

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Obor: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

STAVBA KOMPLEXNÍHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘICÍHO SYSTÉMU PRO BROUŠENÍ

KOM - 867

Václav Had

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Votoček

Konzultant: Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.

Počet stran: 72

Počet příloh

a tabulek: 12

Počet obrázků: 24

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146065637

22.5.1995

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1994/1995

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

Václava H A D A

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:

Stavba komplexního experimentálního měřicího systému pro broušení.

Zásady pro vypracování:

1. Vysvětlíte podstatné důvody pro řešení předloženého zadání a formulujete cíle úlohy.
2. Rozbor teoretických základů procesu broušení a výběr veličin, které jej charakterizují.
3. Dosavadní poznatky a požadavky na měření fyzikálních veličin, vyvolaných procesem broušení, jejich analýza a zhodnocení.
4. Návrh metodiky měření vybraných veličin procesu broušení s využitím PC jako měřicího systému /HW, SW/.
5. Proveďte potřebná experimentální měření pro rovinné broušení obvodem kotouče.
6. Zpracujte statisticky výsledky experimentálního měření.
7. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a závěry.

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

V 90/95 S

KOM/OM

42 s. 9 s. rel. příl.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. GAZDA, J.: Řezivost brusných kotoučů. Habilitační práce. Liberec, VŠST, 1979, 131s.
2. GAZDA, J.: Směrnice pro měření řezných sil při rovinném broušení obvodem kotouče. Liberec, VŠST, 1973.
3. HABERLE, Z. - SKŘIVAN, M.: Matematicko - statistické metody plánování a vyhodnocování experimentů. Hradec Králové, SVÚS, 1968, 86s.
4. MASLOV, J. N.: Teorie broušení kovů. 1. vyd. Praha, SNTL, 1979.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Votoček

Konzultant: Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.

Zadání diplomové práce: 30. 10. 1994

Termín odevzdání diplomové práce: 26. 5. 1995

Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.

Vedoucí katedry



Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.

Děkan

V Liberci

dne 30. 10. 1994

ANOTACE

Označení DP: 867

Řešitel: Václav Had

STAVBA KOMPLEXNÍHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘÍCIHO SYSTÉMU PRO BROUŠENÍ

Práce navazuje na předešlé poznatky v rámci řešení dané problematiky. Obsahuje návrh a částečnou realizaci komplexního experimentálního měřicího systému procesu broušení napojeného na moderní výpočetní techniku.

Byla sestavena a ověřena aparatura pro snímání a vyhodnocování řezných sil. Je vysvětlena tvorba programu, možnosti jeho dalších změn a doplnění. Pro ověření funkce nového zařízení byla provedena experimentální měření, která jsou vyhodnocena pomocí grafů.

Deset. třídění: DT 621.923.7.08

Klíčová slova: BROUŠENÍ, MĚŘENÍ

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 1995

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 72

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 24

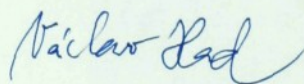
Počet tabulek: 7

Počet diagramů: -

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci, 22.5. 1995

A handwritten signature in blue ink, reading "Václav Šedý". The signature is written in a cursive, flowing style.

Obsah

Úvodní list

Zadání diplomové práce předané katedrou

Anotace

Místopřísežné prohlášení

Obsah.....	5
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	8
1. Úvod.....	10
2. Teorie procesu broušení.....	13
2.1 Rozbor teoretických základů procesu broušení.....	13
2.2 Kinematika procesu broušení.....	15
2.3 Dynamika procesu broušení.....	19
2.3.1 Silové vztahy.....	19
2.3.2 Průběh změny řezné síly.....	20
2.3.3 Rovnice pro měření řezných sil.....	22
2.4 Řezivost brousících kotoučů.....	22
2.5 Hodnocení a záznam řezných sil, vyjiskřovací křivka.....	23
3. Výběr veličin charakterizujících proces broušení	
4. Dosavadní poznatky a požadavky na měření fyzikálních veličin vyvolaných procesem broušení, jejich analýza a zhodnocení.....	27
4.1 Polohovací jednotka pro snímání tloušťky odřezané vrstvy.....	29
4.1.1 Bezdotykový snímač pro měření tloušťky odřezané vrstvy.....	29
4.1.2 Dotykový snímač pro měření tloušťky odřezané vrstvy.....	30
4.2 Objem materiálu obrobku.....	31
4.3 Obvodová rychlost brousícího kotouče.....	31
4.4 Měření řezných sil.....	31
4.5 Měření rychlosti podélného posuvu stolu brusky.....	32

4.6	Měření výkonu.....	33
4.7	Měření teplot při broušení.....	33
4.8	Zhodnocení fyzikálních veličin vyvolaných procesem broušení.....	34
4.8.1	Celková doba broušení.....	34
4.8.2	Trvanlivost brousícího kotouče.....	34
4.8.3	Střední aritmetická drsnost.....	35
5.	Návrh komplexního experimentálního měřícího systému pro broušení.....	36
6.	Realizace zařízení pro snímání, vyhodnocení a zobrazení dvou fyzikálních veličin.....	38
6.1	Ověření funkčnosti snímačů.....	38
6.1.1	Dynamometr.....	38
6.1.2	Inkrementální rotační čidlo.....	40
6.2	Control Panel.....	44
6.2.1	Popis systému.....	44
6.2.2	Orientace v CP.....	45
6.2.3	Vyhledání, tvorba a manipulace s aplikací v CP	
6.3	Aplikace TEST.CPR.....	51
6.3.1	Vedení signálů.....	52
6.3.2	Ověření funkce aplikace.....	54
6.3.3	Tisk naměřených hodnot.....	55
6.3.4	Napojení na brusku, kalibrace.....	55
6.3.5	Metodika zpracování naměřených hodnot.....	56
6.4	Technické údaje.....	57
6.4.1	Tenzometrický dynamometr.....	57
6.4.2	Inkrementální rotační čidlo.....	58
6.4.3	Výpočetní technika.....	59
6.4.4	Bruska.....	59
6.4.5	Další použitá zařízení.....	60
7.	Experimentální měření.....	61
7.1	Plán měření.....	61
7.2	Příprava měření.....	62
7.3	Vlastní měření.....	63

7.3.1	Měření na KL aparatuře.....	63
7.3.2	Měření na PC aparatuře.....	64
8.	Zhodnocení experimentálních měření.....	65
9.	Závěr.....	67
	Poděkování.....	69
	Seznam použité literatury.....	70
	Seznam příloh.....	71

Seznam použitých zkratk a symbolů

a	tloušťka odřezané třísky [mm]
A	kalibrační konstanta
b	šířka odebírané třísky [mm]
b	šířka brousícího kotouče [mm]
B	hodnota na přístroji při $A = 1$
C	konstanta odpovídající úseku na ose y [N]
CP	Control Panel
C_y	konstanta
D	průměr brousícího kotouče [mm]
Fe	hodnota síly nastavená na siloměru při kalibraci dynamometru [N]
Fr	radiální složka řezné síly [N]
Fr_1	jednotková radiální složka řezné síly připadající na jednotku šířky obrobku [Nmm^{-1}]
Ft	tangenciální složka řezné síly [N]
h	hloubka řezu [mm]
h_{eqv}	ekvivalentní tloušťka odebíraného materiálu [mm]
K	kriterium řezivosti dle Majkuse [N^{-1}]
L_{pl}	délka stykového oblouku [mm]
n_k	otáčky brousícího kotouče [$otmin^{-1}$]
p	měrný řezný odpor [Mpa]
P	výkon při broušení [W]
R	poloměr brousícího kotouče [mm]
R_a	střední aritmetická drsnost [μm]
t	celková doba broušení [s]
T	trvanlivost brousícího kotouče [min]
T	časová konstanta, subtangenta úhlu [min]
v_k	obvodová rychlost brousícího kotouče [min^{-1}]
v_o	rychlost obrobku (rychlost posuvu stolu brusky) [$mmmin^{-1}$]

v_p	rychlost přísuvu [mm]
V_k	objem úbytku brousícího kotouče [mm ³]
V_o	objem materiálu odbroušeného z obrobku [mm ³]
x	exponent (z tabulek)
y	exponent (z tabulek)
z	exponent (z tabulek)
α	úhel strmosti vyjiskřovací křivky [°]
θ	teplota v oblasti řezání [°C]
$\varnothing$	poloměr zaoblení zrna [mm]
ψ	stykový úhel obrobku a brousícího kotouče [°]

1. ÚVOD

Moderní strojírenská výroba se dnes již neobejde bez broušení - jednoho ze základních způsobů obrábění a ve své podstatě nejstaršího. Broušení je typickým představitelem dokončovacích metod obrábění, které výrobku dávají přesný geometrický tvar, rozměrovou přesnost a zároveň vysokou jakost povrchu. Mimo to je to způsob, jímž lze zajistit i obrobení takových materiálů, které jinými způsoby nelze obrábět. Navíc se v současné době našla cesta, jež umožňuje použít broušení i jako hrubovací operaci s vysokým výkonem a současně s značnými úsporami na nákladech.

Broušení je velmi rozšířený a moderní způsob obrábění, ale přes to všechno nebyly pro broušení doposud zpracovány žádné přesné normativy nebo databanky s údaji, jak brousit daný materiál, jakým kotoučem a za jakých řezných podmínek. V praxi to znamená, že tyto parametry jsou spíše brusiči doporučeny nebo zcela ponechány na brusičově volbě a zkušenosti. To je problematické, nevyhovující. Každý brusič si může při broušení stejného materiálu stejným kotoučem zvolit jiné řezné podmínky. To má jistě vliv i na kvalitu broušených povrchů a na produktivitu broušení. Věřím, že se dá najít mnoho cest, jak zlepšit efektivnost procesu broušení s cílem zlepšení drsnosti obrobené plochy a integrity obrobeného povrchu.

Další otázkou je produktivita procesu broušení. V praxi vznikají velké časové prostoje např. tím, že se navrhnou zbytečně velké přídavky na broušení, používají malé rychlosti posuvu, což souvisí s časovou délkou vyjiskřovací křivky apod.

Předložená práce má za úkol nastítnit jednu z mnoha možných variant řešení. Danou problematiku by řešil systém, který by zpracoval a vyhodnotil vložené údaje charakterizující daný proces. Systém předpokládá snímání

mnoha veličin typických pro broušení , jejichž výčet a funkce jsou dále vysvětleny. Jsou to převážně neelektrické veličiny. Nejdůležitějším článkem systému by byla výpočetní technika, v našem případě PC, která by byla osazena potřebnými HW a SW.

Cílem je vytvořit takovou funkci systému, kdy při vložení dvou základních údajů dané operace broušení (např. nadefinovat brousící kotouč a obráběný materiál) by došlo k určení všech ostatních veličin a to od stanovení optimálních řezných podmínek až např. po stanovení optimálního přídatku pro danou operaci, volbu stroje a příkonu stroje.

To vyžaduje sestavení velmi rozsáhlé databanky údajů, získaných z experimentálního měření, ze které se při zadání dvou jmenovitých veličin vynesou na obrazovku počítače všechny ostatní požadované hodnoty. V ideálním případě by v databance měly být uloženy údaje optimálního broušení všech možných existujících materiálů všemi možnými existujícími kotouči, což samozřejmě při současném rychlém vývoji stále nových materiálů a technologií broušení není možné.

Pro další vylepšování tohoto systému by byl později možný vývoj takového HW a SW, kdy by probíhala pružná změna řezných podmínek pomocí zpětné vazby mezi strojem a PC dle změn v průběhu řezného procesu.

Vámi čtená práce vykreslí a přímo navrhne komplexní experimentální měřicí systém pro broušení a jeho částečnou realizaci. Bude sestavena aparatura pro měření dvou vybraných veličin. V tomto případě to bude po dohodě s odborníky měření dvou složek řezných sil. Zadání již neobsahuje vytvoření programu, který by účelně zpracovával výsledky měření, ale jelikož je nutné systém důkladně vyzkoušet, tak bude zhotoven program do PC pro zpracování dvou realizovaných snímaných veličin.

Na předloženou práci budou navazovat jiné vědecké práce

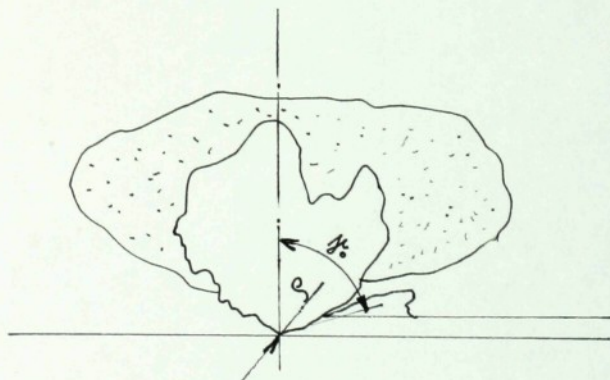
zaměřené na připojení dalších celků představujících návazné řešení vykreslené problematiky. Tato zařízení postupně zrealizují měření, zpracování a vyhodnocení ostatních veličin procesu broušení a budou vytvářet již zmíněnou databanku údajů.

