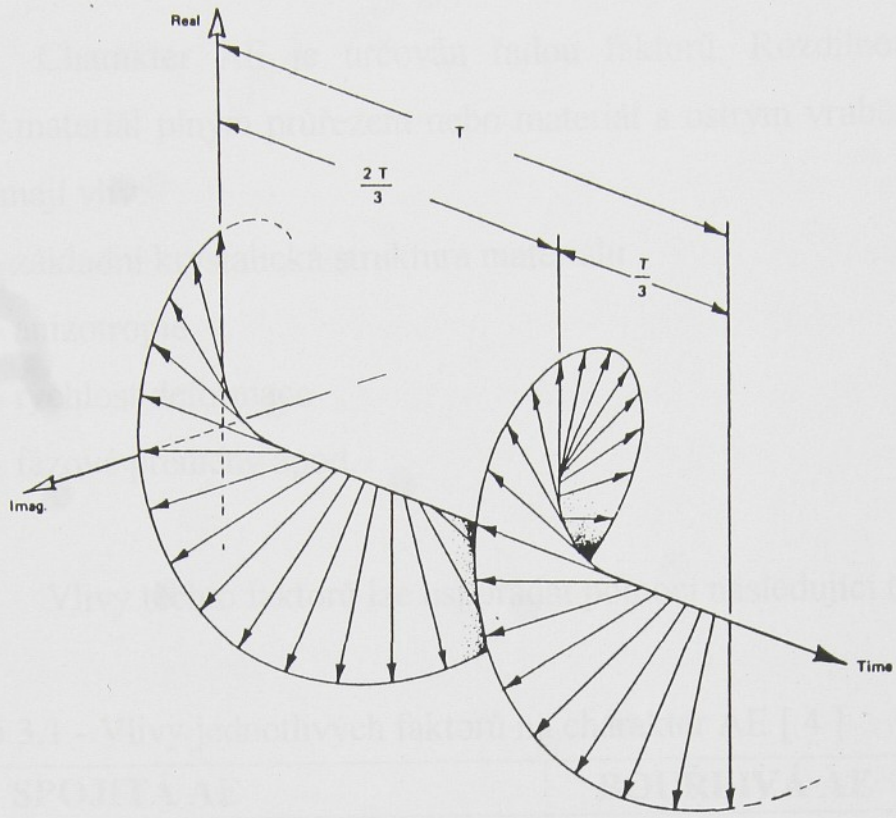


Obr. 3.1 - Schema tvorby, šíření a detekce ultrazvukového emisního signálu [15]

Skutečná povrchová Rayleighova vlna je typ vlnění v elastickém prostředí s hraniční rovinou , tzv. pružným poloprostorem, který se šíří podél volného povrchu. Protože neomezeným elastickým prostředím se mohou šířit pouze dva typy vln, podélné a příčné, je možné si Rayleighovu vlnu zobrazit jako elastické vlnění (obr.3.2).

3.4 ZDROJE AE V KOVECH A JEJICH CHARAKTERISTIKY [4, 10]

Signál získaný při detekci AE obvykle charakterizujeme počtem napěťových vln o určitém rozsahu amplitudy,uvolněných za jednotku času. Tato veličina definuje rychlost akustické emise (AER). Dle

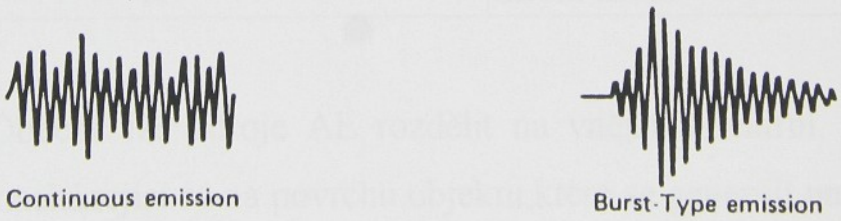


Obr. 3.2 - Skutečný tvar Rayleighovy vlny [17]

vzhledu signáluAE získaného během sledovaného procesu vnějšího namáhání mluvíme o dvou základních typech AE:

a) *spojitá AE (Continous Emission)* - o vysoké frekvenci výskytu jednotlivých signálů s poměrně malou amplitudou

b) *nespojitá AE (Burst Emission)* - náhodně se vyskytující signály s poměrně velkou amplitudou



Obr.3.3 - Spojitá a nespojitá AE [16]

Charakter AE je určován řadou faktorů. Rozdílnou AE vykazuje např.materiál plným průřezem nebo materiál s ostrým vrubem. Na charakter AE mají vliv:

- základní krystalická struktura materiálu
- anizotropie
- rychlost deformace
- fázové přeměny apod.

Vlivy těchto faktorů lze uspořádat pomocí následující tabulky:

Tab.3.1 - Vlivy jednotlivých faktorů na charakter AE [4]

SPOJITÁ AE	BOUŘLIVÁ AE
Malý rozměr zkušebního tělesa	Velký rozměr zkušebního tělesa
Hladké zkušební vzorky	Vzorky s vrubem
Izotropní materiál	Anizotropní materiál
Homogenní materiál	Nehomogenní materiál
Jemnozrnný materiál	Hrubozrnný materiál
Nízká pevnost	Vysokopevné materiály
Nízká deformační rychlost	Vysoká deformační rychlost
Deformace kluzem	Deformace dvojčatěním
Vysoké teploty	Nízké teploty
Difuzní typy fázových přeměn	Martenzitické přeměny
	Štěpné lomy
	Šíření trhlin

Obecně lze zdroje AE rozdělit na vnější a vnitřní. K vnějším patří zdroje nacházející se na povrchu objektu,které se generují např. při tření nebo při obtékání chladící kapaliny. Mezi vnitřní zdroje patří procesy lokální dynamické změny polí mechanického napětí v objemu materiálu, tj. akty plastické deformace, mikro- a makrotrhliny a fázové přeměny. Zóna řezání obsahuje

řadu zdrojů AE (vnitřních i vnějších) , které generují vlny napjatosti různé velikosti a frekvenční hustoty.

Intenzita zdroje se hodnotí průměrnou amplitudou nebo energií jedné emisní události. Intenzita může být konstantní nebo může růst. Zdroj se pak označuje jako kritický, intenzívní. Při odlehčení napětí v prostředí aktivita zdrojů AE mizí. Emisní signály se znovu objeví až po překročení předchozí úrovně stimulace. Tento jev se podle svého objevitele nazývá "*Kaiserův jev*".

3.4.1 Dislokační pohyb a AE [4]

Základní příčinou AE je působení rychlých dislokačních zdrojů. Signály AE jsou úměrně rozloženy v závislosti na velikosti deformace materiálu. V elastickém stavu je rozložení akustické emise symetrické. Pro vyšší hodnoty deformace dochází k asymetrii tohoto rozložení. Tato asymetrie je interpretována pomocí vzájemných interakcí dislokací.

Akustická emise tedy vcelku vhodně popisuje průběh plastické deformace. Hustota pohyblivých dislokací (jejich pohyblivost) souvisí s deformací materiálu a její rychlostí.

Při pohybu dislokační smyčky je plastická deformace monokrystalu konečného objemu uvažována jako růst deformačního pásu diskontinuálním (nespojitým) způsobem.

Se zvětšujícím se rozměrem zrna dochází k růstu volné dráhy pohybu dislokací a tím roste velikost AE. Zároveň pro daný průřez materiálu klesá plocha hranice zrn, tzn. i počet dislokačních zdrojů, takže do určité velikosti zrna akustická emice opět klesá.

Dalším důkazem, že AE je spojena s pohybem dislokací,je existence akustické emise při odlehčení materiálu. Některé materiály tuto AE vykazují, tzn.že pro ně neplatí Kaiserův jev. Bylo zjištěno,že tato AE se vyskytuje především u materiálů s význačným Bauschingerovým efektem (zpevňování

materiálu během tváření za studena deformací, a je jedno, jde-li o deformaci plastickou nebo pružnou), který je spojen se zpětným napětím "pile - up" dislokací nějaké bariéry.

AE je rovněž citlivá na houževnatost daného materiálu. Ze všech těchto poznatků vyplývá, že akustická emise je přímo spojena spíše s vlastnostmi materiálu než s jeho absolutními hodnotami napětí a deformace.

3.4.2 AE při nukleaci a růstu mikrotrhlin [4]

K nukleaci a šíření mikrotrhlin dochází obecně při napětí,které je podstatně nižší než pevnost materiálu. To znamená,že musí existovat zdroj koncentrace napětí v oblasti vzniku trhliny. Šíření trhliny v důsledku vzniku nové plochy je provázeno uvolněním energie. Existují dva základní způsoby šíření trhlin - jedním z nich je *nestabilní šíření*, kdy je napětí potřebné pro pohyb trhliny menší než napětí potřebné pro její vznik. V případě že je toto napětí větší musí být pro další šíření dodáváno napětí vyšší. Při *stabilním šíření* se přebytečné napětí uvolňuje a tím je produkována AE.

Rychlost AE je zřejmě funkcí počtu vznikajících mikrotrhlin a ten je zase funkcí aplikovaného napětí. Při vzniku mikrotrhliny se uvolňuje energie akumulovaná v zrně. Pro hodnotu této energie platí vztah

$$E_g = \alpha + \beta \qquad (2)$$

kde α je konstanta závislá na velikosti zrna

β je velikost aplikovaného napětí.

3.4.3 Aplikace AE v lomové mechanice [4, 15]

Jak již bylo výše uvedeno,předpokládá se,že existuje vztah mezi AE a plastickou zónou od pohybující se trhliny. Tato akustická emise je způsobena zřejmě vysokou rychlostí plastické deformace u čela trhliny a velkým

gradientem napětí v této oblasti. Velikost AE je také ovlivněna rozměry zkušebního tělesa. Čím větší rozměry,tím vyšší amplitudu AE získáme.

Užití AE skýtá velké možnosti při detekci pohybu subkritických trhlin a posuzování přípustnosti daného defektu. Výhodou těchto zkoušek je možnost sledování rozvoje defektů ve skutečném časovém měřítku. Metoda AE se používá i ve výzkumu svařovaných konstrukcí a výskyt AE lze detekovat i po dokončení svaru. Ve spojení s metalografickými zkouškami bylo zjištěno, že možnými zdroji akustické emise mohou být:

1) růst trhliny,

2) vznik "zpožděných" trhlin,

3) transformace austenit-martenzit,

resp. kombinace všech těchto vlivů.

3.4.4 Fázové transformace jako zdroj AE [4]

Je známo, že při martenzitické reakci je pozorován často i slyšitelný zvuk. To znamená, že tento proces je zdrojem velmi intenzívní akustické emise. Naproti tomu transformace difuzní (eutektoidní apod.) nedávají detekovatelnou AE. To je dáno malými rychlostmi těchto fázových přeměn. U martenzitických přeměn dochází k bezdifuzním procesům,které lze charakterizovat jako smykové. V porovnání s plastickou deformací a šířením trhlin lze akustickou emisi u martenzitické transformace výrazně definovat. Přitom můžeme konstatovat,že celková akustická emise respektuje objem přetransformovaného materiálu a rychlost akustické emise AER charakterizuje kinetiku této přeměny.

Dalším možným zdrojem AE je dvojčatění, při němž lze slyšitelný zvuk také často registrovat.

3.5 PARAMETRY SIGNÁLU AE [10]

Zdroj AE uvnitř materiálu sledovaného zařízení se chová jako vysílací anténa a má svůj charakteristický vyzařovací diagram pro různé typy elastických vln (smykové,podélné,povrchové). Stimulací emisního zdroje dochází k uvolnění vlnového balíku,který se na povrchu tělesa projeví jako povrchové vlny. Snímač AE tyto vlny převede na elektrický signál a ten je pak dále registrován a zpracováván. Složité transformace původního napěťové vlny na elektrický signál zatím prakticky znemožňují přímou identifikaci mechanismů emisních zdrojů v reálných tělesech. Při analýze AE se často používají statistické metody. Mezi běžně používané patří:

a) *emisní překmit a časová četnost emisních překmit ů* - záznam amplitudy signálu,která překračuje dané prahové napětí

b) *analýza roztřídění amplitud* - určení množství signálů,jejichž amplituda spadá do předem definované oblasti

c) *frekvenční spektrum* - ukazuje podíl každé složky frekvence vzhledem k celkové hodnotě

d) *autokorelační funkce* - zahrnuje porovnání vlnové formy signálu s jeho zpožděnou verzí

e) *RMS hodnota signálu* - měřítko signálové intenzity.

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

3.6 PODMÍNKY LIMITUJÍCÍ UŽITÍ METODY AE [4, 14]

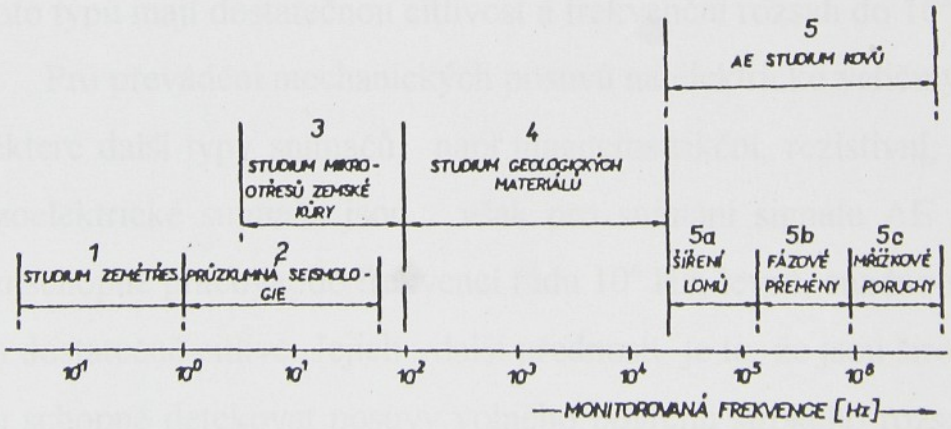
Aplikace metod AE je podmíněna znalostmi zákonitostí šíření napěťových vln. Jedním z hlavních rysů šíření napěťových vln je jejich útlum, a proto je i vzdálenost detekovatelného signálu závislá na frekvenci těchto vln.

Dalším významným omezením je disperze (rozptyl) napěťových vln, která způsobuje změnu frekvenčního spektra emitovaných vln napětí. Největší vliv na disperzi má konečný rozměr zkušebního tělesa. Zdrojem dalších chyb může být nedokonalé spojení čidla AE s vyšetřovaným povrchem.

Většinou lze vyšetřovat pouze namáhanou součást, je třeba brát v úvahu i možnost rušení signálu AE vnějšími zdroji, charakter AE závisí na druhu zkoumaného materiálu. Metodou AE nelze přesně zjistit orientaci trhliny.

Největšími přednostmi používání AE je její značná operativní a rozlišovací schopnost při sledování fyzikálně-metalurgických procesů. Lze sledovat i částečně přístupné díly, součásti i celé konstrukce.

Rozdělení užití AE je tedy dáno nejen rozměrem procesů či mikroprocesů,ale i útlumovými vlastnostmi daných materiálů. Jeden a tentýž jev v různých stavech materiálu může vyvolat různý charakter AE. Rozdělení AE v závislosti na frekvenci uvolňovaných vln je uvedeno na obr.3.4.



Obr.3.4- Schematické rozdělení AE v závislosti na frekvenci uvolňovaných vln [4]

3.7 DIAGNOSTIKA SIGNÁLU AE [4]

Tranzitní napěťové vlny,které jsou emitovány v průběhu plastické deformace,resp.lomu materiálu,se pohybují ve frekvenčním rozsahu pro plastickou deformaci řádově 10^6Hz,v lomovém procesu od 10^5 do 10^4 Hz. Vlny se šíří tělesem od místa zdroje na volný povrch,kde jsou snímány kontaktními snímači,které registrují pohyb volného povrchu. Amplituda těchto signálů je velmi malá a pohybuje se od 10^{-12}do 10^{-5}m.

Časový průběh signálu na výstupu snímače neumožňuje bezprostřední interpretaci a získání užitečné informace. Transformací tohoto signálu do kmitočtové oblasti lze získat určité spektrum průběhu AE. Takové spektrum má často tvar a složení , ze kterého je možno usoudit, zda je energie rozložena více či méně rovnoměrně, nebo zda je soustředěna v jednom nebo několika úzkých pásmech kolem určité hodnoty frekvence.

3.7.1 Snímače [8, 9]

Snímače musí detekovat velmi malé posuvy volného povrchu zkoumaného tělesa. Nejčastěji se proto používají snímače piezoelektrické,které pracují na bázi přeměny mechanických kmitů na elektrické signály. Snímače tohoto typu mají dostatečnou citlivost a frekvenční rozsah do 10^5 Hz.

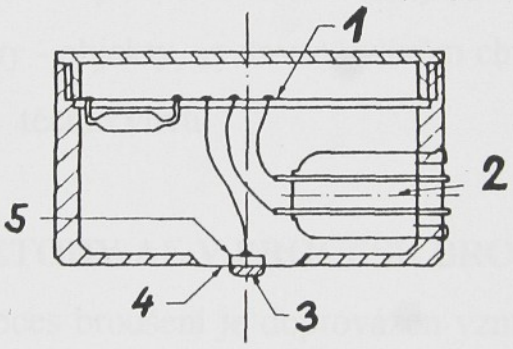
Pro převádění mechanických posuvů na elektrické veličiny se používají i některé další typy snímačů, např.magnetostrikční, rezistivní, kapacitní ap. Piezoelektrické snímače jsou však pro snímání signálu AE nejvhodnější. Jsou schopné pracovat do frekvencí řádu 10^6 Hz, levné, snadno se umisťují a jsou dostatečně citlivé. Jejich další předností je to, že jsou širokopásmové a jsou schopné detekovat posuvy volného povrchu širokého rozsahu frekvencí se stejnou citlivostí.

Citlivostí snímače rozumíme poměr elektrického výstupního signálu snímače ke zrychlení, které by zmíněný signál vyvolalo. Citlivost snímače klesá s přibývající délkou kabelu (resp. jeho kapacitou), kterým je snímač

připojen k zesilovači. Proto je třeba používat co nejkratší kabely. Rozeznáváme dvojí citlivost - *napěťovou,* která je udávána jako poměr výstupního napětí /mV/ ke zrychlení /m.s^{-2}/ a *kapacitní,* popisované jako poměr el.náboje /pC/ ke zrychlení.

Základem piezoelektrických snímačů je výbrus z piezokeramické destičky. Snímač pracuje na principu kvalitního kondenzátoru, jehož náboj odpovídá mechanickému namáhání destičky uvnitř snímače. Piezokeramická destička je spojena s ochrannou vrstvou. Ochranná vrstva chrání vlastní čidlo před mechanickým poškozením a zajišťuje co nejlepší převod signálu AE. Tlumič zabraňuje nežádoucím zákmitům čidla.

Snímač ve většině případů snímá povrchové vlny. Výstupní signál snímače pak odpovídá tlaku v celé jeho dotykové ploše.



Obr. 3.5 - Schema piezoelektrického snímače [1]
1 - předzesilovač 40 dB
2 - konektor pro vstupní napájení a výstup signálu AE
3 - základna
4 - vodící vrstva (BeCu)
5 - piezoelektrický člen

3.7.2 Lineární zesilovače [4, 14]

Signál přicházející ze snímače (měniče) má velmi nízkou napěťovou úroveň. Je nutno jej zesílit,aby byl schopen dalšího zpracování. Efektivní hodnota napětí dodávaného snímačem je řádově 10^{-5}až 10^{-4}V. Při měření se

uplatňuje řada rušivých produktů v nízkofrekvenční oblasti,jejichž úroveň značně převyšuje úroveň užitečného signálu.

3.7.3 Elektronické filtry [4, 10]

Elektronické filtry se používají k potlačení rušivých nízkofrekvenčních signálů (hluků). Mezi nejzákladnější rušivé vlivy patří chvění od ostatních strojů nebo vibrace stroje, na kterém se provádí experiment.

Účinky hluku a chvění jsou nepříznivé a nežádoucí, a jsou těsně spojeny. Hluk je částí pohybové energie kmitající konstrukce, která je přeměněna ve změny tlaku vzduchu. Při sledování těchto rušivých vlivů je vždy nutné brát v úvahu následující faktory:

a) *zdroje* - místa a mechanismy vzniku dynamických sil,

b) *přenosové cesty* - cesty šíření a mechanismy přenosu energie hluku,

c) *vystavené objekty* - objekty, vystavené vlivům chvění, vibrací a hluků a míra přípustnosti těchto vlivů.

3.8 VYUŽITÍ METODY AE V PROCESU BROUŠENÍ [9]

Samotný proces broušení je doprovázen vznikem akustických signálů. Tyto signály mají slyšitelnou frekvenci (hluky), ale také frekvenci vyšší, tedy neslyšitelnou (signál AE). Slyšitelných frekvencí využívá např. zkušený brusič při volbě vhodných řezných podmínek nebo při volbě vhodného brousícího kotouče. Slyšitelného akustického signálu se také využívá pro kontrolu brousícího kotouče před jeho upnutím na vřeteno stroje (jasný zvuk při poklepu na kotouč je důkazem, že není poškozen).

S rozvojem měřící techniky se naskýtá možnost využít signál AE také pro sledování procesu broušení.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Rytí modelem brusného zrna může významně posloužit k objasnění mnohých zákonitostí procesu broušení. Vždy je však nutné porovnat získané výsledky s výsledky, dosaženými při reálném broušení. Stejně tak i monitorování procesu metodou akustické emise může mít v budoucnu velký význam např. při sledování vlastního brousícího procesu, sledování řezivosti a opotřebení brousícího kotouče apod.

4.1 NÁVRH EXPERIMENTU

Modelování procesu broušení bylo prováděno rytím modelem brusného zrna do různých materiálů. Logicky bychom tak došli k závěru, že experimenty budou prováděny na brusce. Protože však bylo rytí sledováno metodou AE, bylo třeba experimenty přizpůsobit zařízení pro sledování signálů akustické emise.

Aby byl zaznamenán co možná největší počet signálů AE, bylo nutné snížit řeznou rychlost. Pro provedení experimentů byla vybrána frézka, protože princip frézování obvodem nástroje je z obráběcích operací co nejvíce podobný broušení. Řezná rychlost pak byla volena tak, aby při jednom průběhu (vrypu) zrna byly získány alespoň 3 naměřené hodnoty.

Dalším úkolem bylo připravit vzorky materiálů tak, aby se dráha brusného zrna co nejvíce prodloužila. Proto byly obrobeny na válcovou plochu.

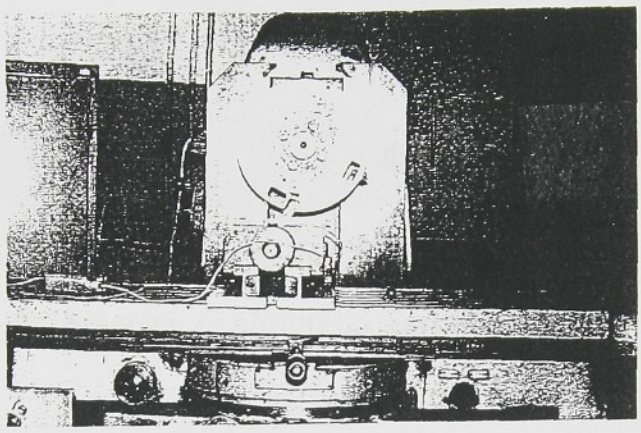
Experimenty byly provedeny na různých druzích materiálů, při dvou nastaveních modelu brusného zrna. Pro jeden materiál byly vždy pro jedno nastavení zrna vyryty rýhy o dvou různých hloubkách řezu.

K vlastnímu vyhodnocování bylo použito záznamu signálu AE a záznamu profilu naměřených rýh. Hlavním záměrem bylo vysledovat závislosti signálu AE na hloubce řezu, nastavení zrna, druhu materiálu a na plastické deformaci (resp. na výšce jednotlivých valů).

4.2 POPIS POUŽITÉHO ZAŘÍZENÍ, MATERIÁLU A NÁSTROJE

STROJ

Pro vytvoření rýh modelem brusného zrna byla použita horizontální frézka FU 400x1600. Na prodlužovací trn ve vřeteni frézky je připevněn ocelový kotouč o průměru 300 mm, ve kterém je upevněn model brusného zrna (obr.4.1).



Obr.4.1 - Frézka s nástavcem

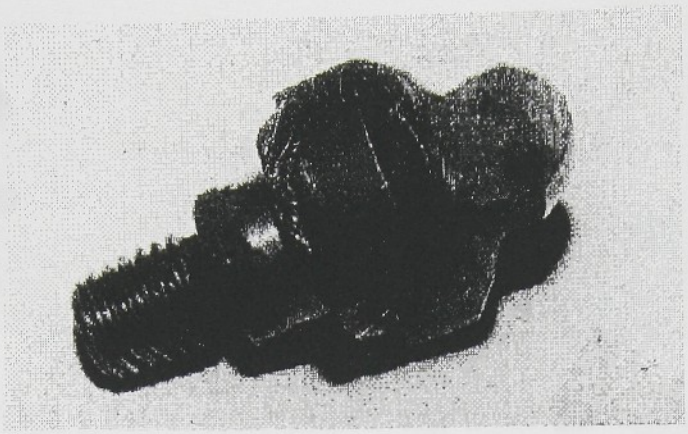
MATERIÁL

U materiálů, vybraných pro experimenty je uvedena min. mez kluzu R_e a min. mez pevnosti R_m .

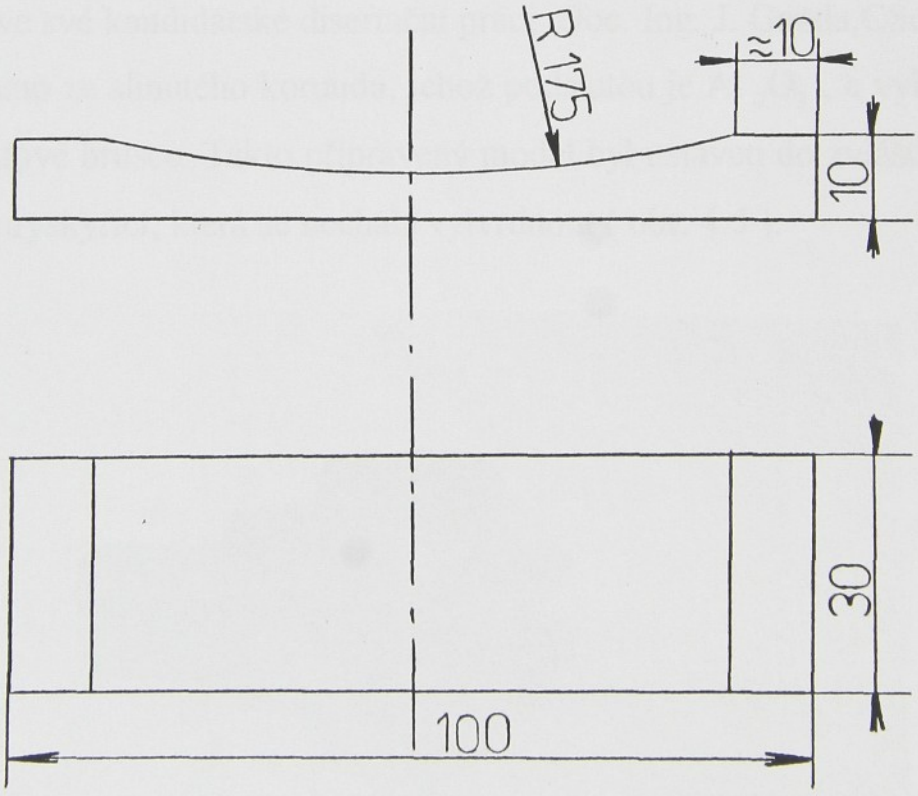
Akrylon	$R_{e\,min}$ = 80 MPa	$R_{m\,min}$ = neuvádí se
Al	$R_{e\,min}$ = 60 MPa	$R_{m\,min}$ = neuvádí se
11 375	$R_{e\,min}$ = 206 MPa	$R_{m\,min}$ = 363 MPa
12 050	$R_{e\,min}$ = 400 MPa	$R_{m\,min}$ = 650 MPa
14 320	$R_{e\,min}$ = 600 MPa	$R_{m\,min}$ = 800 MPa
19 312	$R_{e\,min}$ = neuvádí se	$R_{m\,min}$ = neuvádí se
42 2420	$R_{e\,min}$ = neuvádí se	$R_{m\,min}$ = 200 MPa
	$R_{p0,2}$ = 380 MPa	

Jednotlivé vzorky měly rozměry 30 x 100 x 10 mm. Byla na nich vyfrézována vnitřní válcová plocha o R=175 mm. Protože nebyl k dispozici

nástroj, který by byl schopen obrobit plochu s tak velkým poloměrem, byl použit nástroj ze slinutého karbidu ve tvaru soustružnického nože. Nástroj byl zalit do stejného nástavce, jako modely brusného zrna a naostřen tak, aby byl poloměr špičky co největší (obr. 4.2). Rozměr vzorků je uveden na obr.4.3.

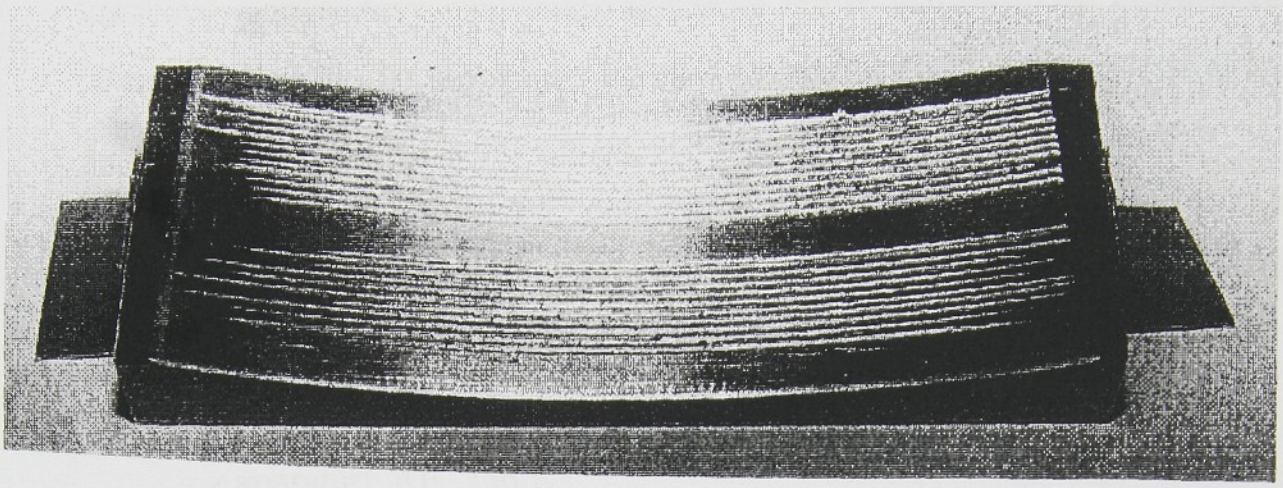


Obr.4.2 - Nástroj ze slinutého karbidu



Obr.4.3 - Rozměr zkušebních vzorků

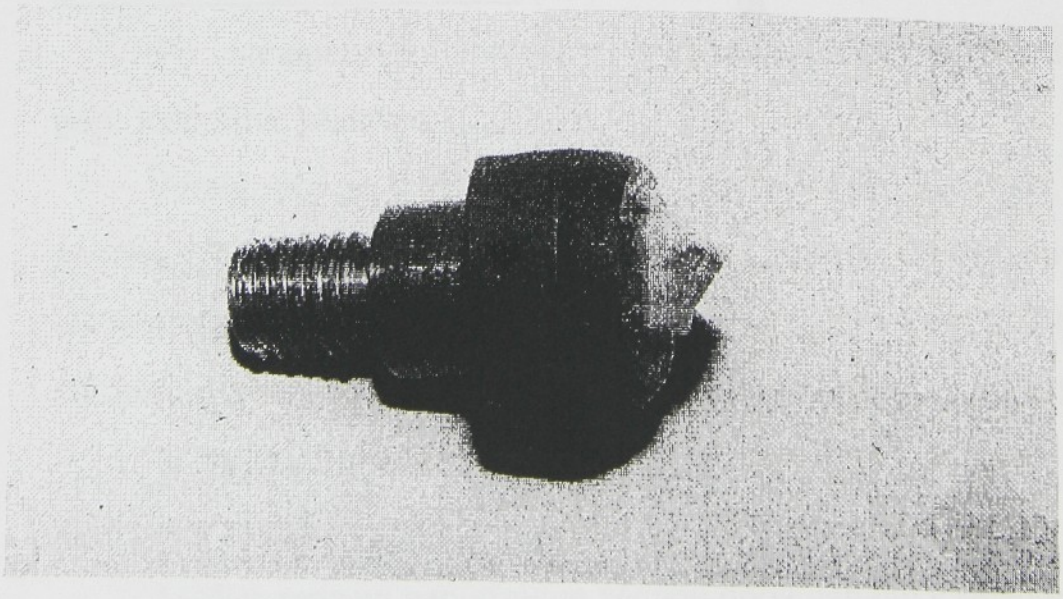
Abychom mohli k obrobku připevnit sondu AE, byly ze stran přilepeny držáky z nastříhaného a zohýbaného plechu (obr.4.4).



Obr.4.4 - Vzorek připravený k měření signálu AE

NÁSTROJ - MODEL BRUSNÉHO ZRNA

K vlastnímu rytí bylo použit model brusného zrna, který vyrobil a použil ve své kandidátské disertační práci Doc. Ing. J. Gazda,CSc. Zrno bylo zhotoveno ze slinutého korundu, jehož podstatou je Al_2O_3 , a vybroušeno na diamantové brusce. Takto připravený model byl ustaven do zvláštního držáku a zalit pryskyřicí, která se nechala vytvrdnout (obr. 4.5).



Obr.4.5 - Model brusného zrna

MĚŘÍCÍ APARATURA [5]

Pro provádění experimentů byl použit analyzátor AE 256 L. Jde o kanálový amplitudový analyzátor akustické emise stavebnicové konstrukce, řízený počítačem. To umožňuje digitální nastavení všech parametrů přístroje z klávesnice počítače a provádění automatizovaných měření metodou AE. Veškeré funkce jsou řízeny PC, což zvyšuje komfort obsluhy, automatizuje měření podle předem naprogramované posloupnosti operací a vykonávání speciálních programů, včetně vyhodnocování výsledků.

Systém AE 256 L sestává:

- z aparatury AE 256 L
- z nízkošumového předzesilovače 40 dB s dolnofrekvenčním filtrem
- ze snímače AE
- z kabelů
- z počítače PC-AT 486
- ze specializovaného hardware, umožňujícího řízení a spolupráci aparatury AE 256 L s počítačem PC-AT
- z obslužného programu.

OVLÁDÁNÍ APARATRURY [5]

Po vytemperování aparatury (vyrovnání teploty) je možné hned propojit jednotlivé přístroje.

Analyzátor je s počítačem propojen plochým kabelem. S nízzkošumovým předzesilovačem je spojen kulatým kabelem. Předzesilovač je spojen se snímačem koaxiálním kabelem, zakončeným konektorem BNC ze strany předzesilovače a na druhé straně konektorem podle typu použitého snímače.

V sestavě počítače je pro měření zapotřebí základní PC systém s klávesnicí a monitorem, které jsou vzájemně propojeny.

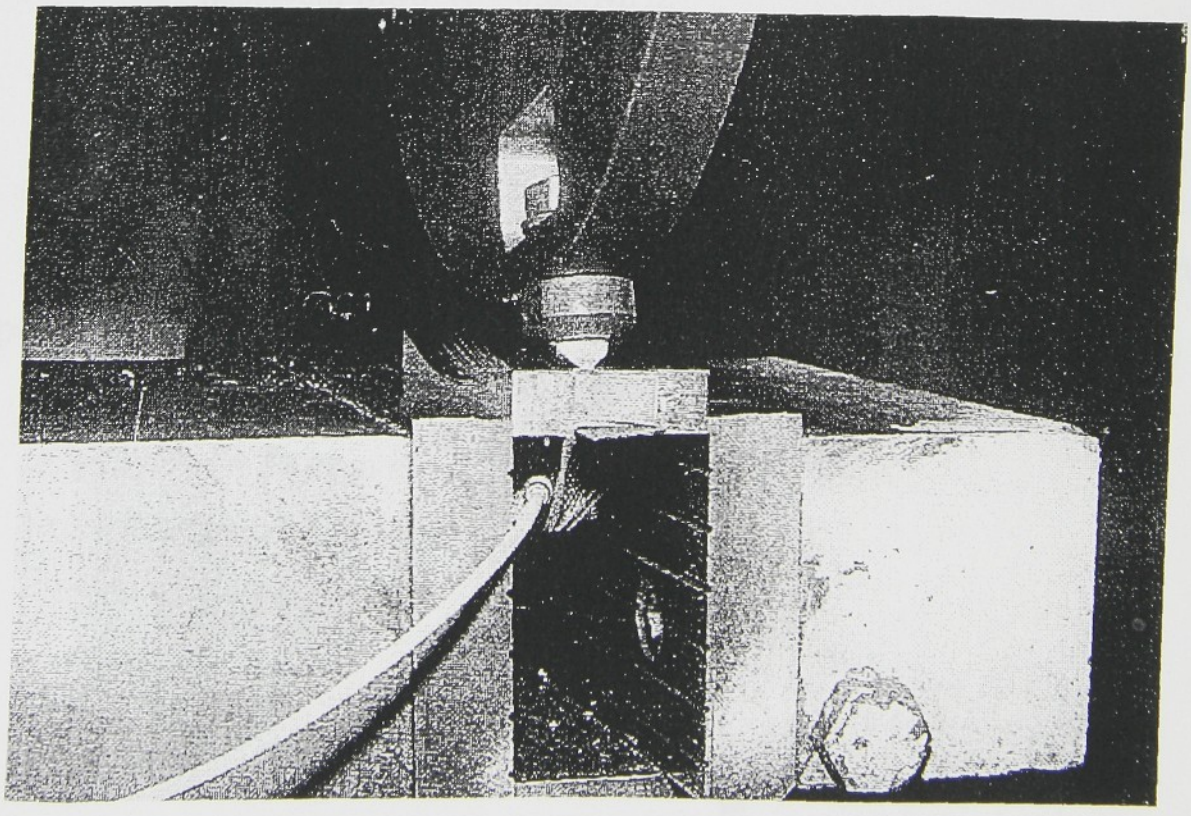
Měřící zařízení nepotřebuje žádnou dobu náběhu k uvedení do funkce.

Pro přesné laboratorní měření se však doporučuje vyčkat asi 15 min po zapnutí. Zařízení uvedeme do provozu tak, že postupně stiskneme tlačítka síťových spínačů. První zapneme analyzátor AE, pak monitor a nakonec počítač. Přitom se postupně rozsvítí příslušné signálky na jednotlivých přístrojích. Takto je aparatura připravená k měření a je třeba už jen nastavit filtry a požadované zesílení pomocí vstupu TEST.

4.3 METODIKA MĚŘENÍ

Před vlastním měřením bylo třeba vybrat vhodnou sondu, zvolit nastavení filtrů a zesílení. bylo nutné vhodně připevnit sondu a aparaturu postavit tak, aby mohla být spolu se strojem ovládána jednou osobou. Vzorky byly při obrábění označeny tak, aby bylo zajištěno opětovné co nejpřesnější upnutí do svěráku - tzn.aby byly stejně orientované.

Aparatura byla sestavena podle návodu a schema je znázorněno na obr.4.6.



Obr. 4.6 - Schema sestavení aparatury a její připojení ke stroji

ŘEZNÉ PODMÍNKY

Pro přípravu vzorků (opracování válcové plochy) byly použity tyto řezné podmínky:

hrubování $v = 0{,}513\ m.s^{-1}$

$n = 28\ ot.min^{-1}$

$s = 16\ mm.min^{-1}$

hlazení $v = 10{,}26\ m.s^{-1}$

$n = 560\ ot.min^{-1}$

$s = 16\ mm.min^{-1}$

Pro testování sond bylo použito:

$v = 0{,}513\ m.s^{-1}$

$n = 28\ ot.min^{-1}$

$s = 16\ mm.min^{-1}$

nastavení filtrů $f_d = 0{,}03$ MHz

$f_h = 0{,}7$ MHz

zesílení 0 dB

Pro vlastní rytí modelem brusného zrna pak byly nastaveny tyto řeyné podmínky:

$v = 0{,}49\ m.s^{-1}$

$n = 28\ ot.min^{-1}$

$s = 31{,}5\ mm.min^{-1}$

nastavení filtrů $f_d = 0{,}03$ MHz

$f_h = 0{,}7$ MHz

zesílení 0 dB

4.3.1 *Postup měření*

Vzorek byl upevněn do svěráku a byla připevněna sonda, která byla pro lepší přenos signálu potřena silikonovou vazelínou. Poté ji stačilo pouze pružně přichytit. Takto byl vzorek připraven k měření.

Stroj a především nástroj byl nastaven tak, aby zrno zabíralo stanovenou hloubku a bylo provedeno celkem 10 rýh do materiálu, pak byla změněna hloubka řezu a provedeno další nové měření.