2. TEORIE PROCESU BROUŠENÍ

2.1 Rozbor teoretických základů procesu broušení

Broušení je rychlostní hromadné mikrořezání (odírání) povrchových vrstev těles velmi jemnými zrny brusiva stmelenými pojivem v nástroj. Proces probíhá při značně vysokých řezných rychlostech, nejčastěji do 50 ms^{-1} , ve vzácných případech až do 200 ms^{-1} . Broušením se dosahuje vysoké přesnosti obrábění. Současně se broušení používá i při předběžném obrábění polotovárů - čištění odlitků, výkovků apod.

Pro broušení je charakteristické, že odebíráme mat. současně velkým počtem břitů - zrn. Průřezy třísek odebíraných jednotlivými břity jsou velmi malé (obr. 1). Dalším charakteristickým znakem je, že břity - brusná zrna mají nepravidelný tvar, úhel čela je vždy negativní a úhel hřbetu poměrně velký. Dále se liší proces broušení od ostatních druhů obrábění velmi vysokou tvrdostí, tepelnou odolností, ostrostí a křehkostí brusných zrn, která se



Obr. 1. Princip úběru třísky brusným zrnem

v průběhu broušení štěpí. Velké obvodové rychlosti a malá hloubka řezu každého zrna způsobují prakticky okamžité odebrání obrovského množství třísek za časovou jednotku.

Při začátku záběru zrn dochází k jejich intenzivnímu kluzu po obráběném materiálu. Každé zrno brusiva působí na broušenou povrchovou vrstvu dynamicky, což zvyšuje místní okamžitou teplotu procesu mikrořezání. V souvislosti s tím při odebírání mikrotřísek zrny kotouče nabývají významu i tepelné jevy a síly tření.

Broušení se v mnohém podobá opotřebování strojních součástí při tření. Liší se však následujícím:

- pracovní plocha kotouče je mnohem hrubší,
- brusiva jsou velmi tvrdá, odolná proti vysokým teplotám a odolná proti opotřebení při relativně velké křehkosti; zároveň zrna snesou velké měrné zatížení při broušení,
- třísky tvořící se při broušení jsou mnohem větší v porovnání s částicemi vznikajícími při otěru,
- třísky se při broušení odvádějí z místa řezu.

Při broušení plastických materiálů (kovů) probíhá složitá plastická deformace jejich povrchové vrstvy. V případě broušení křehkých materiálů (keramiky) je podstatou procesu oddělování třísky křehký lom.

Odebírání třísky zrnem brusiva trvá velmi malý časový okamžik (10^{-5} až 10^{-4} s). Celkový počet třísek ubíraných brousícím kotoučem za časovou jednotku je neobyčejně velký. Protože zrna brusiva působí při broušení na povrchovou vrstvu pouze v místě styku kotouče s obráběným materiálem, vznikají zde značné teploty, které ovlivňují průběh broušení a vlastnosti povrchové vrstvy obrobku. V místě působení jednotlivých zrn mohou vzniknout vysoké okamžité teploty, které se často blíží k teplotě tavení obráběného materiálu. Proto se brousí jen zcela výjimečně bez intenzivního chlazení.

Zdrojem tepla vznikajícího při broušení je hlavně práce

plastických deformací obráběného materiálu a práce vnějšího tření zrn brusiva a pojiva o povrch materiálu. Třecí síly vzrůstají zvláště při práci s otupeným brousícím kotoučem.

Značná část mechanické práce broušení se spotřebuje na tření a poměr užitečné práce broušení k celkové vynaložené práci je relativně malý. Asi 80% celkové mechanické práce broušení se mění na teplo, zbytek přechází v potenciální energii deformace krystalické mřížky.

Při broušení kovových obrobků brousícími kotouči se prudce zvyšuje plasticita kovu v místě působení zrn a to se příznivě projevuje při ubírání třísky zaoblenými zrny kotouče. Povrchová vrstva broušené plochy je souborem mikronerovností, které mají nerovnoměrnou rozteč a relativně velké výškové rozdíly.

Na broušení má vliv mnoho faktorů. V obecném případě, když označíme zkoumanou veličinu písmenem A (T...trvanlivost kotouče, F...řezná síla radiální, R...drsnost povrchu broušené plochy, θ ...okamžitá teplota broušení), dostaneme:

$$A = f(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, l, d, D, H, n_k, n_{ob}, h, s, C_6, C_7, C_8),$$

kde C_1 až C_8 jsou součinitele charakterizující postupně obráběný materiál, druh brusiva, pojivo, tvrdost a strukturu kotouče, řeznou kapalinu, přesnost a tuhost brusky a kvalitu orovnění brousícího kotouče.

2.2 Kinematika procesu broušení

Kinematiku řezného procesu broušení můžeme zkoumat pro všechny druhy broušení (rovinné, válcové vnější, ...). Nás nejvíce zajímá broušení rovinných ploch, na které je tato práce aplikovaná.

Kinematika broušení významně ovlivňuje velikosti obou

složek řezných sil.

Dominantní je vliv kinematiky na schopnost samoostření brousícího kotouče, kterou lze regulovat kromě vlastností brousícího kotouče (tvrdostí, strukturou, pojivem, apod.), ale také vlastními řeznými podmínkami. Vhodnou volbou řezných podmínek lze totiž ovlivnit řezné síly působící na jednotlivá zrna a tím intenzitu jejich vylamování z pojiva. Bylo zjištěno a experimentálně dokázáno, že řezná síla, působící na jedno zrno, je úměrná průřezu (tloušťce) třísky odebírané tímto zrnem. Tloušťka odebírané třísky je daná přísuvem. Změnou řezných podmínek je možné regulovat zatížení jednotlivých zrn brusiva a tím i mechanismus samoostření kotouče.

Vzhledem k omezené platnosti a složitosti vztahů při broušení byla zavedena do teoretických úvah, výpočtů a experimentálního výzkumu tzv. ekvivalentní tloušťka h_{eqv} .

Při jejím odvození se vychází z porovnání příkonu brousícího a pracovního vřeteníku (u válcového broušení), anebo z kontinuity materiálu vstupujícího a vycházejícího ze zóny řezání. Vrstva odebíraného materiálu o tloušťce h vstupuje do zóny řezání rychlostí v_o . Množství vytvořených třísek lze teoreticky spojit v jedinou plynulou vrstvu o tloušťce h_{eqv} , která odchází z řezné oblasti rychlostí v_k (obr.2). Dostaneme vztah

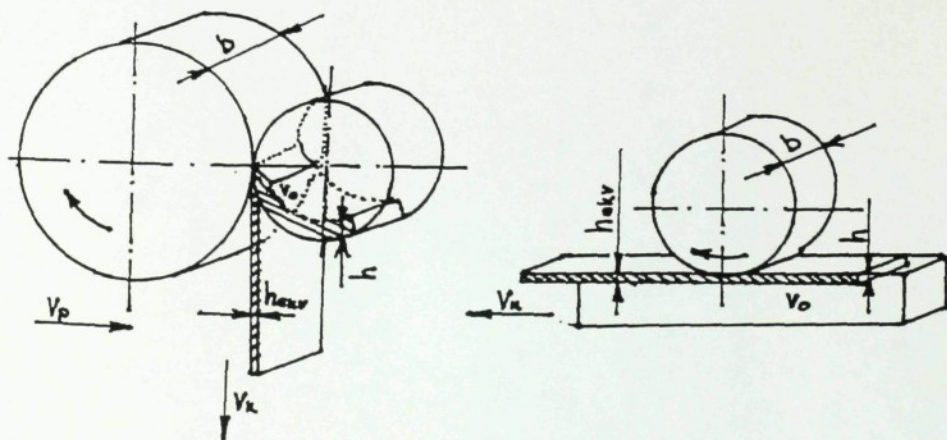
$$v_o \cdot h \cdot b = v_k \cdot h_{eqv} \cdot b, \quad [mm] \quad (1)$$

odtud

$$h_{eqv} = \frac{h}{q} = h \cdot \frac{v_o}{v_k} \quad [mm] \quad (2)$$

h_{eqv} dostatečně výstižně charakterizuje proces broušení, což prokázal teoretický rozbor i experimentální výzkum.

h_{eqv} má však i značný nedostatek. Tento nedostatek je dán



Obr.2. Ekvivalentní tloušťka vrstvy odebíraná při broušení
a, vnějším válcovém,
b, rovinném obvodem kotouče.

tím, že h_{eqv} závisí na třech rozhodujících veličinách broušení:

$$h_{eqv} = f(h, v_k, v_o).$$

Tento nedostatek se přenáší přímo i do diagramu broušení.

Další důležitou veličinou rovinného broušení je délka stykového oblouku (obr.3):

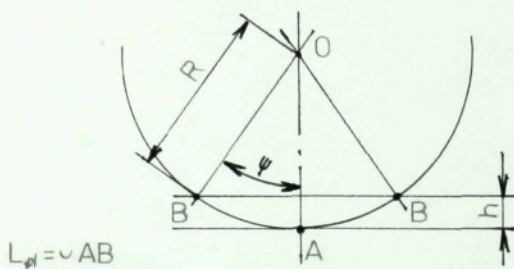
$$L_{P1} = R \left(1 \pm \frac{v_o}{60 v_k} \right) \cdot \psi \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

Určíme hodnotu úhlu (obr.3):

$$\psi \approx \sin \psi = \sqrt{1 - \cos^2 \psi} \approx 2 \sqrt{\frac{h}{D}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

Hodnotu dosadíme do (3) a dostaneme

$$L_{P1} = \left(1 \pm \frac{v_o}{60 v_k} \right) \sqrt{D \cdot h} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$



Obr.3. Určení úhlu ψ při rovinném broušení.

Při obvyklých řezných podmínkách broušení jsou velikosti stykových křivek a úhlů velmi nepatrné, např. při $h = 0,015 \text{ mm}$ a $D = 300 \text{ mm}$ je $L_{p1} = 2,2 \text{ mm}$ a $\psi = 48 \text{ minut}$.

2.3 Dynamika procesu broušení

2.3.1 Silové vztahy

Řezné síly při broušení vznikají vzájemným působením pracovní plochy brousícího nástroje a obrobku. Břítý zrn ubírají velmi drobné třísky, kterým odpovídají elementární řezné síly, co do velikosti zanedbatelné. Celkové řezné síly mohou však dosáhnout značné velikosti, protože při broušení pracuje současně velké množství zrn.

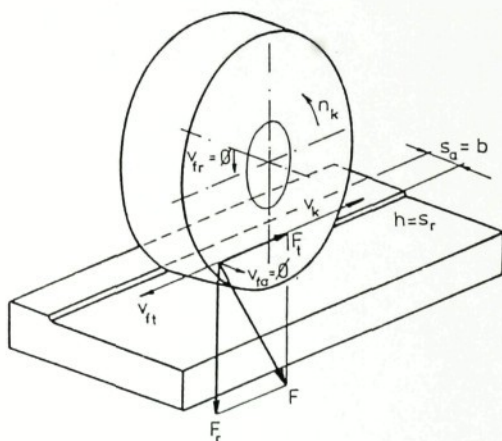
Se zvětšením řezných sil rostou současně síly mezi prvky v technologické soustavě stroj - přípravek - obrobek - nástroj, kotouč se více opotřebovává a zkracuje se doba jeho trvanlivosti, zvyšuje se teplota v zóně broušení i na povrchu obrobku, snižuje se přesnost broušení i kvalita broušeného povrchu.

Výsledná řezná síla při broušení F se skládá z normální nebo radiální síly F_r (F_y), tangenciální síly F_t (F_z) a posuvné síly F_x , která se při rovinném broušení neuvažuje (obr.4), jelikož měření provádíme bez posuvu zapichovacím způsobem (šířka kotouče je větší než šířka vzorku).

Při broušení je radiální síla F_r vždy větší než tangenciální F_t , přičemž $F_r/F_t = 1,0$ až $3,0$.

Výsledky získané výzkumem broušení se používají při výpočtech spojených s určováním přesnosti obrábění, výkonu obráběcích strojů, nezbytné tuhosti technologické soustavy, při analytickém určování intenzity tepla vznikajícího v zóně broušení a tepelného pole obrobku, při určování trvanlivosti brousících kotoučů a dalších

technologických výpočtech.



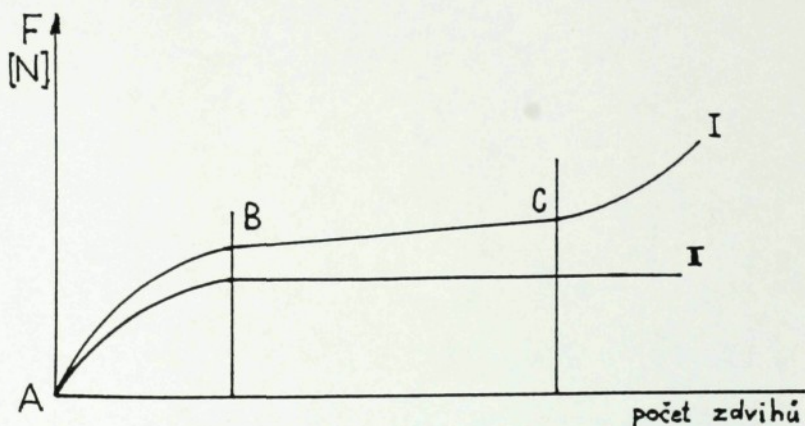
Obr.4. Silové poměry při rovinném broušení: F_r ... radiální síla, F_t ... tangenciální síla, h ... hloubka řezu, b ... šířka odřezávané vrstvy, n_k ... otáčky brousícího kotouče

2.3.2 Průběh změny řezné síly

Zákonitost změny řezné síly při broušení byla stanovena experimentálně. Např. u složky řezné síly F_r při práci s otupujícím se kotoučem lze tuto zákonitost vyjádřit křivkou ABCD (obr.5).

Při záběru kotouče stálým nebo zrychleným posuvem vzrůstají řezné síly i výkon při broušení velmi intenzívně (úsek AB na křivce). Intenzita růstu řezné síly na tomto

úseku závisí hlavně na řezných podmínkách a tuhosti technolog. soustavy stroj - nástroj - obrobek. Uvedený růst



Obr.5. Změny řezné síly: 1 - při otupování kotouče, 2 - s uplatněním efektu samoostření

sil je způsoben tím, že v této době probíhá neustálený režim úběru materiálu, kdy skutečná hloubka řezu neustále roste úměrně s nárůstem předpětí v technologické soustavě. Nedostatečná tuhost této soustavy způsobuje zpoždění skutečného přísuvu v porovnání s nastaveným přísuvem. Při ustáleném režimu, kdy je přísuv prakticky konstantní, se velikost řezné síly stabilizuje (úsek BC na křivce) a vliv dalších činitelů je zanedbatelný.

Po otupení zrn brusiva a zanesení pracovní plochy kotouče se řezné síly prudce zvětšují (úsek CD na křivce). Brousí - li se s vyjiskřením (bez přísuvu), pronikají jednotlivá zrna do menší hloubky a intenzita úběru materiálu se snižuje, a proto se zmenšují i řezné síly.

2.3.3 Rovnice pro určení řezných sil

Budeme vycházet z předpokladu, že při určitém materiálu obrobku a při max. dovolené obvodové rychlosti kotouče závisí elementární řezná síla na vrstvě odebírané jedním zrnem brusiva a lze ji určit jako součin měrného řezného odporu p , tloušťky a a šířky b odebírané třísky.

$$Fr = p \cdot a \cdot b \quad [N] \quad (6)$$

Měrný řezný odpor dosahuje při broušení značných hodnot. Např. při broušení obrobků ze středně tvrdé oceli je velikost měrného řezného odporu v rozmezí 9 800 až 19 600 MPa. Je tedy 50krát až 80krát větší než při soustružení. Z rovnice (6) vyplývá, že řezná síla jednoho zrna brusiva závisí na všech činitelích řezného procesu.

Velikosti řezných sil je možné získat i experimentálním měřením. Při pokusech byl zjištěn vztah pro výpočet radiální složky řezné síly

$$Fr^z = C_y \cdot h^x \cdot b^y \cdot g^z \quad [N] \quad (7)$$

2.4 Řezivost brousících kotoučů

Jedna z definic řezivosti nástroje s definovaným břitem zní takto:

„Řezivost nástrojového materiálu je schopnost udržet za podmínek obráběcího pochodu původní tvar v určitých mezích po delší či kratší dobu.“

Tato definice však zcela neplatí pro brousící kotouče. Je to způsobeno tím, že broušení se velmi liší od jiných druhů obrábění, kde se používá definovaný břit. Mezi hlavní

rozdíly patří:

- brousící kotouč nemá souvislý břit,
- jednotlivá zrna mají nepravidelný tvar a záporný řezný úhel,
- zrna jsou v kotouči nepravidelně,
- první fáze úběru spočívá v klouzání zrn po obrobku,
- vysoká tvrdost a stálost za tepla,
- velké množství třísek za jednotku času.

Je možné použít tyto ukazatele:

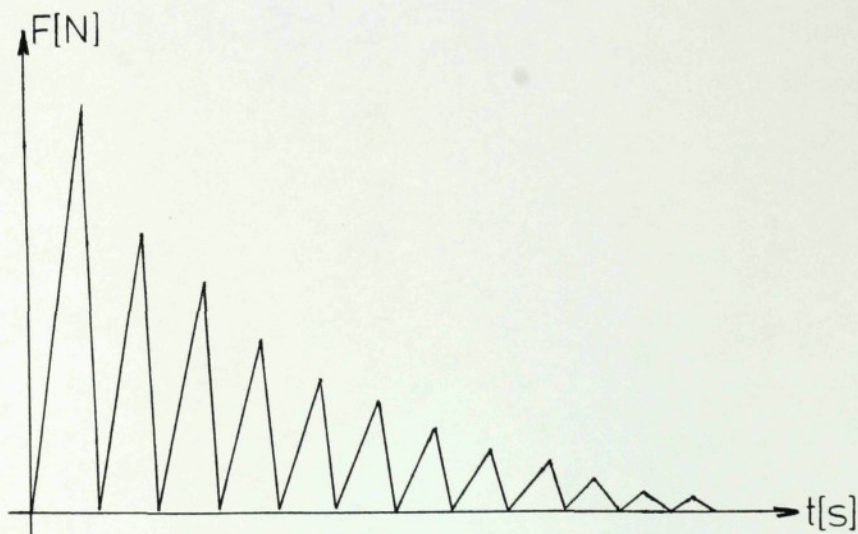
- kvalitativní (R_a , přesnost rozměrů, stav povrchové vrstvy, zbytková povrchová napětí),
- kvantitativní (Q , q , V_k , V_o , ...),
- energetická (F_r , F_t , P , p , ...),
- ekonomická (T , k_s za časovou jednotku, k_s na jedno orovnění brousícího kotouče, náklady na časovou jednotku broušení).

Z laboratorního výzkumu vyúsťují zpravidla uměle vytvořená kritéria řezivosti, která vedou ke vzniku tzv. smluvních jednotek. Nejvýstižnějším příkladem jsou metody měření tvrdosti podle Brinella a Rockwella. Tyto metody, s ohledem na poznatky fyziky kovů, mají jen určitý vztažný význam. Přesto se úspěšně a široce používají.

2.5 Hodnocení a záznam řezných sil, vyjiskřovací křivka

Vycházejme z předpokladu zapichovacího způsobu rovinného broušení (kotouč je širší než obrobek). Tento proces broušení se realizuje zpravidla jako přerušovaný (obr. 6). To znamená, že obrobek z výchozí polohy (krajní úvratě stolu A) se přiblíží na dotyk k brousícímu kotouči. V tomto časovém okamžiku se tzv. "brousí vzduch". Dotykem začíná fáze vřezávání. Řezná síla roste, dochází k oddálení, napružení systému S-N-O-P. Po ukončení vřezávání dochází k ustálenému ději, brousící kotouč odebírá určitou, stálou vrstvu

materiálu obrobku. Dosáhne-li brousící kotouč konce obrobku, nastává etapa výběhu ze záběru, spojená s poklesem řezné síly



Obr.6. Cyklus rovinného broušení obvodem kotouče

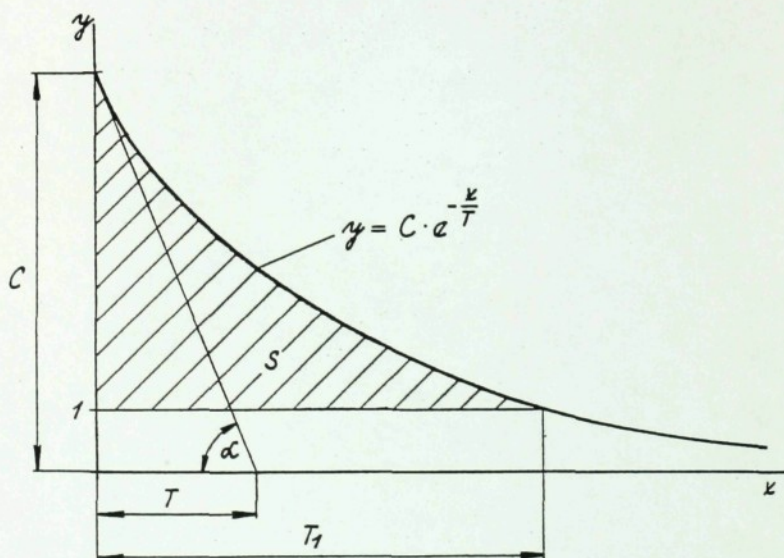
a uvolněním napružení systému. Obrobek dojíždí za kotouč až do krajní polohy stolu B, odkud se vrací zpět ke kotouči. V této etapě se opět "brousí vzduch" až do okamžiku dotyku kotouče a obrobku. Pokud před tím probíhalo broušení protisměrné, nyní se uskuteční broušení sousměrné. Pokud nedošlo v krajní úvrati B k přísuvu do řezu, proběhne druhá etapa za menších řezných sil a napružení soustavy systému. Pokud se přísuv neuskuteční v žádné z dalších úvratí, lze postupný pokles řezných sil, zejména složky F_r , považovat za vyjiskřování. Tento cyklus je graficky znázorněn na obr. 6.

Takový záznam řezných sil, jako je na obr. 6, lze získat použitím vhodného dynamometru. Rychlost v_o při takovém

měření odpovídá časové základně.

Pro matematický rozbor je nutné jednotlivými vrcholy proložit křivku, kterou označujeme jako vyjiskřovací. Je vhodné posunout počátek prvního záznamu tak, aby osa y procházela vrcholem prvního záznamu. Tuto situaci ukazuje obr. 7.

Vyjiskřovací fáze tímto má přibližně stejný charakter jako u zapichovacího válcového broušení.



Obr. 7. Zjednodušená vyjiskřovací křivka

Tvar vyjiskřovací křivky je popsán exponenciální rovnicí

$$y = C \cdot e^{-\frac{x}{T}} \quad (8)$$

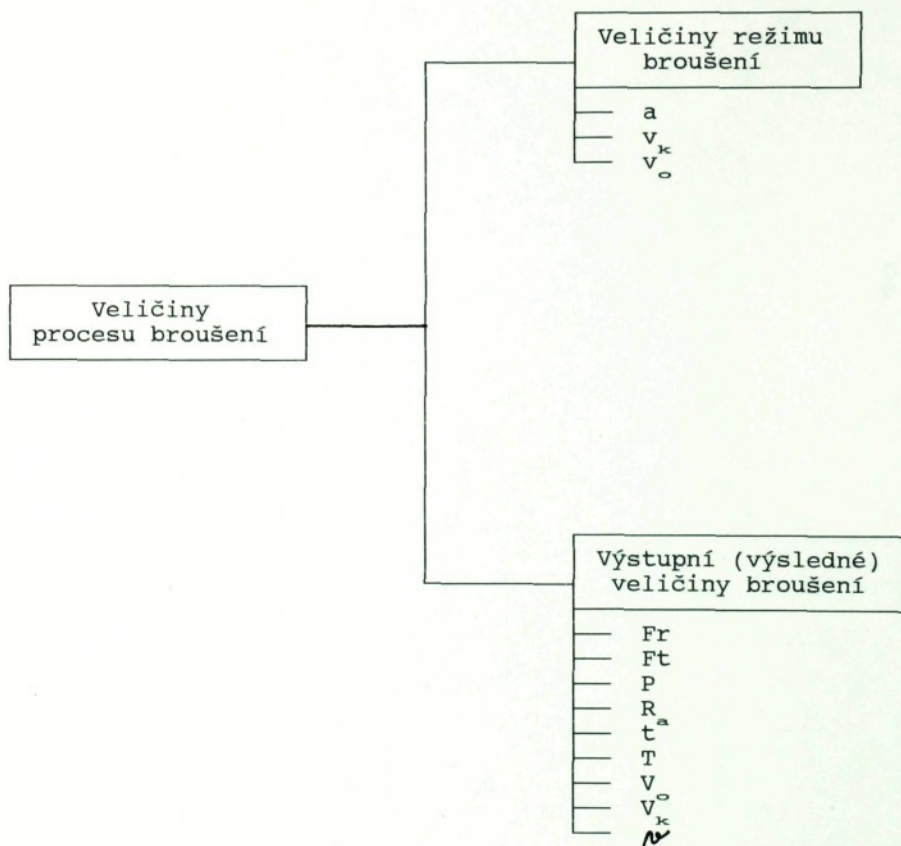
Lze - li pomocí vhodného měřicího zařízení stanovit průběh vyjiskřovací křivky, např. jako $Fr = f(t)$, dostaneme rovnici