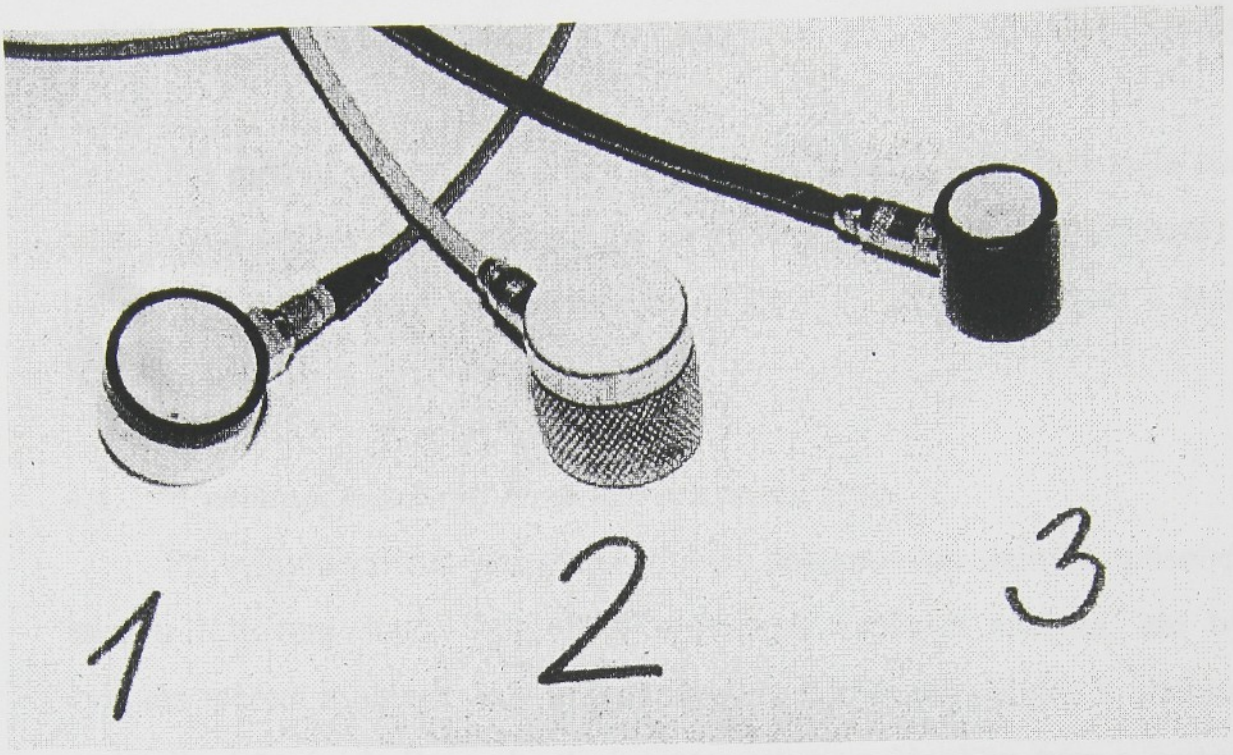
Aparatura byla sestavena a propojena podle návodu a byl spuštěn obslužný program AED SCANNER, který je určen pro zobrazování a ukládání dat akustické emise. (Tento program zaznamenává data v reálném čase a během měření se data průběžně zobrazují ve formě sloupcového diagramu, který slouží k základní orientaci obsluhy. Úplná a přesná data se zaznamenávají do diskového souboru, který po odměření slouží jako podklad pro další analýzu. Tato analýza už pak není součástí programu AED SCANNER.) Start aparatury AED 256 L byl spuštěn vždy až po zapnutí stroje, abychom vyloučili možné signály AE od jiných zdrojů (chvění a rázy frézky apod.) a naměřili tak pouze signály od obrábění modelem brusného zrna.

Po naměření hodnot pro jedno nastavení zrna byly u vzorků změřeny vzniklé valy po okrajích rýh a vzorky byly znova opracovány nástrojem ze slinutého karbidu na válcovou plochu . Měření pak bylo provedeno opět pro druhé nastavení modelu brusného zrna.

4.4 VYHODNOCOVÁNÍ PROVÁDĚNÝCH EXPERIMENTU

4.4.1 - *Testování sond*

U naměřených dat byla provedena tzv. kroková analýza, tzn. že hodnoty signálu AE byly zpracovány vždy během jednoho intervalu aparatury, tzn. každou 0,0549 s. Bylo tak možné přibližně určit fázi řezání modelu brusného zrna.



Obr.4.7 - Testované snímače AE

1 - Dunegan/Endevco

2 - Meta

3 - Vatras

Analýza testování jednotlivých snímačů AE byla prováděna tak, že byla vybrána data , kdy nástroj zabíral zhruba v polovině šířky materiálu. Pro další zpracování pak byly sečteny signály AE během jednoho průběhu a vypočtena průměrná hodnota signálu Nc1. Protože se všeobecně předpokládá, že signály s nízkou energetickou úrovní nepocházejí od obrábění, většinou se zastiňují hodnoty 0.kanálu. Pro naše měření bylo vhodné předpokládat, že nejenom hodnoty 0.kanálu, ale i další nízké energetické úrovně nepatří do oblasti řezání (obrábění) , a proto je vhodné je zastínit.

Po několika zkušebních měřeních bylo vybráno jako nejvhodnější zastínění 0. - 32. kanálu. Křivky závislosti počtu signálů na zdvihu (jednom

průběhu materiálem) by pak měly mít chatakter tzv." vyjiskřovací křivky " broušení .

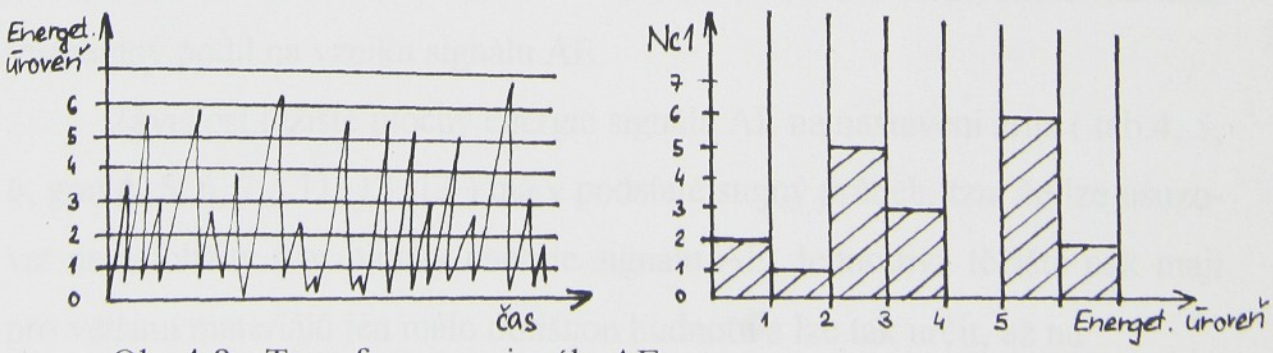
Pro měření pak byla vybrána sonda META 860798, která měla charakter signálu AE podobný charakteru vyjiskřovací křivky a nevyskytovaly se během průběhu měření žádné rušivé signály AE, jako tomu bylo u sondy Vatras.

4.4.2 - ***Vyhodnocování rytí modelem brusného zrna***

Při vyhodnocování vlastního rytí bylo postupováno stejným způsobem, jako u testování sond. Také byla provedena kroková analýza, ale byla vybrána měření z oblasti, kdy pravděpodobně docházelo nejvíce k odebírání materiálu (řezání). Pro jednotlivá nastavení zrna, hloubku řezu a materiál byla tato analýza provedena pro zastínění 0., 0 - 32., 0. - 64.kanálu (kanálem zde rozumíme energetickou úroveň, kterých je celkem 255. Pro další zpracování byly používány hodnoty počtu překmitů signálů AE (Nc1), průměrné hodnoty energetické úrovně a rozptylu (na obr. 4.8 je znázorněna transformace signálu AE).

Jednotlivé rýhy byly proměřeny a byl udělán příčný záznam drsnosti. Z tohoto záznamu pak byly odečteny hodnoty pro jednotlivé valy a rýhy a byl spočítán jejich průřez.. Jednotlivé hodnoty průřezů pak byly dosazeny do vztahu (1) a byl určen podíl plastické deformace.

Všechny hodnoty byly uspořádány do tabulek a byly vyneseny požadované grafické závislosti, ze kterých byly vyvozeny závěry.



Obr.4.8 - Transformace signálu AE

5. SHRNUTÍ

5.1 KONZULTACE VYSLEDKŮ

5.1.1 *Testování sond*

U všech tří testovaných sond byl zaznamenán počet překmitů signálu AE Nc1. Tyto hodnoty byly vyneseny v závislosti na pořadí zdvihu při obrábění a tření mezi nástrojem a obrobkem (tab.1, 2, 3). Z vyneseného grafu Nc1 = f (zdvih) je zřejmé, že sonda Dunegan/Endevco zaznamenala velký počet signálů AE i když docházelo jen ke tření nástroje a obrobku (graf č.1). Další dvě testované sondy (Meta, Vatras) měly podobný průběh.

5.1.2 *Rytí modelem brusného zrna*

Při sledování závislosti počtu překmitů signálu akustické emise Nc1 je zřejmé, že pro zastínění širšího pásma počet těchto signálů klesá.

U závislosti Nc1 na nastavení zrna (tab.4, 5, 6, graf č. 2, 3, 4 a 8, 9, 10) se většinou se změnou nastavení počet překmitů zvýšil. Toto zvýšení bylo s největší pravděpodobností způsobeno tím, že zrno B bylo nastaveno tak, aby odebíralo více materiálu. Do materiálu vstupovalo čelem vpřed, zatímco nastavení A (hranou vpřed) způsobovalo především tření nástroje a obrobku a docházelo k jeho vtlačování do obráběné plochy a nikoli k řezání. U materiálů, kde došlo k poklesu počtu překmitů Nc1 usuzujeme na to, že tyto tvrdé a křehké materiály se při obrábění převážně vyštipují a nedochází ke klasickému odebírání třísky. Proto je zde potlačeno tření, které má také významný podíl na vzniku signálu AE.

Závislost těžiště plochy energie signálu AE na nastavení zrna (tab.4, 5, 6, graf č. 5, 6, 7 a 11, 12, 13) má v podstatě stejný průběh, tzn. že lze usuzovat na přibližný tvar plochy energie signálu AE. Jednotlivá těžiště pak mají pro většinu materiálů jen málo odlišnou hodnotu a lze tak určit, až na některé vyjímky, jeho přibližnou hodnotu.

Při závislosti Nc1 na hloubce řezu (tab.4, 5, 6, graf č.14, 15, 16 a 20, 21, 22) s rostoucí hloubkou roste i počet signálů AE. To je způsobeno tím, že při větší hloubce řezu se odebírá nebo přetváří větší množství materiálu a odezva je tím pádem zákonitě větší. U materiálů, kde dochází k poklesu křivky závislosti Nc1 = f (h) pak opět dochází k vylamování třísek a zmenšuje se tak podíl tření mezi třískou, nástrojem a obrobkem (viz litina 422420, nástrojová ocel 19312, legovaná ocel 14320), tzn. že během obrábění převládala v procesu lomová mechanika. Strmost stoupání nebo klesání jednotlivých závislostí pak závisí na potlačení sledovaného intervalu. Při zastínění většího intervalu (0.- 32., 0.- 64.) dojde k potlačení rušivých vlivů nízkých energetických úrovní a tím pádem i k určitému potlačení podílu tření. U nastavení zrna B (graf č.14, 15, 16) je zřejmý i pokles počtu překmitů signálu AE Nc1. To je důsledkem toho, že při tomto nastavení zrna je podíl tření nástroje a obrobku mnohem menší, protože zrno více " řeže ". Zrno A (graf č. 20, 21, 22) vstupuje do materiálu hranou a převládá vytlačování materiálu z místa řezu a i podíl plastické deformace a tření je v tomto případě vyšší.

Pro závislost T = f (h) lze pak opět přibližně určit energetickou úroveň při obrábění materiálu. Oblast výskytu je poměrně úzká a logicky se zastíněním většího intervalu hodnota těžiště plochy energie signálu AE stoupá (tab. 4, 5, 6, graf č. 17, 18, 19 a 23, 24, 25). Pouze akrylon má hodnoty mnohem vyšší, což je důsledkem odlišné struktury materiálu (není kovem). Při nastavení zrna A (graf č. 17, 18, 19) mají jednotlivé závislosti převážně klesající tendenci - s rostoucí hloubkou řezu dochází k většímu podílu plastické deformace a tření. Zastíníme-li interval 0.- 32. a 0.- 64., bude tento podíl poměrně hodně potlačen, plocha energie signálu AE menší a tedy i hodnota těžiště této plochy klesne. Pro nastavení zrna B (graf č. 23, 24, 25) je tomu naopak. Roste objem odebraného materiálu a protože roste podíl řezání

a potlačený interval má na výslednou plochu menší vliv, roste i hodnota těžiště plochy energie AE.

5.1.3 *Podíl plastické deformace*

Při vyhodnocování závislosti podílu plastické deformace p na nastavení zrna a na hloubce řezu (tab. 7, graf č. 26, 27, 28, 29) byly hodnoty rozděleny do tří intervalů:

$f_1 / f_2 < 1$ Plocha průřezu vytvořeného valu byla větší než plocha průřezu vytvořené rýhy. K tomuto případu došlo vlivem růstu poloměru zaoblení vrcholu zrna (nevytváří rýhu trojúhelníkového průřezu), vlivem růstu úhlu . Na výsledek podílu p měl vliv i druh obráběného materiálu a v neposlední řadě i hloubka řezu a řezná rychlost. V našem případě byla řezná rychlost poměrně malá a tříska tak ulpívala na okrajích rýhy.

$f_1 / f_2 = 1$ Podíl plochy průřezu valu a rýhy je stejný, tzn. že došlo pouze k přetvoření materálu (k plastické deformaci).

$f_1 / f_2 > 1$ Došlo částečně k řezání a částečně k plastické deformaci materiálu.

Pro závislost p = f (nastavení zrna) pro nastavení zrna B tento podíl většinou klesá (graf č.27). Nastavení B více " řeže" a plastická deformace materiálu je menší. Pokles podílu plastické deformace lze zdůvodnit i tím, že se změnou nastavení zrna vzrostl odpor materiálu vůči nástroji a vůči plastické deformaci.

Pro závislost podílu p na hloubce řezu (graf č. 28, 29) hodnota tohoto podílu klesá. Opět lze tento pokles vysvětlit růstem odporu vůči plastické deformaci. Tzn. že s růstem hloubky řezu klesá plocha průřezu valů vytvořených podél rýhy a materiál je z rýhy více odebírán.

5.1.4 *Rozptyl signálu AE*

Při znázornění závislosti počtu překmitů na rozptylu a oblastí výskytu těchto signálů (tab. 8 - 19, graf č. 30 - 71) lze říci, že jednotlivé plochy (oblasti) mají pro různé zastínění intervalu podobný tvar, dochází pouze k posuvu podle rozptylu signálu AE. Pro daný materiál lze určit oblast počtu překmitů signálu AE v závislosti na rozptylu i závislost polohy těžiště na rozptylu.

Při srovnání jednotlivých ploch (oblastí) můžeme říci, že podobné jsou nejen plochy pro různá zastínění intervalu, ale korespondují spolu i plochy počtu překmitů signálu AE a těžiště plochy. Pro daný materiál lze pak určit poměrně přesně velikost intervalu počtu překmitů , těžiště plochy i rozptylu signálu AE.

6. ZÁVĚR

Sledování procesu rytí modelem brusného zrna metodou akustické emise může, a zcela jistě bude, mít v budoucnosti velký význam v oblasti diagnostiky obráběcích procesů. Výsledky těchto experimentů prokázaly, že metoda akustické emise je vhodná pro řezné procesy a potvrzuje zákonitosti všech pochodů, ke kterým v průběhu broušení (i ostatních obráběcích procesů) dochází. Signál akustické emise (resp. počet překmitů signálu), těžiště plochy energie AE i rozptyl tohoto signálu jsou pro sledování a diagnostiku broušení vhodné. Není vhodné však tyto jednotlivé parametry posuzovat odděleně, ale pro komplexní sledování broušení je nejlepší hodnotit a vyhodnocovat všechny dohromady. Tzn. že pro co nejúplnější představu o chování soustavy stroj - nástroj - přípravek - obrobek je vhodné sestavovat trojrozměrné diagramy. Jedině tak získáme nejúplnější a nejpřesnější informace o průběhu obráběcích procesů.

Sledujeme-li počet překmitů signálu AE, pak s rostoucí hloubkou řezu roste i počet těchto signálů. To je logickým důsledkem toho, že s rostoucí hloubkou řezu roste i odpor materiálu a je tedy třeba větší energie pro porušení souvislé povrchové vrstvy materiálu.

Stejně tak budeme-li sledovat hodnotu těžiště plochy energie potřebné k odebrání příslušné vrstvy materiálu, vzroste tato hodnota s rostoucí hloubkou řezu také. Dochází k tomu proto, že pro řezání je třeba větší energie, než jaká se spotřebovává při tření nástroje a obrobku (energie se tedy posouvá směrem nahoru).

Budeme-li sledovat pouze odpor materiálu vůči řeznému nástroji, bude výsledek stejný. Čím větší objem materiálu budeme odebírat, tím větší budeme potřebovat energii pro překonání tohoto odporu, tím ostřejší a kvalitnější nástroj budeme potřebovat a více bude záležet i na tvaru nástroje a na jeho včasné výměně (popř. na jeho včasném přeostření).

Metoda akustické emise tak dává možnost sledovat tyto parametry už v průběhu měření a vhodnou volbou zpětné vazby tak bude možné zajistit i včasné rozpoznání a diagnostiku okamžitého stavu celé soustavy stroj - nástroj - přípravek - obrobek a zajistit tak produktivnější, plynulejší a v neposlední řadě i ekonomičtější obrábění.

Při sledování procesu rytí modelem brusného zrna metodou akustické emise nebyly rozdíly naměřených a zpracovaných hodnot příliš rozdílné pro jednotlivá nastavení zrna (i když je zřejmý rozdíl v tom, jak a jakou plochou nástroj do materiálu vnikal). Tento poznatek zajišťuje vhodnost této metody pro sledování broušení reálným brousícím kotoučem. Protože, jak již bylo v úvodu řečeno, nástroje pro broušení nemají přesně definovaný břit a nelze přesně určit podíl jednotlivých nastavení zrn právě vstupujících do řezu. Vždy se v tomto případě přistupuje k matematickým modelům a ke statistickým metodám.

Stejně i hodnocení závislosti podílu plastické deformace, tzn. podílu odebraného a přetvořeného materiálu, na hloubce řezu (resp. na objemu odebíraného materiálu) lze definovat pomocí parametrů AE.

Stanovení a zobrazení ploch závislostí počtu překmitů signálu a těžiště plochy energie AE na rozptylu tohoto signálu by mohlo mít velký význam pro určování parametrů pro jednotlivé materiály a způsoby broušení. Při nastavení konkrétních řezných podmínek a pro obrábění určitého materiálu by tak mohly mít přesně nastavené hodnoty a rozsah měřících systémů velký vliv na přesnost a správnost naměřených hodnot. Při stanovení konkrétních intervalů by bylo možno zajistit i mnohem větší citlivost celého měřícího systému a tím dosahovat i kvalitnějšího a konkrétnějšího zhodnocení všech sledovaných procesů a závislostí.

Tyto experimenty jsou pouze nastíněním a začátkem pro výzkum sledování procesu broušení metodou AE a byly prováděny v rámci výzkumného úkolu, který na KOM probíhá již několik let. Pro stanovení

pevných zásad a konečných závěrů by však bylo potřeba provést několikanásobně větší počet experimentů, abychom s určitostí mohli stanovit hodnoty a intervaly výskytu signálů AE. Bylo by vhodné sledovat všechny tyto parametry vždy jen pro jeden materiál a výsledky porovnat s materiálovými konstantami a vlastnostmi daného zkoušeného materiálu (např. chování a charakter signálu AE v závislosti na tvrdosti, pevnosti a dalších důležitých vlastnostech).

Seznam literatury:

1. Broch, J.T. : Mechanical Vibration and Measurements, 2. ed. Naerum, Denmark, 1984.

2. Bruel a Kjaer : Zkoušení mechanických soustav, Část I - Měření pohyblivosti, 1. ed., Denmark, 1988. SNTL Praha, 1988.

3. Drouillard, T.F. : Acoustic Emission - The First Half Century. In: Progress in AE VII, The Japanese Society for NDI, Japan, 1994, s.89.

4. Dušek, F. - Buchar, J. - Juda, P.: Akustická emise [Výzkumná zpráva]. Brno, Ústav fyzikální metalurgie ČSAV, 1975.

5. Dušek, F.: Analyzátor akustické emise AE 256 L, Brno, Ústav fyzikální metalurgie ČSAV, 1992.

6. Gazda, J. : Modelování brusného procesu. [Kandidátská disertace]. Liberec 1973. VŠST Liberec. Fakulta strojní.

7. Gazda, J.: Vytváření povrchu a obrobitelnosti broušením. [Výzkumná práce]. Liberec, VŠST Liberec 1985.

8. Janoušek, I. - Kozák, J. - Taraba, O.: Technická diagnostika. 1.vyd., SNTL Praha 1988.

9. Jirsa, P.: Studium vybraných parametrů procesu broušení aplikací metody AE. [Diplomová práce]. Liberec 1995. TU Liberec. Fakulta strojní.

10.Klouzek, L.: Vliv pracovních podmínek obrábění na signál AE. [Diplomová práce]. Liberec 1993. VŠST Liberec. Fakulta strojní.

11.Klouzek, Z.: Studium vlivů práce brusného zrna na povrchovou vrstvu obrobku modelováním. [Diplomová práce]. Liberec 1988. VŠST Liberec. Fakulta strojní.

12.Maslov, J.N.: Teorie broušení kovů. 1.vyd., SNTL Praha 1979.

13. Matsuo, T. - Toyoura, S. - Oshima, E. - Ohbuchi, Y.: Effect of Grain Shape on Cutting Force in Superabrasive Single - Grit Tests. CIRP 38/1/1989.

14. Obraz, J.: Zkoušení materiálu ultrazvukem. 1.vyd., SNTL Praha 1989.

15. Vích, M. - Novotný, V.: Nové přístupy ke sledování pevnosti skla. In: Informativní přehled SVÚS. Hradec Králové 1983. s.27.

16. Žižka, J.: AE při obrábění akrylonu. In: Sborník prací VŠST. Liberec 1989. VŠST Liberec.

17. Randall, R.B.: Frequency Analysis. 3.ed. Naerum, Denmark 1987.

Seznam příloh:

Příloha 1 - Tab.1 - Testování sondy Dunegan/Endevco

Tab.2 - Testování sondy Meta

Tab.3 - Testování sondy Vatras

Příloha 2 - Graf č.1 - Testování sond (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 3 - Tab.2 - Počet signálů AE a těžiště pro různá nastavení zrna a hloubku řezu při zastínění 0.kanálu

Tab.3 - Počet signálů AE a těžiště pro různá nastavení zrna a hloubku řezu při zastínění 0. - 32.kanálu)

Tab.4 - Počet signálů AE a těžiště pro různá nastavení zrna a hloubku řezu při zastínění 0. - 64.kanálu)

Příloha 4 - list 1 Graf č.2 - Nc1 = f (nastavení zrna)

h = 0,05mm

zastínění 0.kanálu

Graf č.3 - Nc1 = f (nastavení zrna)

h = 0,05 mm

zastínění 0. - 32. kanálu

Příloha 4 - list 2 Graf č.4 - Nc1 = f (nastavení zrna)

h = 0,05 mm

zastínění 0. - 64. kanálu

Příloha 5 - list 1 Graf č.5 - T = f (nastavení zrna)

h = 0,05 mm

zastínění 0. kanálu

Graf č.6 - T = f (nastavení zrna)

h = 0,05 mm

zastínění 0. - 32. kanálu

Příloha 5 - list 2 Graf č.7 - T = f (nastavení zrna)

h = 0,05 mm

zastínění 0. - 64. kanálu

Příloha 6 - list 1 Graf č.8 - Nc1 = f (nastavení zrna)

h = 0,1 mm

zastínění 0. kanálu

Graf č.9 - Nc1 = f (nastavení zrna)

h = 0,1 mm

zastínění 0. - 32.kanálu

Příloha 6 - list 2 Graf č.10 - Nc1 = f (nastavení zrna)

h = 0,1 mm

zastínění 0. - 64. kanálu

Příloha 7 - list 1 Graf č.11 - T = f (nastavení zrna)

h = 0,1 mm

zastínění 0. kanálu

Graf č.12 - T = f (nastavení zrna)

h = 0,1 mm

zastínění 0. - 32. kanálu

Příloha 7 - list 2 Graf č. 13 - T = f (nastavení zrna)

h = 0,1 mm

zastínění 0. - 64. kanálu

Příloha 8 - list 1 Graf č. 14 - Nc1 = f (h) nastavení zrna A

zastínění 0. kanálu

Graf č. 15 - Nc1 = f (h) A

0.- 32.

Příloha 8 - list 2 Graf č. 16 - Nc1 = f (h) A

0.- 64.

Příloha 9 - list 1	Graf č. 17 - T = f (h)	A
		0.
	Graf č. 18 - T = f (h)	A
		0.- 32.
Příloha 9 - list 2	Graf č.19 - T = f (h)	A
		0. - 64.
Příloha 10 - list 1	Graf č. 20 - Nc1 = f (h)	B
		0.
	Graf č.21 - Nc1 = f (h)	B
		0.- 32.
Příloha 10 - list 2	Graf č.22 - Nc1 = f (h)	B
		0.-64.
Příloha 11 - list 1	Graf č. 23 - T = f (h)	B
		0.
	Graf č. 24 - T = f (h)	B
		0.-32.
Příloha 11 - list 2	Graf č.25 - T = f (h)	B
		0.- 64.
Příloha 12 -	Tab.7 - Podíl plastické deformace p	
Příloha 13 - list 1	Záznam drsnosti Akrylonu	
Příloha 13 - list 2	Záznam drsnosti Akrylonu	
Příloha 13 - list 3	Záznam drsnosti Al	
Příloha 13 - list 4	Záznam drsnosti Al	
Příloha 13 - list 5	Záznam drsnosti 11375	
Příloha 13 - list 6	Záznam drsnosti 11375	
Příloha 13 - list 7	Záznam drsnosti 12050	
Příloha 13 - list 8	Záznam drsnosti 12050	
Příloha 13 - list 9	Záznam drsnosti 14320	
Příloha 13 - list 10	Záznam drsnosti 14320	

Příloha 13 - list 11 Záznam drsnosti 19312

Příloha 13 - list 12 Záznam drsnosti 19312

Příloha 13 - list 13 Záznam drsnosti 422420

Příloha 13 - list 14 Záznam drsnosti 422420

Příloha 14 Graf č.26 - p = f (nastavení zrna) h = 0,05mm

Graf č.27 - p = f (nastavení zrna) h = 0,1 mm

Příloha 15 Graf č.28 - p = f (h) nastavení zrna A

Graf č.29 - p = f (h) B

Příloha 16 - list 1 Tab.8 - Počet překmitů signálu AE, těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.kanálu (nastavení zrna A,h=0,05 mm)

Tab.9 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.-32.kanálu (A, h = 0,05mm)

Tab.10 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64.kanálu (A, h = 0,05 mm)

Příloha 16 - list 2 Tab.11 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0. kanálu (A, h = 0,1 mm)

Tab.12 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 32.kanálu (A, h = 0,1 mm)

Tab.13 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64.kanálu (A, h = 0,1 mm)

Příloha 16 - list 3 Tab.14 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.kanálu(B, h = 0,05 mm)

Tab.15 - Nc1, T, rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 32.kanálu (B, h = 0,05 mm)

Tab.16 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64. kanálu (B, h = 0,05mm)

Příloha 16 - list 4 Tab.17 - Nc1,T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0. kanálu (B, h = 0,1 mm)

Tab.18 - Nc1,T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 32. kanálu (B, h = 0,1mm)

Tab.19 - Nc1, T a rozptyl a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64. kanálu (B, h = 0,1mm)

Příloha 17 -

list 1- 7 Graf č.30 - 43 - Plochy počtu překmitů signálu AE v závislosti na rozptylu pro jednotlivá zastínění kanálů (0., 0.- 32., 0.- 64.) a pro různé druhy materiálů

list 8 - 14 Graf č.44 - 72 - Plochy těžiště AE v závislosti na rozptylu pro jednotlivá zastínění kanálů (0., 0.- 32. 0.- 64.) a pro různé druhy materiálů

Příloha 1

Tab.1 - Testování sondy Dunegan/Endevco

v = 0,513 m/s	s = 16 mm/min	t = 40 - 60 s
fd = 0,03 MHz	fh = 0,7 MHz	zesílení 0 dB
zastínění 0.-32.kanálu		
zdvih	hloubka [mm]	Nc1
1	0,15	12295
2	0	11940
3	0	11158
4	0	11136
5	0	11276
6	0	10737
7	0	11465
8	0	10384
9	0	10365

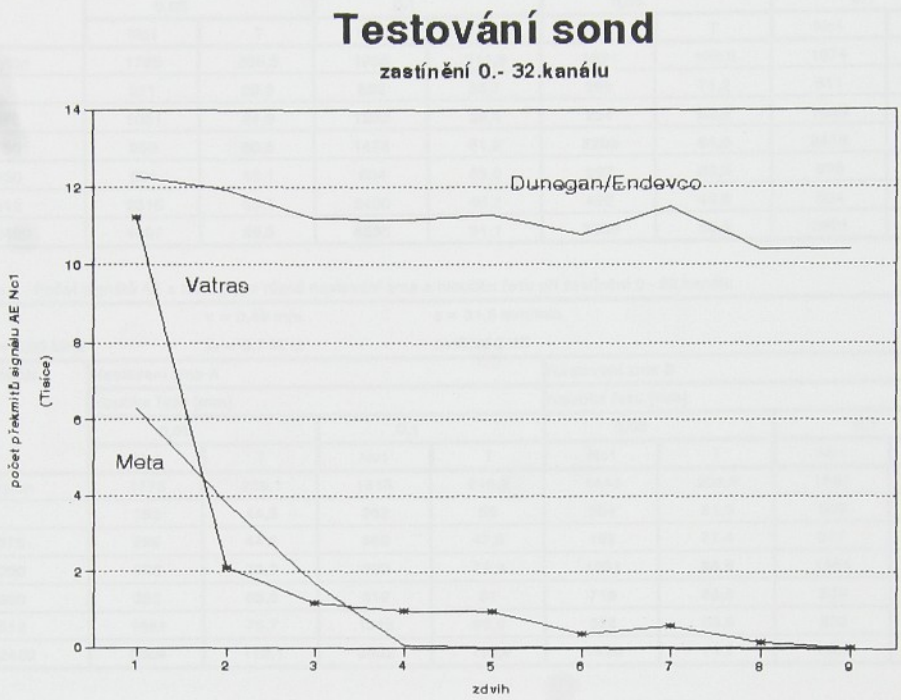
Tab.2 - Testování sondy META 860798

v = 0,513 m/s	s = 16 mm/min	t = 40 - 60 s
fd = 0,03 MHz	fh = 0,7 MHz	zesílení 0 dB
zastínění 0.-32.kanálu		
zdvih	hloubka [mm]	Nc1
1	0,15	6276
2	0	3817
3	0	1672
4	0	72
5	0	13
6	0	10
7	0	9
8	0	15
9	0	10

Tab.3 - Testování sondy VATRAS MA 2121 K

v = 0,513 m/s	s = 16 mm/min	t = 40 - 60 s
fd = 0,03 MHz	fh = 0,7 MHz	zesílení 0 dB
zastínění 0. - 32.kanálu		
zdvih	hloubka [mm]	Nc1
1	0,15	11206
2	0	2105
3	0	1170
4	0	950
5	0	965
6	0	361
7	0	587
8	0	142
9	0	8

Příloha 2



Graf č.1 - Testování sond (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 3

Tab.4 - Počet signálů AE a těžiště pro různá nastavení zrna a hloubku řezu při zastínění 0.kanálu

n = 28 ot/min	v = 0,49 m/s		s = 31,5 mm/min					
fd = 0,03 MHz	fh = 0,7 MHz		zesílení 0 dB					
Materiál	Nastavení zrna A				Nastavení zrna B			
	hloubka řezu [mm]				hloubka řezu [mm]			
	0,05		0,1		0,05		0,1	
	Nc1	T	Nc1	T	Nc1	T	Nc1	T
Akrylon	1785	235,5	1958	211,3	1521	195,5	1674	229,2
Al	271	39,3	592	35,7	299	74,2	611	80,6
11375	1061	24,9	1262	28,4	254	52,6	1039	54,7
12050	950	60,6	1478	51,2	2299	64,6	2419	56,9
14320	601	45,1	604	39,3	992	65,5	975	51,3
19312	2315	53,1	2400	45,2	492	49,8	504	44,5
422420	4097	99,5	4235	91,1	2056	56,8	2691	61,3

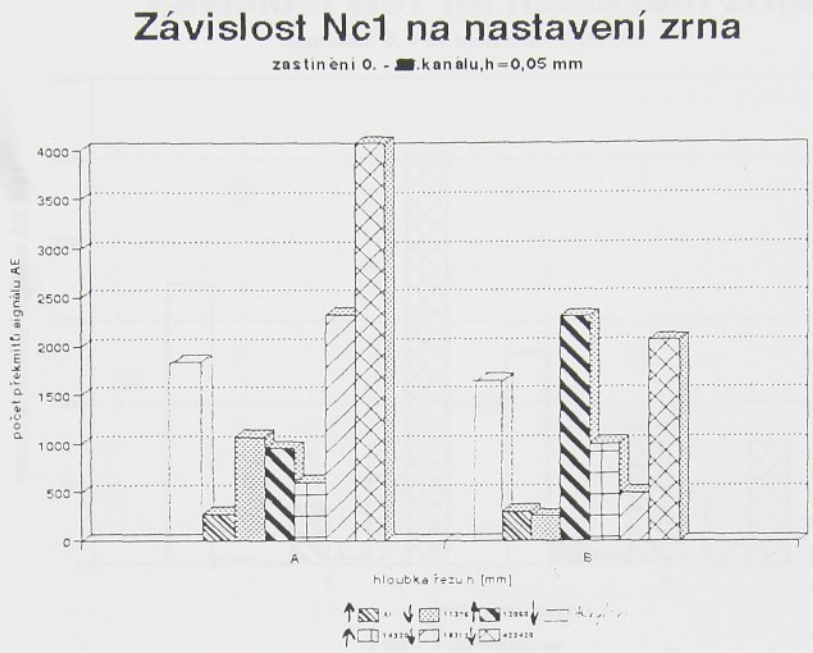
Tab.5 - Počet signálů AE a těžiště pro různá nastavení zrna a hloubku řezu při zastínění 0.- 32.kanálu

	v = 0,49 m/s		s = 31,5 mm/min					
fd = 0,03 MHz	fh = 0,7 MHz		zesílení 0 dB					
Materiál	Nastavení zrna A				Nastavení zrna B			
	hloubka řezu [mm]				hloubka řezu [mm]			
	0,05		0,1		0,05		0,1	
	Nc1	T	Nc1	T	Nc1	T	Nc1	T
Akrylon	1775	239,1	1816	216,2	1440	204,9	1637	234,6
Al	193	44,5	262	55	254	81,3	509	93,3
11375	299	44,2	466	47,9	158	71,4	617	76,8
12050	666	79,3	920	72,2	1531	88,8	1464	81,7
14320	352	65,3	312	61	719	83,8	569	75,7
19312	1481	73,7	1313	66,6	328	63,8	222	75,6
422420	3304	119,1	3332	110,9	1420	74,7	1900	79,5

Tab,6 - Počet signálů AE a těžiště pro různá nastavení zrna a hloubku řezu při zastínění 0.- 64.kanálu

	v = 0,49 m/s		s = 31,5 mm/min					
fd = 0,03 MHz	fh = 0,7 MHz		zesílení 0 dB					
Materiál	Nastavení zrna A				Nastavení zrna B			
	hloubka řezu [mm]				hloubka řezu [mm]			
	0,05		0,1		0,05		0,1	
	Nc1	T	Nc1	T	Nc1	T	Nc1	T
Akrylon	1721	242,9	1785	226,1	1336	216,5	1582	239,7
Al	44	80,9	81	82	164	104,9	336	119,1
11375	16	73,9	55	75,7	71	99,2	301	108,4
12050	378	103,6	449	97,9	854	121	731	115,7
14320	142	170,3	103	93,8	440	107,9	269	109,4
19312	755	98,8	500	98,2	129	89,1	93	95,4
422420	2534	140,1	2475	132,4	752	98,7	1084	103,1

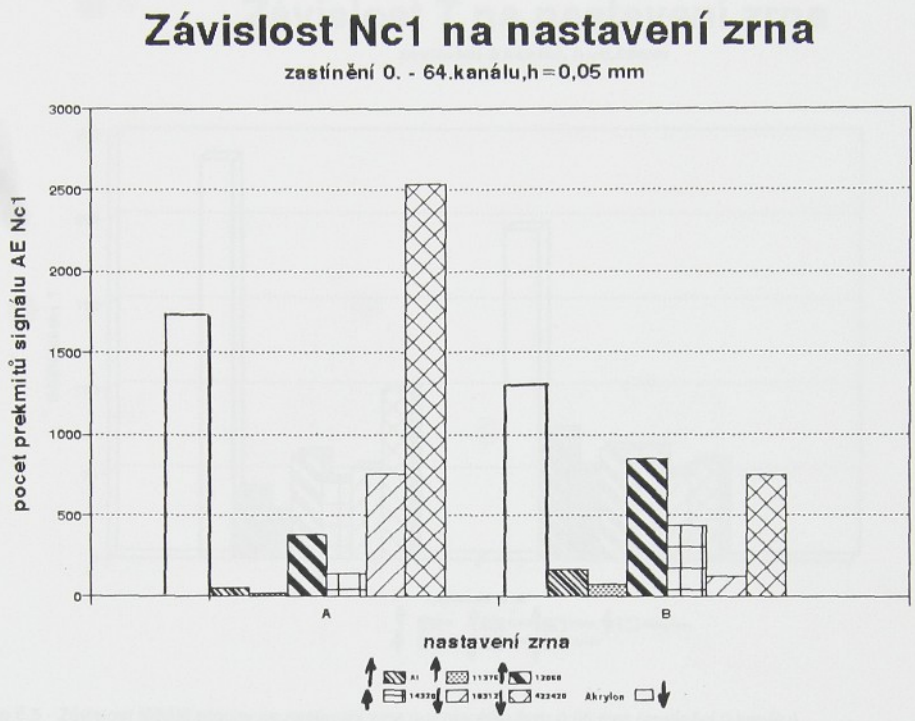
Příloha 4 - list 1



Graf č.2 - Závislost počtu překmitů signálu AE na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,05 mm (zastínění 0.kanálu)

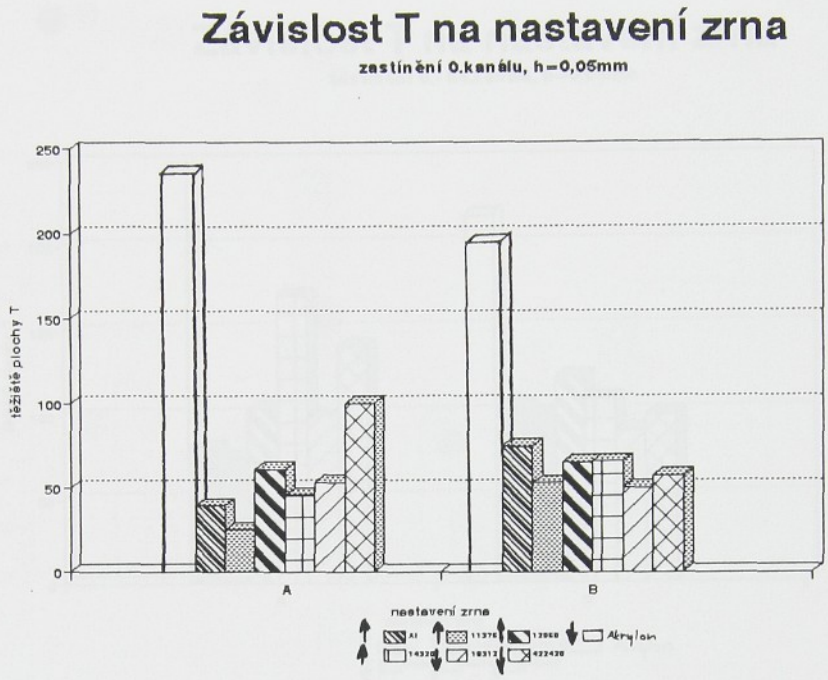
Graf č.3 - Závislost počtu překmitů signálu AE na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,05 mm (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 4 - list 2

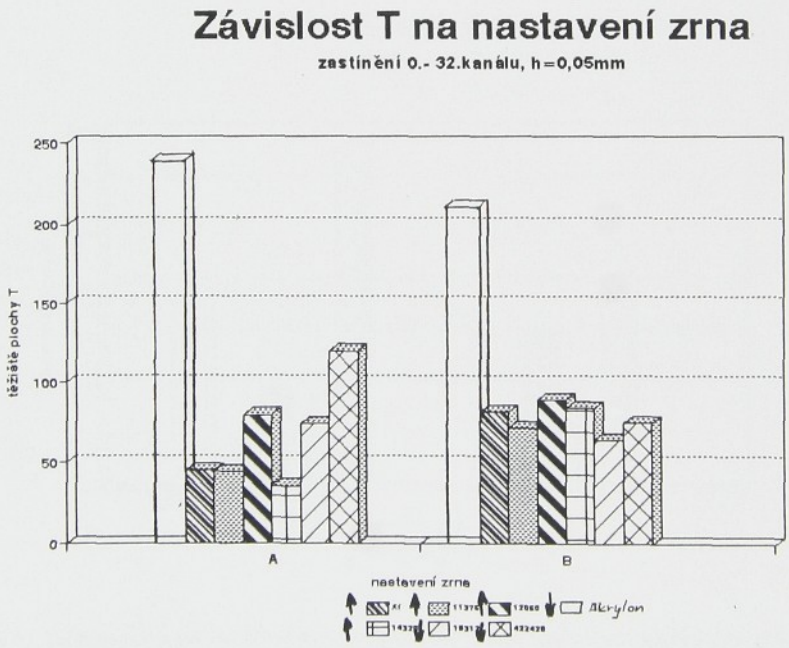


Graf č.4 - Závislost na nastavení zrna pro hloubku 0,05 mm (zastínění 0.- 64.kanálu)

Příloha 5 - list 1

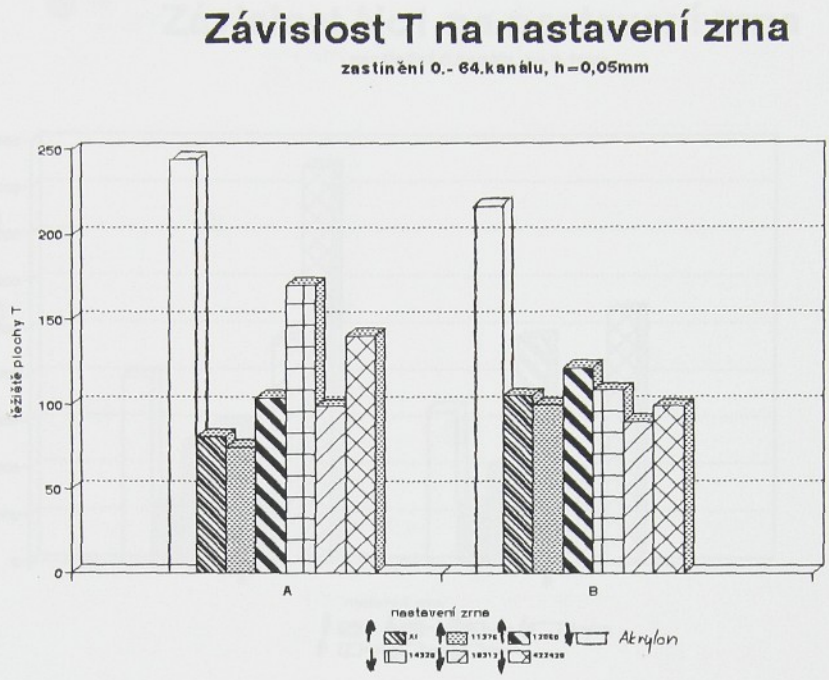


Grag č.5 - Závislost těžiště plochy na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,05 mm (zastínění 0.kanálu)



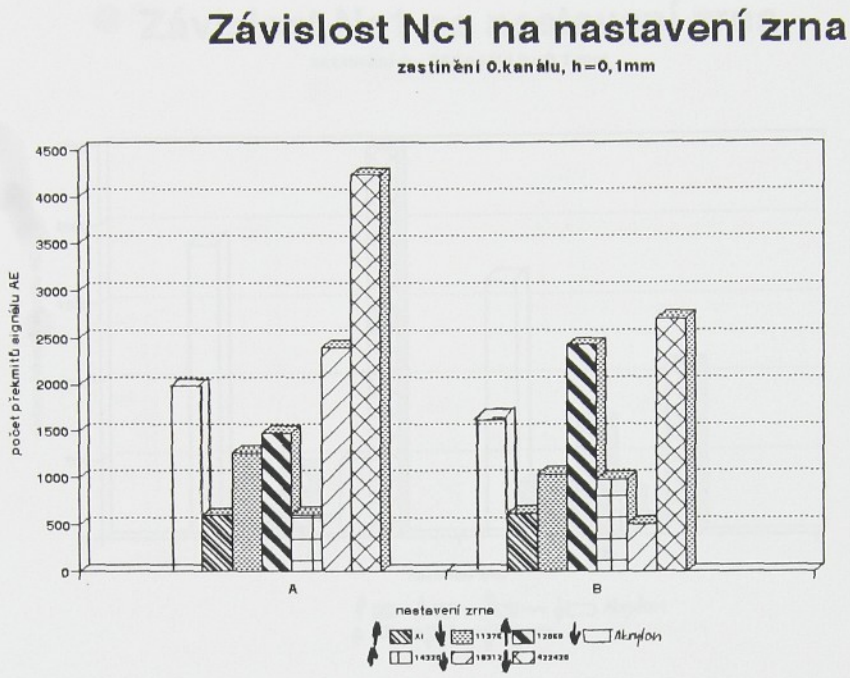
Graf č.6 - Závislost těžiště plochy na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,05 mm (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 5 - list 2

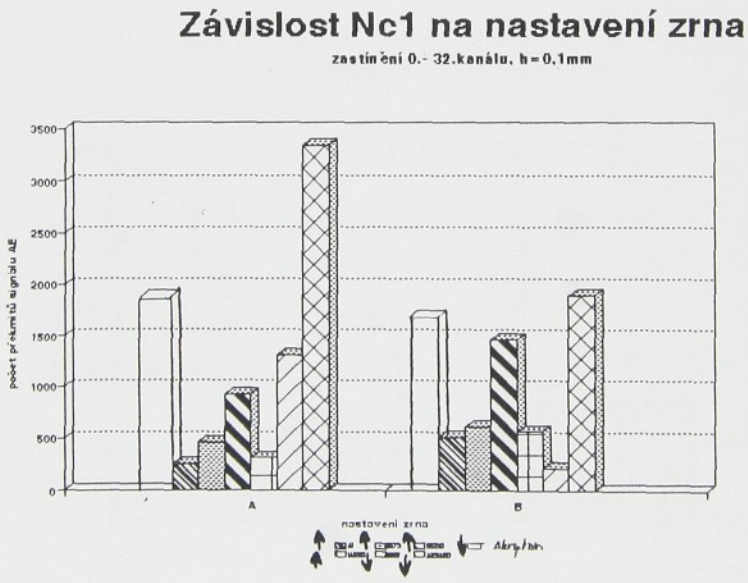


Graf č.7 - Závislost těžiště plochy na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,05 mm (zastínění 0.- 64.kanálu)

Příloha 6 - list 1

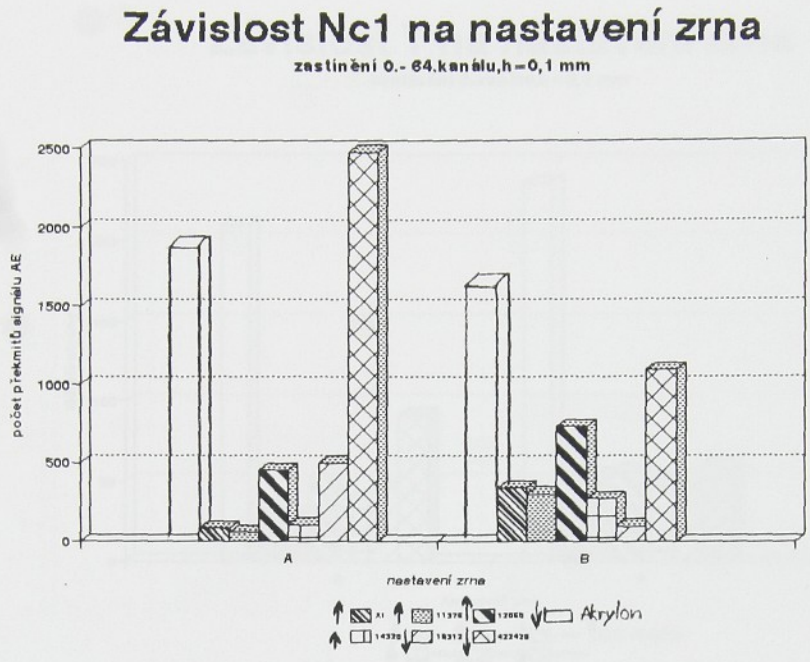


Graf č.8 - Závislost počtu překmitů signálu AE na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,1 mm (zastínění 0.kanálu)



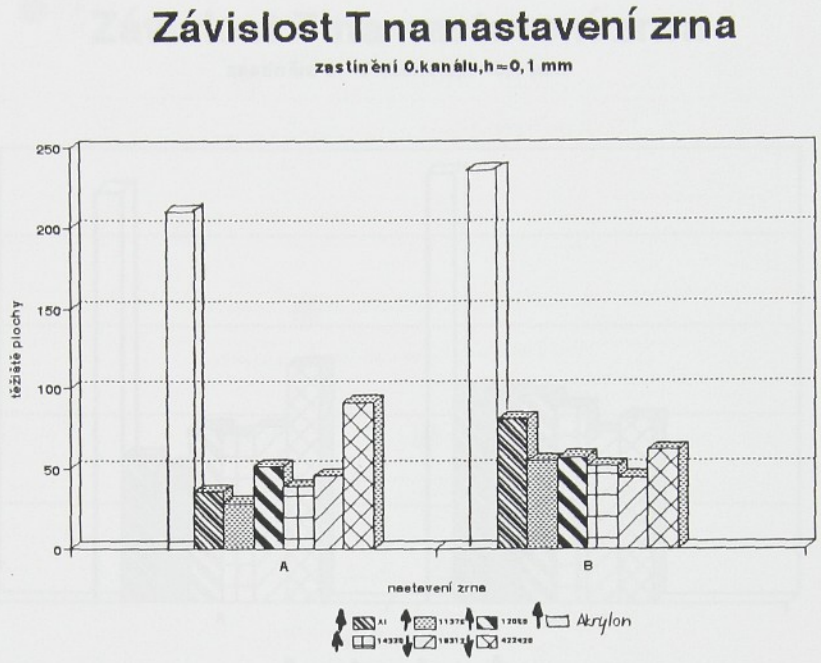
Graf č.9 - Závislost počtu signálů AE na nastavení zrna pro hloubku řezu 0.1 mm (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 6 - list 2

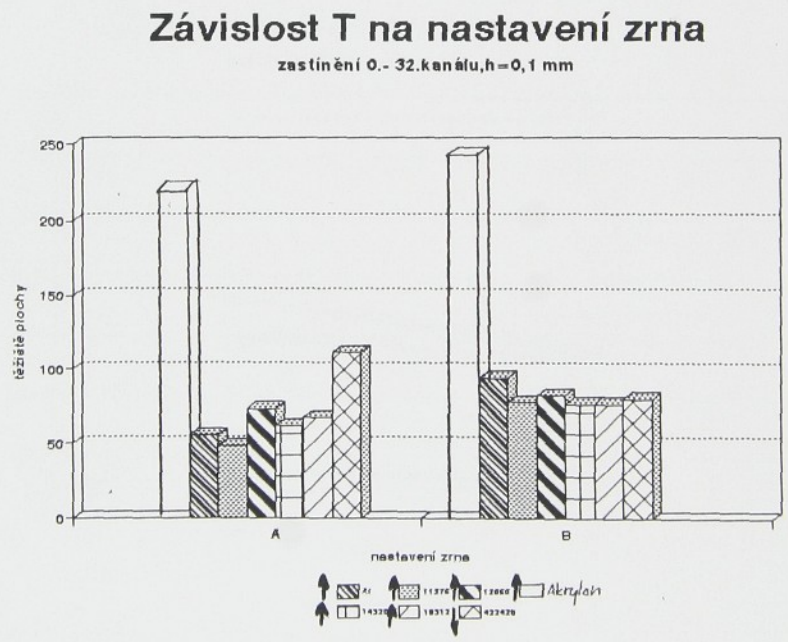


Grag č.10 - Závislost počtu překmitů signálu AE na nastavení zrna pro hloubku 0.1 mm (zastínění 0.- 64.kanálu)

Příloha 7 - list 1

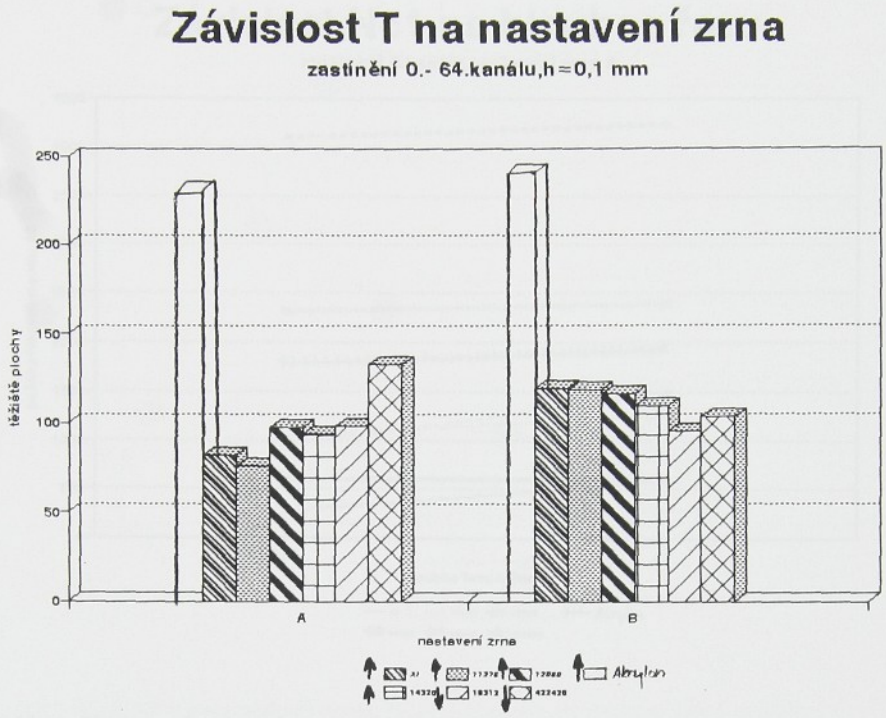


Graf č.11 - Závislost těžiště plochy na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,1 mm (zastínění 0.kanálu)



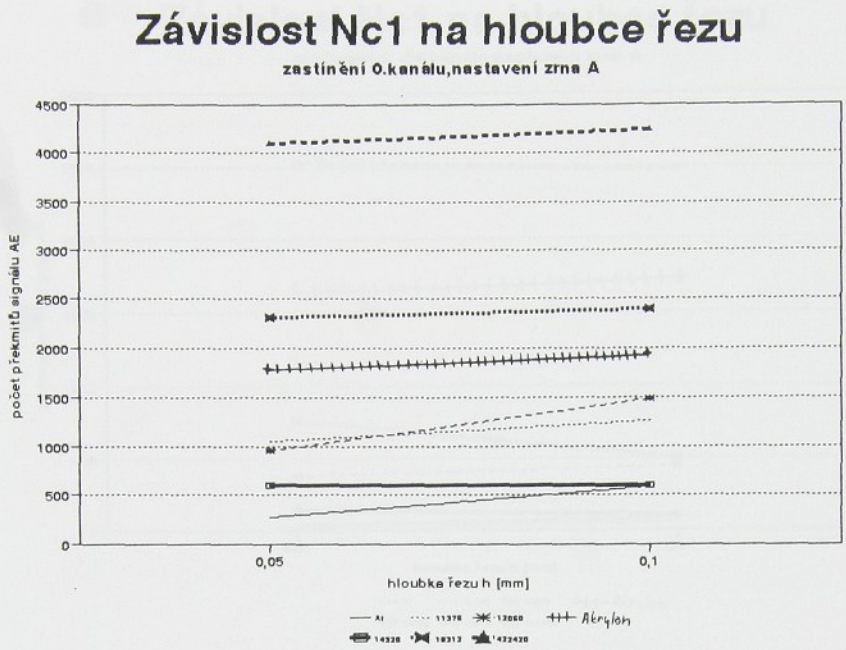
Graf č.12 - Závislost těžiště plochy na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,1 mm (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 7 - list 2

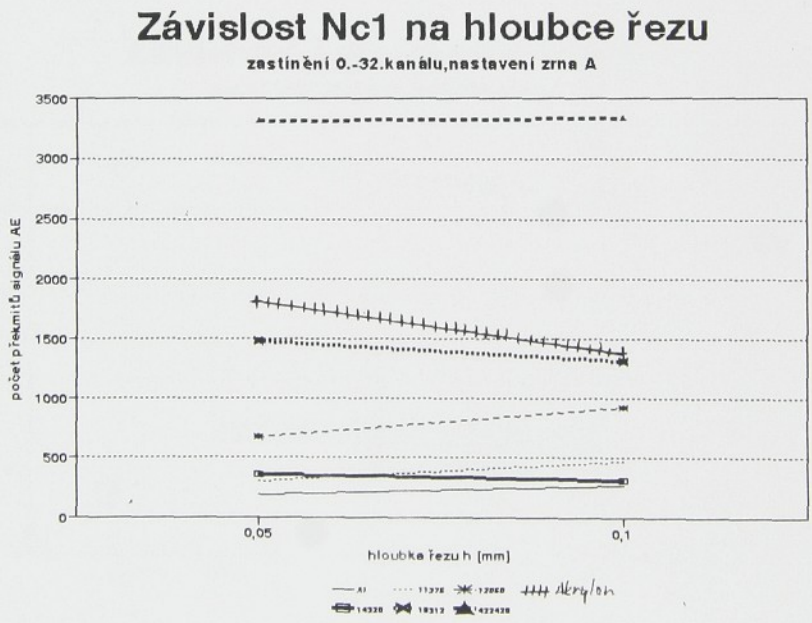


Graf č.13 - Závislost těžiště plochy na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,1 mm (zastínění 0.- 64.kanálu

Příloha 8 - list 1

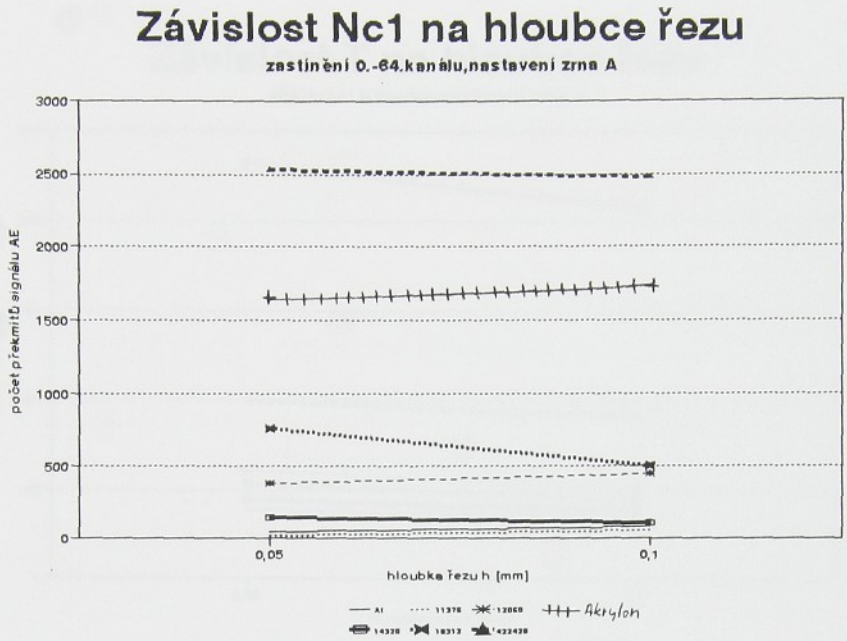


Graf č.14 - Závislost počtu překmitů signálu AE na hloubce řezu pro nastavení zrna A (zastínění 0.kanálu)



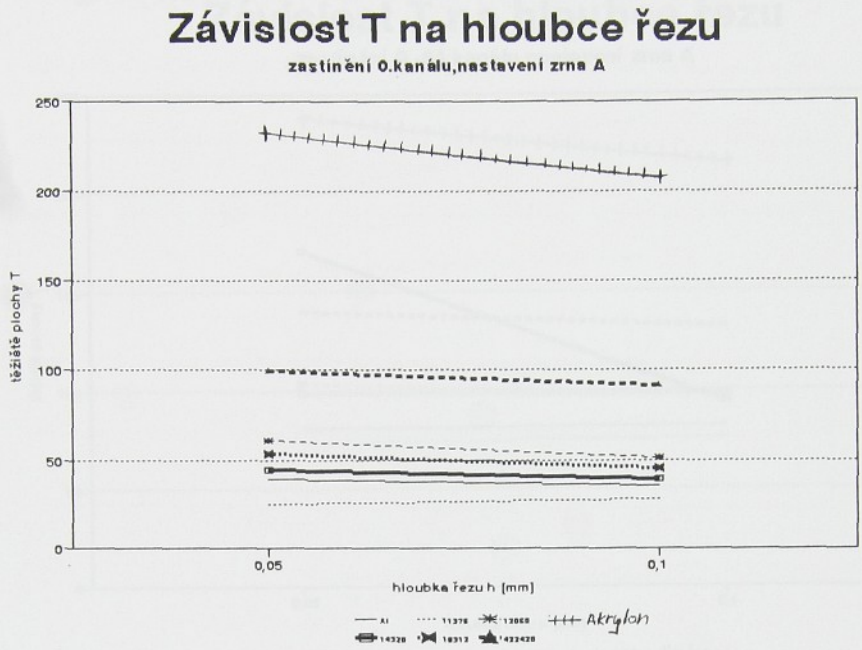
Graf č.15 - Závislost počtu překmitů signálu AE na hloubce řezu pro nastavení zrna A (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 8 - list 2

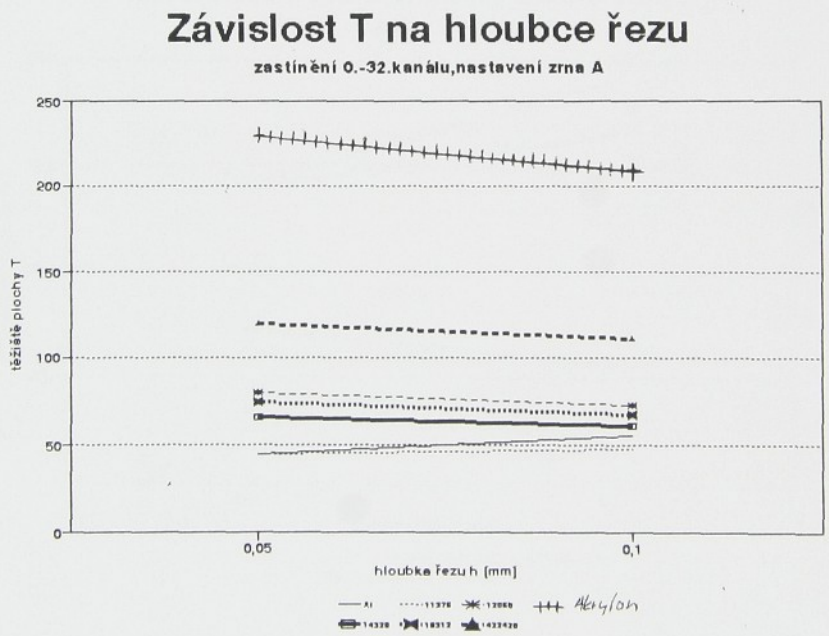


Graf č.16 - Závislost počtu překmitů signálu AE na hloubce řezu pro nastavení zrna A (zastínění 0.- 64.kanálu)

Příloha 9 - list 1

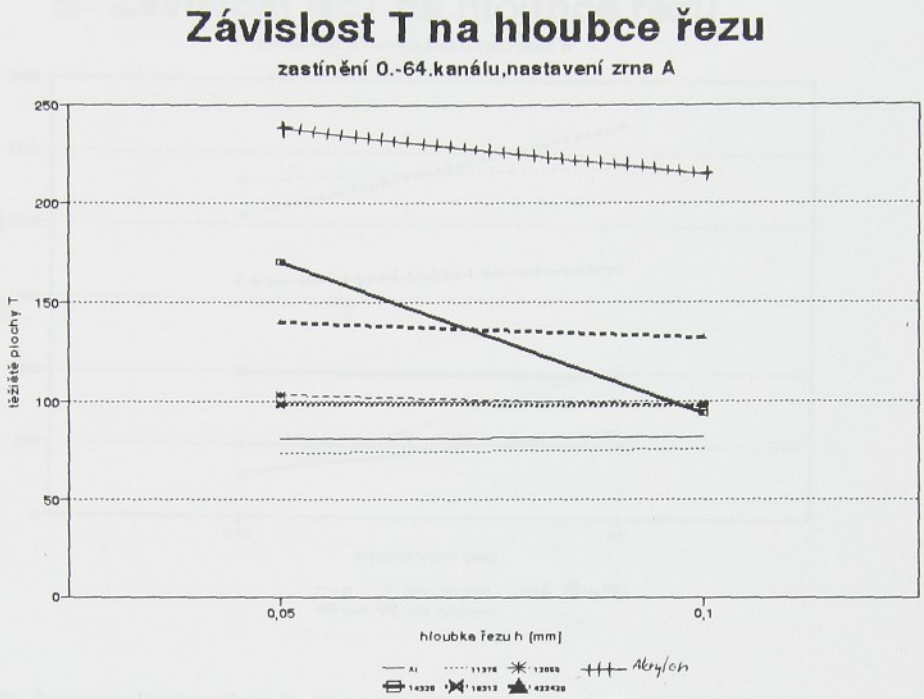


Graf č.17 - Závislost těžiště plochy na hloubce řezu pro nastavení zrna A (zastínění 0.kanálu)



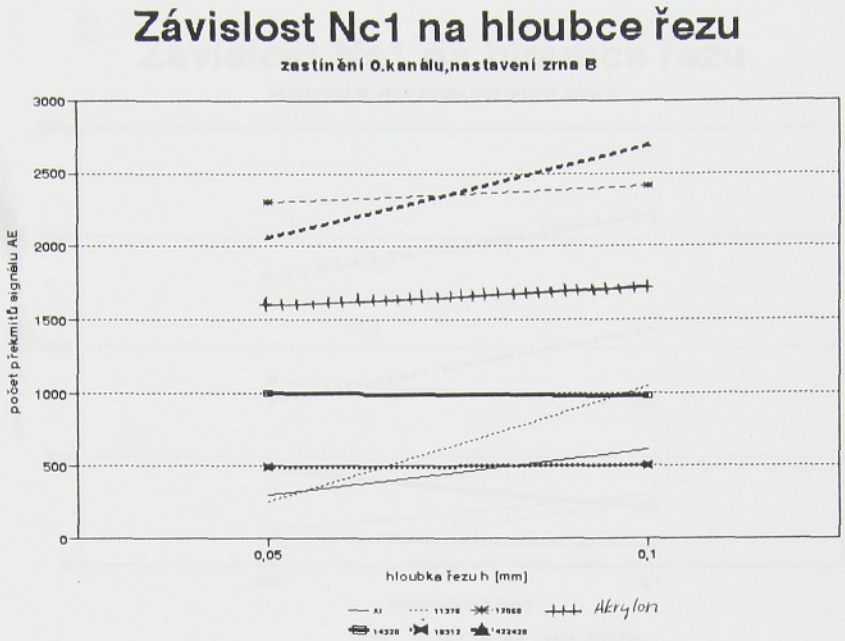
Graf č.18 - Závislost těžiště plochy na hloubce řezu pro nastavení zrna A (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 9 - list 2

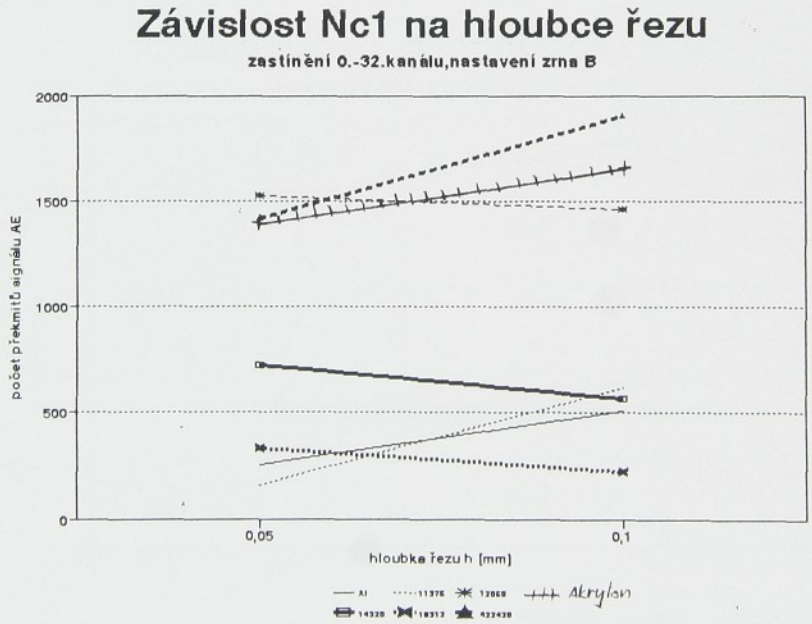


Graf č.19 - Závislost těžiště plochy na hloubce řezu pro nastavení zrna A (zastínění 0.- 64.kanálu)

Příloha 10 - list 1

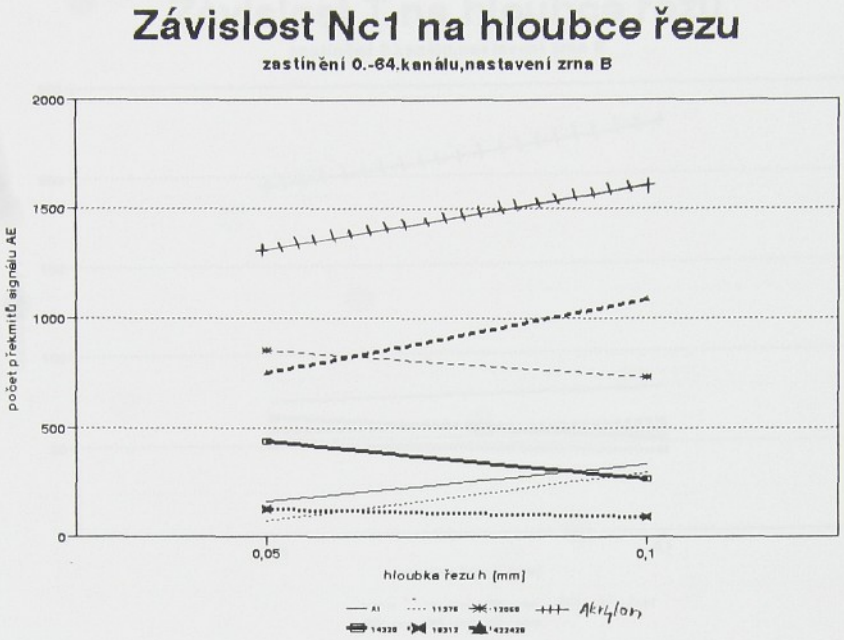


Graf č.20 - Závislost počtu překmitů signálu AE na hloubce řezu pro nastavení zrna B (zastínění 0.kanálu)



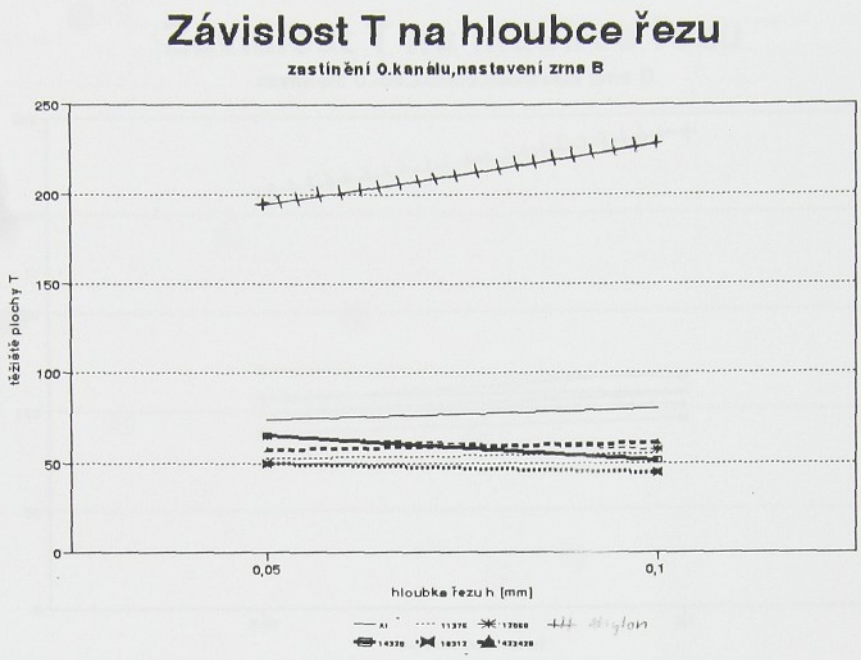
Graf č.21 - Závislost počtu překmitů signálu AE na hloubce řezu pro nastavení zrna B (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 10 - list 2

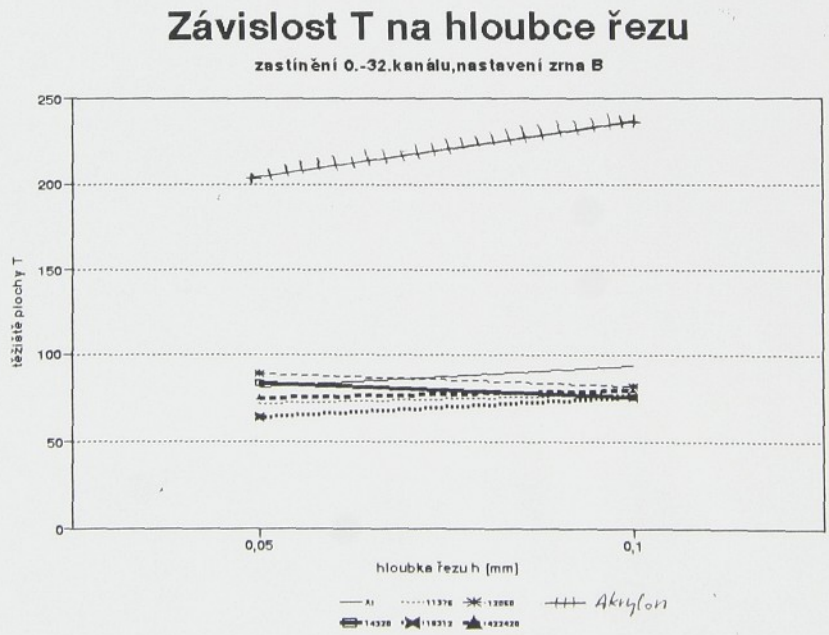


Graf č.22 - Závislost počtu překmitů signálu AE na hloubce řezu pro nastavení zrna B (zastínění 0.- 64.kanálu)

Příloha 11 - list 1

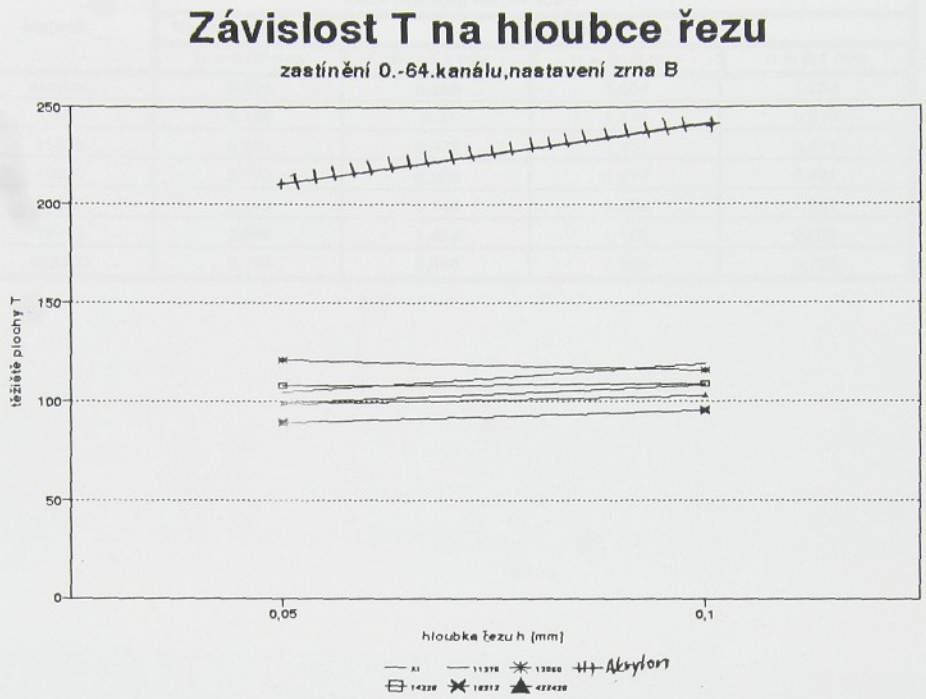


Graf č.23. - Závislost těžiště plochy na hloubce řezu pro nastavení zrna B (zastínění 0.kanálu)



gRAF č.24 - Závislost těžiště plochy na hloubce řezu pro nastavení zrna B (zastínění 0.- 32.kanálu)

Příloha 11 - list 2



Graf č.25 - Závislost těžiště plochy na hloubce řezu pro nastavení zrna B (zastínění 0.- 64.kanálu)

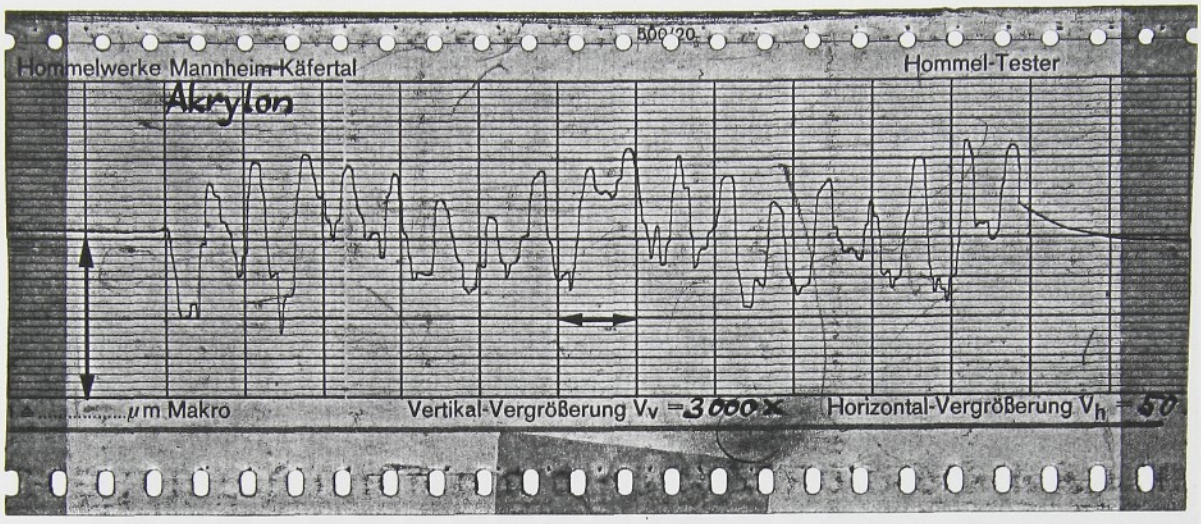
Příloha 12

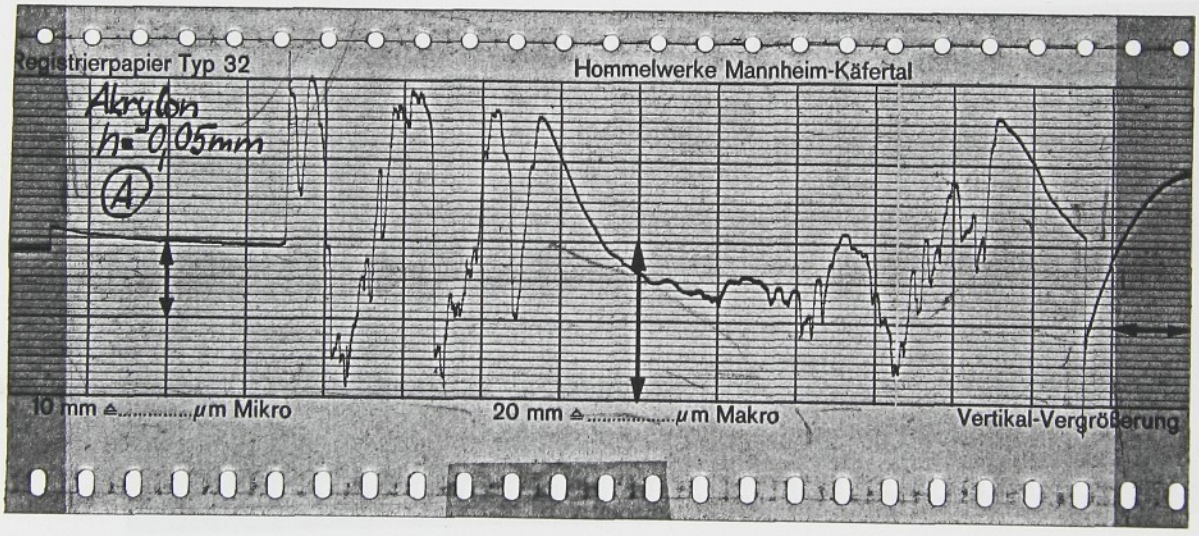
Tab.7 - Podíl plastické deformace p

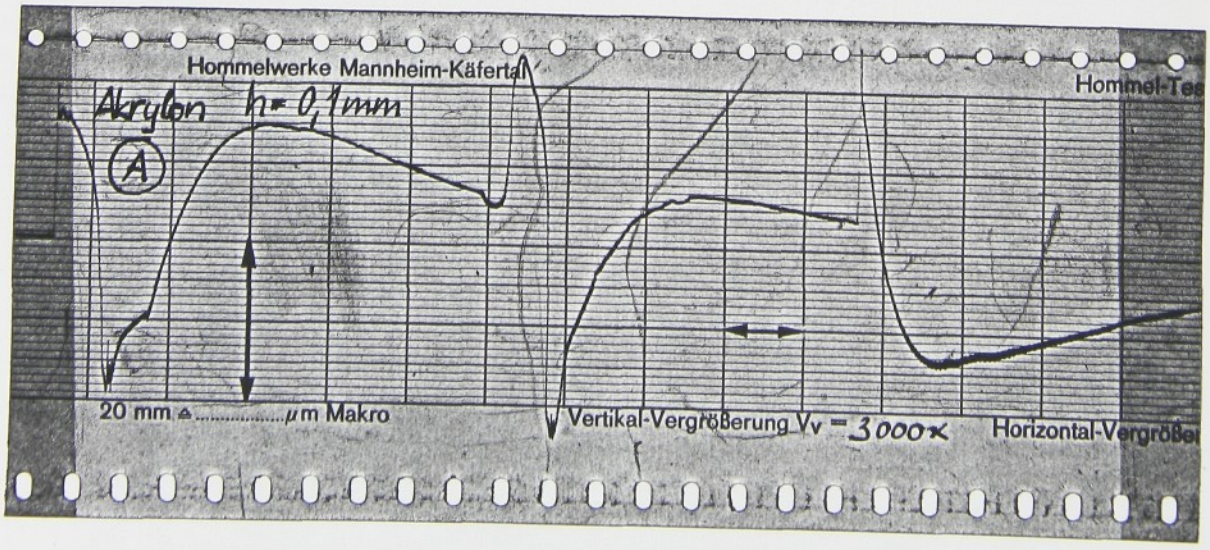
Materiál	Podíl plastické deformace p			
	Nastavení zrna A		Nastavení zrna B	
	h = 0,05 mm	h = 0,1 mm	h = 0,05 mm	h = 0,1 mm
Akrylon	0,629	0,256	3,504	1,033
Al	2,188	3,07	1,174	0,646
11375	0,857	0,478	1,431	0,671
12050	0,772	0,205	0,477	0,461
14320	1,119	0,149	1,284	1,167
19312	2,662	1,432	1,128	0,802
422420	0,775	0,966	0,598	0,723