$$Fr = C \cdot e^{-\frac{t}{T}}. \quad (9)$$

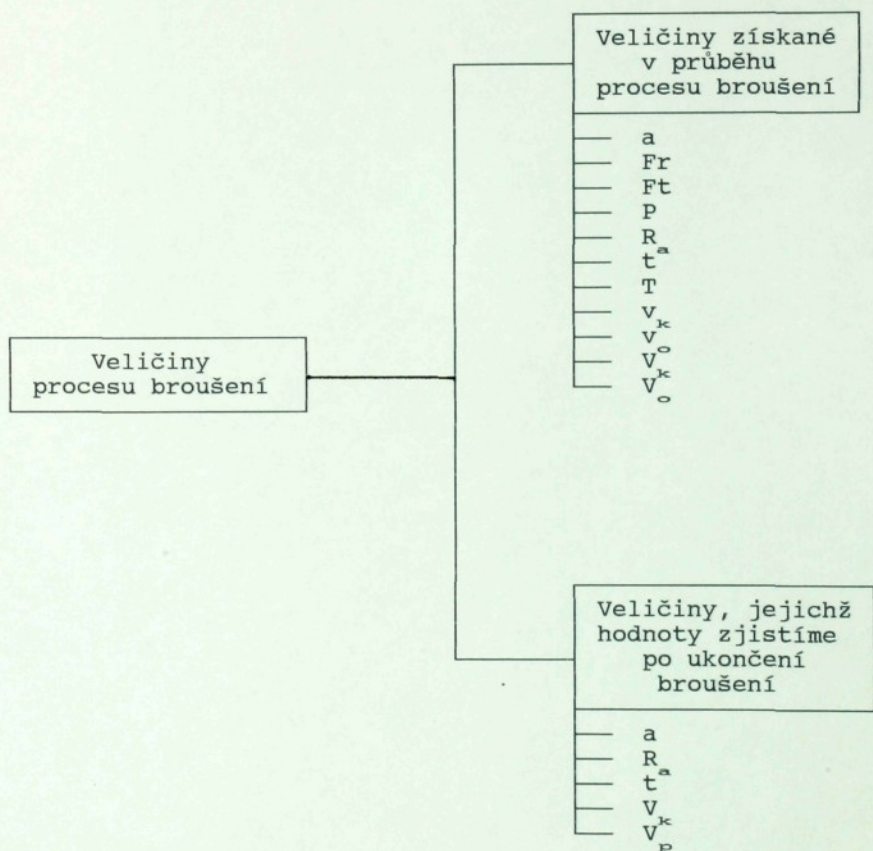
V obou případech jsou konstanty C , T údaji, které rozhodují o tvaru křivky a její poloze v souřadnicích $x - y$ či $t - Fr$.

3. VÝBĚR VELIČIN CHARAKTERIZUJÍCÍCH PROCES BROUŠENÍ

V procesu broušení sledujeme veličiny, které lze rozdělit na dvě části:



Vzhledem ke stavbě komplexního experimentálního měřicího systému nás zajímají především veličiny získávané v průběhu procesu broušení. Některé z nich lze získat zároveň po ukončení broušení nebo po jeho přerušení. Z tohoto pohledu vyplývá další dělení:



4. DOSAVADNÍ POZNATKY A POŽADAVKY NA MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN VYVOLANÝCH PROCESEM BROUŠENÍ, JEJICH ANALÝZA A ZHODNOCENÍ

Při řešení zadaného úkolu jsem vycházel z práce [4], která popisuje dříve provedené experimenty v této oblasti.

Pro realizaci experimentů byl postaven Komplexní experimentální měřicí systém (KEMES) na základě brusky BPH20, která byla osazena potřebnými snímači. Ke zpracování naměřených hodnot se používal počítač SAPI 80. Úplný systém nebyl dokončen z důvodu nedostatečného HW a SW vybavení.

Cílem mé práce je navrhnout komplexní zařízení pro snímání uvedených fyzikálních veličin, jejichž naměřené hodnoty zaznamená a zpracuje moderní výpočetní technika, čímž povýším již vytvořené dílo. Následuje částečná realizace na dvou vybraných parametrech. V této kapitole v krátkosti připomenu dosavadní poznatky při řešení daného problému.

4.1 Polohovací jednotka pro snímání tloušťky odřezané vrstvy

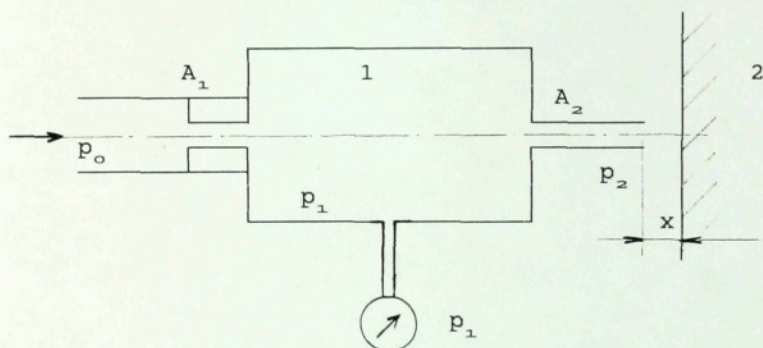
Snímače byly upevněny na bocích opracovaných ploch krytu brousícího kotouče a byly vybaveny možností ručního posunutí snímačů ve směru osy vřetena brusky, čímž je zajištěna možnost nastavení snímačů k broušenému vzorku pro všechny námi používané příruby na upínání brousících kotoučů.

Byly realizovány dvě varianty a to dotykový a bezdotykový snímač.

4.1.1 Bezdotykový snímač pro měření tloušťky odřezané vrstvy

Tento systém byl použit pro měření jednotlivých fází vyjiskřování. Bylo použito pneumatického snímače, jehož funkce je objasněna na obr. 8.

Do tlakové komory 1 proudí vzduch o konstantním tlaku p_0 škrtkicí tryskou A_1 . Z komory vzduch vystupuje měřicí tryskou A_2 o větším průměru, než má tryska A_1 . Změnou vzdálenosti x desky 2 od trysky A_2 se mění tlak v komoře 1. Funkční závislost mezi vzdáleností x a tlakem p_1 , který snímáme, je přibližně lineární. Střední oblast je zcela lineární, je to pracovní oblast snímače. Charakteristika snímače byla určena experimentálně.



Obr. 8. Princip pneumatického snímače pro měření tloušťky odřezané vrstvy.

4.1.2 Dotykový snímač pro měření tloušťky odřezané vrstvy

S ohledem na spotřebu tlakového vzduchu, jeho vypínání v centrálním rozvodu, byla navržena, realizována a ověřována konstrukce dotykového snímače.

Metoda je založena na snímání deformace pružného elementu snímače. Pružný element tvoří nosník, který je v místě vetknutí osazen polovodičovými tenzometry. Pomocí deformace tenzometrů je měřena a vyhodnocována velikost tloušťky odřezané vrstvy.

4.2 Objem materiálu obrobku

Stanovení této veličiny bude určeno pomocí software na základě měření tloušťky odřezané vrstvy a znalosti rozměrů obrobku. Postupným načítáním tloušťky odřezané vrstvy v průběhu broušení určíme objem odbroušeného materiálu z obrobku V_0 .

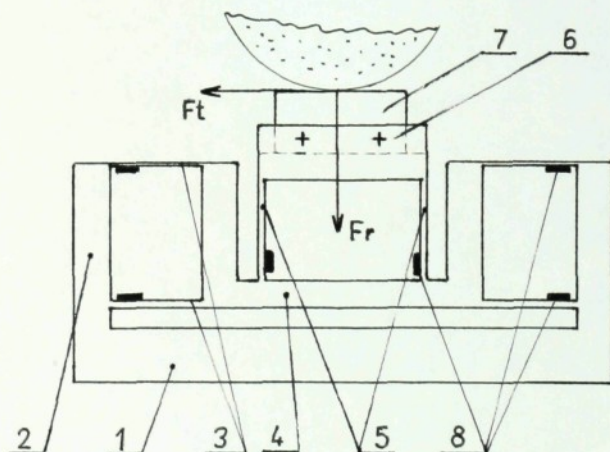
4.3 Obvodová rychlost brousícího kotouče

Tato veličina je v současné době určována tak, že po stanovení poloměru brousícího kotouče a jeho zadání počítači se vypočte v_k při znalosti otáček vřetene. Ke stanovení otáček vřetene byl použit integrovaný obvod MH 3SS2 s Hallovým generátorem, který působením magnetického pole mění logickou hodnotu na výstupu. Magnetické pole vznikalo od dvou magnetů umístěných symetricky v matici na vřetení brusky. Za jednu otáčku vřetene vzniknou tedy dva impulsy. Frekvenci impulsů vyhodnotí počítač pomocí podprogramu. Vlastní snímač otáček vřetene je umístěn v přírubě, připevněné šrouby v zadní části vřetene brusky.

4.4 Měření řezných sil

K měření řezných sil byl použit dvousložkový tenzometrický dynamometr, výrobek KOM TU. Dynamometr je uzpůsoben k upnutí k magnetickému stolu brusky.

Dynamometr je vyroben z jednoho kusu konstrukční oceli 11 600.1. Celkové uspořádání je zřejmé z obr.9. Z tuhé nosné části tvořené plochou základnou 1 a dvěma stojinami 2 vystupují čtyři vodorovné ploché membrány 3. Jsou určeny pro zjišťování velikosti svislé složky řezné síly F_r z deformací jí vyvolaných. Membrány nesou střední část dynamometru tvořenou opět jako podobný tuhý základ 4, z něhož vystupují dvě svislé membrány 5, které nesou upínací část 6. Tyto membrány jsou deformovány silou F_t a jsou určeny k jejímu měření. Obrobek 7 se upíná dvěma šrouby do držáku. Jeho maximální rozměry mohou být 20x60x60 mm. Membrány jsou polepené tenzometrickými snímači 8 tak, aby byla zajištěna jejich tepelná kompenzace.



Obr. 9. Tenzometrický dynamometr

4.5 Měření rychlosti podélného posuvu stolu brusky

Ke snímání této veličiny je užito inkrementální čidlo IRC 106, výrobce LARM Netolice (dříve ZPA Košíře). Vystupující počet impulsů je úměrný úhlovému natočení hřídele čidla, na který je upevněn pastorek s roztečnou kružnicí, jejíž obvod je 100 mm. Na jednu otáčku snímač vyše 1000 impulsů. Pastorek zabírá do ozubeného hřebene, jenž je upevněn k podélnému stolu brusky.

Rychlost posuvu podélného stolu brusky určíme přímým vyhodnocením frekvence impulsů dodávaných čidlem. Ke zpracování této veličiny bylo užito podprogramu ve strojním kódu.

4.6 Měření výkonu

Aparatura pro měření výkonu při broušení nebyla zatím sestavena. Její realizace zůstala ve fázi příprav.

Pro zpracování této veličiny pomocí počítače byl zakoupen převodník střídavého výkonu NC 290, výrobce Metra Blansko, který je určen pro měření činného výkonu v trojfázové síti. Výstupní veličinou je stejnosměrný proud v rozsahu 0 až 5 mA na zátěži 0 až 4 k Ω .

4.7 Měření teplot při broušení

Přístupy k výzkumu jsou zaměřeny na použití termočlánekových metod ať s jednou vloženou termoelektrodou, která je vkládána buď do vývrtu (středově umístěná), nebo do klínové drážky, případně se dvěma termoelektrodami jako termopár.

Jeden z možných způsobů je umístit mezi pŕlené vzorky platinovou folii, popř. folii z jiného materiálu, např. Cu nebo Al tloušťky 0,01 až 0,05 mm. Lze tak vytvořit přirozený termočlánek narušením izolačního materiálu a vytvořením spoje mezi termoelektrodou a broušeným materiálem. V oblasti mimo průchod brousícího kotouče není obvod uzavřen. Pokud neznáme termoelektrické potenciály vložené termoelektrody a broušeného materiálu, je nutné provést kalibraci. Tato problematika odpadá při použití páru o známé kalibrační závislosti.

4.8 Zhodnocení fyzikálních veličin vyvolaných procesem broušení

Fyz. veličiny získané při procesu broušení mají rozhodující vliv na kvalitu, účinnost a produktivitu brousícího procesu. Tento problém nejlépe vystihují tyto tři parametry:

- celková doba broušení,
- trvanlivost brousícího kotouče,
- střední aritmetická drsnost.

4.8.1 Celková doba broušení

Celkovou dobu broušení zjistíme průběžnou registrací vzájemného kontaktu brousícího kotouče a obrobku, např. z nárůstu řezné síly, ze znalosti rozměrů obrobku a rychlosti podélného posuvu stolu brusky po dobu trvání broušení.

4.8.2 Trvanlivost brousícího kotouče

Tato veličina je určena časem, obvykle v minutách, po který brousící kotouč odebírá materiál až do otupení. Významné je stanovení kritéria pro otupení kotouče. Jako kritérium se uvažuje snižování řezivosti, což se projevuje např. nárůstem řezných sil, změnou drsnosti povrchu, vznikem chvění, snížením úběru apod.