Příloha 13 - list 1

Akrylon

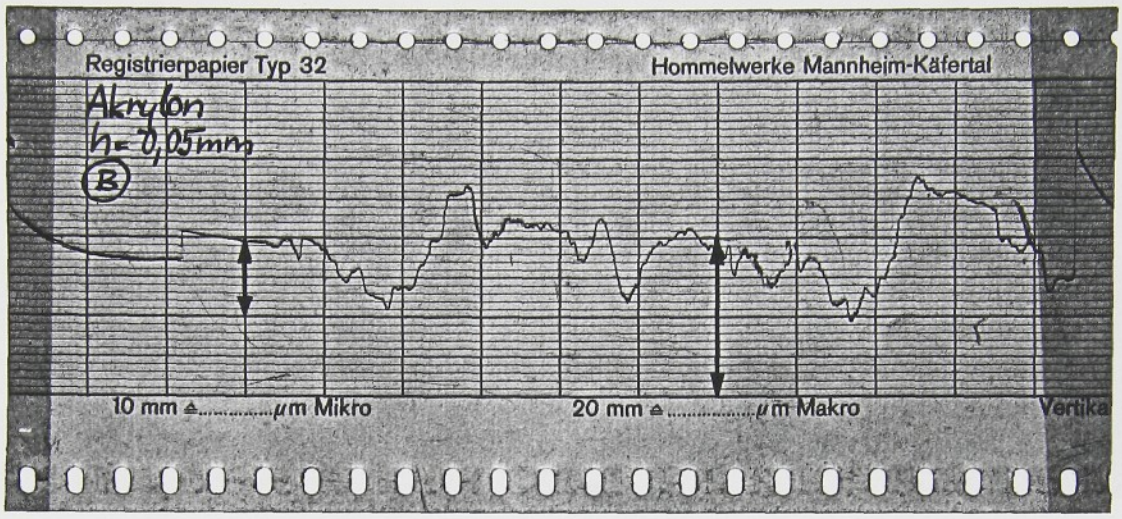


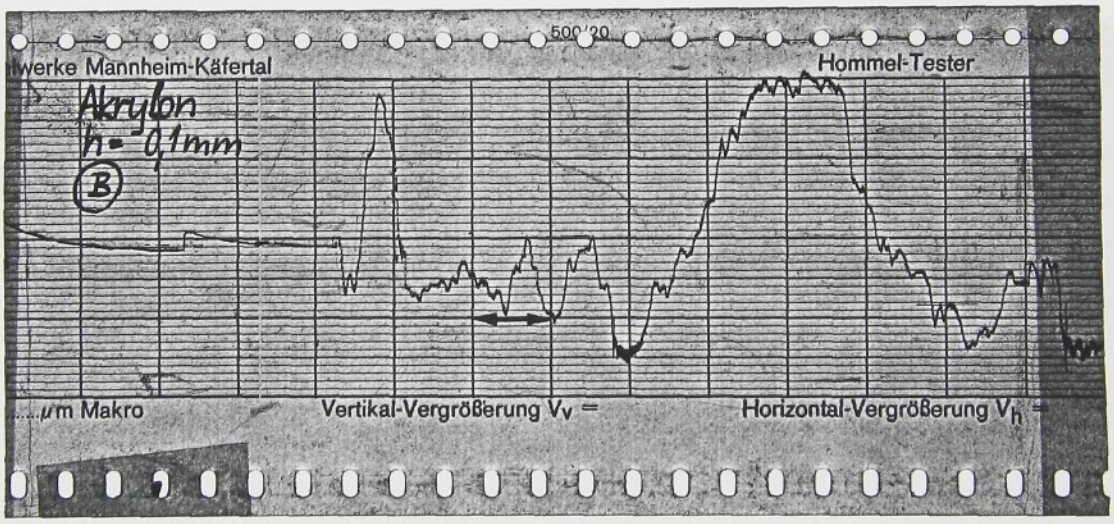




Příloha 13 - list 2

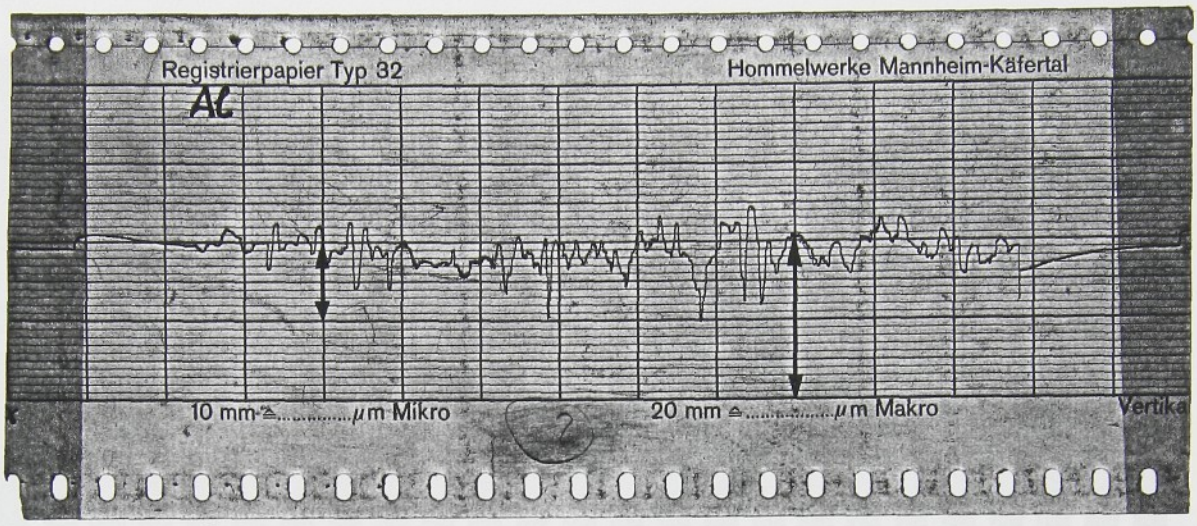
Akrylon

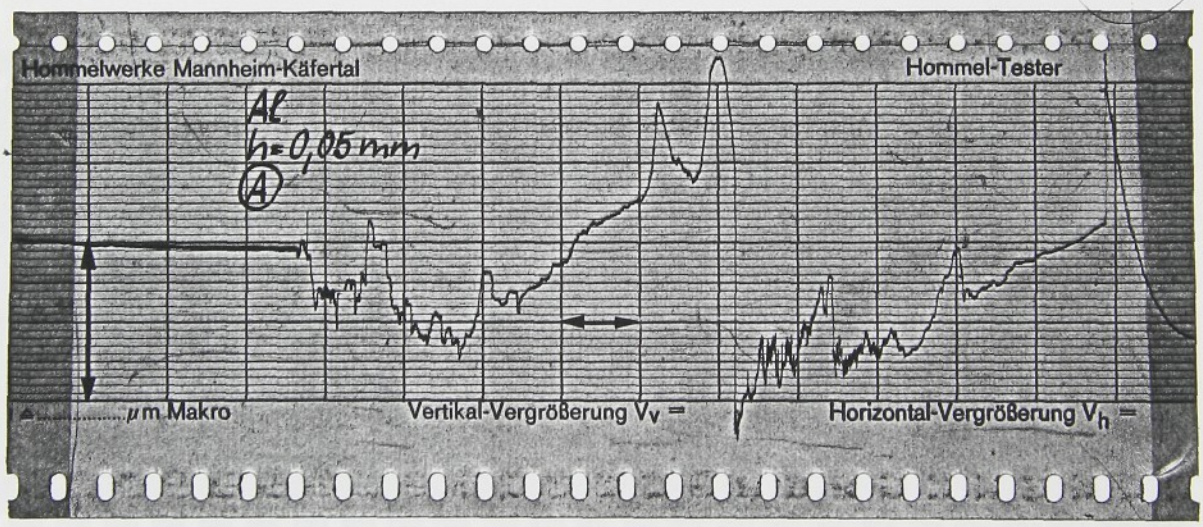


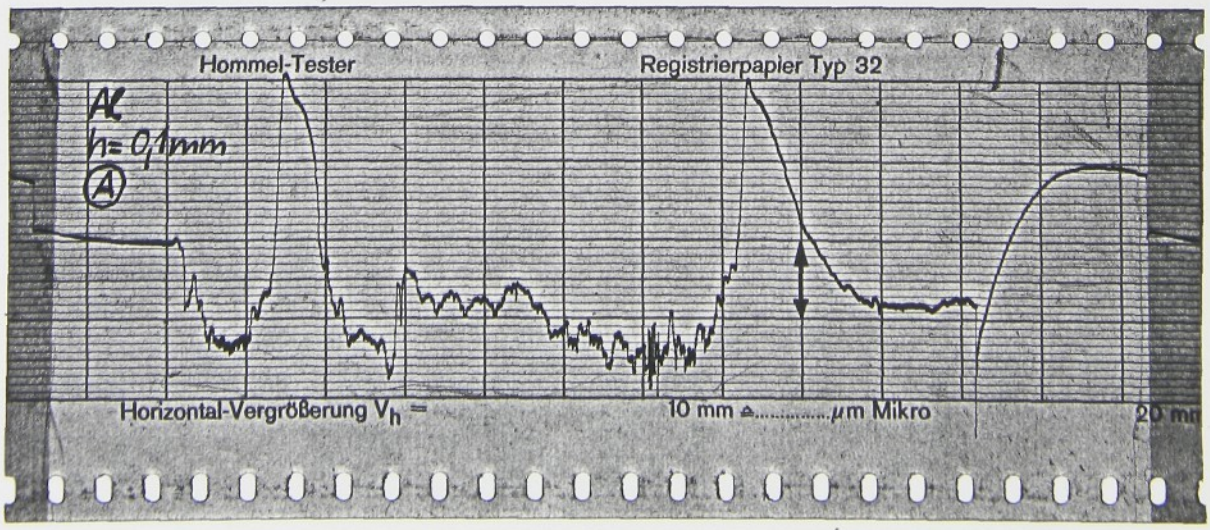


Příloha 13 - list 3

AI

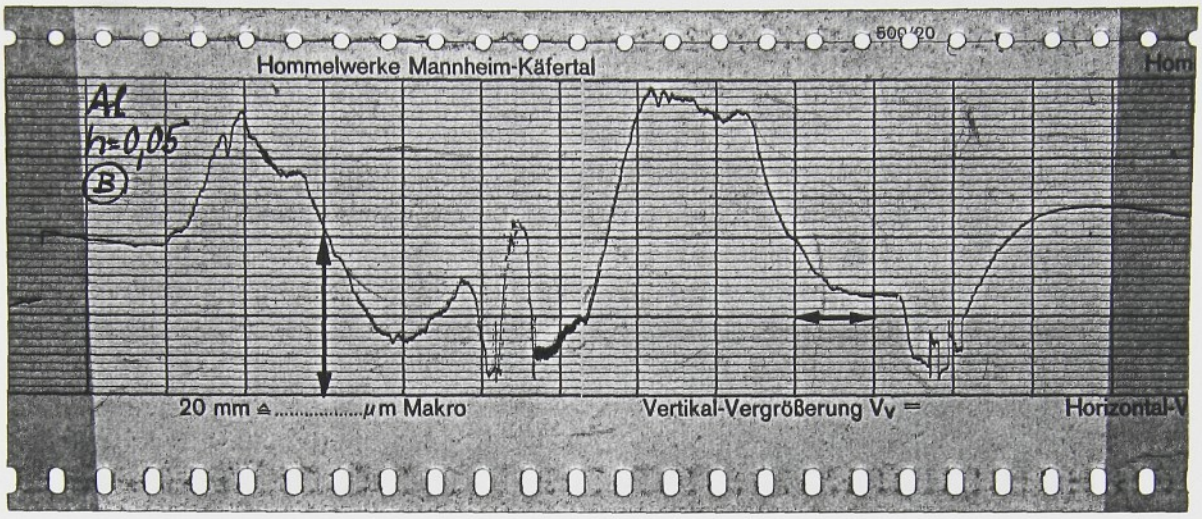


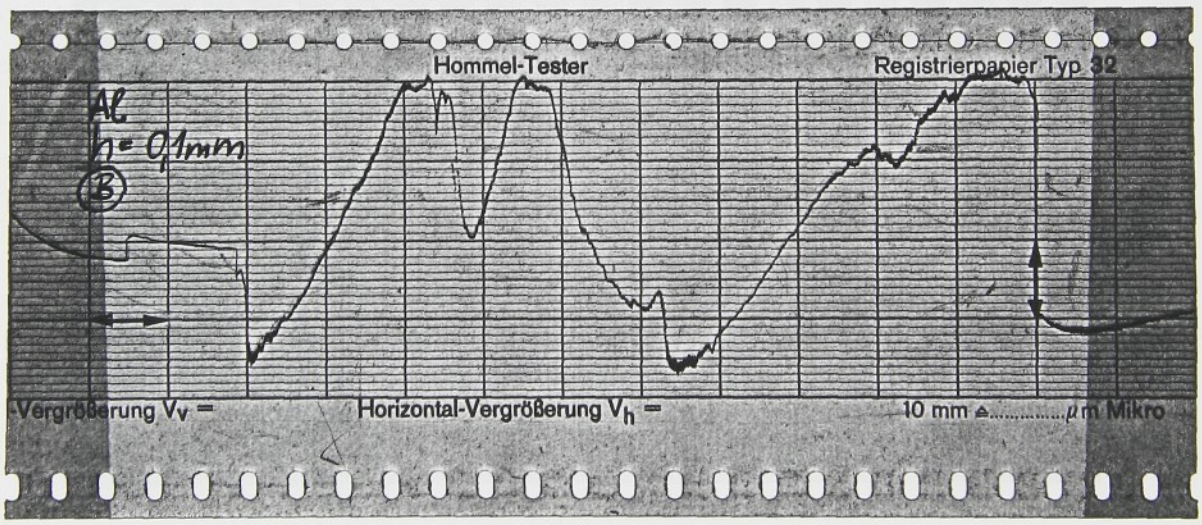




Příloha 13 - list 4

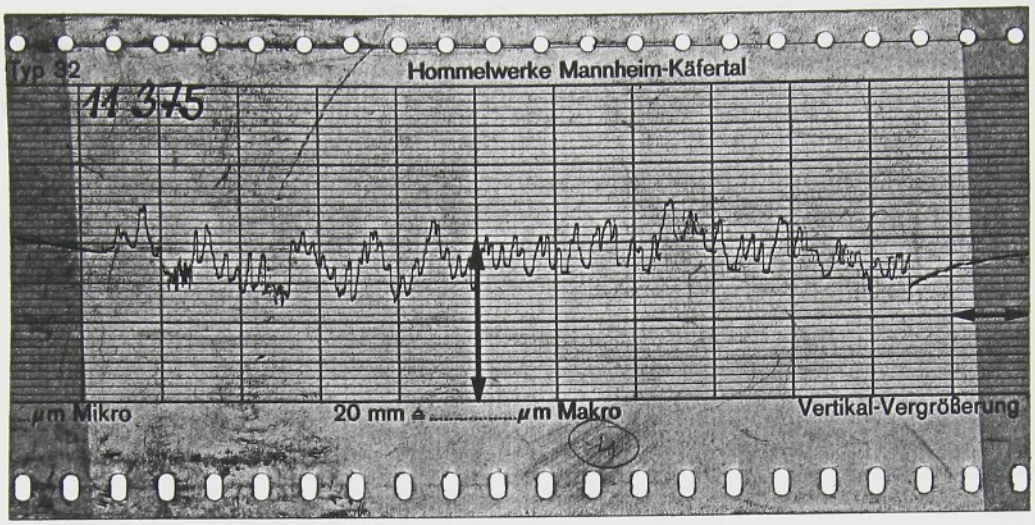
Al

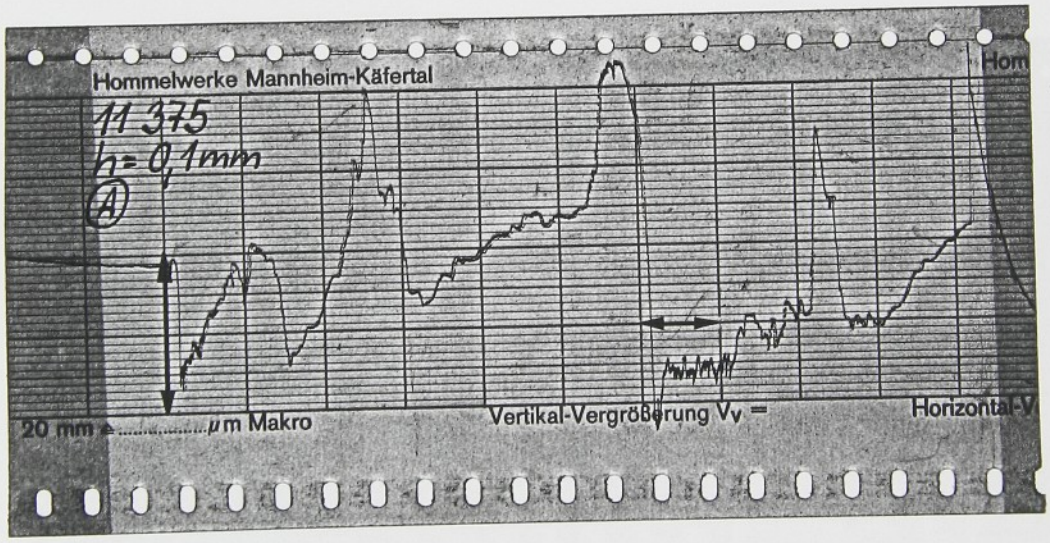


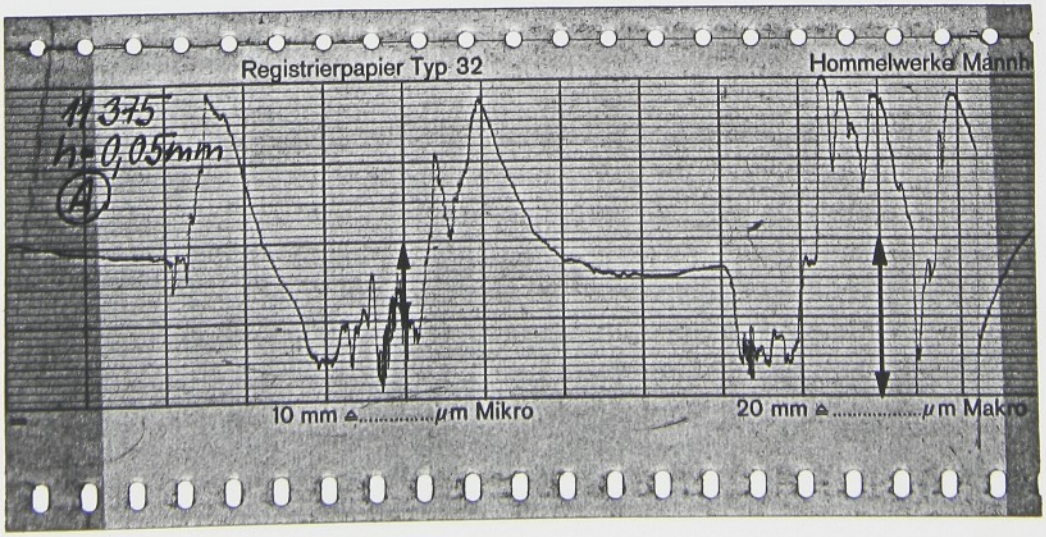


Příloha 13 - list 5

11375

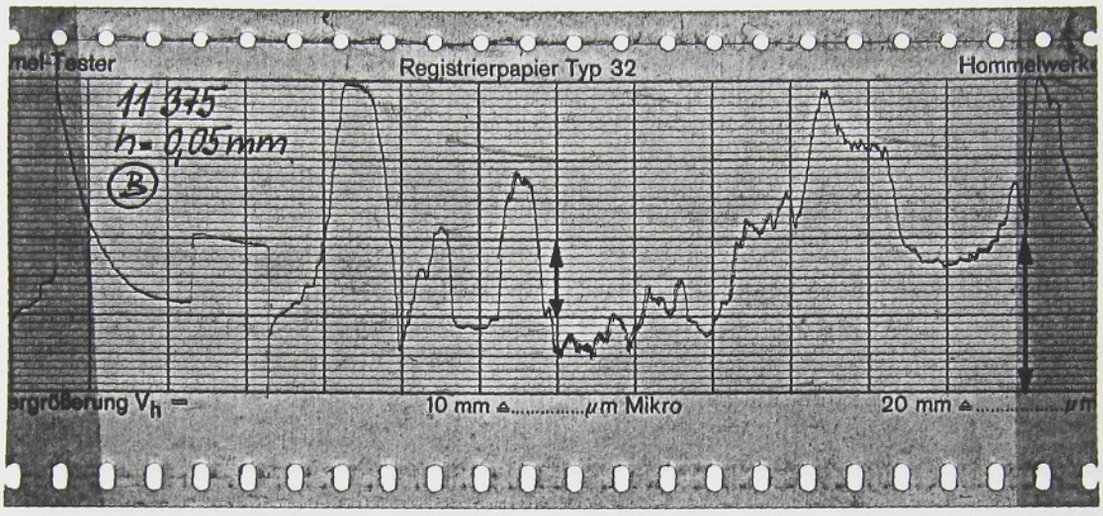


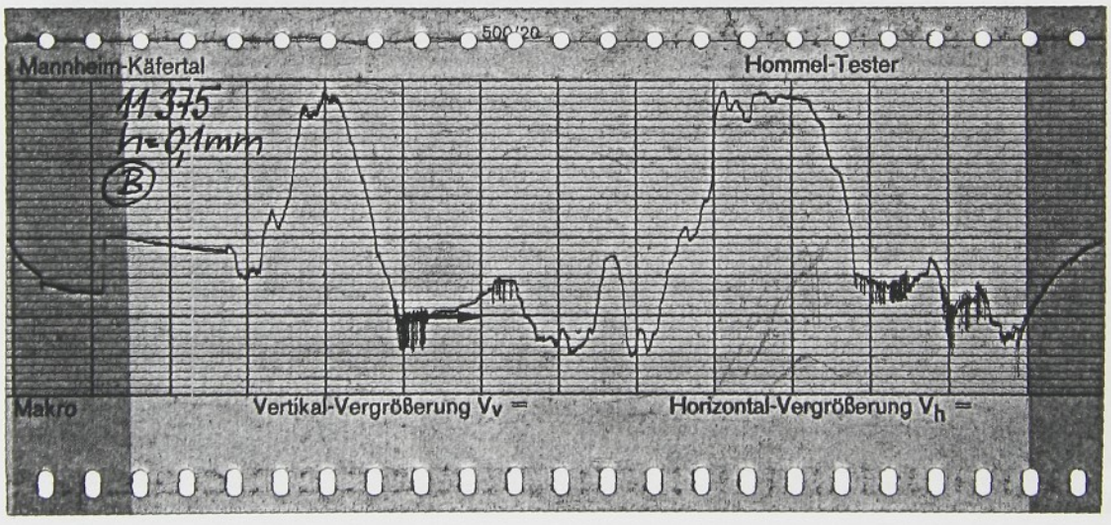




Příloha 13 - list 6

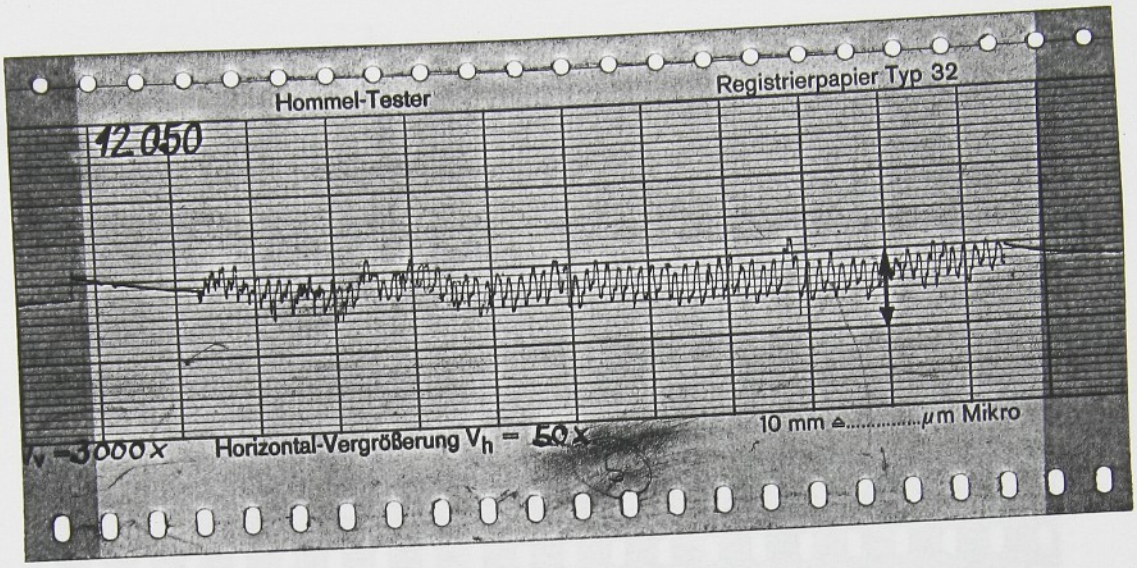
11375

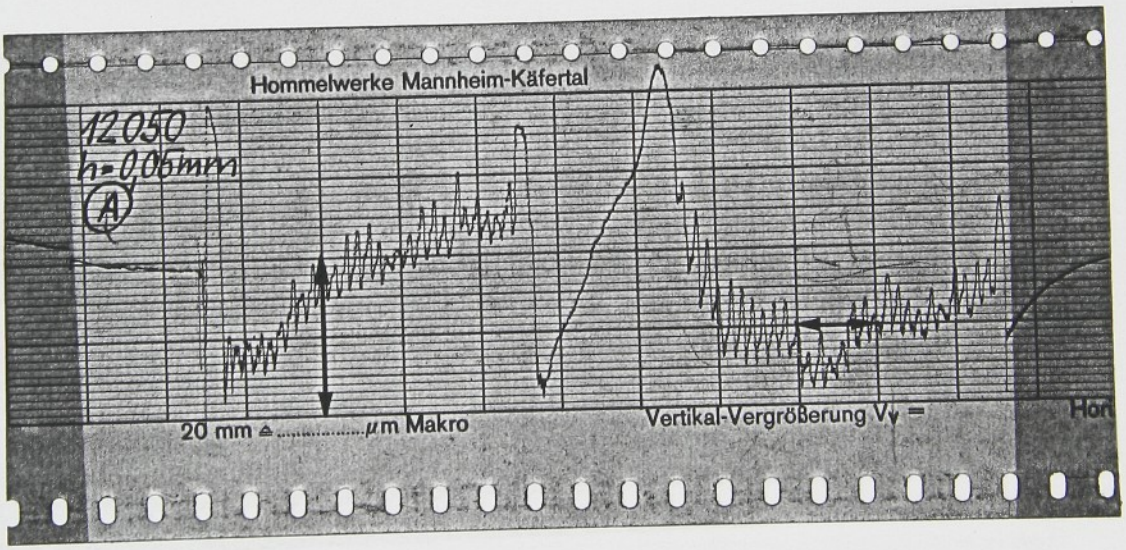


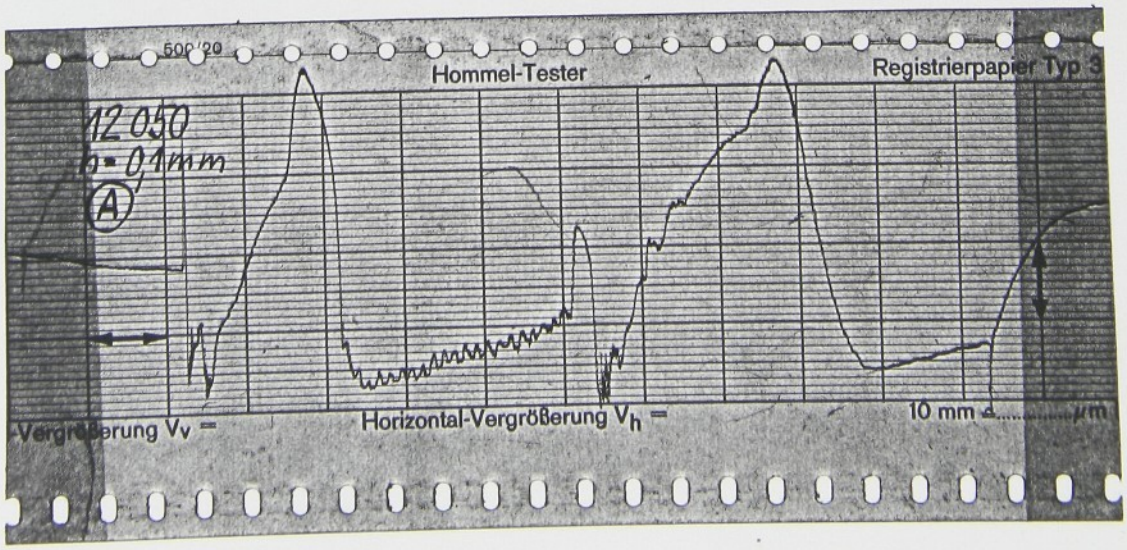


Příloha 13 - list 7

12050

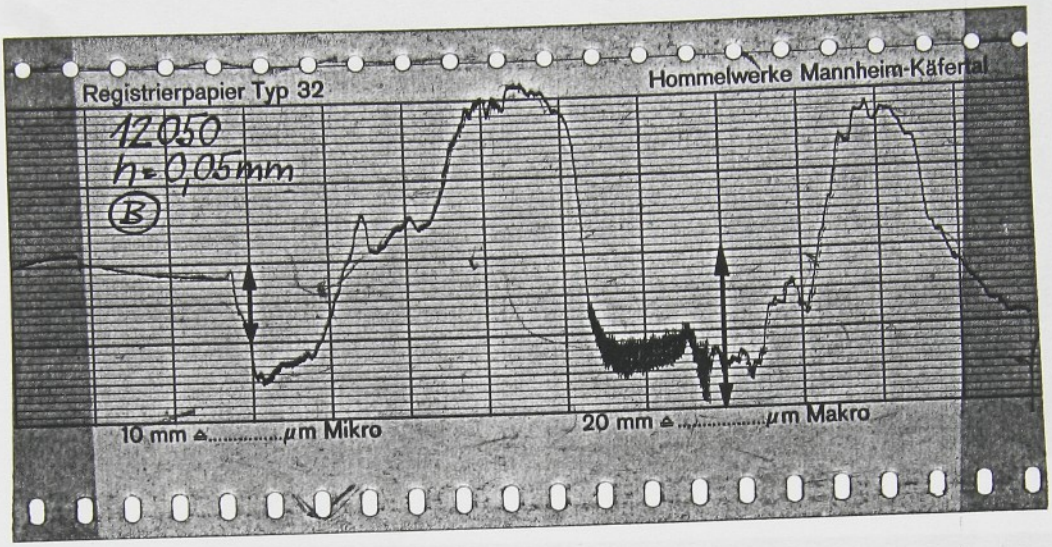


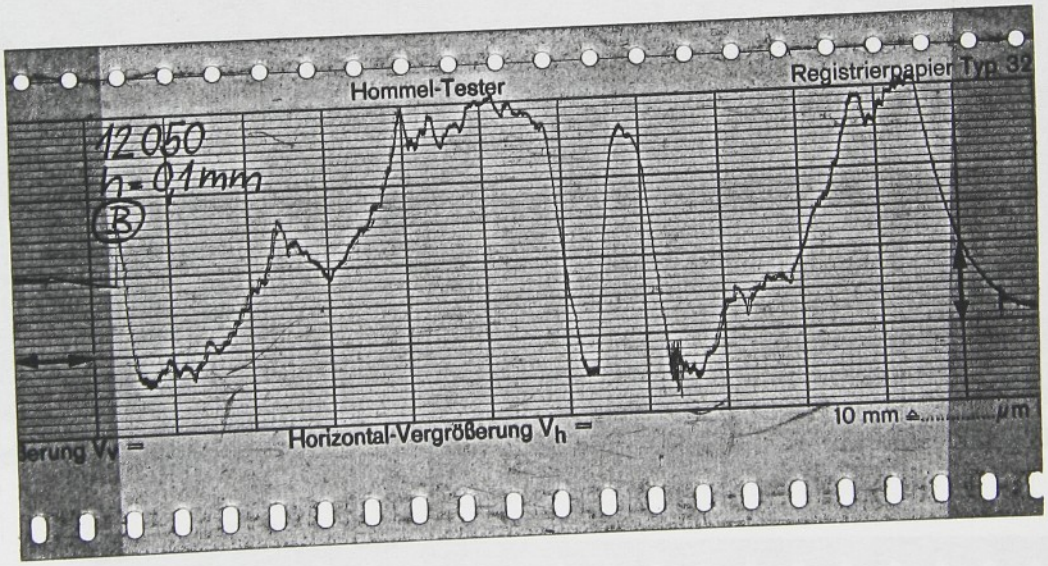




Příloha 13 - list 8

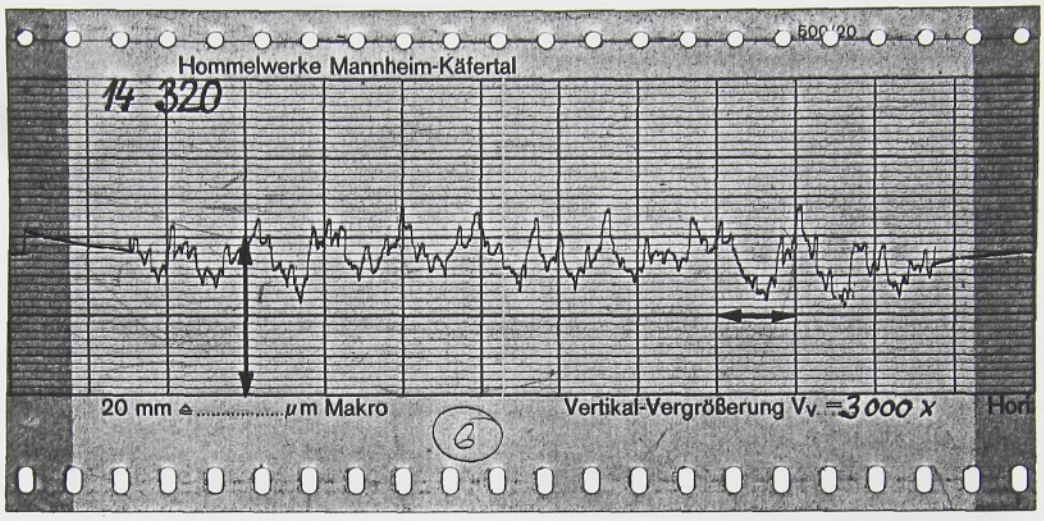
12050

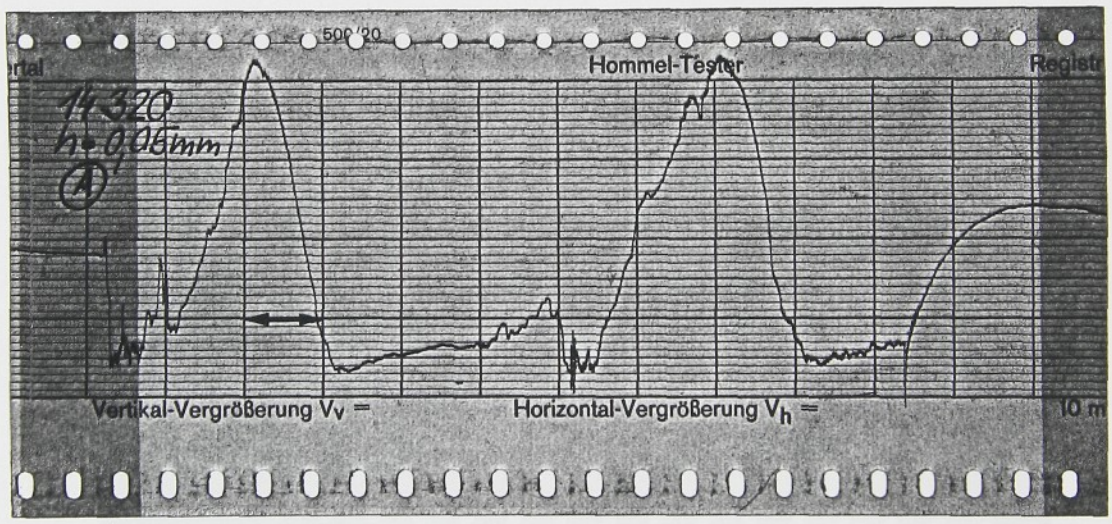


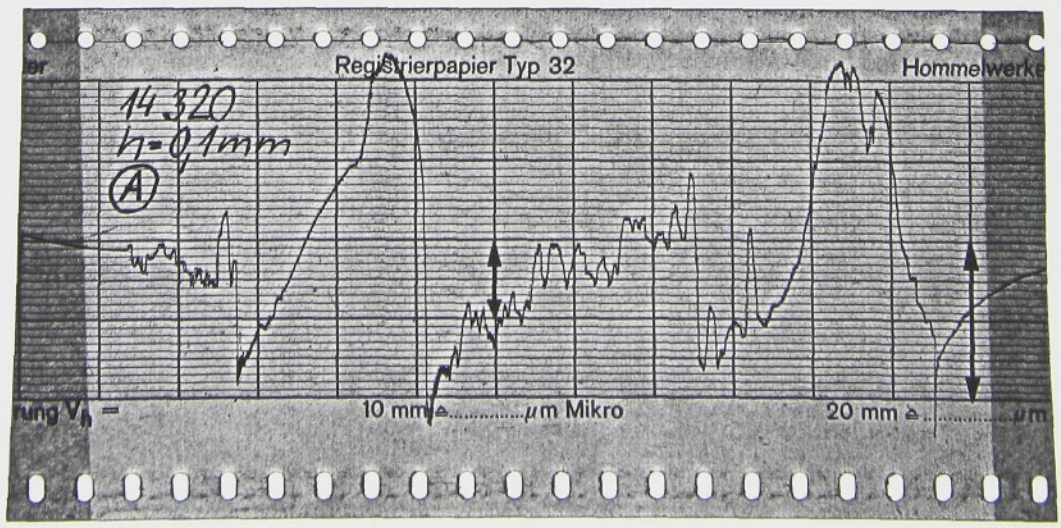


Příloha 13 - list 9

14320

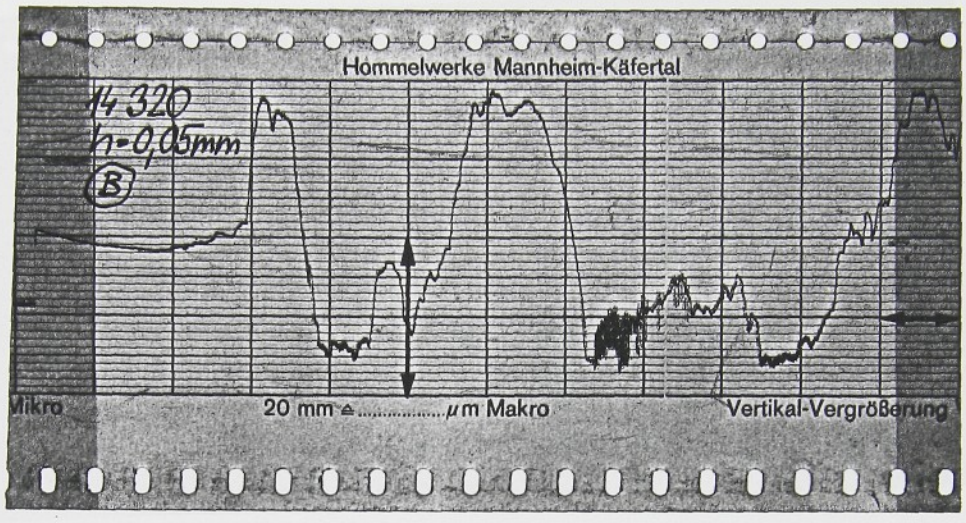


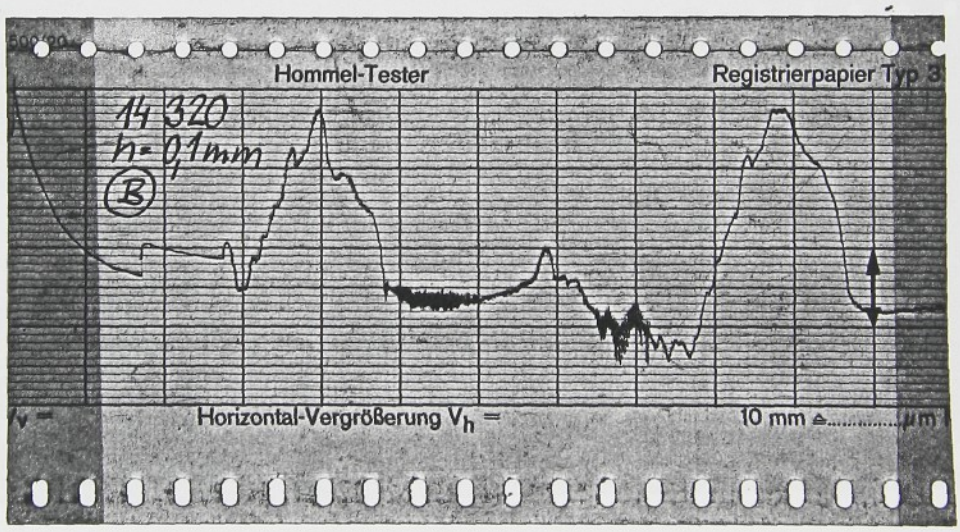




Příloha 13 - list 10

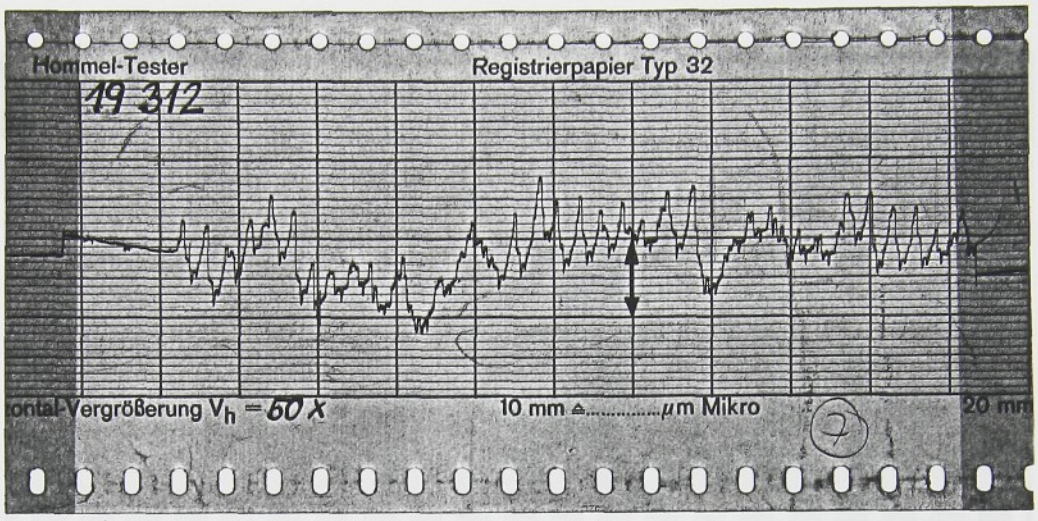
14320

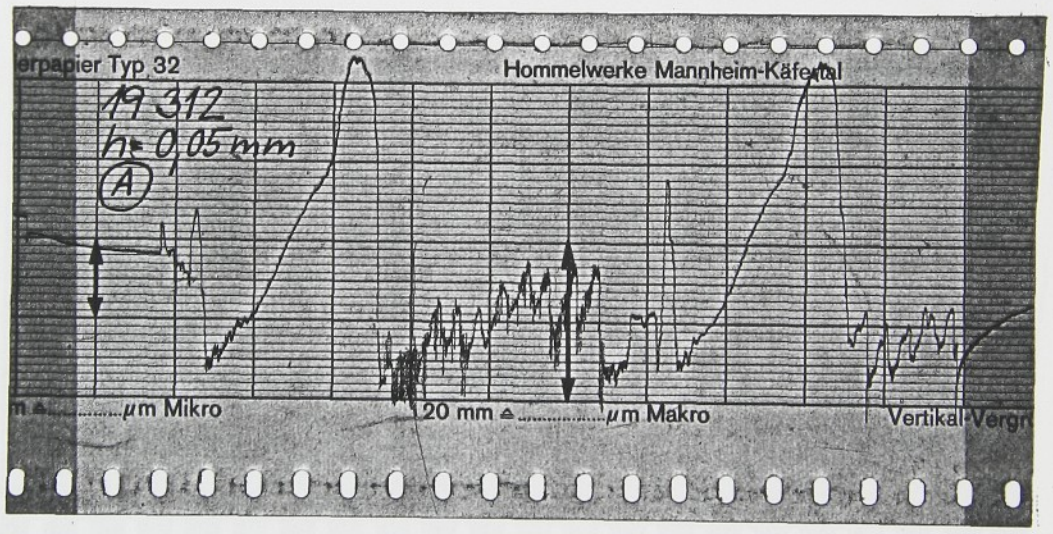


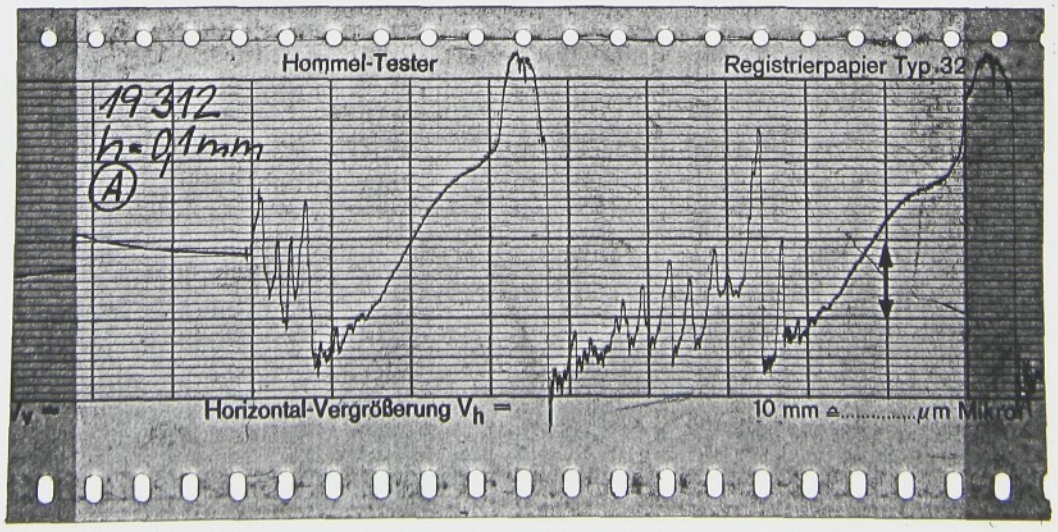


Příloha 13 - list 11

19312

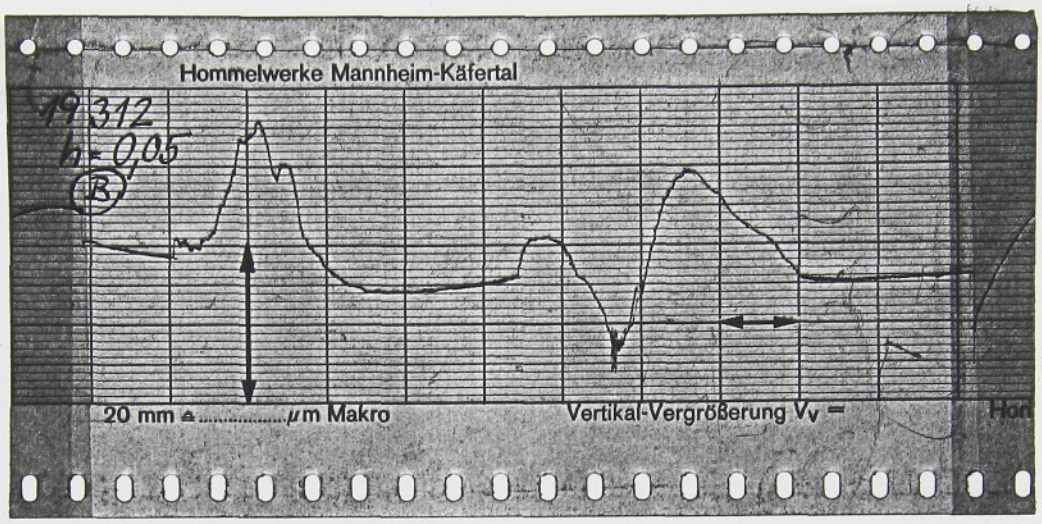


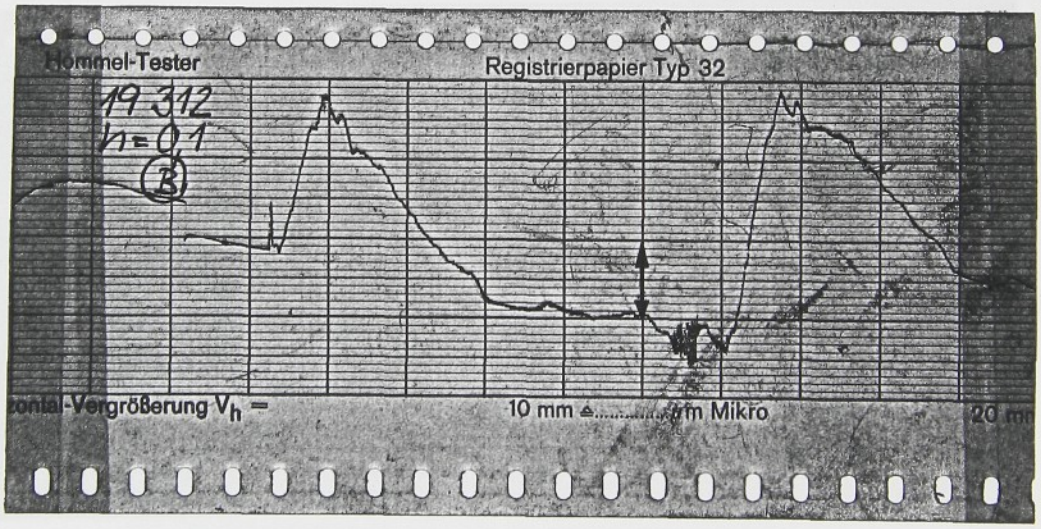




Příloha 13 - list 12

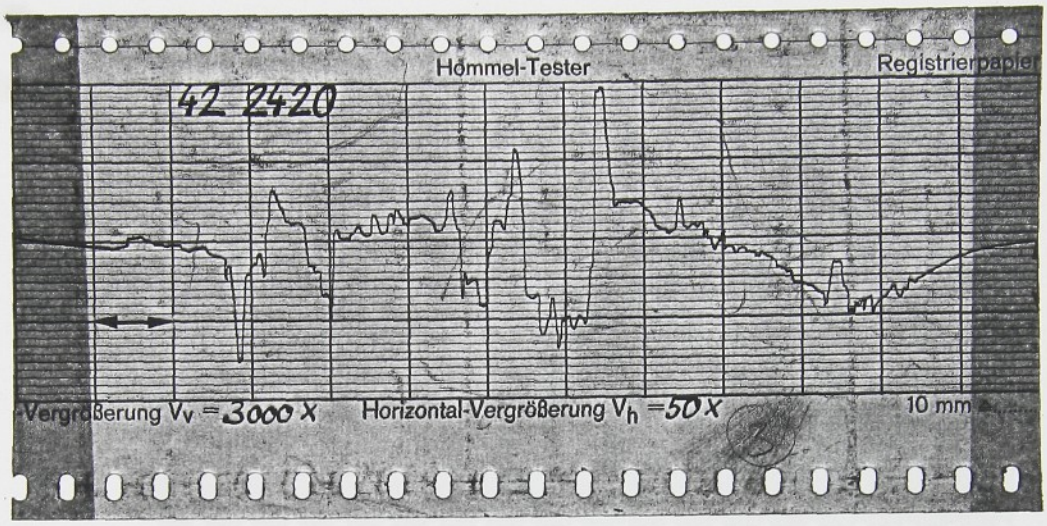
19312

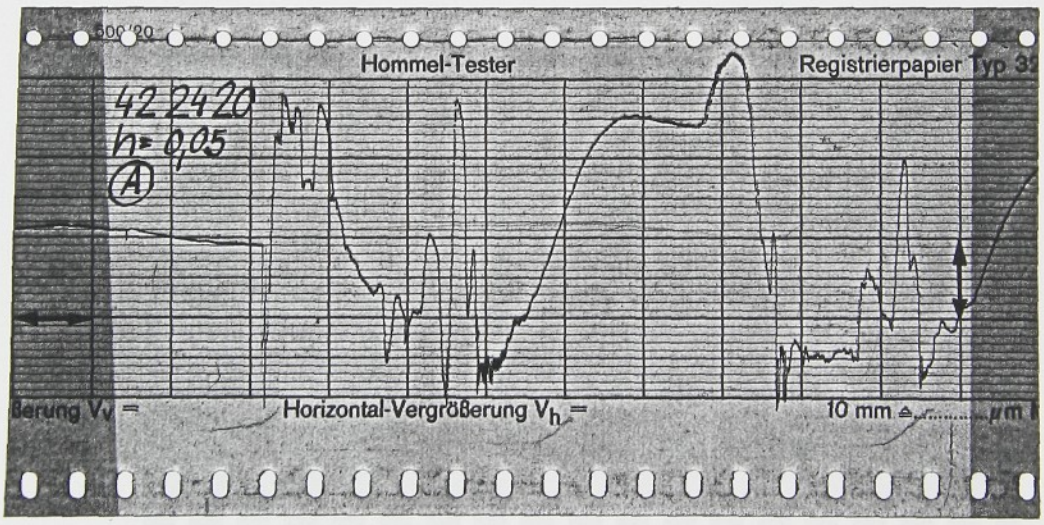


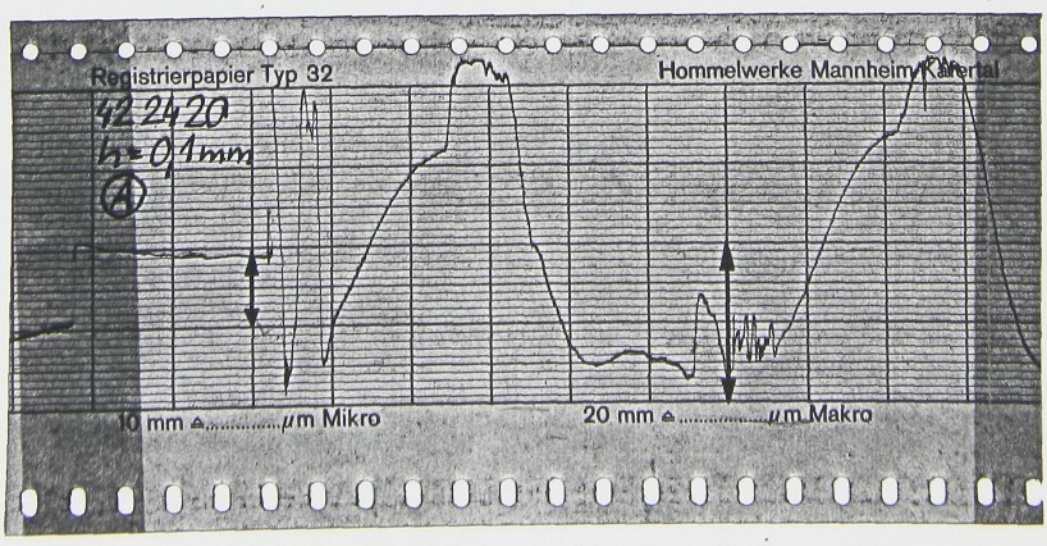


Příloha 13 - list 13

422420

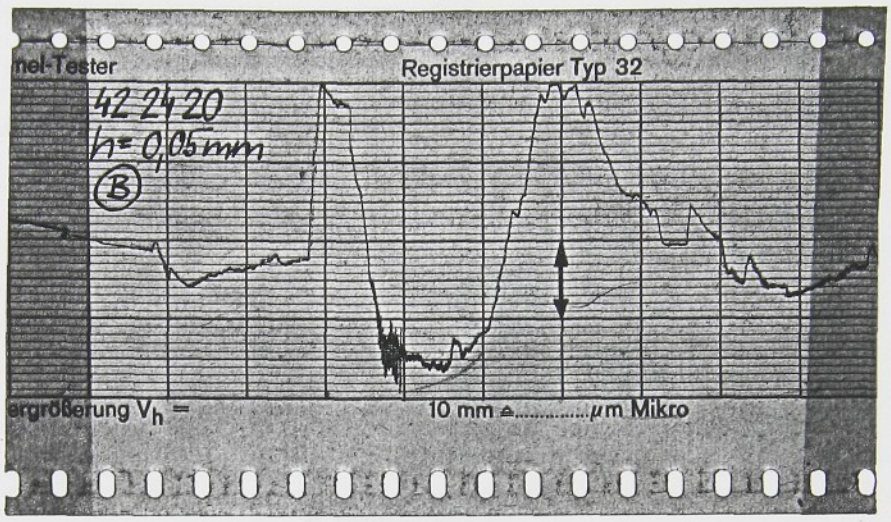


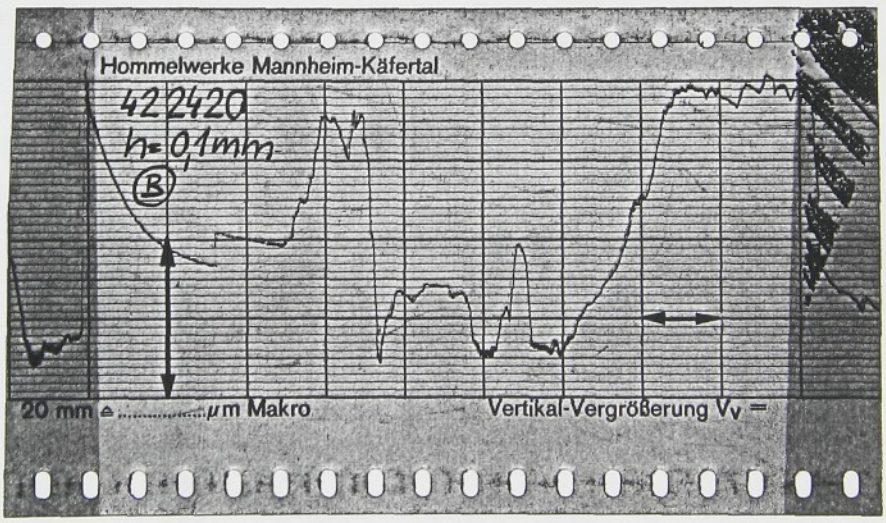




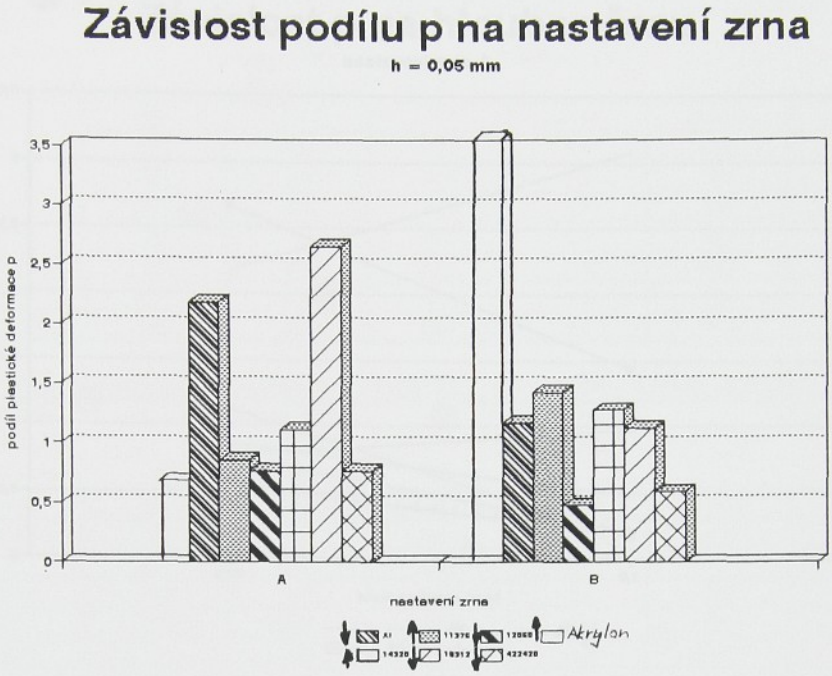
Příloha 13 - list 14

422420

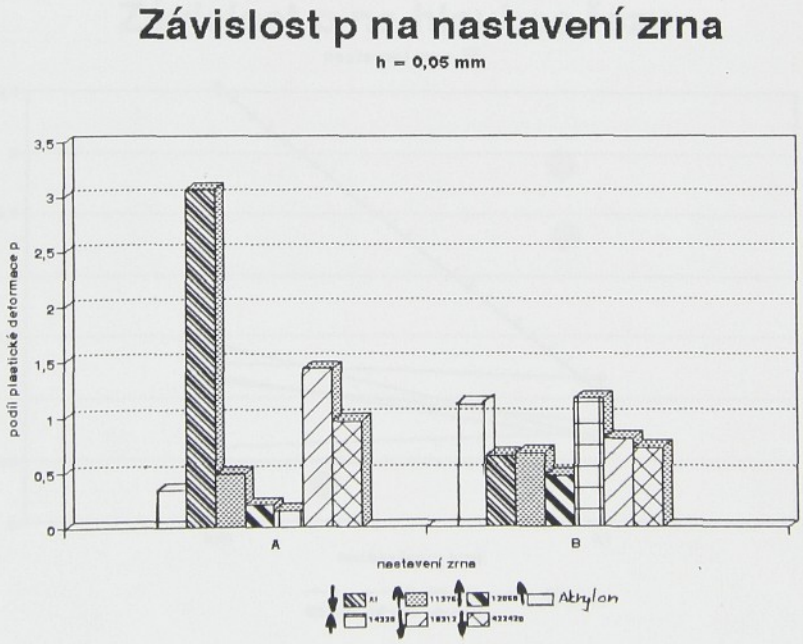




Příloha 14

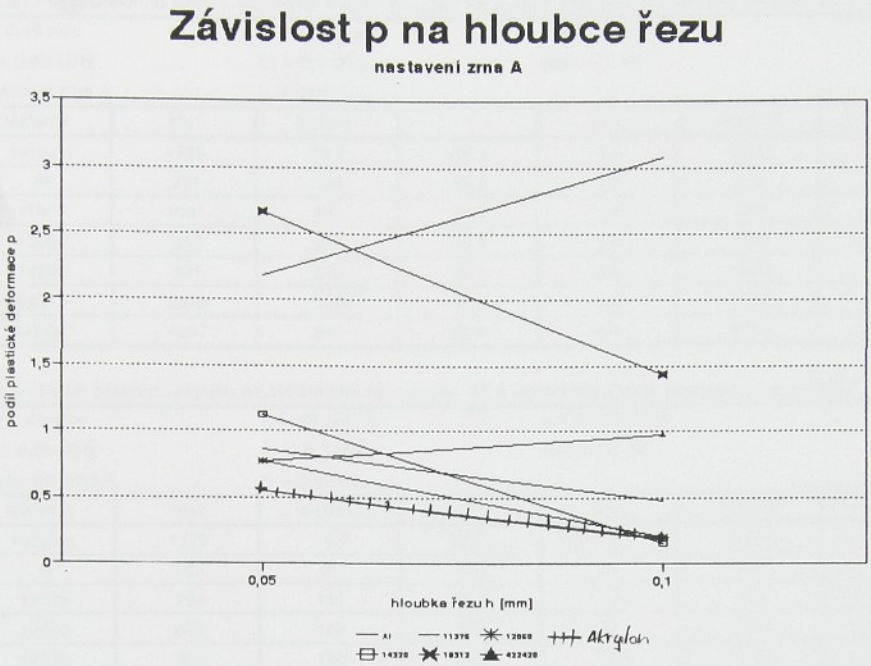


Graf č.26 - Závislost podílu plastické deformace na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,05 mm

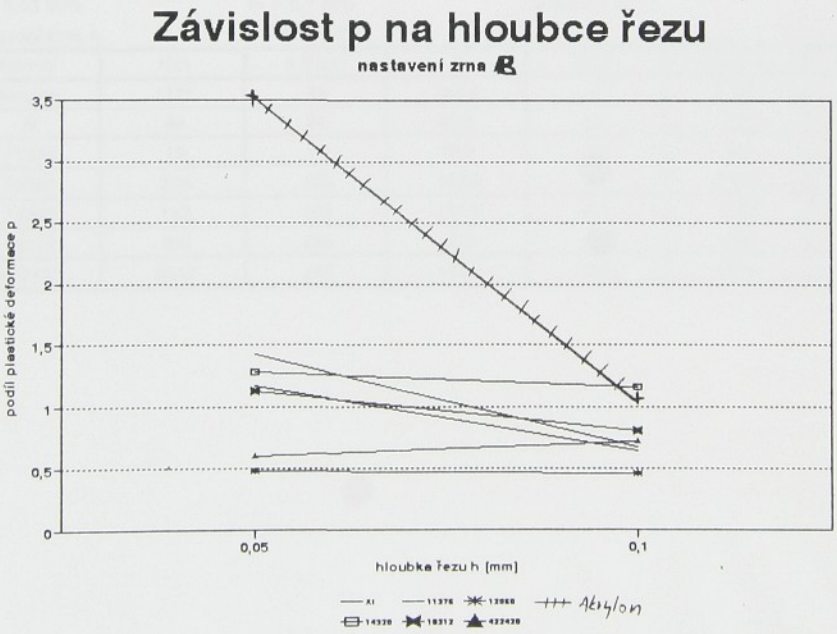


Graf č.27 - Závislost podílu plastické deformace na nastavení zrna pro hloubku řezu 0,1 mm

Příloha 15



Graf č.28 - Závislost podílu plastické deformace na hloubce řezu pro nastavení zrna A



Graf č.29 - Závislost podílu plastické deformace na hloubce řezu pro nastavení zrna B

Příloha 16 - list 1

Tab.8 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna A		h = 0,05 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1785	73,4	235,5	6,6	2780	756
Al	271	109	39,3	2,3	576	92
11375	1061	481	24,9	1,2	232	45
12050	950	256	60,6	5,4	1898	388
14320	601	275	45,1	8,8	1300	1236
19312	2315	538	53,1	5,8	1586	326
422420	4097	311	99,5	6,6	4770	449

Tab.9 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 32.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna A		h = 0,05 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1775	71,7	239,1	5,5	2027	586
Al	193	91	44,5	3,1	781	133
11375	299	151	44,2	1,3	129	78
12050	666	188	79,3	5,1	1524	421
14320	352	180	65,3	11,5	1115	1462
19312	1481	389	73,7	5,2	1259	323
422420	3304	185	119,1	6,1	3862	373

Tab.10 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna A		h = 0,05 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1721	72	242,9	4,5	1338	436
Al	44	24	80,9	3,3	241	118
11375	16	14	73,9	5,8	309	562
12050	378	125	103,6	4,9	1306	534
14320	142	109	170,3	8,7	1092	1668
19312	755	233	98,8	4,9	1099	378
422420	2543	107	140,1	5,6	3052	289

Příloha 16 - list 2

Tab.11 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna A		h = 0,1 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1958	88	211,3	32,6	4012	1637
Al	592	374	35,7	7,2	571	262
11375	1362	511	28,4	1,6	331	52
12050	1478	213	51,2	4,4	1455	242
14320	604	291	39,3	6,4	1082	682
19312	2400	512	45,2	10,4	1536	1085
422420	4235	180	91,1	8,9	4143	578

Tab.12 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 32.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna A		h = 0,1 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1816	172	216,2	28,6	3584	1623
Al	262	169	55	6,2	409	191
11375	466	215	47,9	1,5	178	40
12050	920	145	72,2	4,5	1146	204
14320	312	174	61	8,6	1040	948
19312	1313	315	66,6	12,1	1471	1294
422420	3332	118	110,9	8,3	3343	470

Tab.13 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna A		h = 0,1 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1785	140	226,1	23,6	2418	1204
Al	81	86	82	5,6	380	221
11375	55	34	75,7	2,7	126	63
12050	449	102	97,9	4,4	975	200
14320	103	85	93,8	16,4	1446	1659
19312	500	270	98,2	16,1	1776	1664
422420	2475	160	132,4	7,5	2651	360

Příloha 16 - list 3

Tab.14 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna B		h = 0,05 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1521	231	195,5	35,1	5846	1432
Al	299	252	74,2	9,5	1916	979
11375	254	155	52,6	10,2	1558	856
12050	2299	536	64,6	13,6	3372	2134
14320	992	514	65,5	9,8	2304	1055
19312	492	225	49,8	6,6	916	217
422420	2056	175	56,8	6,1	1507	286

Tab.15 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 32.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna B		h = 0,05 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1440	236	204,9	33,8	4435	1080
Al	254	216	81,3	11,8	1756	1034
11375	158	86	71,4	9,8	1297	878
12050	1531	416	88,8	17,9	3217	2361
14320	719	388	83,8	11,3	1441	1099
19312	328	124	63,8	2,7	732	306
422420	1420	184	74,7	5,9	1176	276

Tab.16 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna B		h = 0,05 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1336	265	216,5	30,3	2987	731
Al	164	153	104,9	11,2	1606	1276
11375	71	44	99,2	11,3	1164	925
12050	854	309	121,1	26,7	3009	2029
14320	440	287	107,9	12,3	1642	1058
19312	129	55	89,1	5,7	747	640
422420	752	184	98,7	4	940	247

Příloha 16 - list 4

Tab.17 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna B		h = 0,1 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1674	158	229,2	12,2	3614	1223
Al	611	303	80,6	16,6	3291	1423
11375	1039	615	54,7	15,4	2094	1584
12050	2419	315	56,9	15,5	2734	1605
14320	975	605	51,3	9,5	2180	1358
19312	504	477	44,5	14,4	2148	1907
422420	2691	266	61,3	5,4	1881	342

Tab.18 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.-32.kanálu

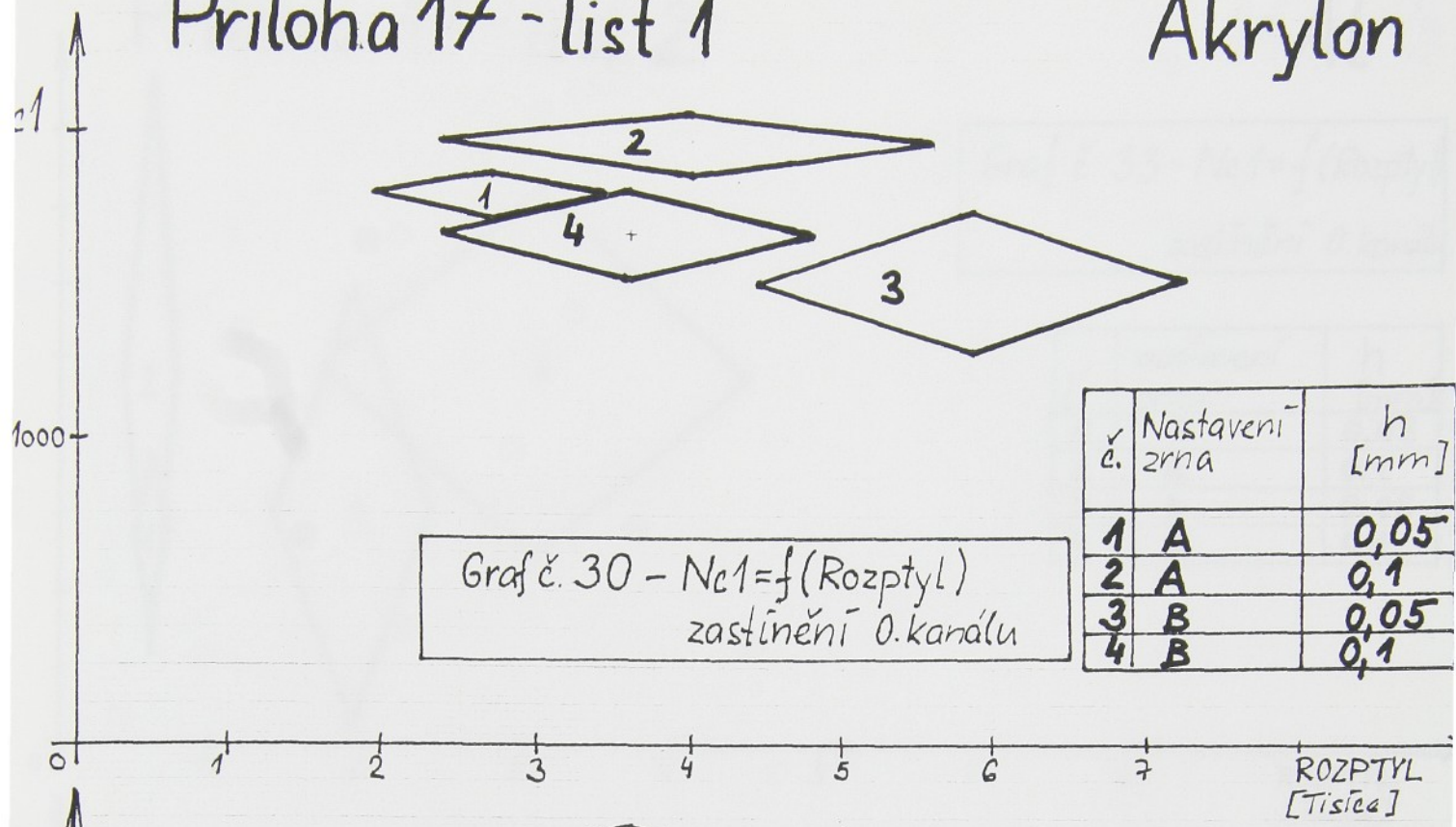
v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna B		h = 0,1 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1637	136	234,6	10,8	2534	1065
Al	509	256	93,3	16,6	2989	1348
11375	617	320	76,8	17,6	2033	2033
12050	1464	270	81,7	16,8	2621	1517
14320	569	379	175,1	11,5	2248	1177
19312	222	236	75,6	45,4	2768	2951
422420	1900	204	79,5	5,3	1475	305

Tab.19 - Počet překmitů signálu AE,těžiště plochy a rozptyl AE a jejich směrodatné odchylky při zastínění 0.- 64.kanálu

v = 0,49 m/s		n = 28 ot/min		s = 31 mm/min		
fd = 0,03 MHz		fh = 0,7 MHz		zesílení 0.dB		
nastavení zrna B		h = 0,1 mm				
Materiál	Nc1	s (Nc1)	T	s (T)	Rozptyl	s (Rozptyl)
Akrylon	1582	142	239,7	8,8	1663	789
Al	336	194	117,1	14,9	2789	1284
11375	301	199	108,4	27,9	1935	1928
12050	731	269	115,7	19,1	2855	1483
14320	269	203	109,4	21,1	2494	2364
19312	93	102	95,4	78,1	2300	1431
422420	1084	182	103,1	4,9	1212	285

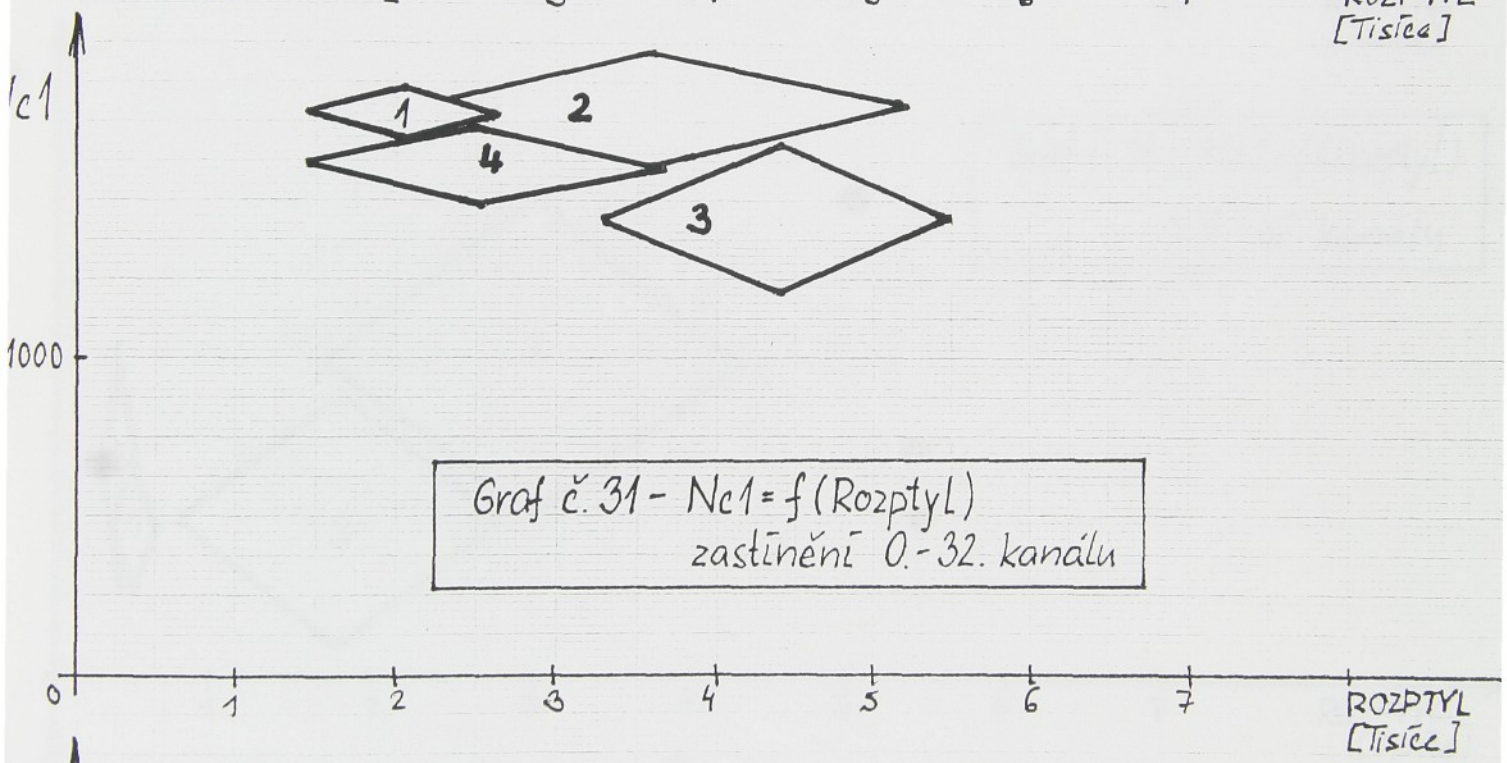
Příloha 17 - list 1

Akrylon

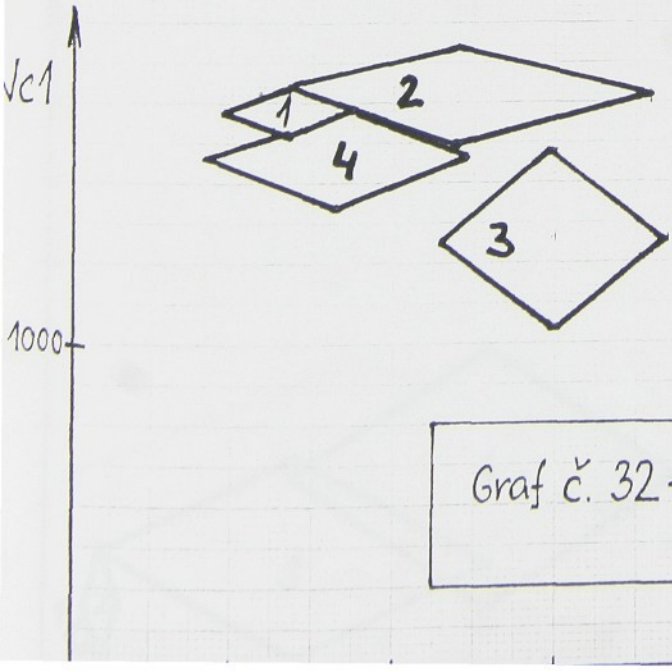


č.	Nastavení zrna	h [mm]
1	A	0,05
2	A	0,1
3	B	0,05
4	B	0,1

Graf č. 30 – Nc1=f(Rozptyl)
zastínění 0. kanálu



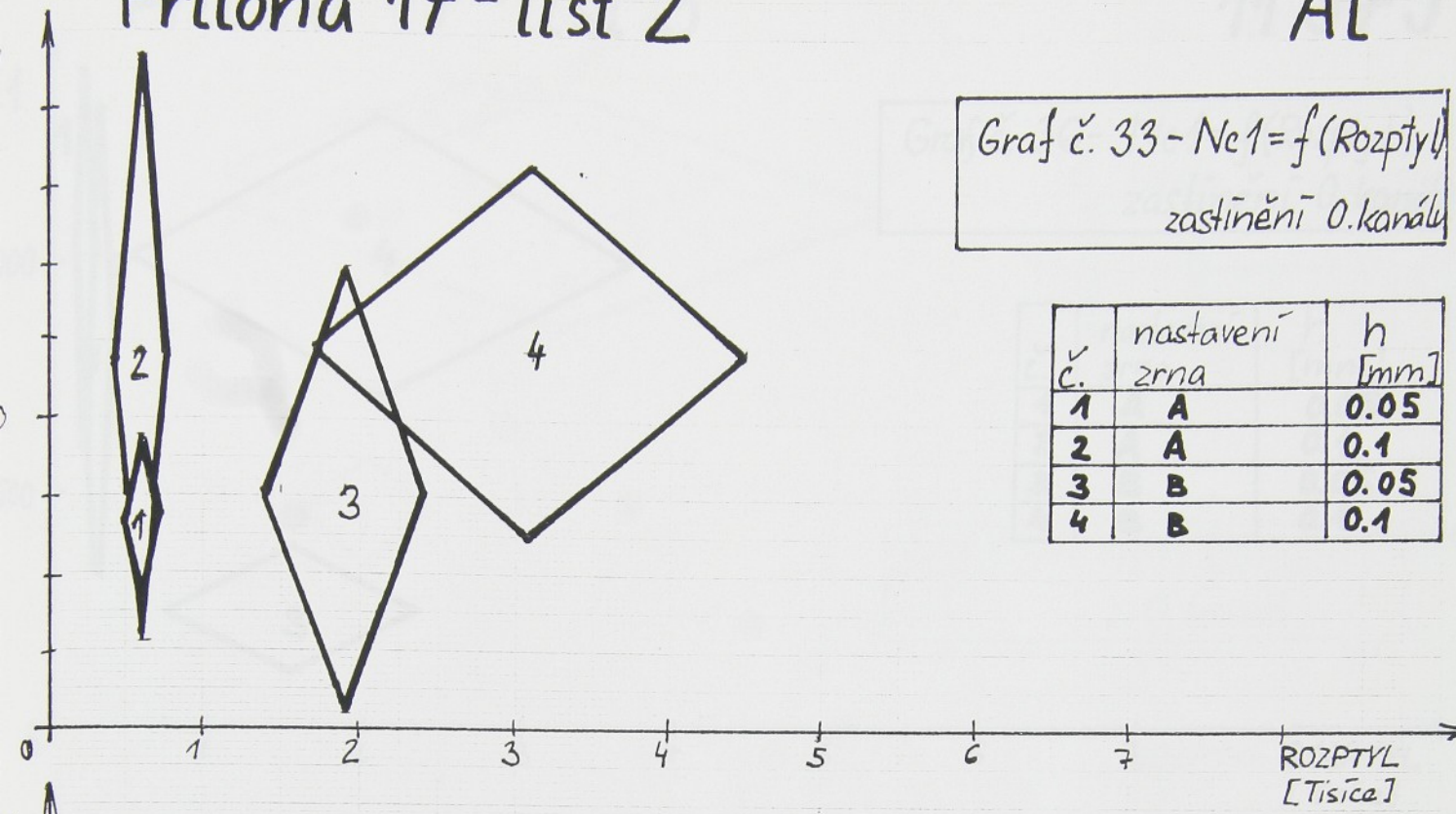
Graf č. 31 – Nc1=f(Rozptyl)
zastínění 0.-32. kanálu