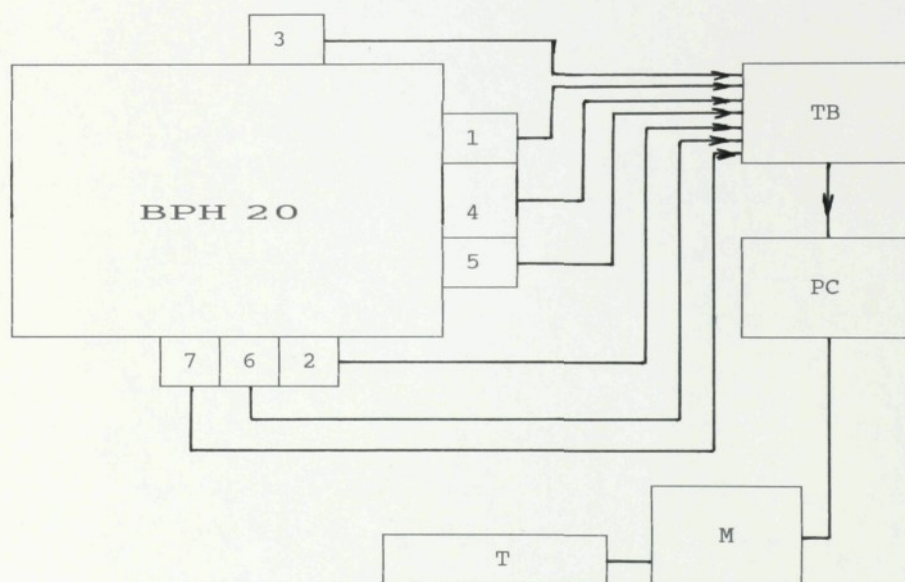
4.8.3 Střední aritmetická drsnost

Při měření této veličiny je nutno stanovit mezní hodnotu drsnosti, která ještě, při probíhajícím otupení kotouče, vyhovuje. Dle toho můžeme např. změnit řezné podmínky.

Měření střední aritmetické drsnosti R_a je možné provést v laboratoři na profiloměru Hommel Tester. Uvažovalo se o přenosné snímací jednotce na brusku.

5. NÁVRH KOMPLEXNÍHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘÍČÍHO SYSTÉMU PROCESU BROUŠENÍ (EMSPB)

Mým cílem je navrhnout zařízení (EMSPB), které bude snímat všechny uvedené fyzikální veličiny charakteristické pro proces broušení najednou, vyhodnocovat je a zobrazovat je na monitoru počítače. Funkčnost tohoto systému si lze představit pomocí blokového schema na obr. 10.



Obr. 10. Blokové schema EMSPB:

1 - snímač tloušťky odřezané vrstvy, 2 - snímač složek řezné síly, 3 - snímač obvodové rychlosti kotouče, 4 - snímač rychlosti podélného posuvu stolu brusky, 5 - snímač úbytku brousícího kotouče, 6 - měření výkonu, 7 - snímač pro měření teplot, BPH 20 - bruska, TB - transformační blok, PC - počítač, M - monitor, T - terminál

Realizace tak rozsáhlého projektu se musí provést postupně. V prvním kroku jsem přistoupil k snímání dvou parametrů, které nejvýstižněji charakterizují proces broušení. Těmito veličinami jsou obě složky řezné síly F_r a F_t .

6. REALIZACE ZAŘÍZENÍ PRO SNÍMÁNÍ, VYHODNOCENÍ A ZOBRAZENÍ SLOŽEK ŘEZNÝCH SIL

6.1 Ověření funkčnosti snímačů

Před započítím realizace daného problému bylo nutné nejdříve důkladně dynamometr prověřit. Pro zajištění regulérnosti měření jsem zprovoznil také inkrementální rotační čidlo, pomocí kterého jsem seřizoval rychlost pohybu stolu brusky. Toto čidlo bylo na brusku již dříve instalováno. Technický popis obou snímačů je uveden v příslušné kapitole diplomové práce. Nyní se budu zabývat zprovozněním a zkoušením obou těchto čidel.

6.1.1 Dynamometr

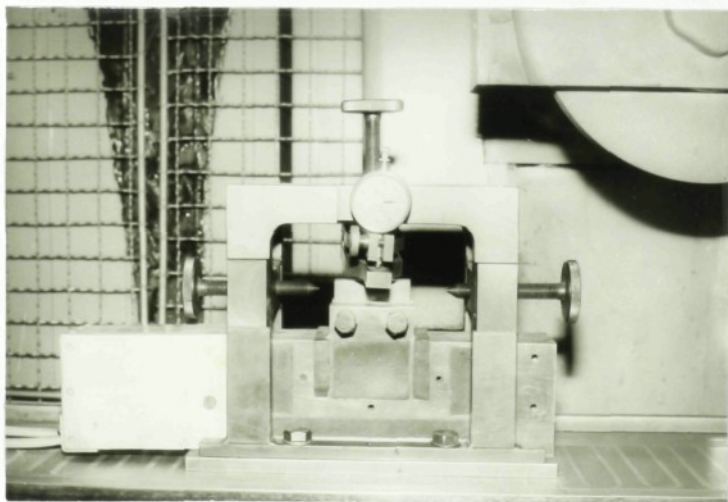
Nejdříve jsem provedl statickou kalibraci snímače. Dynamometr jsem napojil přes vyvažovací můstek M1000 na dva milivoltmetry. Každý z nich udával hodnotu jedné ze složek řezných sil v [mV]. Kalibraci jsem provedl pomocí kalibračního mostu a třmenového siloměru po té, co jsem dynamometr upnul na magnetický stůl brusky (obr. 11). Velikost kalibrovací síly byla vyvolána zatěžovacím šroubem přímo na třmenový siloměr a odtud přenesena na dynamometr. Kontrola velikosti kalibrovací síly se prováděla setinovým číselníkovým úchylkoměrem. Postupoval jsem takto:

1. Vynuloval jsem číselníkový úchylkoměr při nastavené nulové síle.
2. Postupně jsem zatěžoval dynamometr a odečítal hodnoty na přístrojích v rozsazích 0 až 600 N pro Fr a 0 až 350 N pro Ft. Naměřené údaje jsem zapisoval do tabulky.
3. Odlehčil jsem soustavu na nulovou hodnotu kalibrační síly.

Celý postup jsem opakoval pětkrát. Pro každou nastavenou

velikost síly jsem získal pět hodnot, ze kterých jsem udělal aritmetický průměr. Výsledkem jsou kalibrační křivky na obr.12. Zjistil jsem, že jejich průběh je lineární.

Dalším krokem bylo napojení dynamometru přes vyvažovací můstek M1000 (výrobce Mikrotechna Praha) a zesilovač Honeywell (výrobce Honeywell GMBH, Německo) na oscilograf Honeywell Recorder 2500 (výrobce Honeywell, Anglie). Aparatura se musela opět seřídít kalibrací. Kalibraci jsem prováděl pomocí přípravku s třmenovým siloměrem (obr. 13). Nastavovaná velikost kalibrovací síly se převáděla na výchylku paprsku zapisovače. Výsledkem jsou kalibrovací křivky, kde určitá výchylka paprsku odpovídá určité velikosti řezné síly (obr. 13). Kalibraci jsem provedl pro obě složky řezné síly.



Obr. 11. Pohled na dynamometr opatřený kalibračním zařízením

Celá procedura byla provedena tak, aby byl co nejprůzračněji využit papír zapisovače, takže každá ze složek sil měla nastavenou jinou zesilovací konstantu.

Návaznost jednotlivých úkonů byla následující:

1. Vynuloval jsem indikátorové hodinky v nezatíženém stavu.
2. Spustil jsem zapisovač a udělal záznam.
3. Postupně jsem nastavoval hodnoty sil a zaznamenával je na oscilografu. Využil jsem rozsah 0 až 80 N.
4. Odlehčil jsem soustavu na nulovou kalibrovací sílu a uskutečnil poslední záznam.

Po té jsem udělal zkušební broušení. Celé zařízení jsem seřídil tak, aby výchyly obou složek řezných sil byly při záběru brousícího kotouče zobrazeny přesně proti sobě směrem do středu papíru. Jeden z pořizovaných záznamů je na obr. 14. Na obrázku je zcela zřetelně vidět vyjiskřovací křivka, kterou bychom mohli proložit vrcholy jednotlivých záznamů u obou složek řezných sil. Všechna zkušební měření byla prováděna bez příčného posuvu, tj. zapichovacím způsobem. Tím byla zcela ověřena funkce dynamometru.

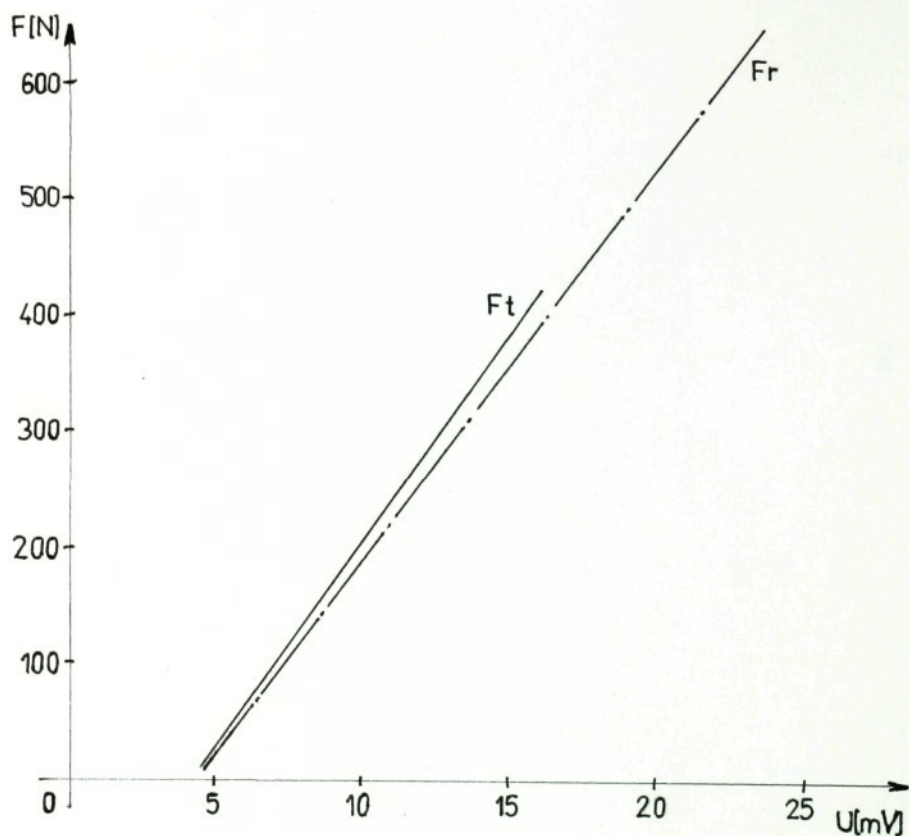
6.1.2 Inkrementální rotační čidlo

Uvést do chodu tento snímač se podařilo nakonec po spojení s výrobcem LARM a.s. Netolice.

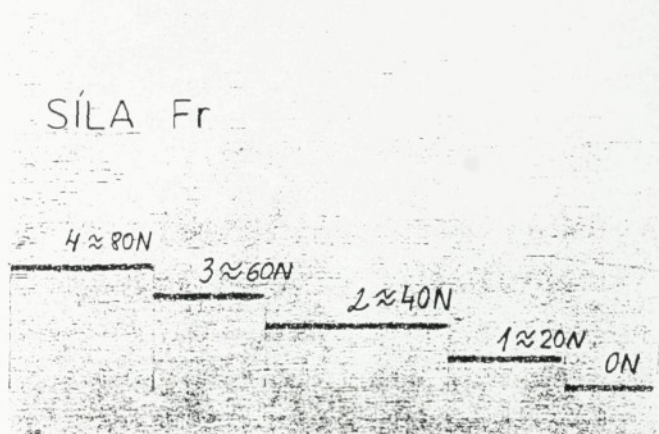
V první fázi jsem napojil čidlo na osciloskop (výrobce Tesla) (obr. 15). Po uvedení stolu do pohybu jsem sledoval tři signály pravoúhlého průběhu. Dva jsou periodicky opakované impulsy, které se mohou využít pro rozlišení směru točení čidla. Tyto signály jsou vzájemně posunuty o 90 stupňů elektrických. Třetí výstupní signál - nulový puls - je tvořen jedním impulsem za otáčku čidla. Zjistil jsem, že čidlo při otočení o 360 stupňů vydává 1000 impulsů, které odpovídají posunu stolu brusky přesně o 100 mm. Snímáním frekvence signálu je tedy zcela jednoznačně určená rychlost posuvu stolu.

Ve druhé fázi jsem napojil čidlo na čítač BM 520 (výrobce Tesla), jak je uvedeno na obr. 16. Tímto způsobem

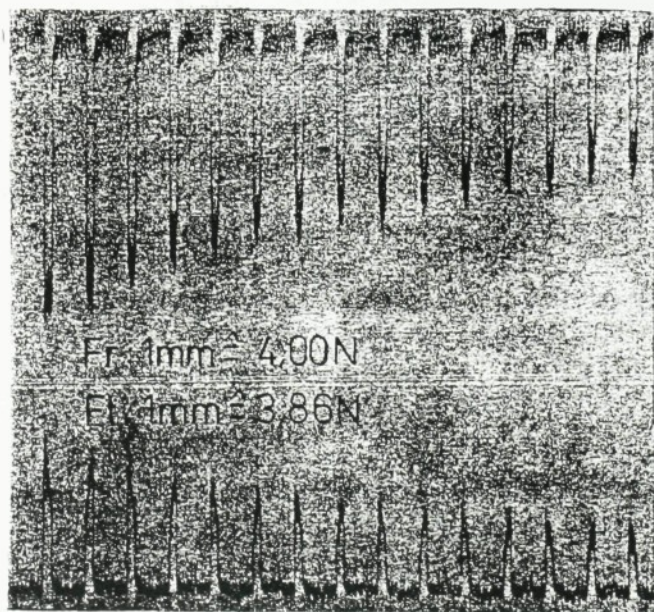
lze kontrolovat libovolnou rychlost stolu brusky, nastavovanou přímo na stroji. Platí vztah: 1kHz na digitálním čítači odpovídá rychlosti $0,1\text{ms}^{-1}$.



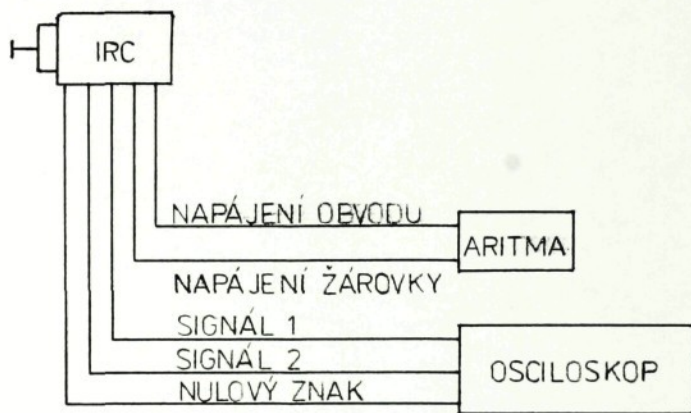
Obr. 12. Kalibrační křivky dynamometru



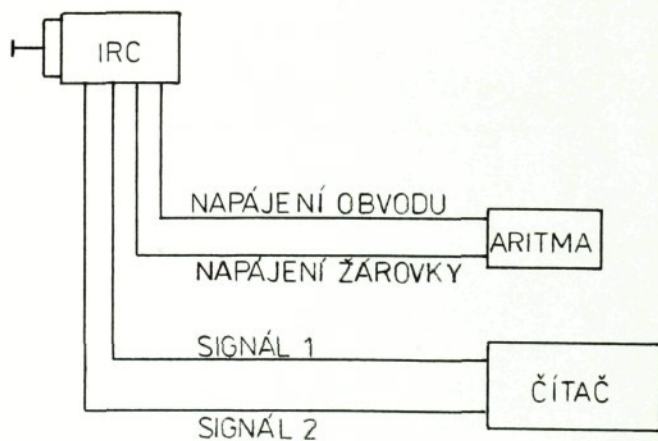
Obr. 13. Kalibrace záznamu na zapisovači



Obr. 14. Záznam řezných sil na zapisovači



Obr. 15. Napojení výstupních signálů Inkrementálního rotačního čidla na osciloskop.



Obr. 16. Napojení výstupních signálů Inkrementálního rotačního čidla na digitální čítač BM 520.

6.2 Control Panel

6.2.1 Popis systému

Pro správnou funkci celého zařízení bylo nutné zajistit vhodný program. Po rozboru mého problému padla volba na Control Panel (CP), v mém případě na školní verzi 1.56 (výrobce Alcor a.s. - Moravské přístroje).

Jedná se o objektově orientovaný systém pro generování programů pro monitorování a řízení technologických procesů. CP je určen pro běžná PC / AT s procesory 286 a vyššími. Systém může být využit ve strojírenství, hutnictví, chemickém a potravinářském průmyslu, v laboratořích, ve školství apod.

Při návrhu systému postupujeme podobně, jako bychom vytvářeli skutečné ovládací indikační panely v rozváděči nebo velínu. Místo plechových panelů a skutečných přístrojů pracujeme s jejich virtuálními modely, což přináší vysoké tvůrčí možnosti. Při sestavování aplikace se jedná vlastně o jakousi vyšší formu programování.

Základními prvky systému jsou:

- ovladač vstupně / výstupního zařízení,
- vstupní, výstupní nebo virtuální kanál,
- obrazový panel,
- virtuální přístroj.

Při návrhu aplikačního programu je nejdříve nutno nadefinovat vazby programu na reálná vstupní a výstupní zařízení. Provádí se to prostřednictvím symbolů ovladačů a kanálů. Potom můžeme rozmístit a propojit panely, přístroje, ovládací a indikační prvky, atd.

Není nutné ani textově zadávat popis vytvářeného systému. Grafickým editorem aplikací ovládaným myší je možné prostřednictvím obrázkových symbolů a dialogových oken vytvořit aplikační program, který můžeme myší i spustit a ovládat.

6.2.2 Orientace v CP

Po vstupu do CP jsou dvě cesty, kterými se můžeme vydat:

1. Výběr již vytvořeného programu nebo tvorba nové aplikace.
2. Otevření souborů naměřených hodnot např. při jejich vyhodnocování, vstup do manažeru souborů, atd. To provedeme pomocí okna **"Systémové menu"**, které se objeví po jednom dvojkliku myši při poloze kurzoru na modrém pozadí. Zde si můžeme vybrat mezi nabízenými možnostmi: **"Systém..."**, **"Okna"**, **"Manažer souborů"**, **"Kalkulátor"**, **"Databáze"**, **"Hodiny"**, **"Návrat do DOS..."**.

6.2.3 Tvorba a manipulace s aplikací v CP

Po najetí kurzorem myši na ikonu **"Překladač"** stiskneme levé tlačítko myši. Po vstupu do překladače odklikneme menu **"Nástroje"** a podmenu **"Editor aplikací"**. Objeví se velké okno pojmenované **"Editor aplikací - NONAME.CPR"**. V horní části okna jsou ikony, jejichž význam je popsán v příloze 2. Nyní se nám nabízejí dvě možnosti:

- a, nástrojem **"Nahrání souboru z disku"** vyvolat hotovou aplikaci,
- b, začít sestavovat nový program. Postup je následující:
 1. Definice ovladačů.
 2. Definice kanálů.
 3. Definice panelů.
 4. Definice přístrojů.
 5. Přeložení zdrojového textu a odstranění případných chyb.
 6. Spuštění aplikace.

1. Nejdříve musíme zvolit ovladače. Najedeme kurzorem na nástroj **"Definice ovladačů"**. Objeví se dialogové okno, odkud

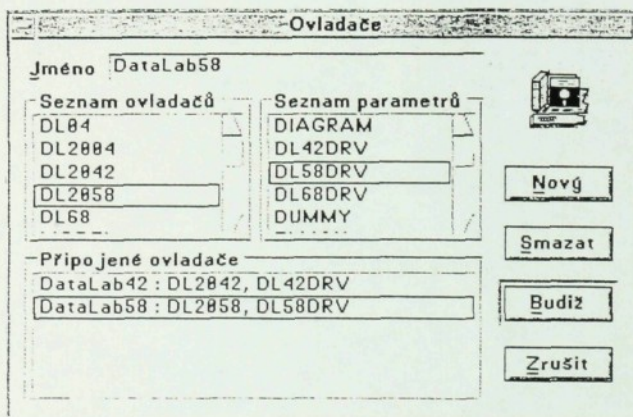
vybereme vhodnou kombinaci (obr. 17). V našem případě lze použít ovladače "ADC 1216.DLL" a "VSOURCE", což je virtuální ovladač. Postup je následující:

1. Zadáme libovolné jméno ovladače.
2. Najedeme kurzorem myši na "ADC1216.DLL", odklikneme.
3. Zvolíme parametr dle nabídky, v našem případě "ADC1216".

Doporučuji vždy postupovat od prvního okénka k poslednímu, aby nevznikaly zbytečné chyby, které by mohly znehodnotit vytvořený program.

Obdobně postupujeme i při definici virtuálního ovladače: "JMÉNO", "VSOURCE", "B VIRT".

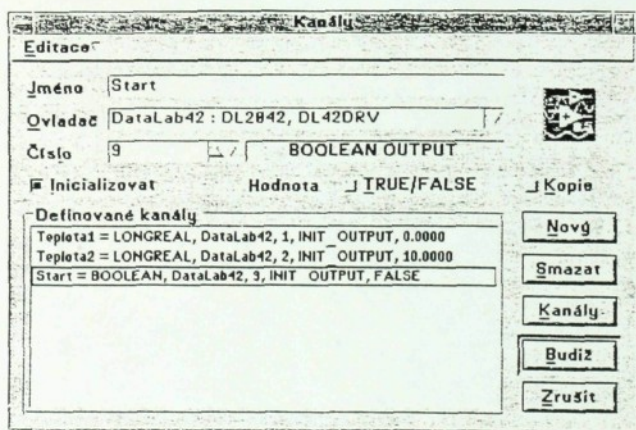
Při definici dalšího ovladače stiskneme virtuální tlačítko "Nový". Při potřebě smazání ovladače označíme daný ovladač v okně "Připojené ovladače" a zmáčkne "Smazat". Nakonec uložíme navolené ovladače pomocí "Budiž". Příkaz "Zrušit" umožňuje výstup z okna "Ovladače", aniž by nastaly nějaké změny. Příkazy "Nový", "Smazat", "Zrušit" a "Budiž" mají zcela stejnou funkci i v ostatních oknech.



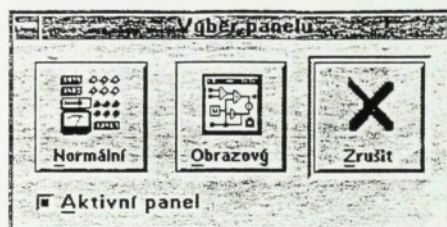
Obr. 17. Dialogové okno pro definici ovladačů

2. Definice kanálů probíhá v dialogovém okně, které je na obr. 18, kde můžeme navolit libovolný počet kanálů. Postup je obdobný: "Jméno", "Výběr ovladače", "Číslo".

3. Následuje tvorba panelu. V okně "Výběr panelu" (obr.19) odklikneme variantu "Normální". Po té se v levém horním rohu objeví panel, který si pomocí kurzoru přemístíme a zvětšíme. V jeho horní části je jméno "Nepojmenovaný". Po stisknutí pravého tlačítka u myši se objeví dialogové okno. V tomto okně použijeme pouze údaj "Jméno", který slouží pro pojmenování celé soustavy. Ostatní údaje se týkají pouze velikosti a umístění panelu, které můžeme měnit myší. Lze použít také okno "Volby", které jsem nevyužil. V tomto okně můžeme měnit barvy panelu, apod. Pokud nám navržený panel vyhovuje, odklikneme "Budiž".



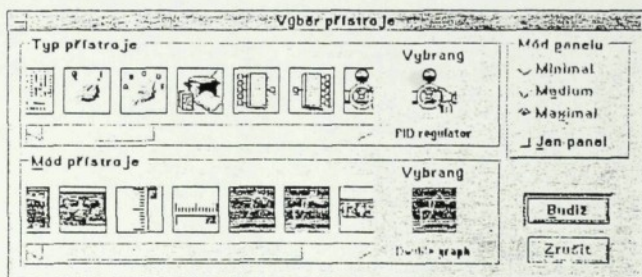
Obr. 18. Dialogové okno pro definici kanálů



Obr. 19. Modální dialogové okno pro výběr panelu

4. Definice přístrojů. Objeví se dialogové okno "Výběr přístroje" (obr. 20). Pomocí myši vybereme a odklikneme "Typ přístroje" a k němu příslušný "Mód". V mém případě kombinace "Real instrument" - "Pointer". Jedná se o ručkový přístroj s malým displayem. Standardně se každý přístroj zobrazí ještě v malém panelu, kde můžeme uvést např. námi zvolené jméno přístroje. Pokud si přejeme na panel umístit pouze samotný přístroj, zmáčkneme tlačítko "Jen panel" v pravé horní části. Následuje "Budiž". V levém horním rohu se objeví přístroj, který si můžeme opět libovolně přemístit a zvětšit.

Po najetí kurzorem na přístroj a zmáčknutí pravého tlačítka myši se objeví dvě ikony, odklikneme levou. Vstoupíme do okna "Parametry přístroje", kde stanovíme všechny parametry přístroje. Je nutné nastavit tyto hodnoty: "Vzorkování", "Rozsah" (doporučuji nastavit stejnou hodnotu rozsahu do plusu i do mínusu, aby nulová hodnota na stupnici přístroje byla uprostřed). Tlačítkem "Vstup" zadáváme přístroji zpracovávaný kanál, který vybereme po stisknutí tlačítka "Výraz". Je zde možné také zadat kalibrační konstantu, neboli libovolné zesílení nebo zeslabení signálu.



Obr. 20. Okno pro výběr přístroje

Stiskneme **"Budiž"** a máme hotovou jednoduchou aplikaci.

Při jakémkoliv zásahu do přístroje nebo panelu musí být daný objekt označený červeným rámečkem, jinak s ním nelze cokoliv provádět. To zajistíme stiskem levého tlačítka myši.

Pokud si přejeme naměřené hodnoty ukládat, pak je nutné nadefinovat **"Archivář"** dat. Najedeme na nástroj **"Definice přístrojů"** a ve volbě **"Typ přístroje"** vybereme **"Archiver"**. Po té zmáčkneme **"Budiž"**. Doporučuji přenést tuto ikonu do levého spodního rohu panelu nebo do mezery mezi více přístroji. Po stisknutí pravého tlačítka myši zadáme parametry. Nutné je zadat: **"Identifikátor"** (libovolný - jedno písmeno) a **"Typ"** (doporučuji **"Hodinové"**) a všechny položky, které chceme ukládat. Postup je následující:

1. **"Název"** (libovolný),
2. **"Formát"** (např. xxx.xx),
3. **"Kanál"** (vybereme z nabízených možností).