Graf č. 32 – Nc1=f(Rozptyl)
zastínění 0.-64. kanálu

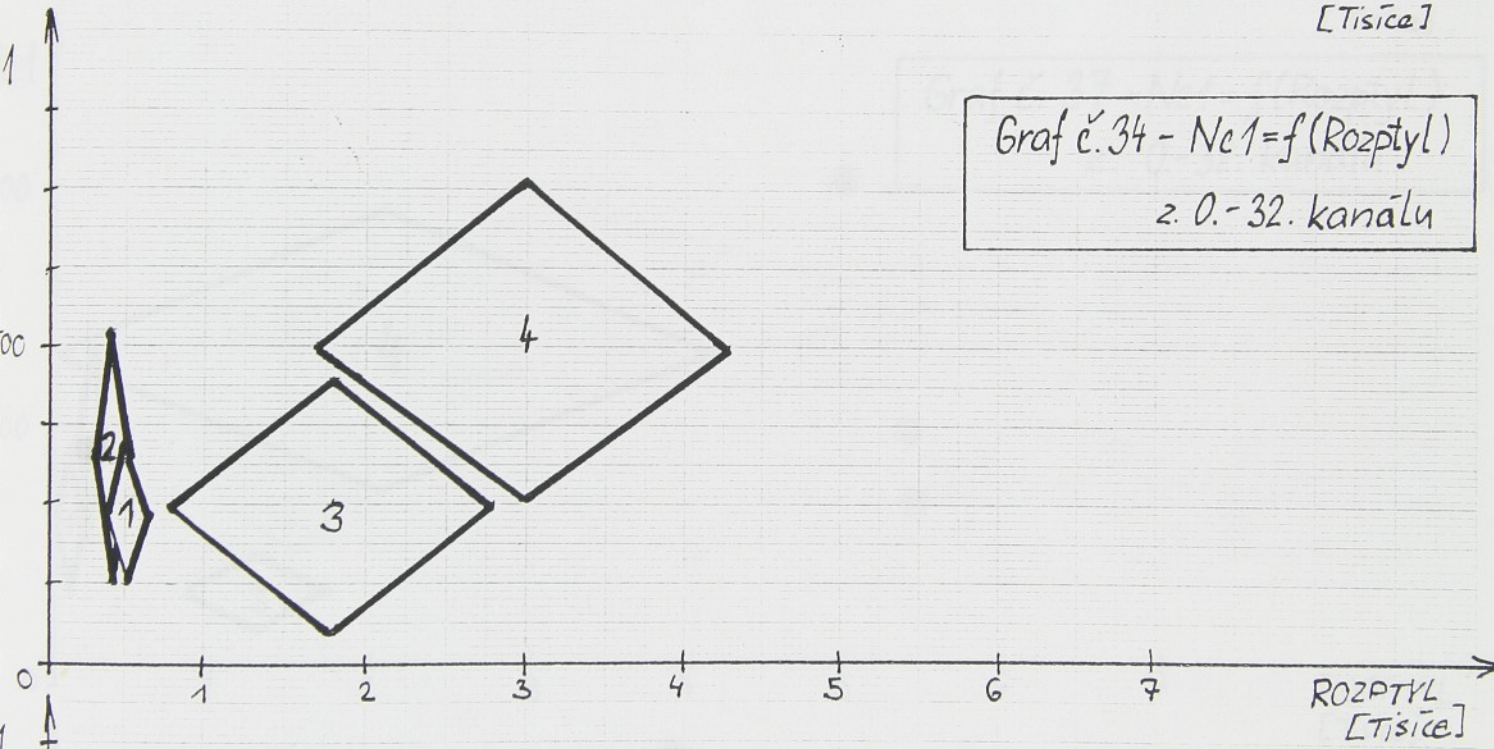
Příloha 17 - list 2

AL

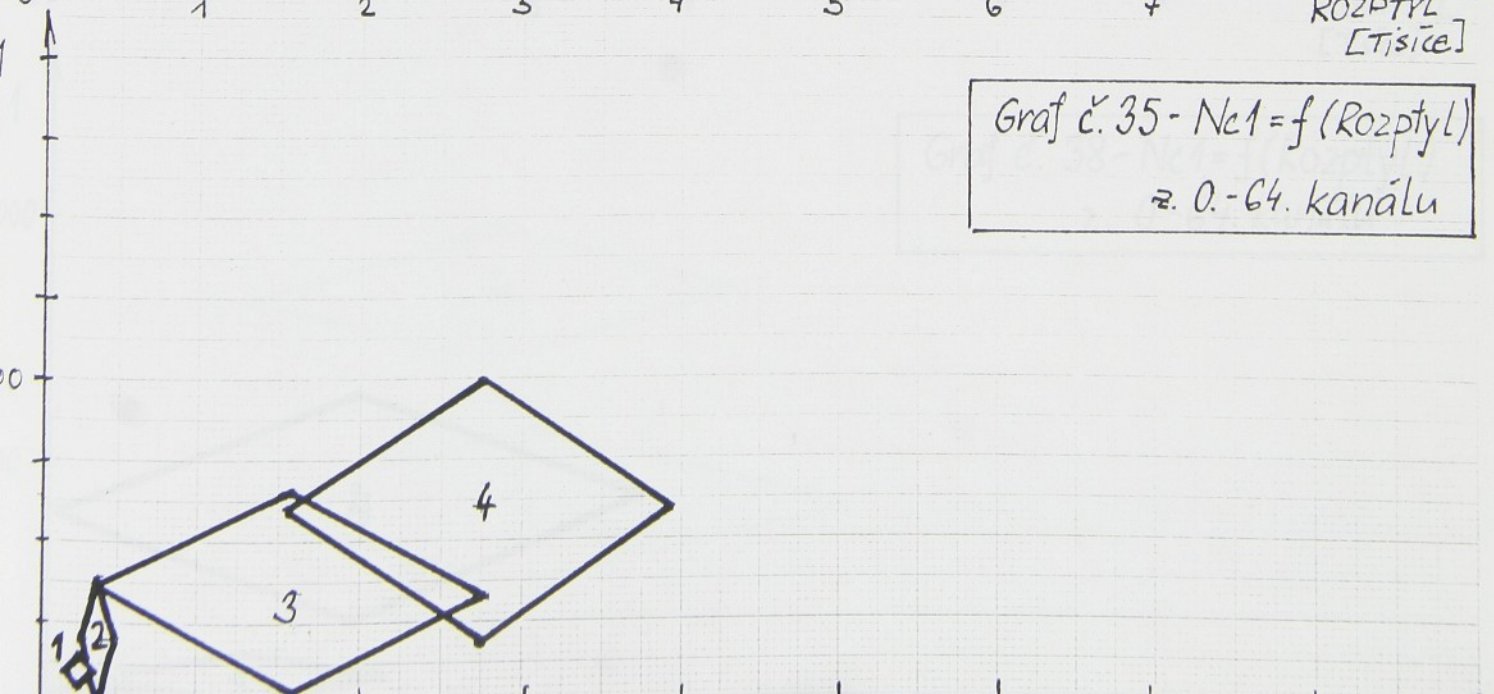


Graf č. 33 - Nc1 = f (Rozptyl)
zastínění 0. kanálu

č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



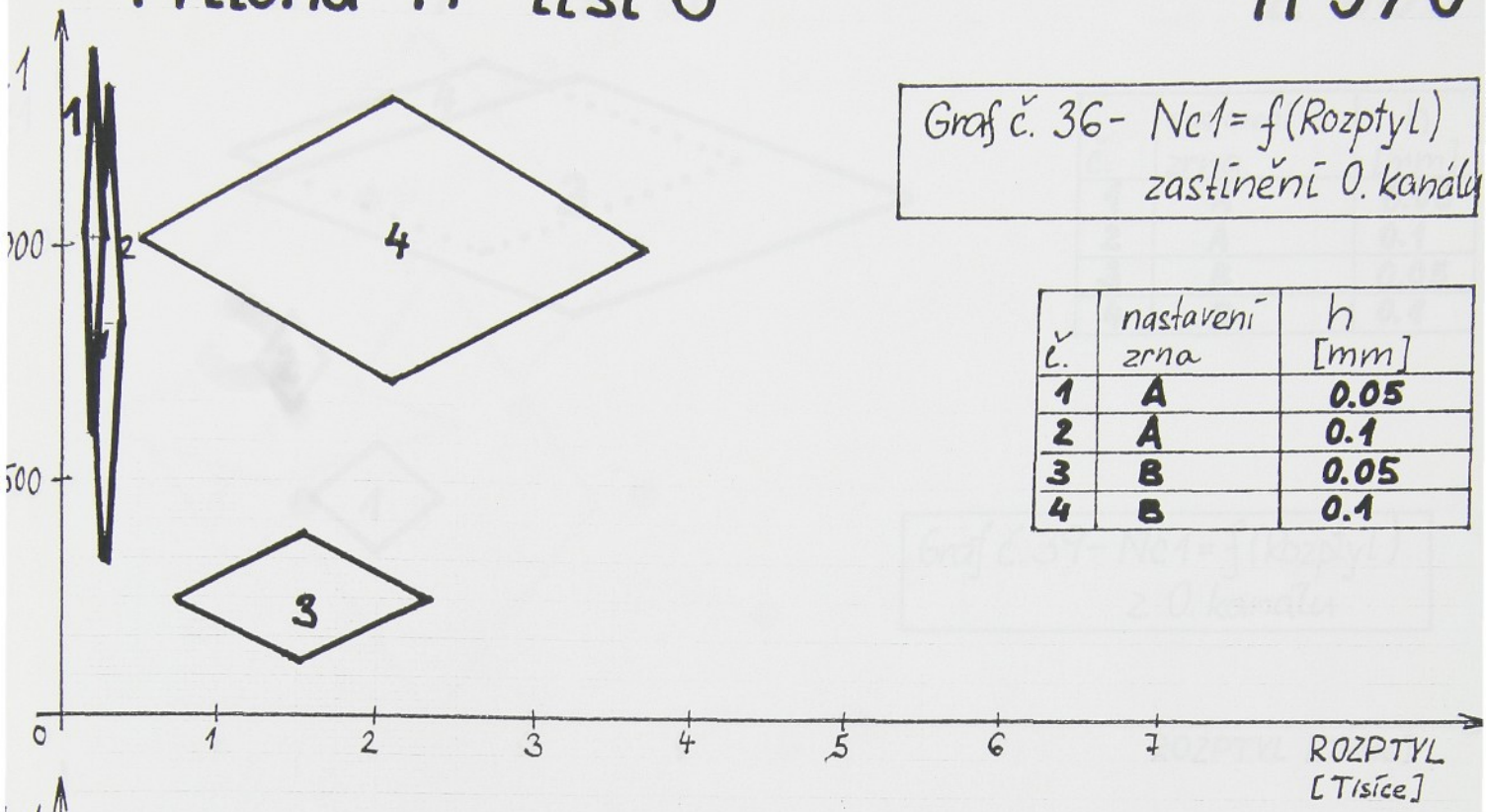
Graf č. 34 - Nc1 = f (Rozptyl)
z. 0. - 32. kanálu



Graf č. 35 - Nc1 = f (Rozptyl)
z. 0. - 64. kanálu

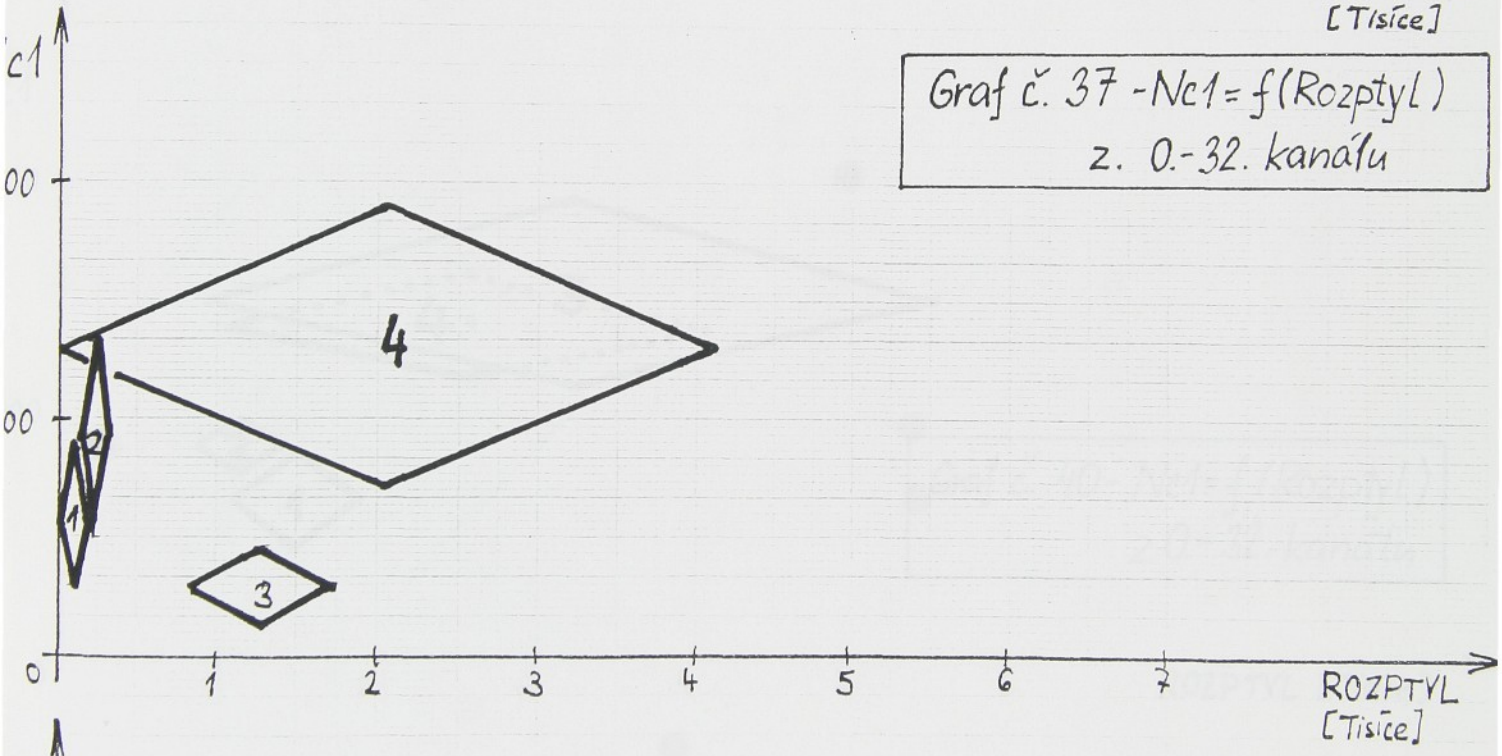
Příloha 17 - list 3

11 375

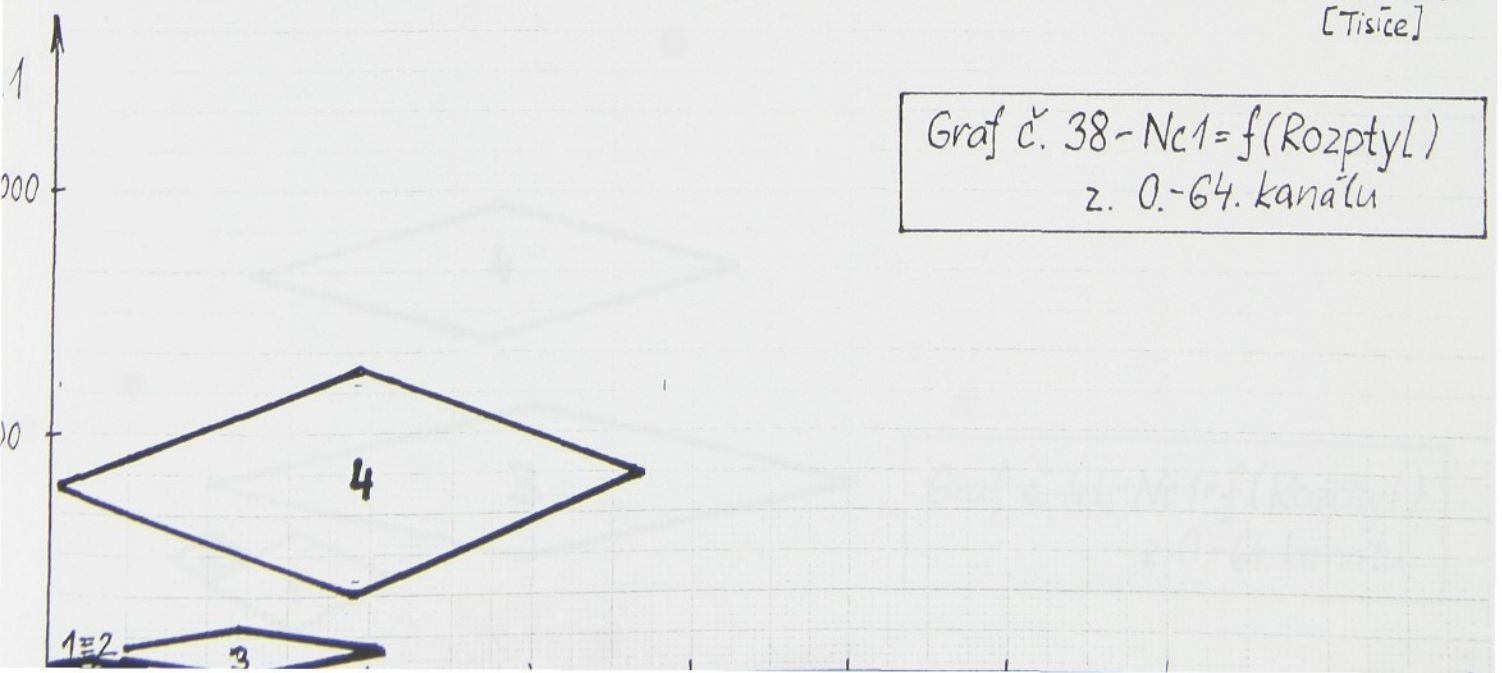


Graf č. 36 - Nc1 = f(Rozptyl)
zastínění 0. kanálu

č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 37 - Nc1 = f(Rozptyl)
z. 0.-32. kanálu

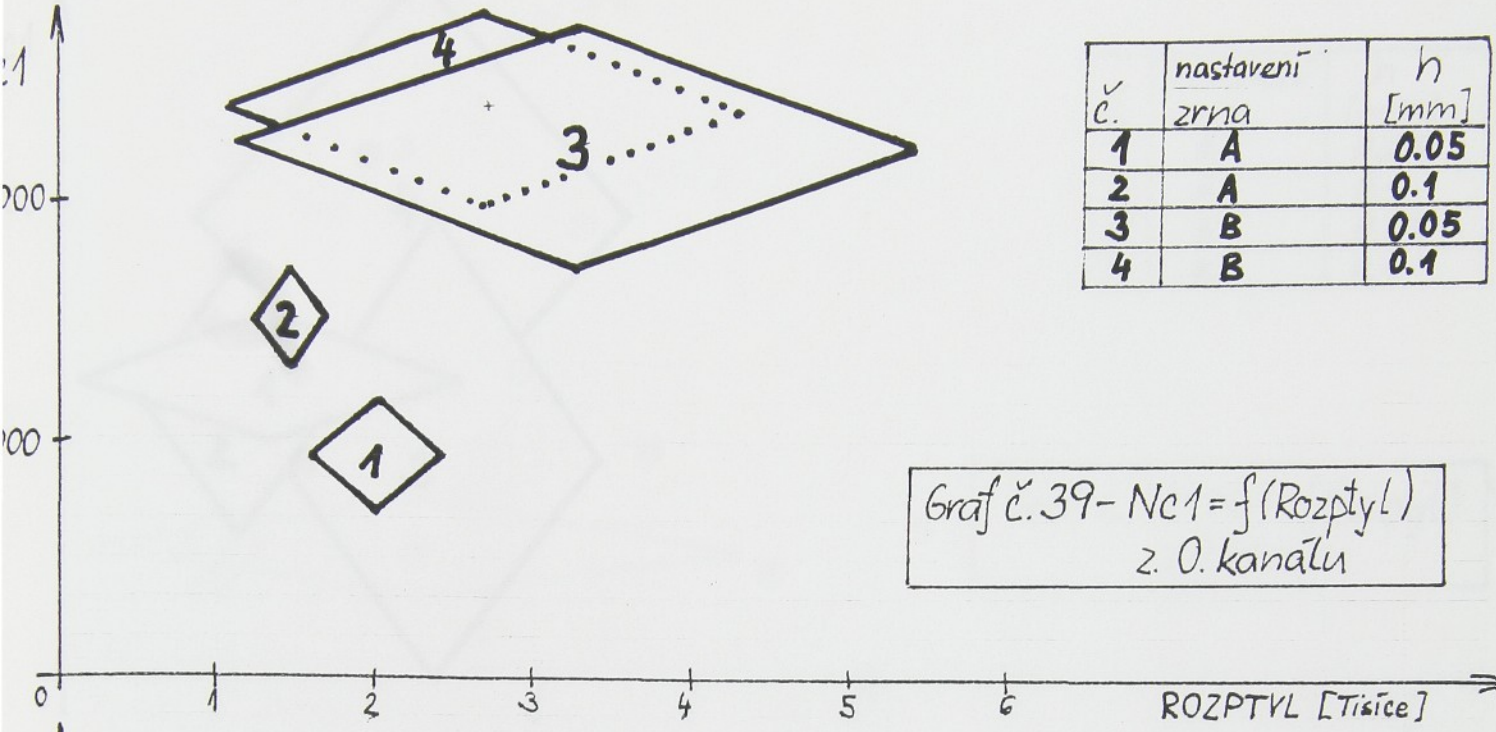


Graf č. 38 - Nc1 = f(Rozptyl)
z. 0.-64. kanálu

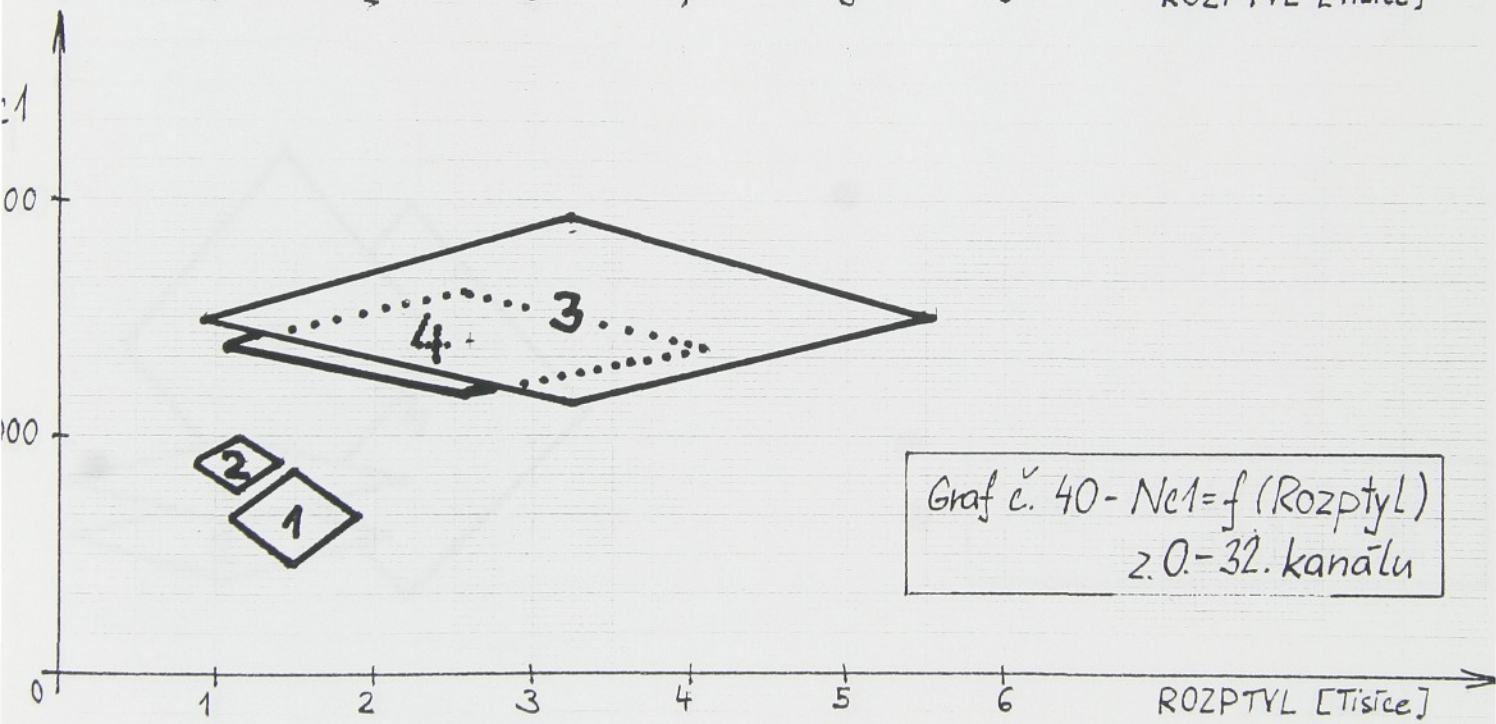
Příloha 17 - list 4

12 050

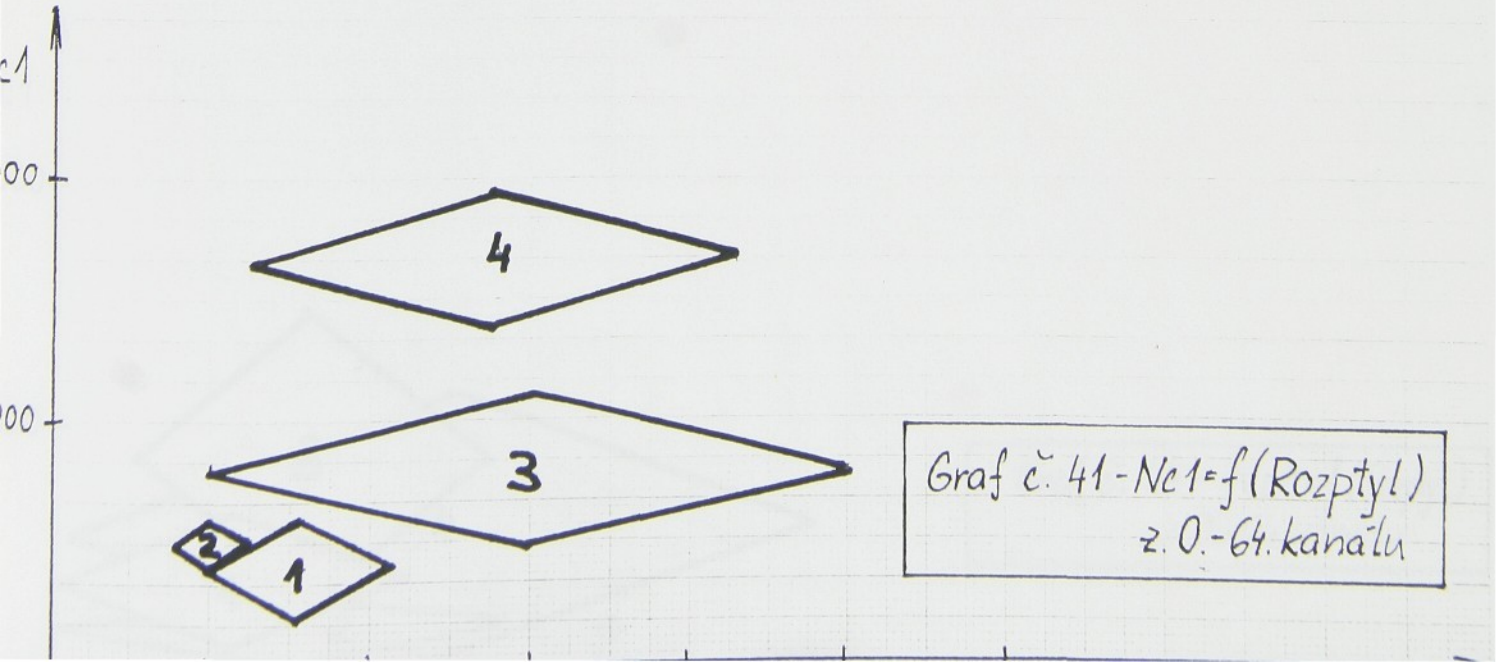
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 39 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 40 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0. - 32. kanálu

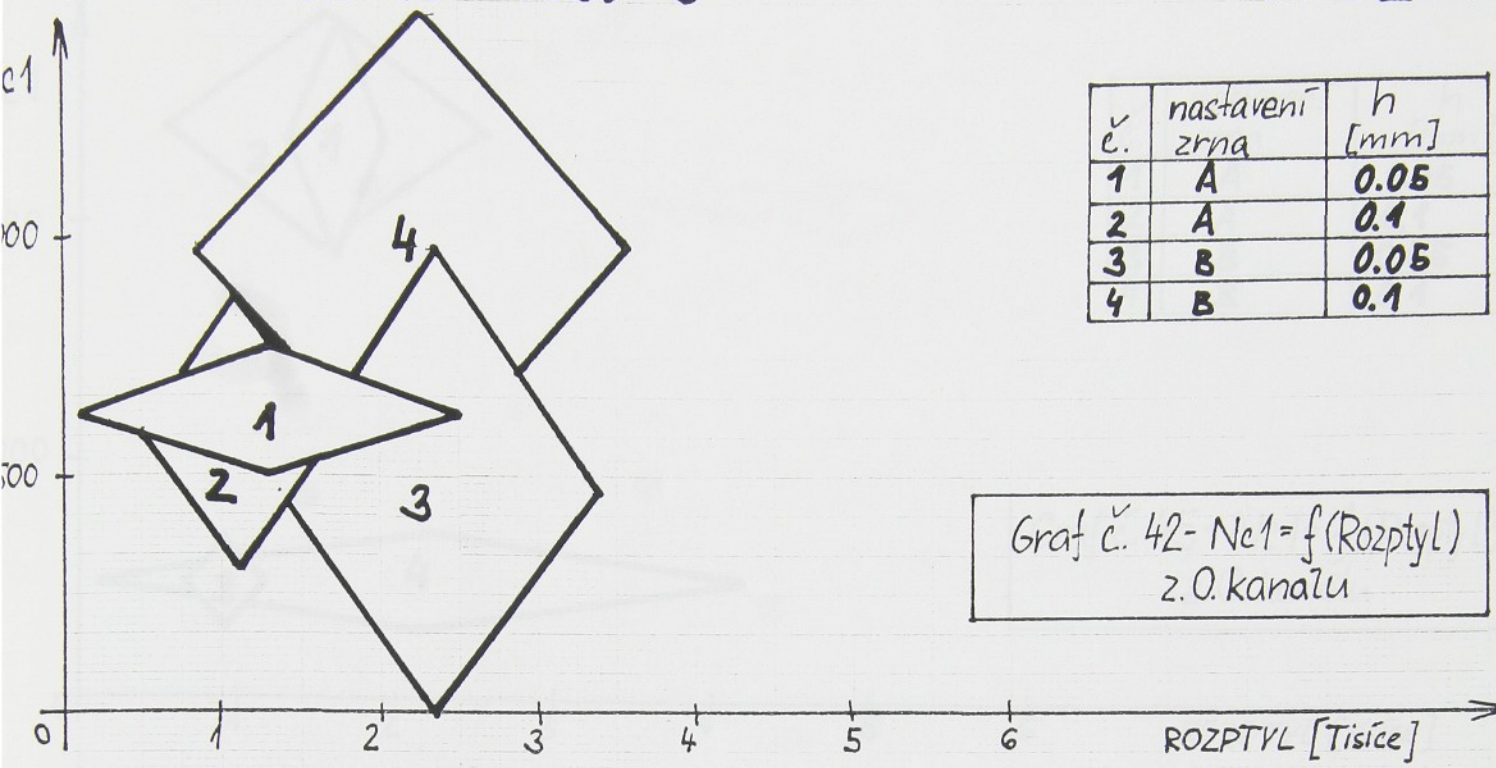


Graf č. 41 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0. - 64. kanálu

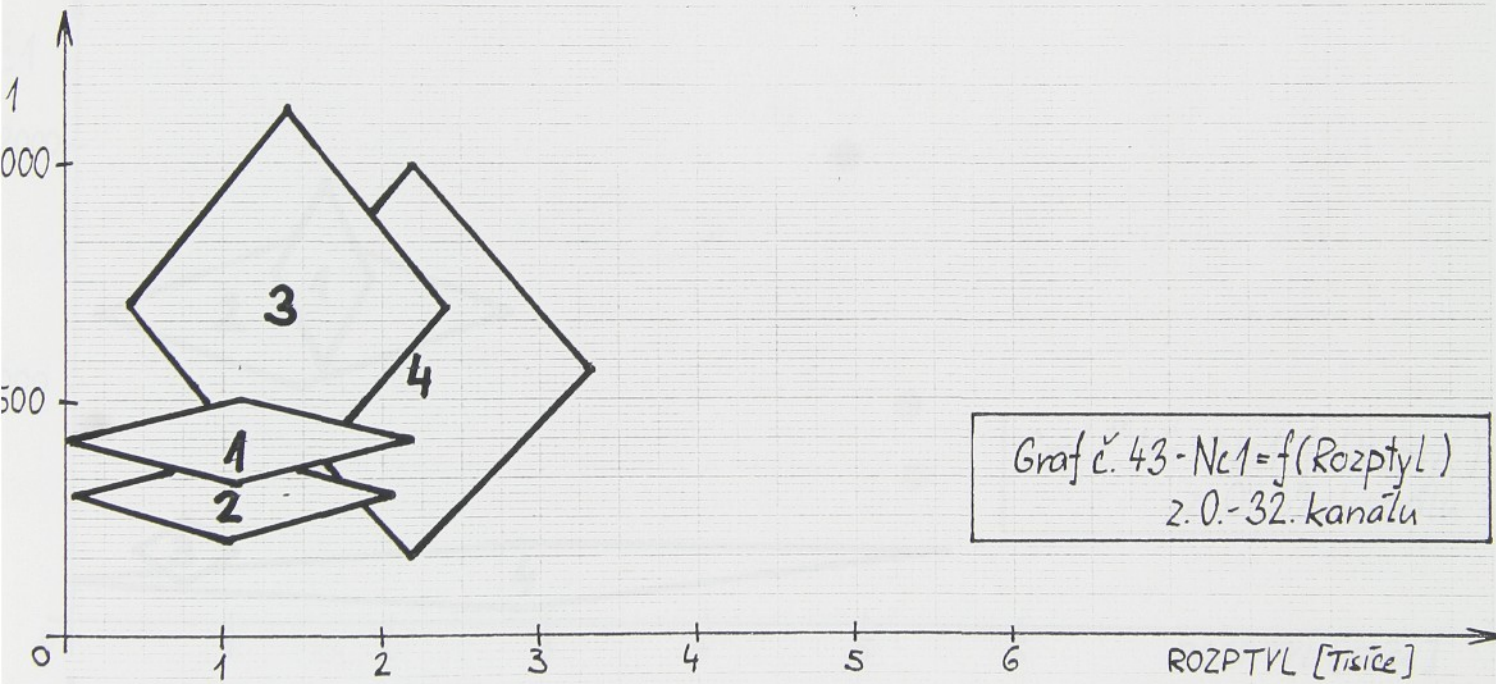
Příloha 17 - list 5

14 320

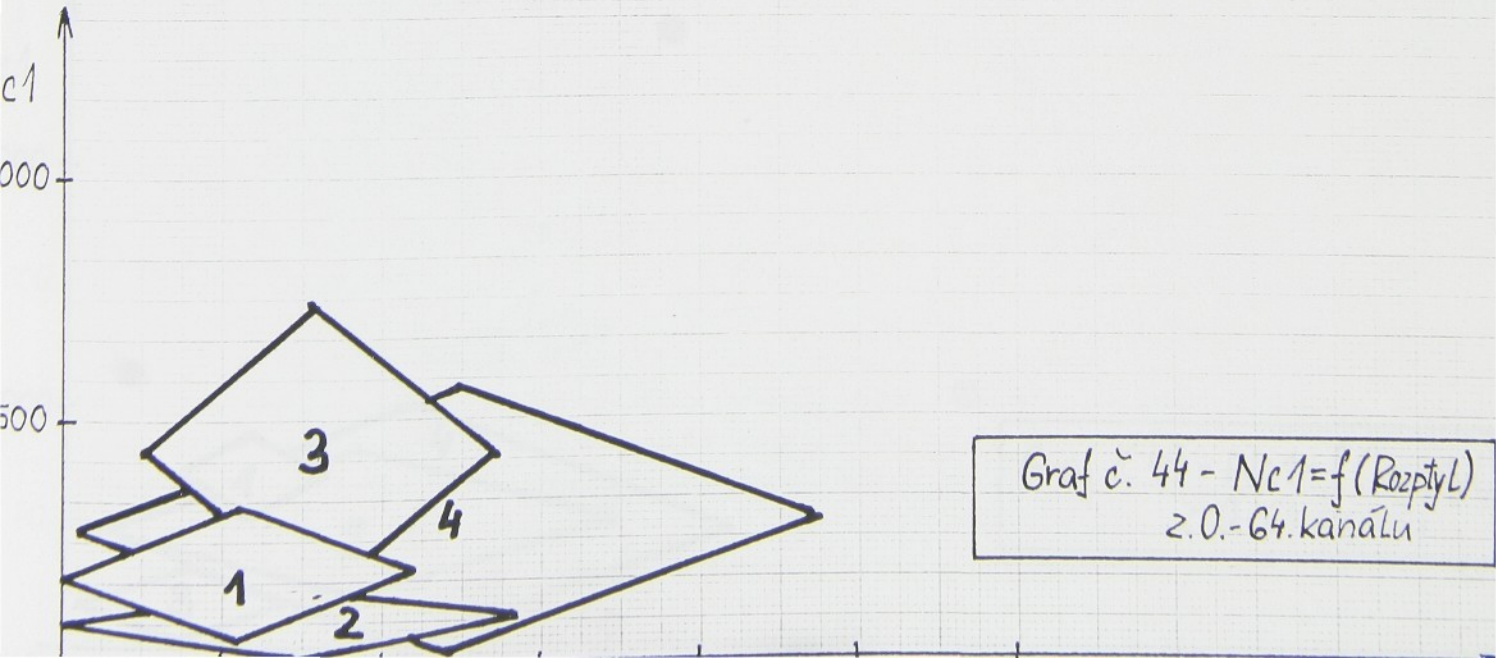
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 42 - Nc1 = f(Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 43 - Nc1 = f(Rozptyl) z. 0. - 32. kanálu