Od okamžiku stisku **"Budiž"** budou všechna měření po odstartování programu zaznamenávána.

5. Nyní již můžeme program odladit. To provedeme pomocí nástroje, který je zobrazen v editoru jako čtvrtý zprava. Při chybě v programu se objeví okénko **"Chyba"**. Po volbě **"Ano"** v tomto objektu se vynoří okno, kde se chyba nachází.

6. Aplikaci spustíme zelenou šipkou. Zastavíme ji po odkliknutí ikony **"Editor aplikací"** v levém dolním rohu obrazovky, dále následuje **"Obnovení"**, **"Stop"** a **"Budiž"**.

Pokud si chceme aplikaci přejmenovat, musíme použít menu **"Soubor"**. Vybereme podmenu **"Uložit jako..."** a do řádku **"Soubor"** zadáme nové jméno aplikace. Vše potvrdíme příkazem **"Budiž"**.

6.3 Aplikace TEST.CPR

Aplikaci, kterou jsem sestavil pro měření řezných sil, tvoří:

Tabulka č.1

Ovladače		
Jméno	Parametr	Ovladač
Bruska Virtualni	ADC 1216 B Virt	ADC 1216.DLL VSOURCE

Tabulka č.2

Kanály			
Jméno	Typ	Ovladač	Číslo
silá Fr	LONG-IN	Bruska	1
silá Ft	LONG-IN	Bruska	2
radial	LONG-OUT	Virtualni	97
tangencial	LONG-OUT	Virtualni	99

Tabulka č.3

Panel	
Jméno	Typ
Diplomová práce	Normální

Tabulka č. 4

Přístroje			
Jméno	Typ	Mód	Kanál
SILA Fr	Real instrument	Pointer	сила Fr
SILA Ft	Real instrument	Pointer	сила Ft
p1	Real instrument	Pointer	radial
p2	Real instrument	Pointer	tangencial

Tabulka č.5

Archív			
Jméno	Archivované položky	Vstupní kanály	Interval ukládání
Bruska	FR [N]	radial tangencial	0,01 s
	FT [N]		0,01 s

6.3.1 Vedení signálů

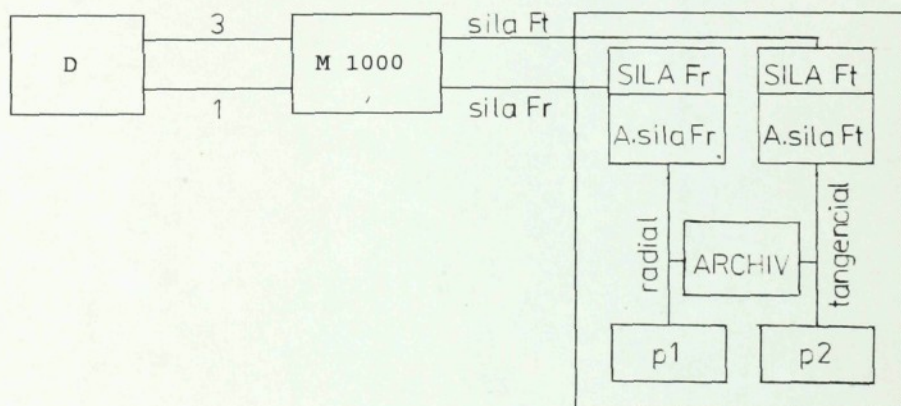
Z dynamometru vystupují dva signály. Jeden je nositelem hodnot síly Fr, druhý síly Ft. Tím jsou dány dva kanály. Signály jsou vedeny kabely 1 a 3, které vystupují přímo z dynamometru a jsou napojené na vyrovnávací můstek Mikrotechna M 1000. Zde je signál upraven a dále odveden do PC, konkrétně na desku ADC 1216D a to na její první (Fr) a druhý (Ft) kanál. V programu jsou kanály pojmenované síla Fr a síla Ft. Jsou nadefinovány jako vstupní kanály do virtuálních přístrojů v oknech "Parametry přístroje".

Při další práci se vyskytl následující problém: při zadání zesilovací konstanty se zesílení projevilo na hodnotách, které ukazovaly přístroje, ale archivář zaznamenával neustále nezměněné - nezesílené hodnoty složek

obou sil. Je tomu tak proto, že signál je možné zesílit pouze na vstupech do přístrojů, ale na vstupu do archiváře nikoliv, přičemž archivář je možné připojit výhradně na vstupní kanály přístrojů.

Tento nedostatek jsem vyřešil nadefinováním dvou pomocných přístrojů **p1** a **p2**, které jsem napojil na výstupy z předchozích přístrojů. Propojení jsem provedl virtuálními kanály **radial** (pro sílu F_r) a **tangencial** (pro sílu F_t). Jelikož zesilovací konstanta je nadefinovaná v přístrojích **SILA F_r** a **SILA F_t** , signály procházející kanály **radial** a **tangencial** jsou již zesílené a přímo napojené na archivář. Kanály **radial** a **tangencial** jsou tedy výstupními kanály přístrojů **SILA F_r** a **SILA F_t** , vstupními kanály obou pomocných přístrojů **p1** a **p2** a zároveň vstupními kanály pro archivář.

Pomocné přístroje nejsou na monitoru vidět, protože jsem je překryl hlavními přístroji. Získal jsem tím větší přehlednost panelu. Pro úplnost je ještě nutno dodat, že při zavádění virtuálních kanálů bylo třeba nadefinovat virtuální ovladač **Virtualní** (okno Definice ovladačů).



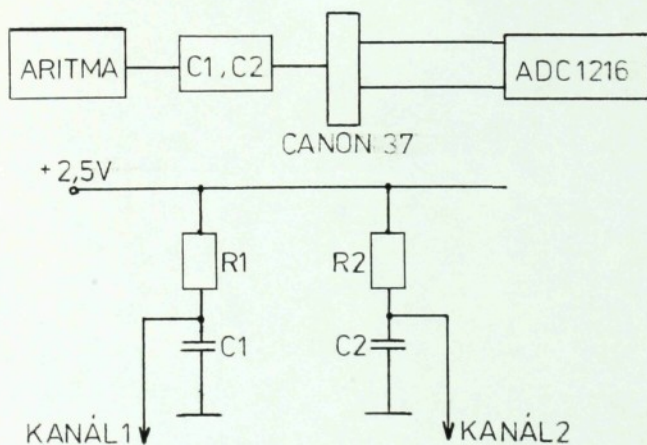
Obr. 21. Blokové schema vedení signálu

6.3.2 Ověření funkce aplikace

Takto sestavený celek bylo nutné nejdříve důkladně vyzkoušet.

Použil jsem k tomu účelu dva kondenzátory s různými časovými konstantami a laboratorní zdroj Aritma (výrobce Aritma Praha). Zapojení a typ kondenzátorů je na obr. 22.

Pomocí zdroje jsem nabíjel a vybíjel kondenzátory v celém rozsahu použité desky ADC1216D, které byly napojené na první a druhý kanál. Simuloval jsem tak činnost dynamometru. Tyto jevy jsem sledoval na přístrojích, kde se jedna ručička hýbala rychleji a druhá pomaleji. Přístroje v tu chvíli ukazovaly hodnoty napětí na kondenzátorech.



Obr. 22. Blokové schéma simulačního zařízení

6.3.3 Tisk naměřených hodnot

Při potřebě výtisku výpisu naměřených hodnot musíme nadefinovat výstupní sestavu (formulář pro tisk) a to u každého souboru zvlášť. Velmi podrobný postup je uveden v příloze 2, proto není třeba jej uvádět.

Při tisku grafu musíme soubor naměřených hodnot přemístit do tabulkového systému. Já měl k dispozici QPRO. Celý proces zahrnuje dva exporty. První je z CP do T602 (nebo do jiného libovolného textového editoru), kde jsem hodnoty třídil pomocí nástroje **"Sloupcové bloky"**. Roztřídění spočívá v rozdělení hodnot do sloupců (datum, čas, Fr, Ft) a v jejich vzájemném oddálení, jelikož po exportu jsou hodnoty spojené dohromady a zcela nepřehledné. Následuje export z T602 do QPRO. Tyto hodnoty však nebyl schopen QPRO načíst. Musel jsem je nejdříve přepsat do jednoho z volných sloupců. Teprve potom bylo možné zadat série těchto přepsaných hodnot k vytvoření grafu.

Nyní jsem považoval celé zařízení za důkladně vyzkoušené a mohl jsem je napojit na brusku.

6.3.4 Napojení na brusku, kalibrace

Odpojil jsem zkušební kondenzátory a připojil místo nich na kanály 1 a 2 výstupy z můstku M 1000. Mohl jsem tedy již přistoupit ke kalibraci. Uvedu postup pouze u jedné ze složek řezných sil, u druhé složky jsem postupoval zcela identicky.

Nejdříve jsem nastavil zesilovací konstantu 1. Dále jsem provedl postupné zatěžování pomocí třmenového siloměru, pro který platí převodní vztah $1,92 \text{ mm} = 10 \text{ kN}$. Získal jsem sedm hodnot pro svislou sílu a pět hodnot pro vodorovnou sílu. Měření jsem opakoval pětkrát, z těchto pěti měření jsem udělal u každé hodnoty aritmetický průměr. Dbal

jsem na to, aby kalibrace proběhla v odpovídajícím potřebném rozsahu, který budu používat při experimentech. Pro každou ze získaných hodnot jsem spočítal kalibrační konstantu dle vztahu

$$A = \frac{Fe}{B} . \quad (10)$$

Z takto získaných hodnot jsem udělal aritmetický průměr, čímž jsem provedl linearizaci. Výsledné hodnoty kalibračních konstant jsou:

- radiální směr: 750.354,
- tangenciální směr: 384.301.

6.3.5 Metodika zpracování naměřených hodnot

Pro výtisk výpisu hodnot nadefinujeme výstupní sestavu, jak je uvedeno v příloze 2.

Pokud potřebujeme vytisknout vyjiskřovací křivku (kapitola 2.5), musíme znát alespoň prvních deset zaznamenaných hodnot řezných sil. Tyto hodnoty získáme z výpisu naměřených hodnot v databázi a to tímto způsobem: vyhledáme postupně prvních deset měření a z hodnot, které tato měření představují, provedeme aritmetický průměr pomocí nástroje k tomu určenému (viz menu). Počet zaznamenaných hodnot v jednotlivých měřeních závisí na těchto nastavených parametrech: frekvence vzorkování (0,01), počet záznamů za 1s do archiváře (100), rychlost pojezdu stolu ($0,2 \text{ ms}^{-1}$) a délka vzorku (60 mm). Já jsem nejčastěji pracoval s hodnotami uvedenými v závorkách. Např. při $v_0 = 0,2 \text{ ms}^{-1}$, frekvenci vzorkování 0,1, při intervalu zápisu dat 0,1 s, přibývaly průměrně na jeden záběr čtyři zápisy do archiváře.

Těchto deset zpracovaných údajů přepíšeme do QPRO. Získáme tedy dvě série (Fr a Ft) po deseti naměřených hodnotách (osa y). Osa x bude určovat čas. Pro jednoduchost uvažujeme, že časová mezera mezi jednotlivými záznamy (záběry kotouče) je 5 s. Tím získáme zcela stejné časové intervaly mezi deseti naměřenými hodnotami v souřadném systému, které vystihují vyjiskřovací křivku. Je to nezbytná úprava pro vzájemné porovnávání měření.

Chceme-li vytisknout celý průběh broušení, nezbyvá než kompletní soubor naměřených hodnot vyexportovat do tabulkového systému (QPRO). Celá procedura spočívá ve dvou exportech a je popsána v kapitole 6.8.

6.4 Technické údaje

6.4.1 Tenzometrický dynamometr

Dvousložkový tenzometrický dynamometr vyrobený na katedře KOM

Rozsah: Fr = 0 až 600 N

Ft = 0 až 350 N

Materiál: ocel 11 600.1

Konstrukce: těleso dynamometru je vyrobené z jednoho kusu materiálu. Celkové uspořádání je jasné z obr. 9.

Funkce: čtyři vodorovné ploché membrány polepené tenzometrickými snímači, zjišťují velikost svislé složky řezné síly. Podobně pomocí dvou svislých membrán zjišťujeme velikost vodorovné složky řezné síly. Membrány jsou také polepené tenzometrickými snímači.

Počet výstupů: dva samostatné výstupy

Způsob uchycení vzorku: dvěma upínacími šrouby M8 do drážky

Maximální rozměry upínaného materiálu: 20 x 30 x 60 mm

6.4.2 Inkrementální rotační čidlo IRC 106

Výrobce: LARM Netolice a.s.

Napájení: stejnosměrné, stabilizované, samostatné pro žárovku a elektronické obvody.