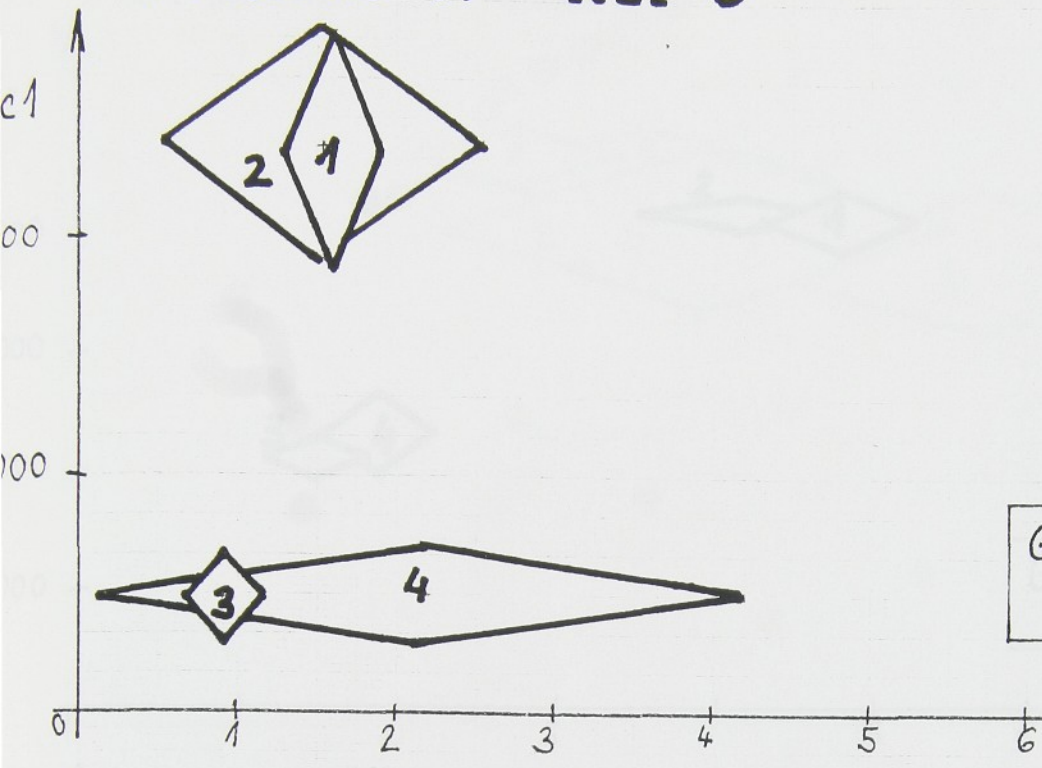


Graf č. 44 - Nc1 = f(Rozptyl) z. 0. - 64. kanálu

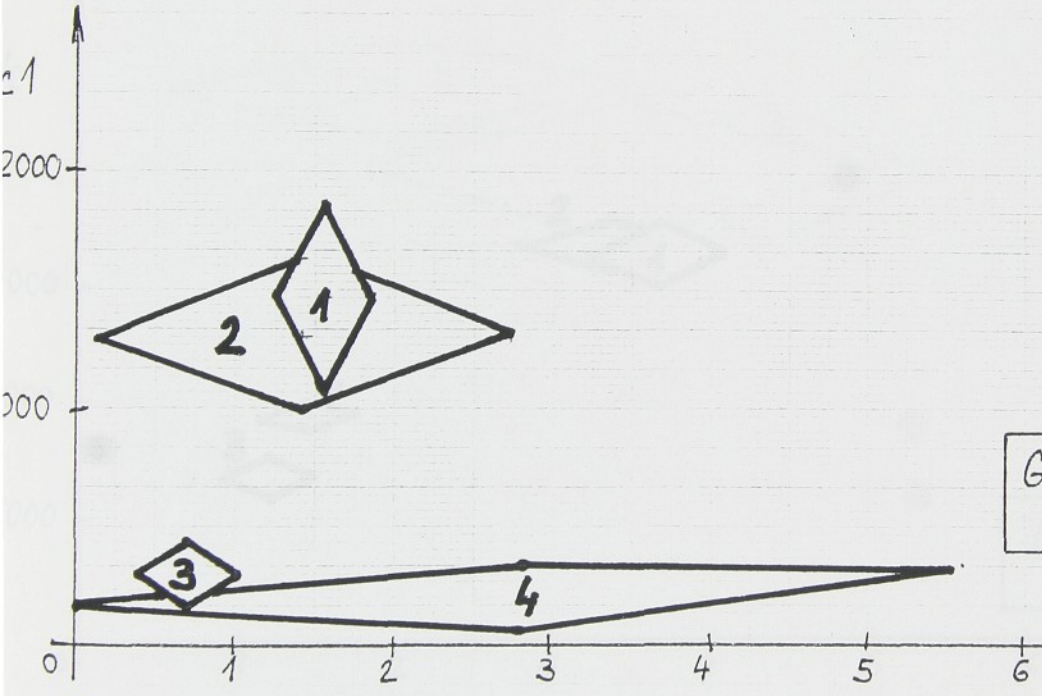
Příloha 17 - list 6

19 312

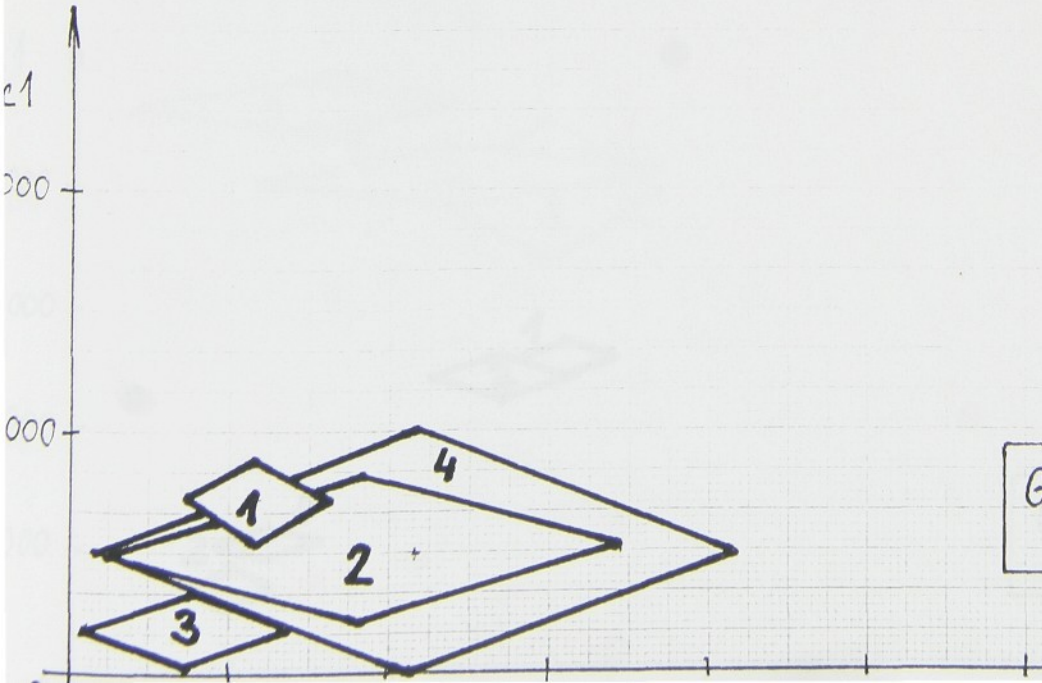
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0,1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 45 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 46 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0.-32. kanálu

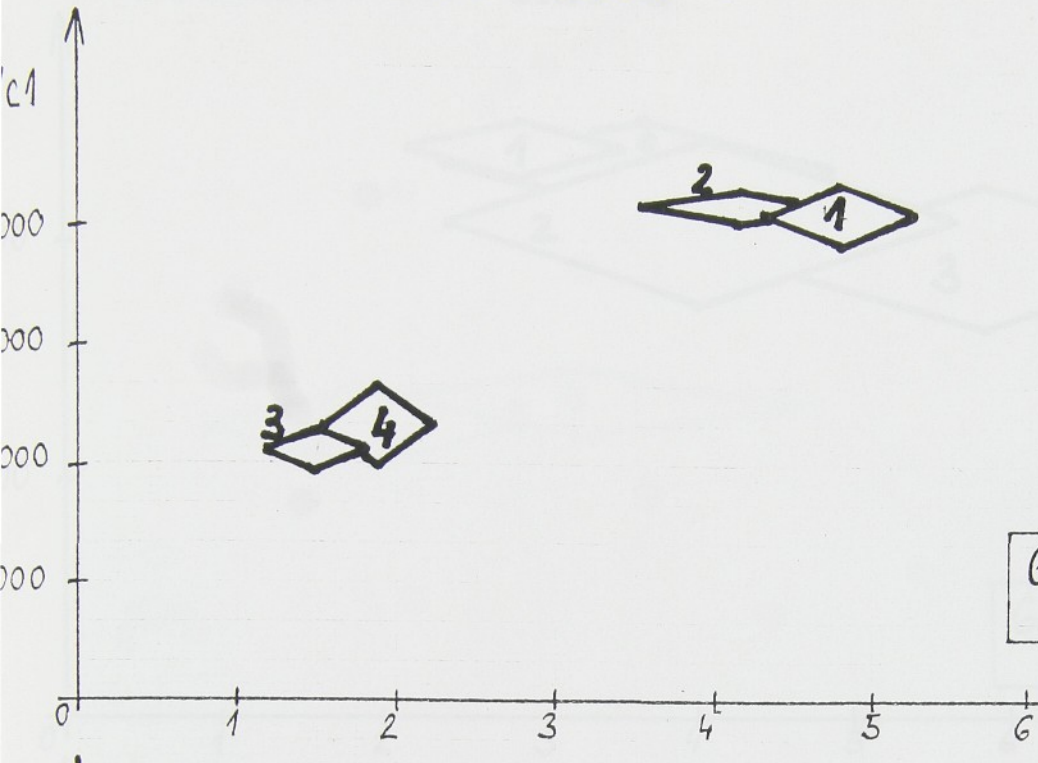


Graf č. 47 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

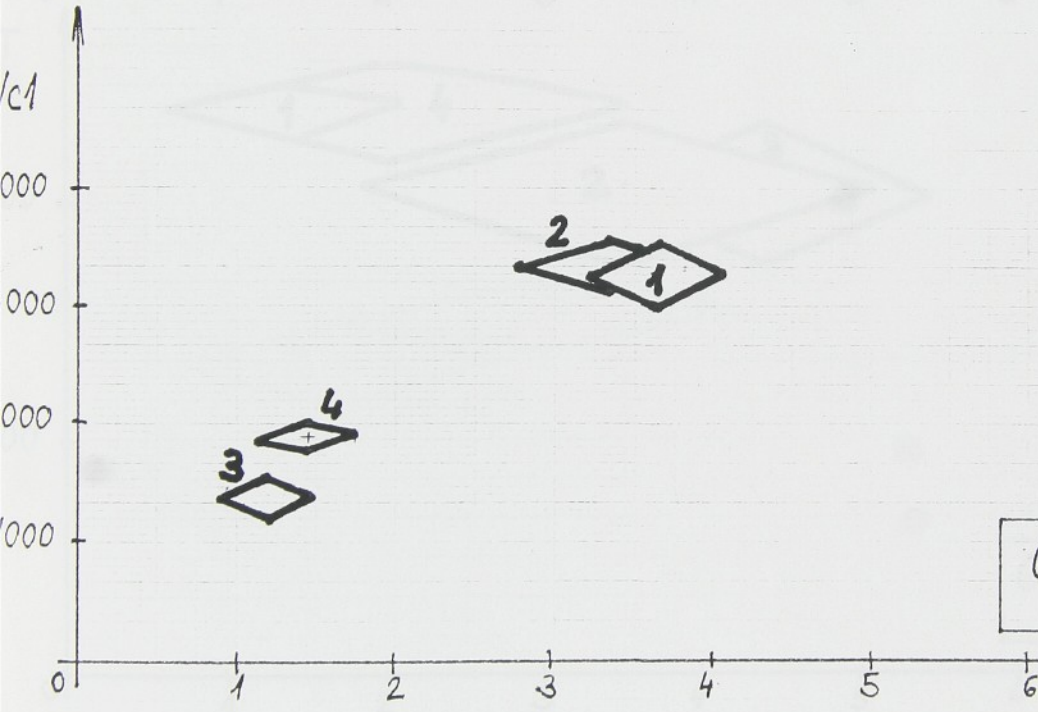
Příloha 17 - list 7

42 2420

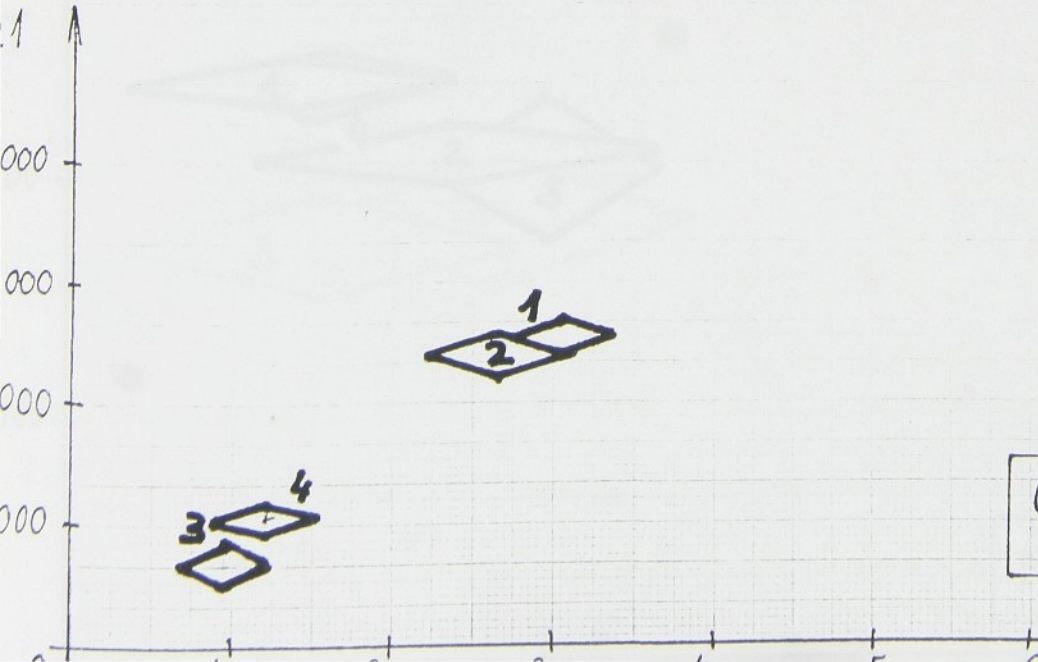
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 48 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0. kanálu



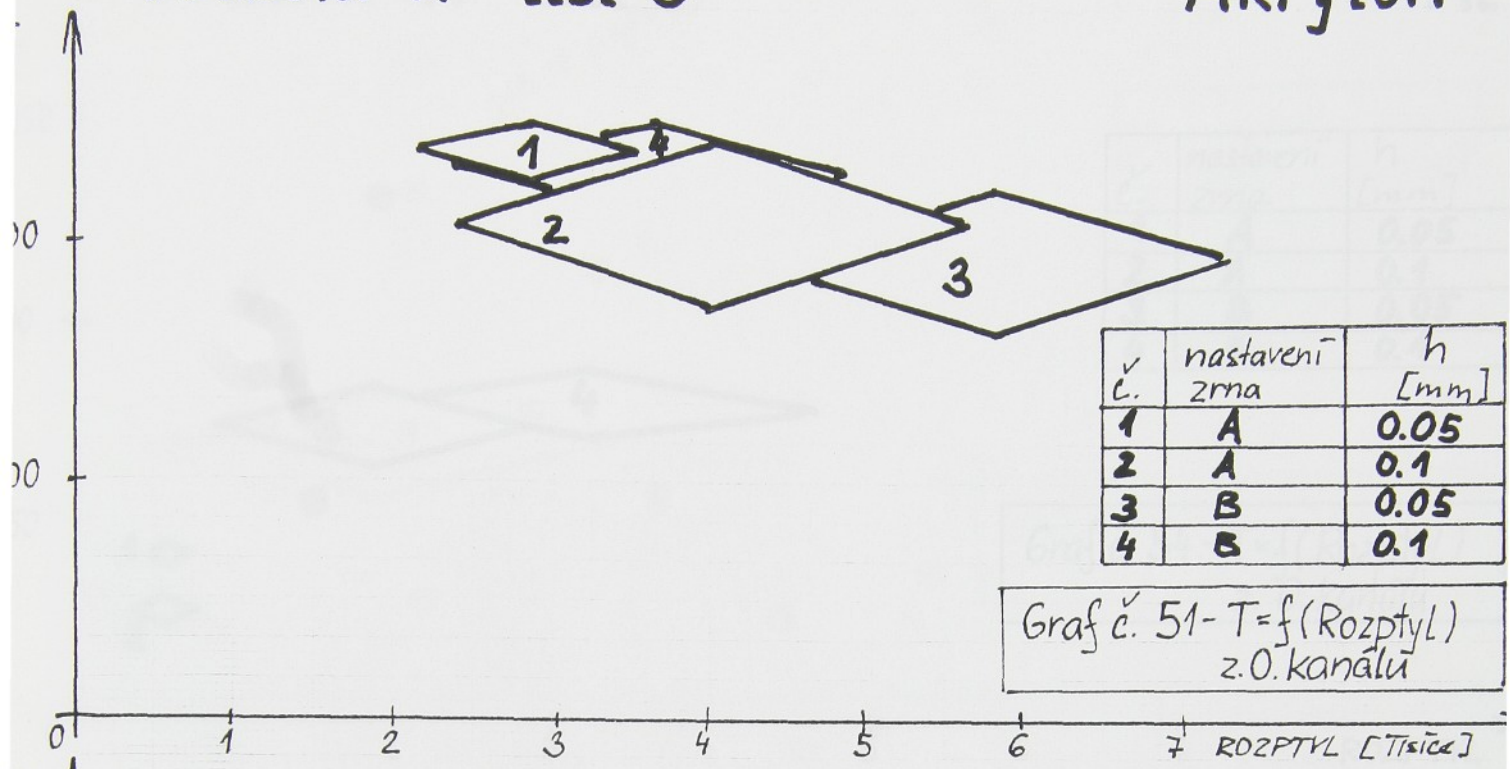
Graf č. 49 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0.-32. kanálu



Graf č. 50 - Nc1 = f (Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

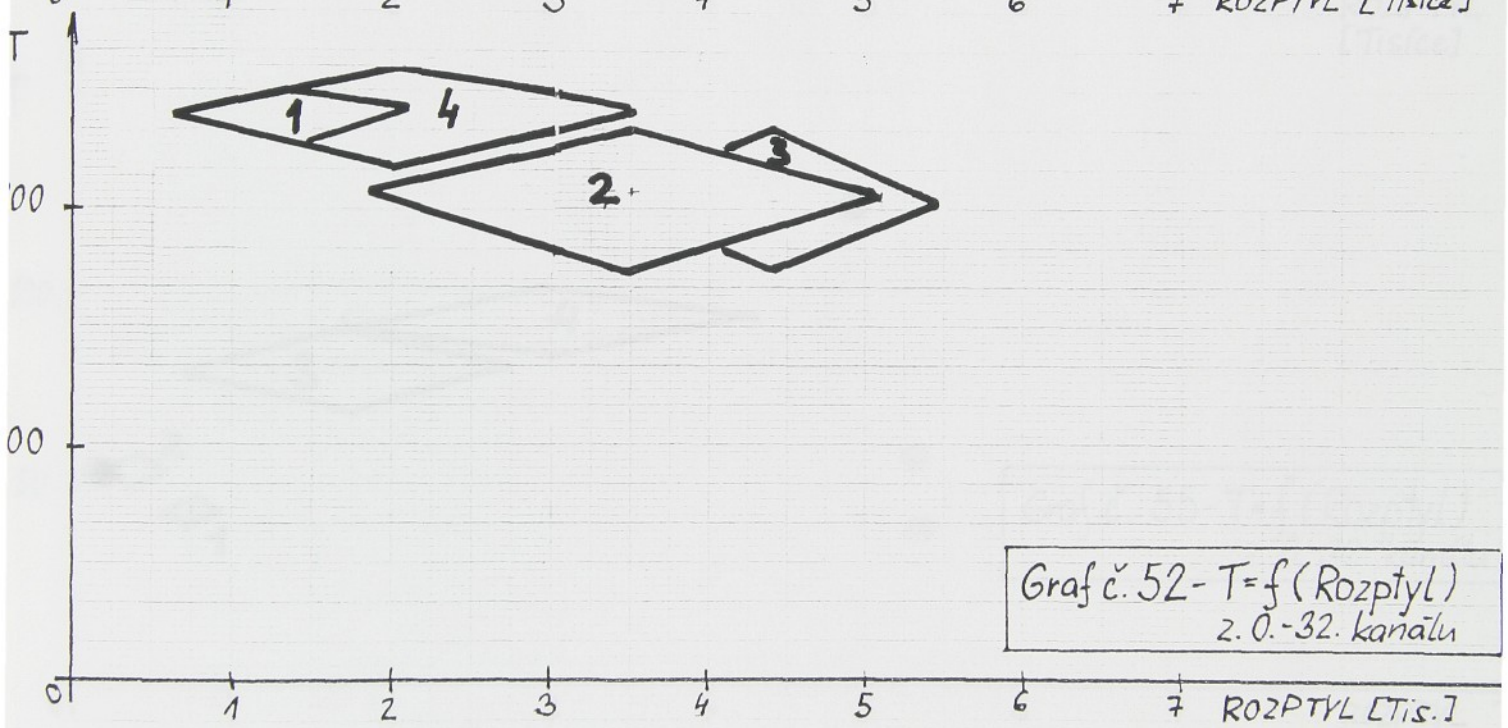
Příloha 17 - list 8

Akrylon

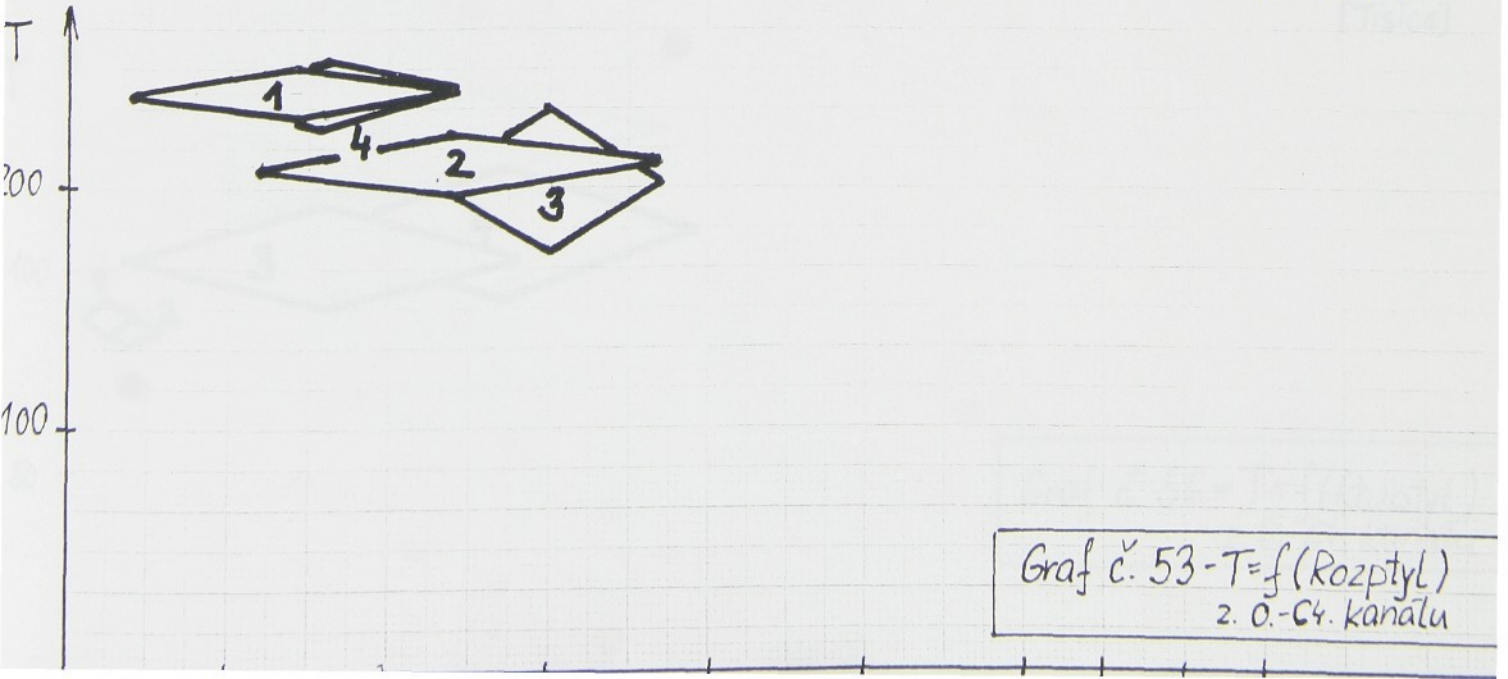


č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1

Graf č. 51 - T=f(Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 52 - T=f(Rozptyl) z. 0.-32. kanálu

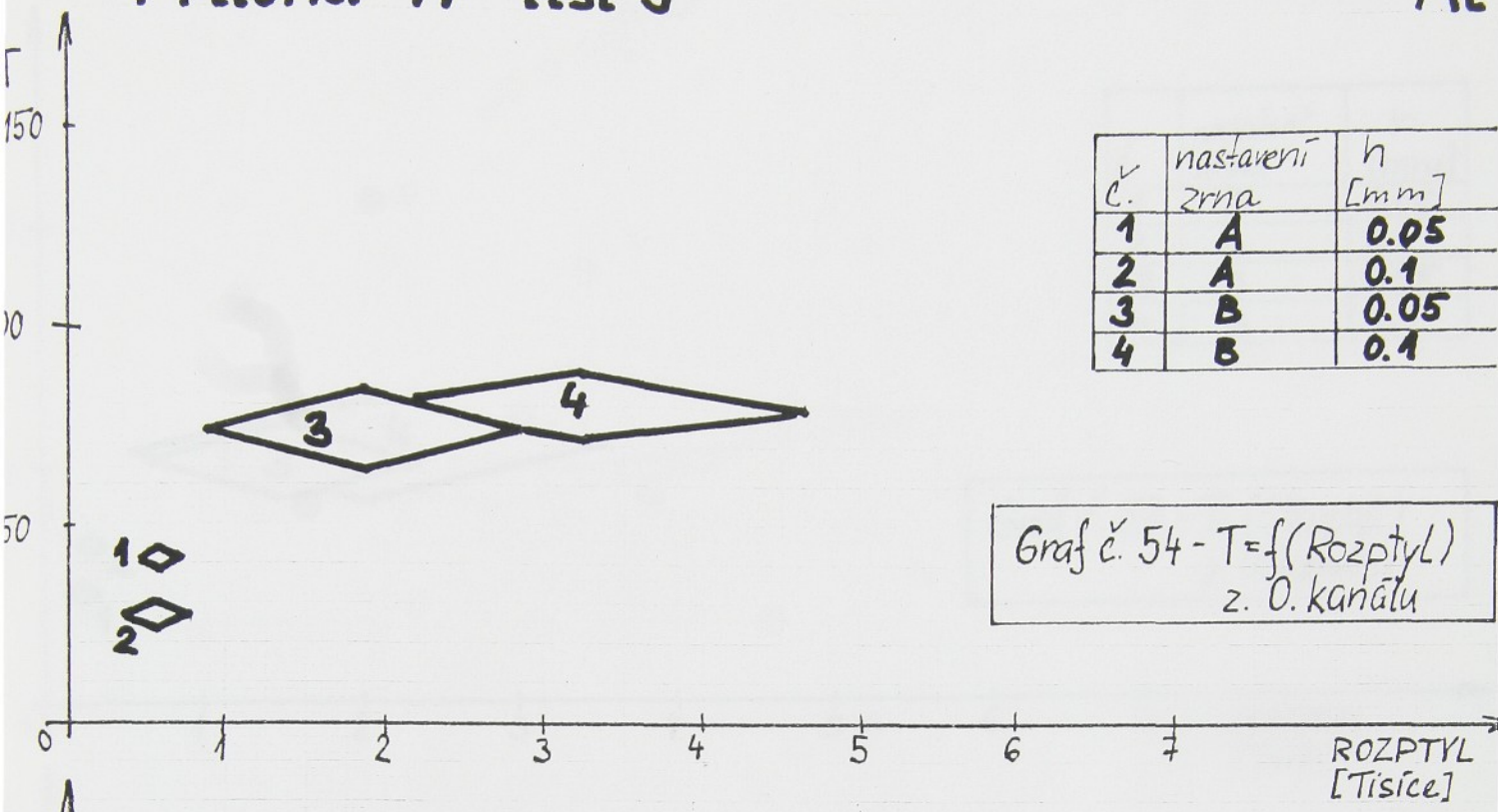


Graf č. 53 - T=f(Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

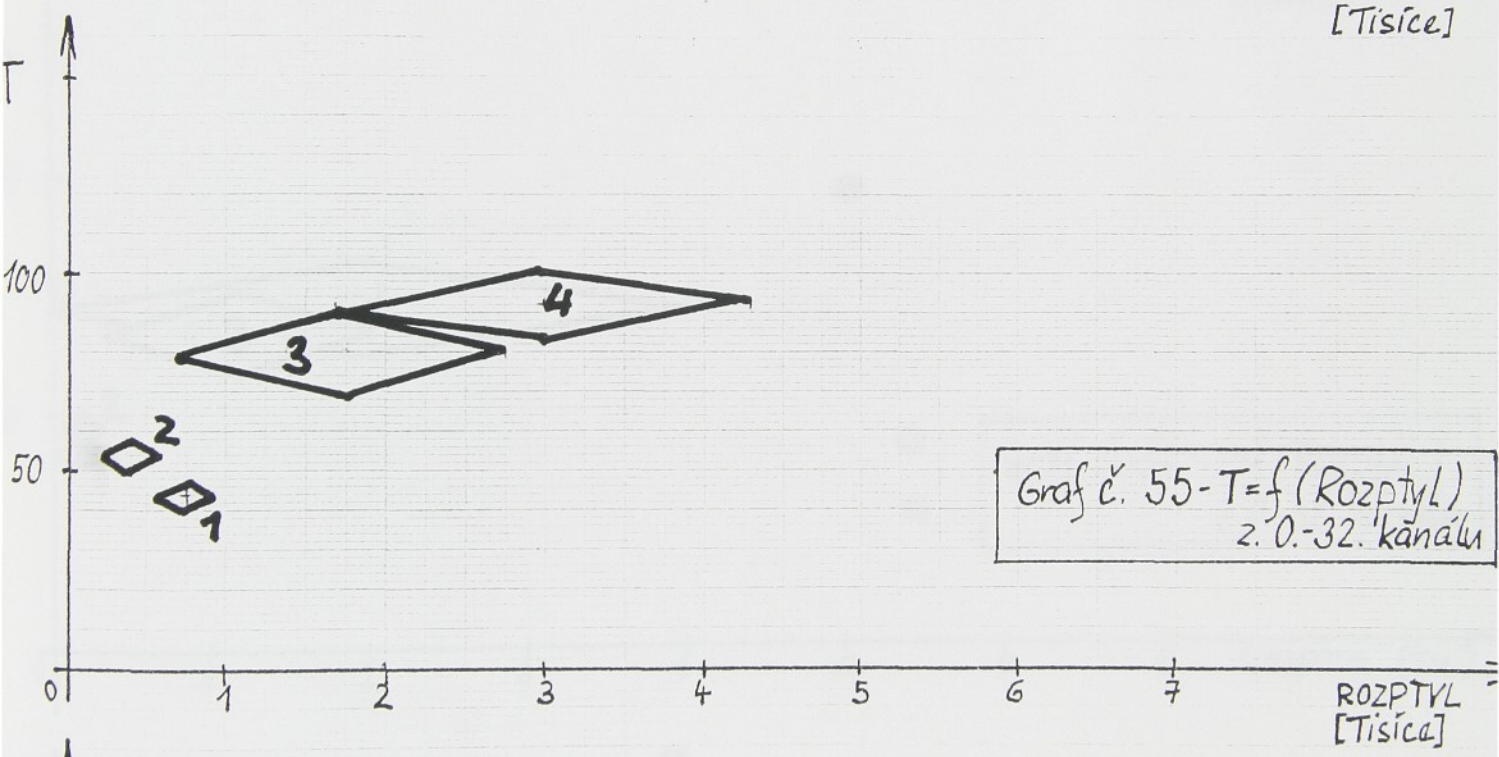
Příloha 17 - list 9

AL

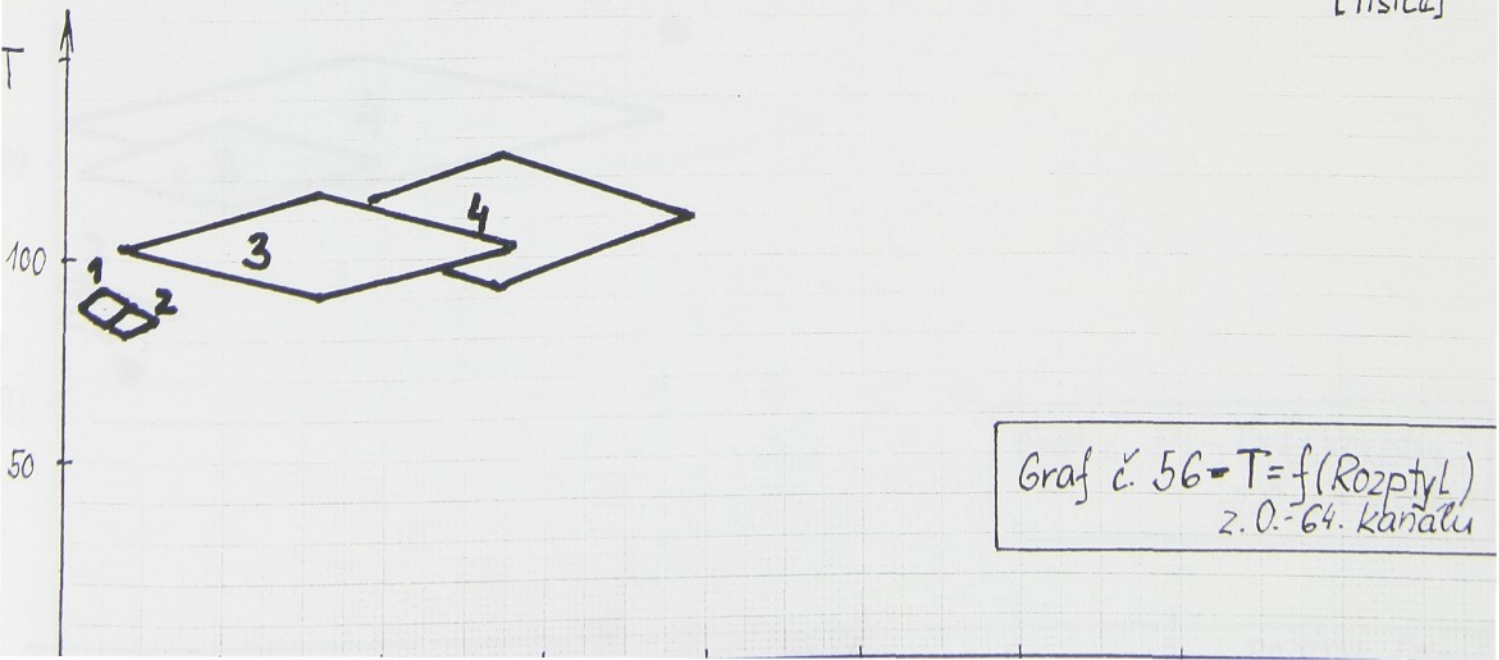
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 54 - T=f(Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 55 - T=f(Rozptyl) z. 0.-32. kanálu

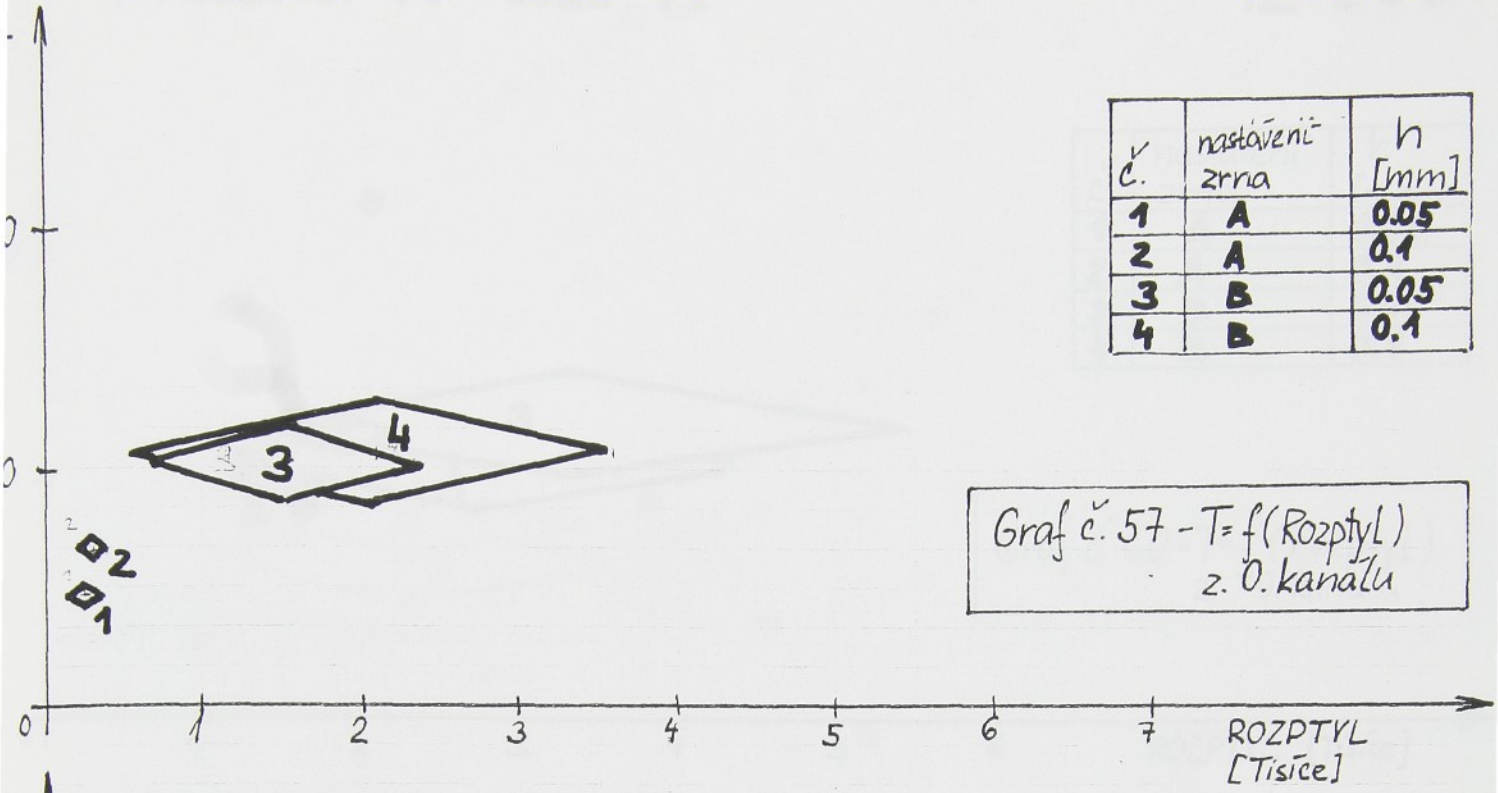


Graf č. 56 - T=f(Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

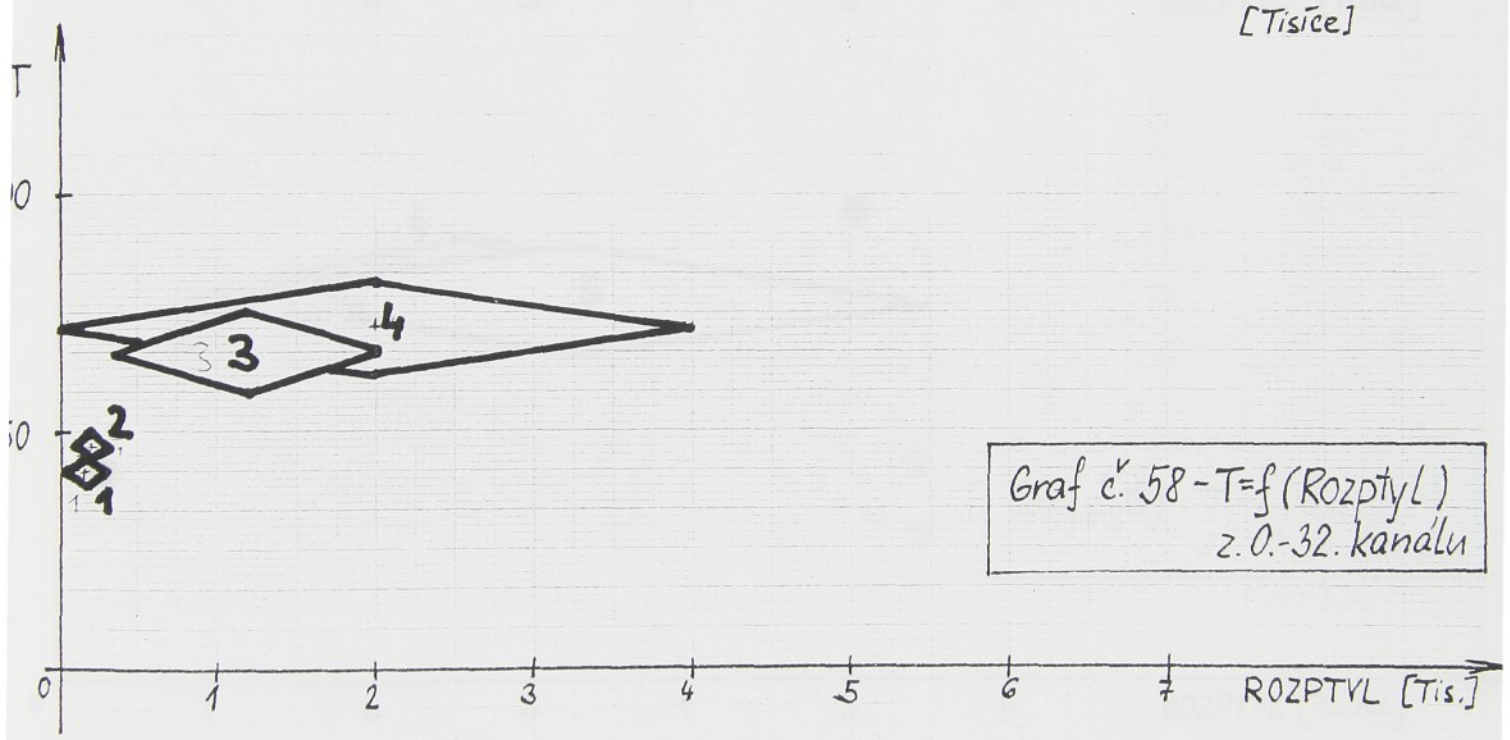
Příloha 17 - list 10

11 375

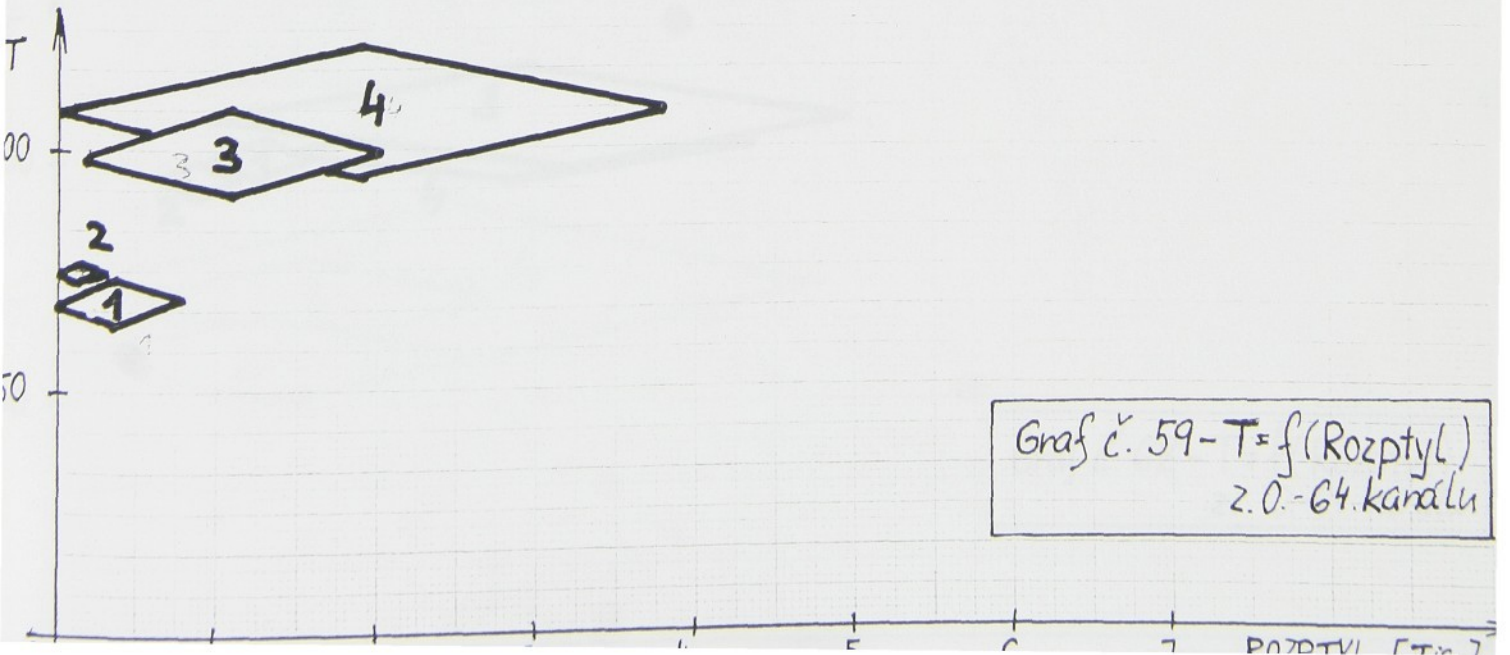
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 57 - T=f(Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 58 - T=f(Rozptyl) z. 0.-32. kanálu

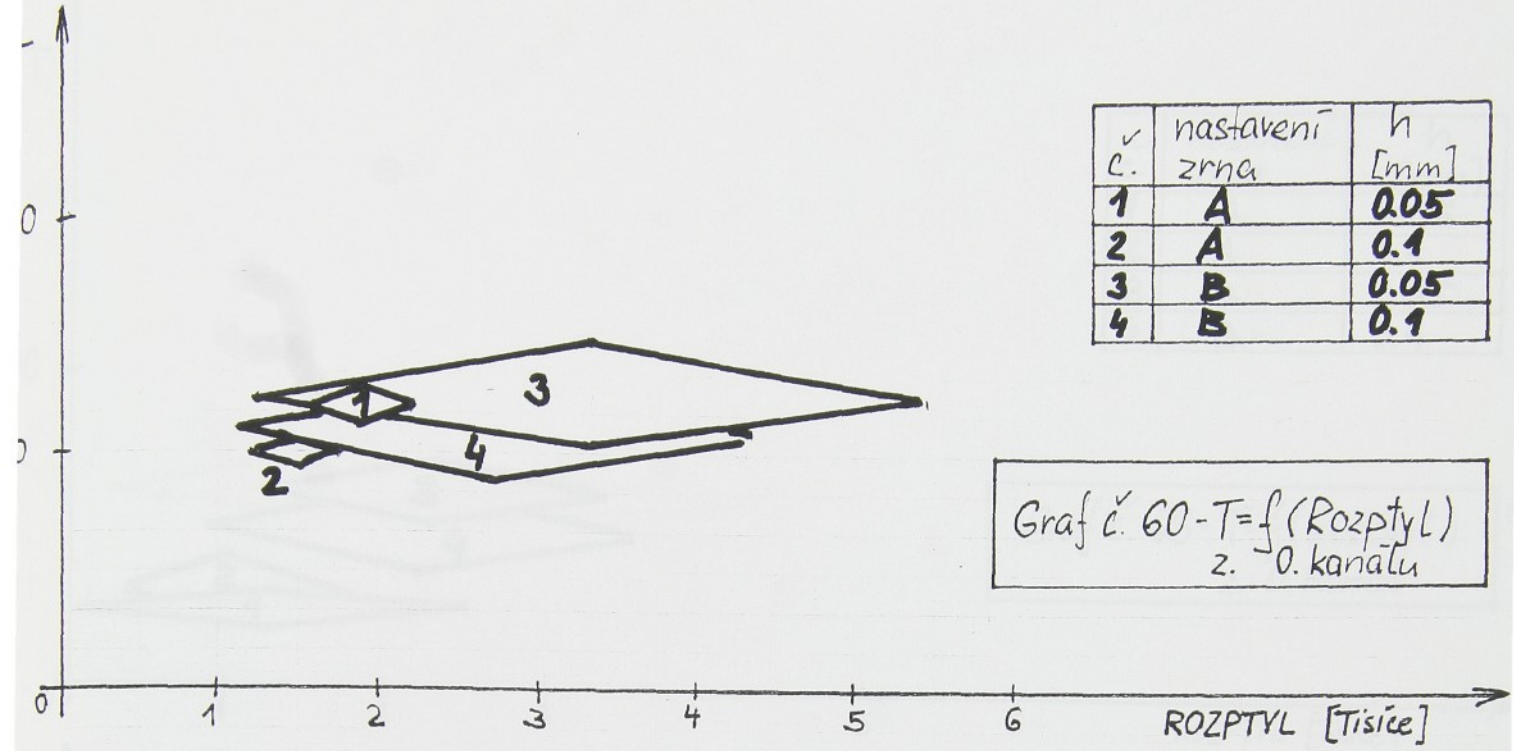


Graf č. 59 - T=f(Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

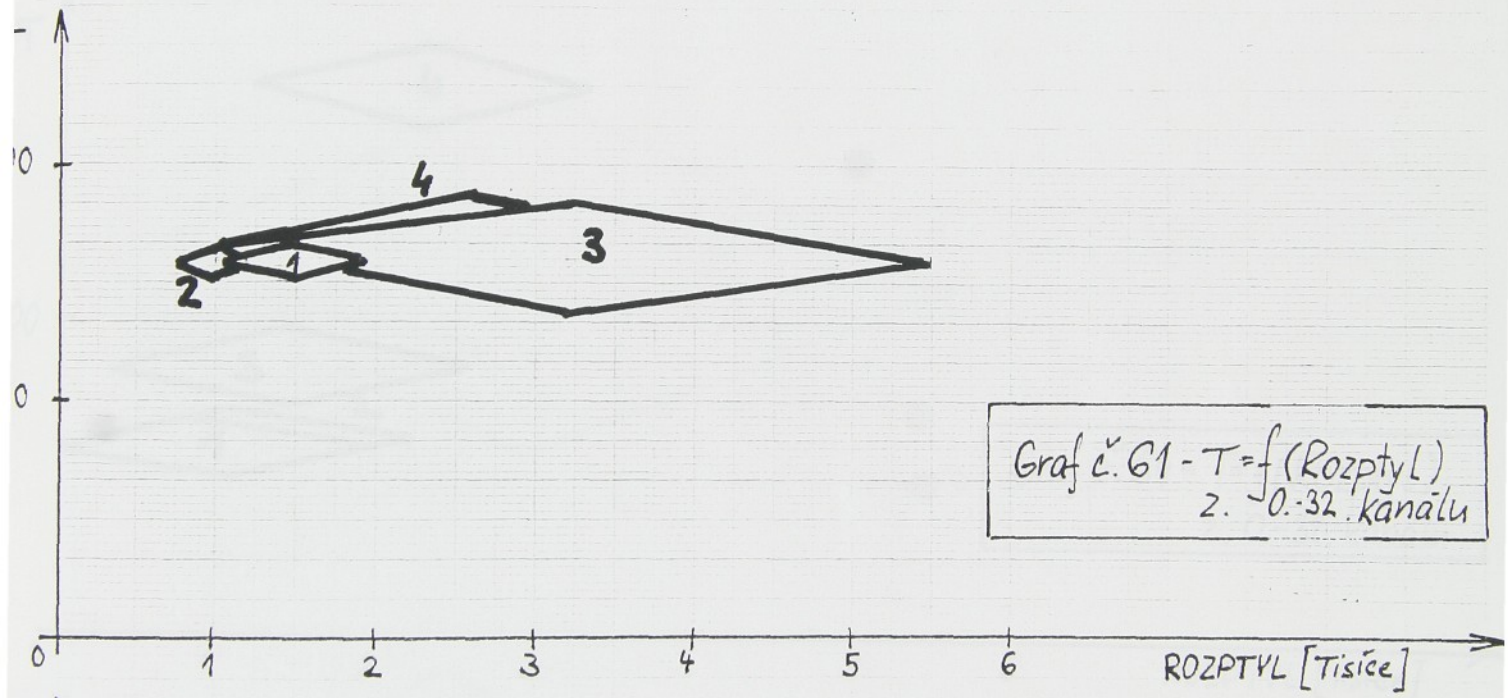
Příloha 17 - list 11

12 050

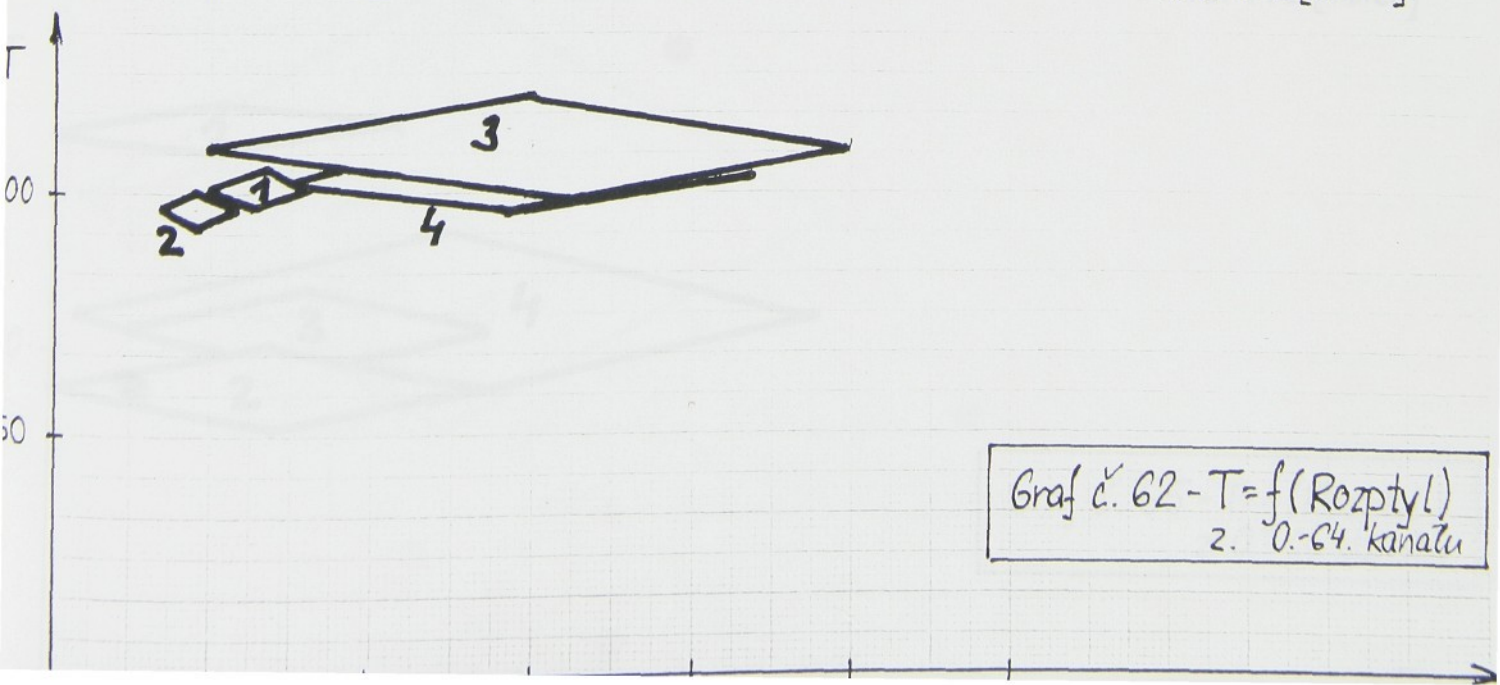
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 60 - T = f (Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 61 - T = f (Rozptyl) z. 0.-32. kanálu

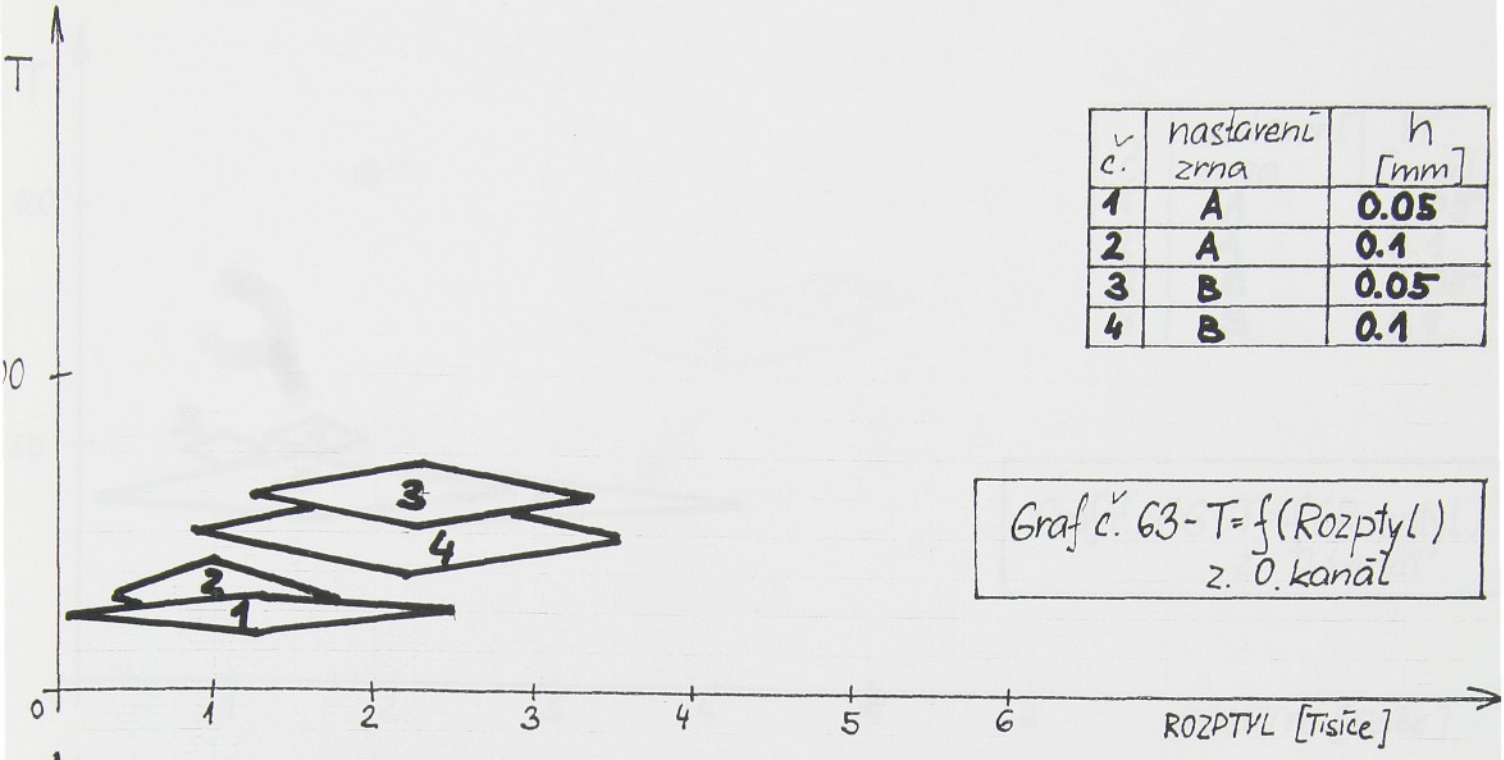


Graf č. 62 - T = f (Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

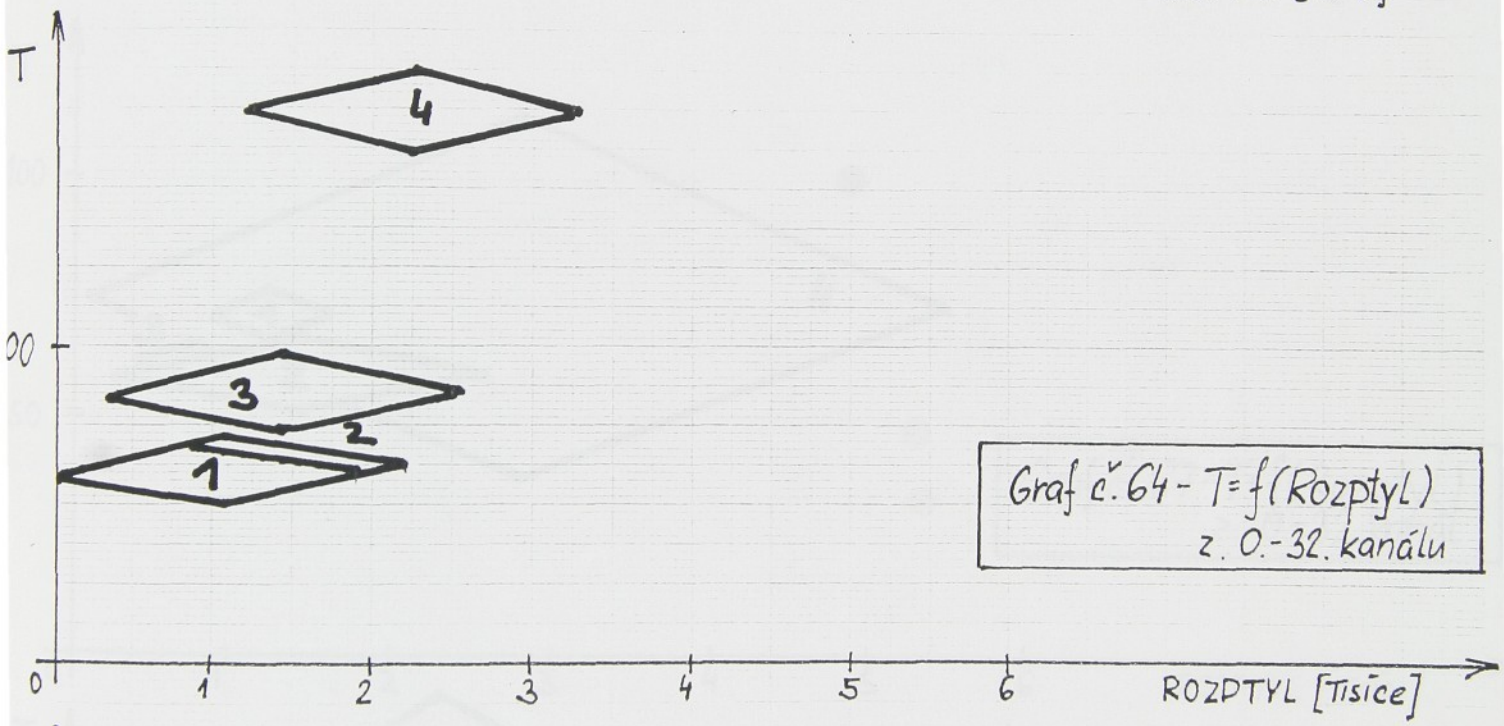
Příloha 17 - list 12

14 320

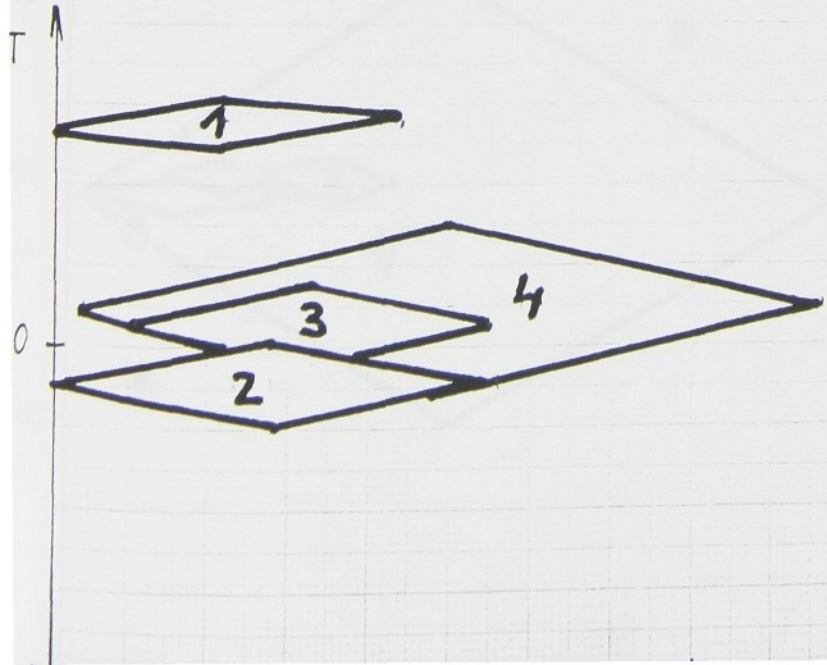
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 63 - T = f(Rozptyl) z. 0. kanál



Graf č. 64 - T = f(Rozptyl) z. 0.-32. kanálu

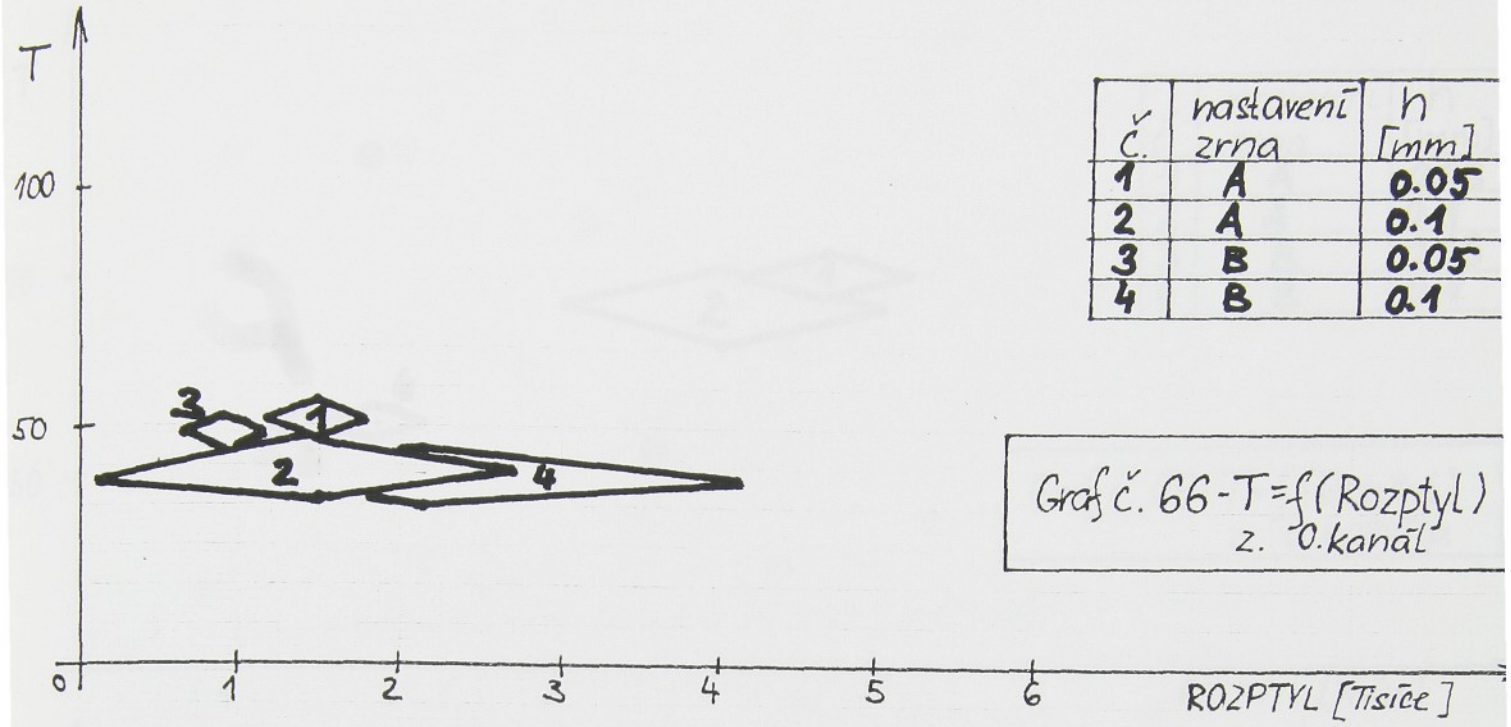


Graf č. 65 - T = f(Rozptyl) z. 0.-64. kanálu

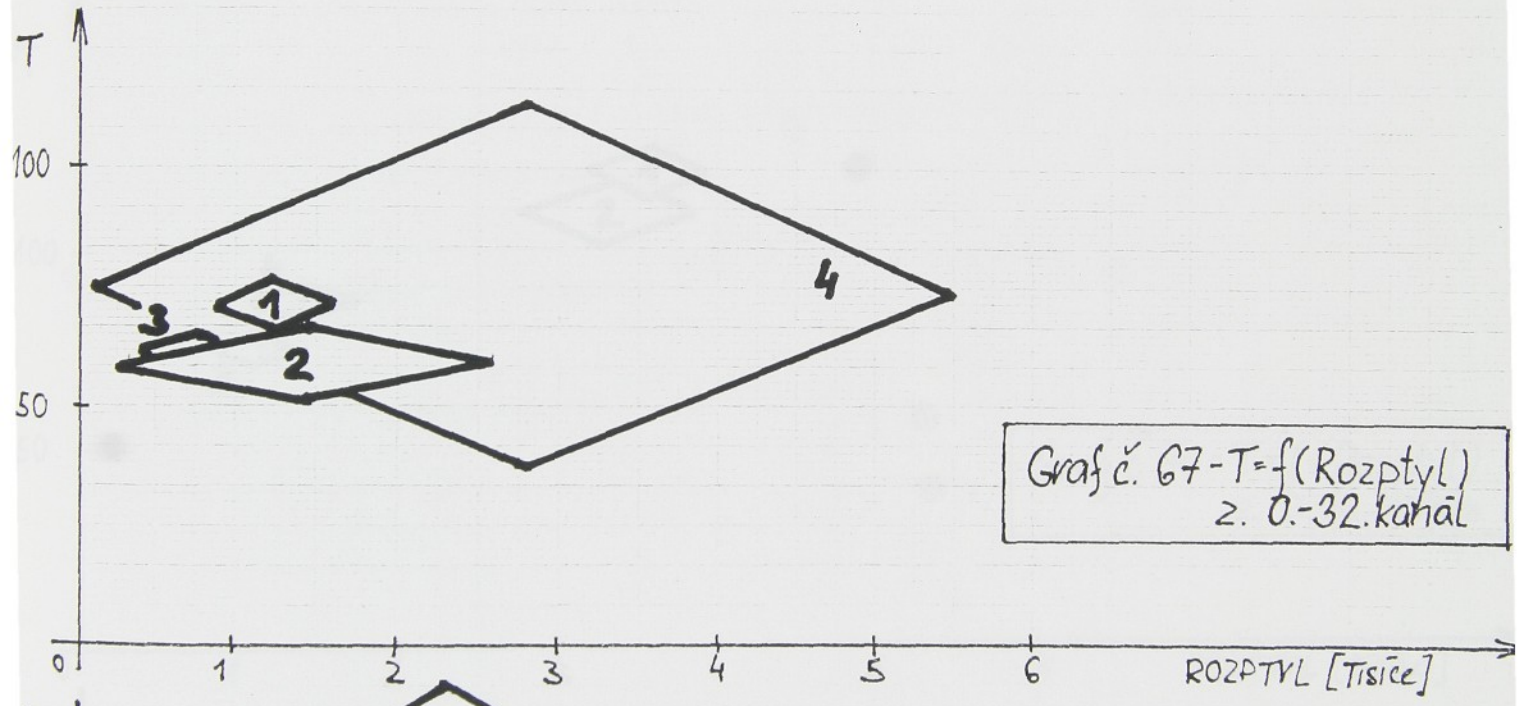
Příloha 17 - list 13

19 312

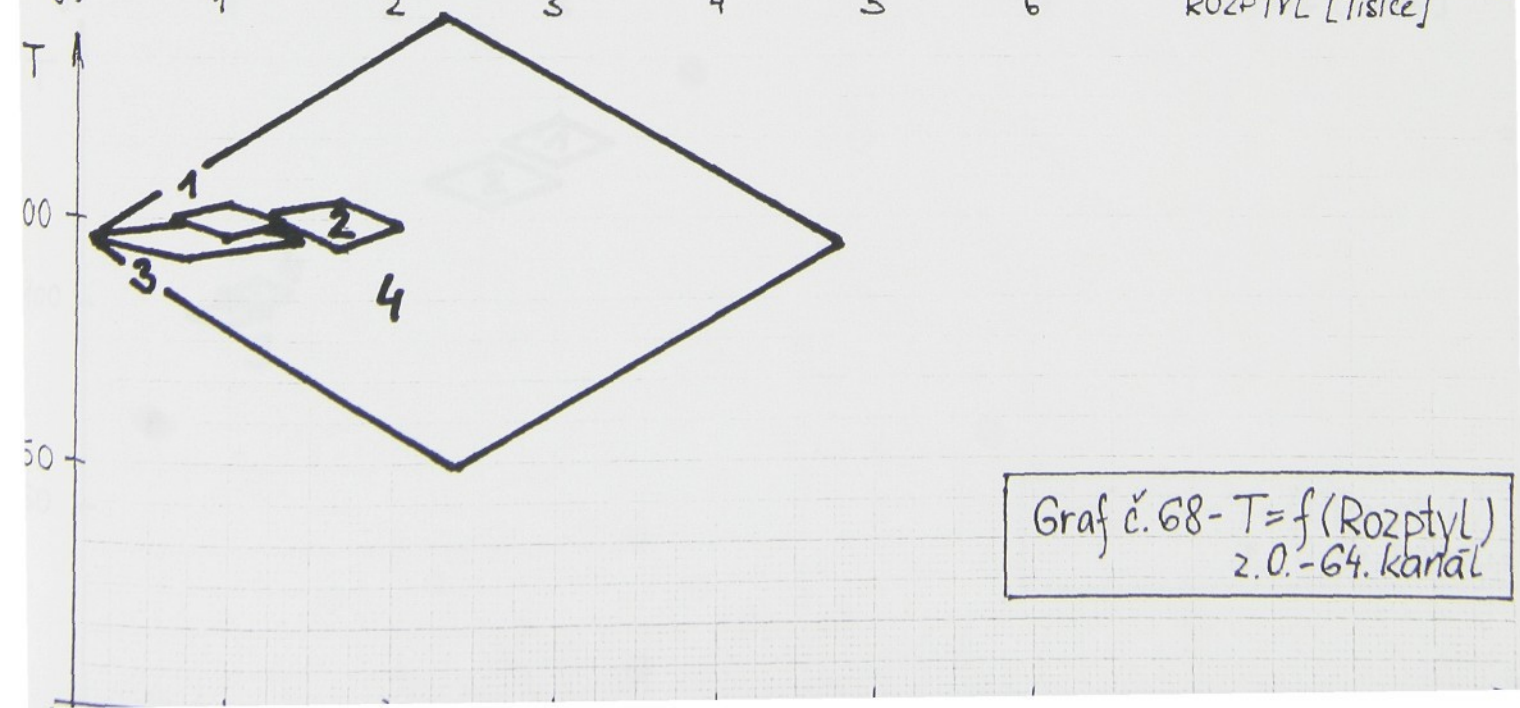
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 66 - T = f(Rozptyl)
z. 0. kanál



Graf č. 67 - T = f(Rozptyl)
z. 0.-32. kanál

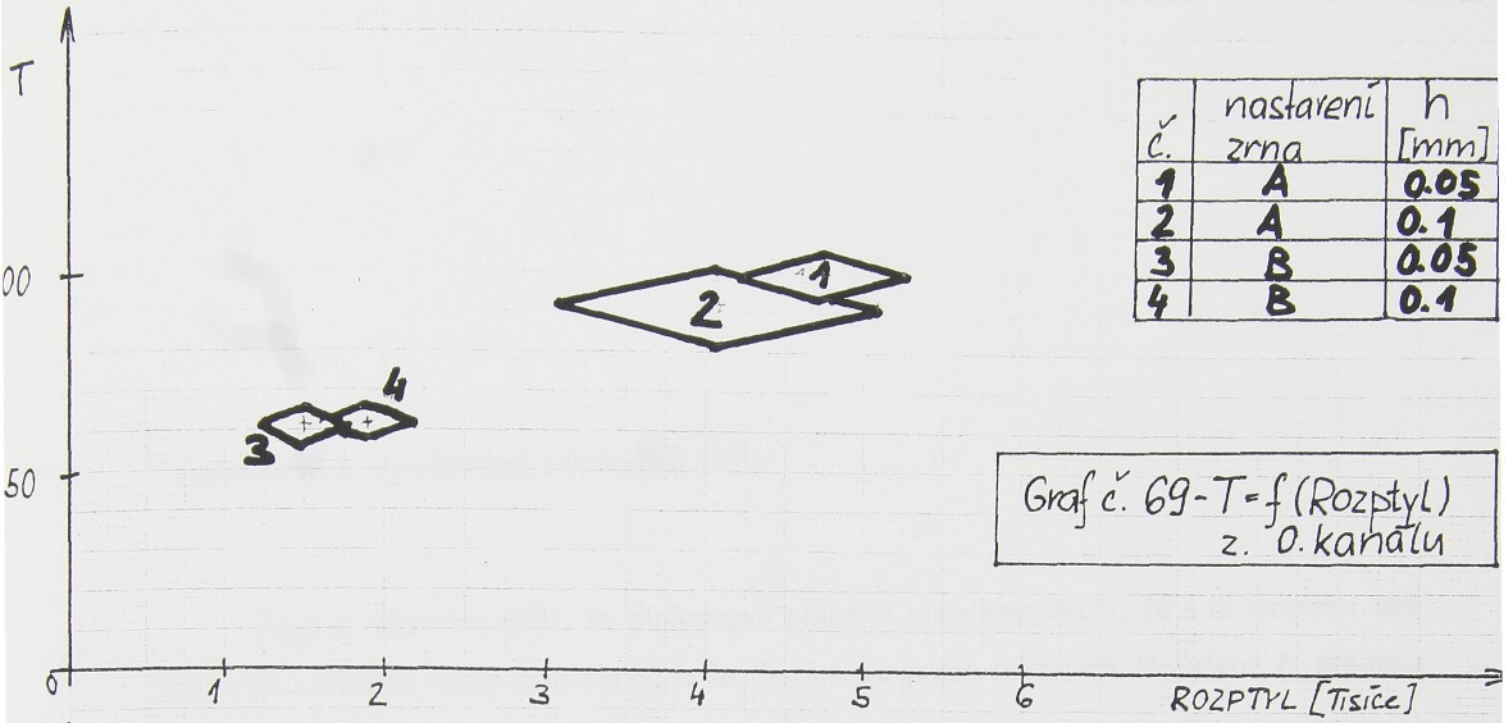


Graf č. 68 - T = f(Rozptyl)
z. 0.-64. kanál

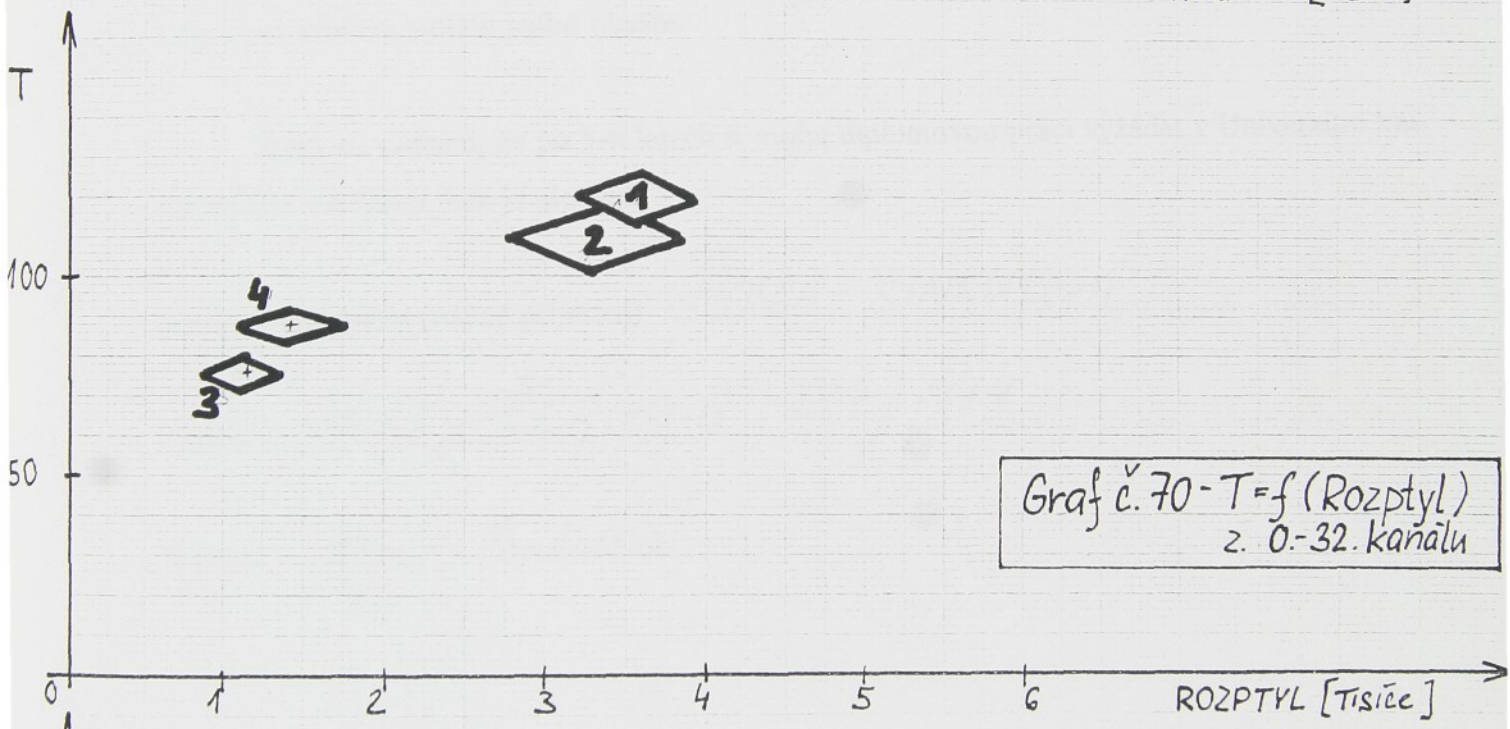
Příloha 17 - list 14

422420

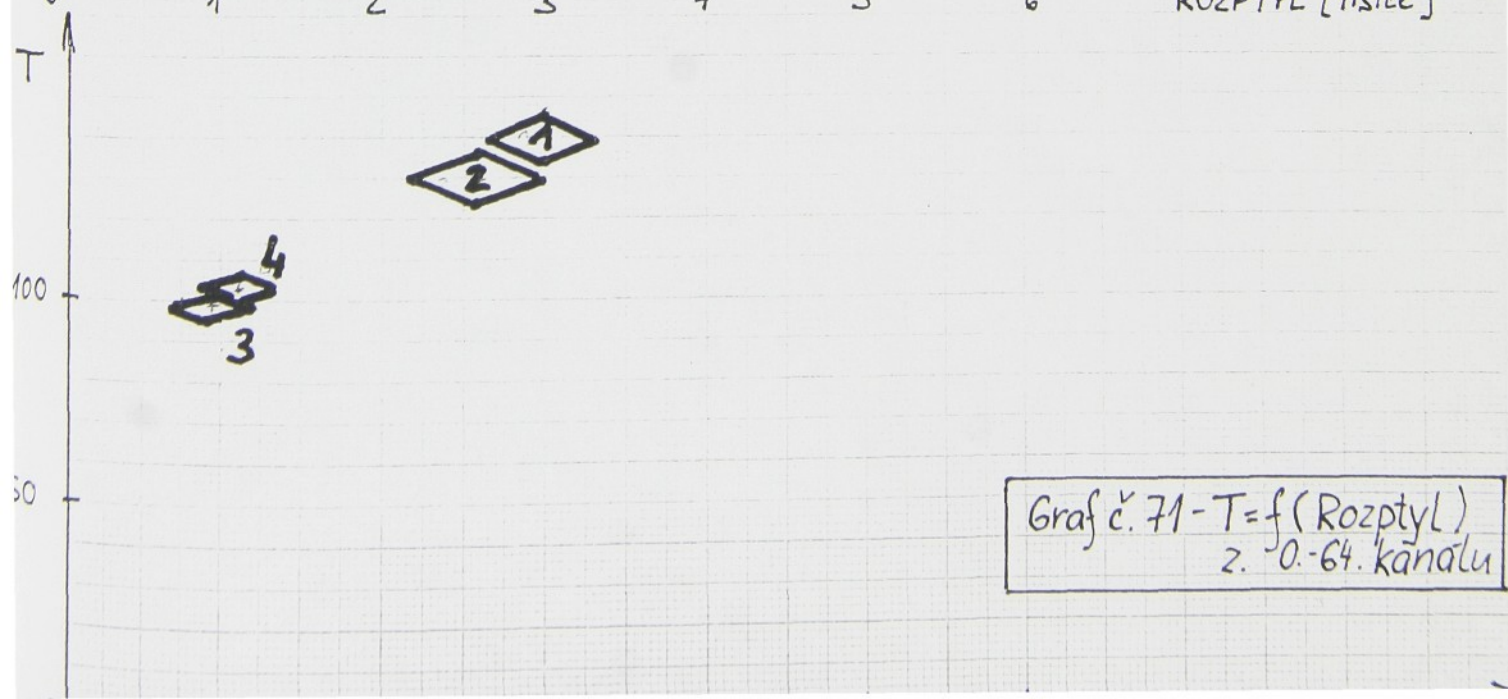
č.	nastavení zrna	h [mm]
1	A	0.05
2	A	0.1
3	B	0.05
4	B	0.1



Graf č. 69 - T = f (Rozptyl) z. 0. kanálu



Graf č. 70 - T = f (Rozptyl) z. 0.-32. kanálu



Graf č. 71 - T = f (Rozptyl) z. 0.-64. kanálu