- pracovní obvody: 4,75 až 13 Vss

- žárovka: 4 Vss

Výstupní napětí log. 0 (úroveň L): 0 až 0,5 Vss
(při $R_z = 1 \text{ k}\Omega$)

Výstupní napětí log. 1 (úroveň H): min. 85 % napájecího
napětí (při $R_z = 1 \text{ k}\Omega$)

Mezní kmitočet výstupního signálu: 6 kHz

Výstup nulového pulsu zaručen do frekvence základního
signálu: 3 kHz

Házivost nalepeného pastorku: do 0,01 mm

Vstupní hřídel

- přípustné radiální zatížení: max. 20 N

- přípustné axiální zatížení: max. 10 N

- mechanické a funkční otáčky: max. 50 ot.s⁻¹

- přípustné zrychlení: max. 20000 rad.s⁻¹

Max. třecí moment: méně než 0,002 Nm

Převod: ozubený pastorek s evolventním ozubením na hřídeli
čidla, ozubený hřeben na pohyblivé části stolu
brusky

Hmotnost: 1,1 kg

Životnost: - IRC 10 000 hod.,

- žárovka 1 000 hod.

Typ výstupního konektoru: VŠ 24 B 11 Š 1

6.4.3 Výpočetní technika

Počítač: PC 386 DX 40

Deska: ADC1216D

Výrobce: ADICOM Praha s.r.o.

Počet kanálů:

- analogové: 16 plně diferenciálních

- číslicové: 8 vstupů, 8 výstupů

Rozlišení: 12 bitů

Vstupní rozsahy: $\pm 2,5$ V

Polarita: bipolární/unipolární

Metoda převodu: postupná aproximace - programem řízená

Vstupní odpor: min. $1 \cdot 10^{12} \Omega$

Max. vstupní napětí: ± 30 V

Doba převodu: dle použitého typu počítače

Rozměry: cca 140 x 110 mm

Napájení: 5 V / 0,16 A, ± 12 V / ± 25 mA

IN/OUT: 1 x 16 / 2 x 16 analogový CANON-37 na panelu karty,
8 + 8 TTL/LS - kontaktní pole na desce HEADER 20 pin

6.4.4 Bruska

Vodorovná rovinná bruska BPH 20

Upínací plocha stolu: 200 x 630 mm

Největší hmotnost obrobku: 140 kg

Brousící kotouč: průměr x šířka x vrtání 250 x 20 x 76

Podélný pohyb stolu: 630 mm

Příčný pohyb stolu: 220 mm

Svislý pohyb brousícího vřetena: 350 mm

Rychlost podélného pohybu stolu: 0 - 18 mm $\cdot$ min $^{-1}$

Svislý přísuv: ruční (na 1 dílek stupnice): 0,01 mm

hydraulický: 0,01 - 0,05 mm

Otáčky brousícího vřetena: 2 500, 3 600 ot/min

Elektromotor brusného vřeteníku: 1,5 kW

Elektromotor pro svislý pohyb brousícího vřetena: 0,37 kW

Elektromotor pro pohon hydraulického agregátu: 1,5 kW

Množství oleje pro hydraulický pohon: 45 l

Rozměry stroje: délka x šířka x výška 2 460 x 1 350 x 1 480 mm

Hmotnost stroje: 1 380 kg

6.4.5 Další použité přístroje

Čítač BM 520, Tesla Praha

Kondenzátory: - $C_1 = 1000 \mu F$

- $C_2 = 500 \mu F$

Laboratorní zdroj Aritma, Aritma Praha

Můstek M1000, Mikrotechna Praha

Můstek Honeywell, Honeywell GMBH, Německo

Oscilograf Honeywell, Honeywell, Anglie

Osciloskop, Tesla Praha

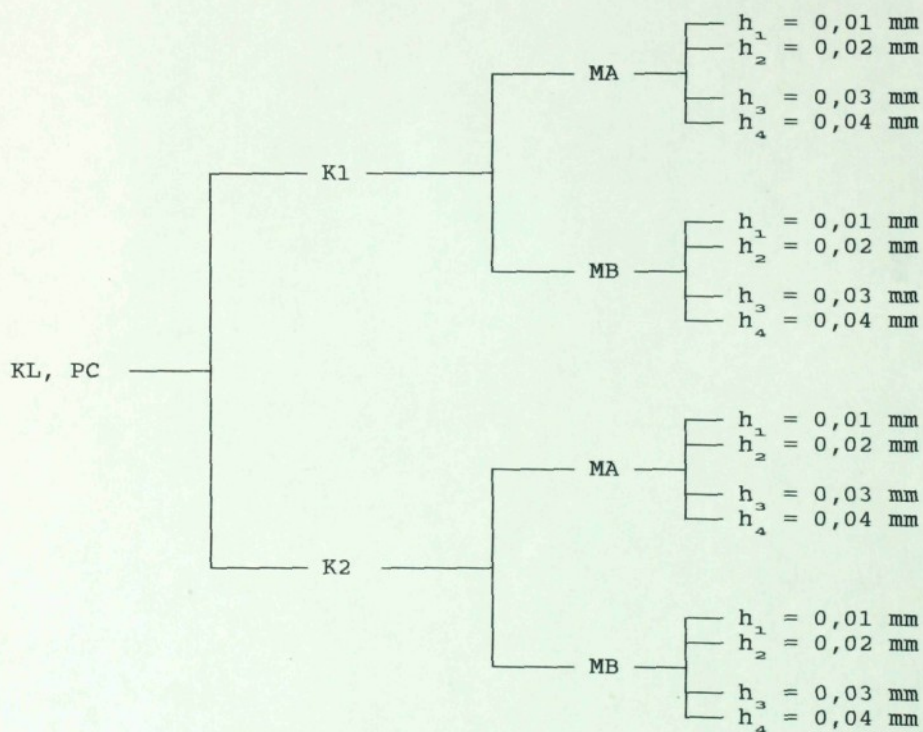
Setinové indikátrové hodinky, Somet

Třmenový siloměr: 1,92 mm odpovídá síle 10 kN

7. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

7.1 Plán měření

Cílem měření je porovnat klasickou metodu s oscilografem (KL) a novou metodu s PC (PC). Provedl jsem identická měření na obou aparaturách. Postupoval jsem podle následujícího plánu:



MA: ocel 14 109.4, rozměry vzorku: 60x15x35 mm

MB: ocel 17 246.0, rozměry vzorku: 60x15x35 mm

K1: kotouč 250x20x76 A99 25 L 9 V

K2: kotouč 250x20x76 37 C 60 - KVK

7.2 Příprava měření

A, Příprava brousícího kotouče

1. Zvuková zkouška.
2. Nasazení na příruby.
3. Statické vyvážení.
4. Upevnění na vřeteno brusky.
5. Orovnaní pracovní plochy diamantovým jednozrným orovnávačem.
6. Pokud chod není klidný, provedeme znovu vyvážení a po něm orovnaní.

B, Příprava dynamometru

1. Upnutí na magnetický stůl brusky.
2. Upevnění vzorku šrouby do drážky dynamometru.
3. Přebroušení vzorku pro dosažení čisté broušené plochy.

C, Příprava aplikace TEST.CPR (jen aparatura PC)

1. Vstup do aplikace.
2. Případná změna identifikátoru v archiváři pro označení měřeného souboru.
3. Kontrola nastaveného vzorkování na přístrojích. Já jsem používal časový krok vzorkování 0,01 s.
4. Přeložení zdrojového textu.

D, Příprava stroje

1. Chod stroje na prázdko přibližně 20 min.
2. Nastavení řezných podmínek.

E, Řezné podmínky

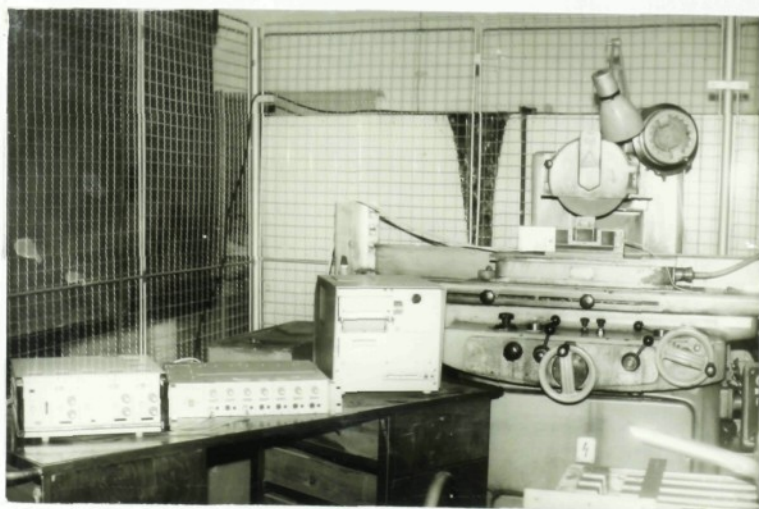
1. $v_k = 3\ 600\ \text{ot/min}$
2. $v_o = 1,2\ \text{m/min}$
3. Bez chlazení

7.3 Vlastní měření

7.3.1 Měření na KL aparatuře

Zapneme registrační aparaturu (obr. 23). Uvedeme do pohybu stůl brusky. Začíná měření jedné vyjiskřovací křivky. Na výchylkách paprsku oscilografu můžeme pozorovat postupné zmenšování hodnot řezných sil.

Já jsem nechal pojezdové ústrojí stolu spuštěné po dobu osmnácti záběrů kotouče do obrobku. Měření pro každou hloubku řezu jsem pětkrát opakoval, získal jsem tedy šest měření pro každý úběr. Při výměně materiálu jsem vždy důkladně orovnal brousící kotouč.

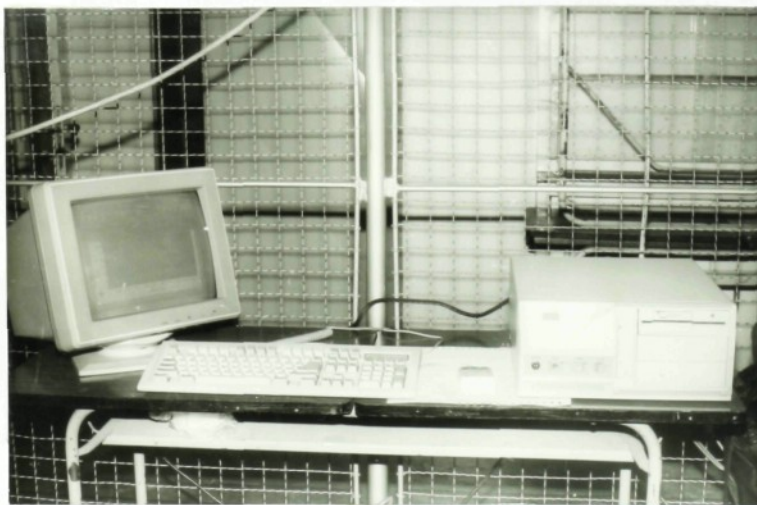


Obr. 23. KL aparatura se zapisovačem

7.3.2 Měření na PC aparatuře

Spustíme program. Zkontrolujeme, zda ručičky přístrojů jsou na nulové hodnotě stupnice. Pokud tomu tak není, vynulujeme měřidla pomocí regulace na můstku M1000. Otevřeme ventil hydraulického posuvového ústrojí, čímž se stůl s dynamometrem uvede do pohybu.

V okamžicích úběru třísky můžeme na přístrojích sledovat hodnoty sil, které se s přibývajícími záběry zmenšují. Počet dvojzdvihů stolu i všechny ostatní parametry a podmínky měření byly stejné jako KL metody.



Obr. 24. Nová podoba pracoviště ve strojních dílnách

8. ZHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

Hodnocením jsem chtěl co nejlépe vystihnout rozdíly při měření KL a PC aparaturou. Všechny naměřené hodnoty jsou v tabulkách č.1 až 32 (KL) a č.33 až 64 (PC) (příloha č.1). Hodnotil jsem 2. až 5. měření. Při prvním záznamu jsem zjistil vždy menší hodnoty sil z důvodu nižší teploty vzorku. Sestavil jsem grafy závislostí $F = f(h)$ (G01 - G08), $F = f(t)$ (G09 - G24) pro obě složky řezné síly. V jednom souřadném systému jsou vždy dvě křivky. Jedna odpovídá měření na PC (červená plná čára) a druhá na KL zařízení (zelená čárkovaná čára). Zjištěné rozdíly jsou uvedené G25 až G48, kde jsem provedl srovnání v procentuálním a silovém vyjádření (v grafech je pro větší přehlednost uvedeno vždy jen jedno z nich). Vše je zaznamenáno v příloze č. 1. Můj postup byl následující:

1. KL: získal jsem hodnoty sil ze záznamů pomocí pravítka a zapisoval je do tabulek,
PC: z výpisu hodnot jsem zjistil velikosti sil postupem popsaným v kapitole 6.3.5, uspořádal jsem je do tabulek.
2. Metodou nejmenších čtverců jsem získal z pěti měření u každého záběru brousícího kotouče jednu výslednou hodnotu, kterou jsem použil při dalším zpracování.
3. Sestavil jsem závislosti $F_r = f(h)$, $F_t = f(h)$; $F_r = f(t)$, $F_t = f(t)$ (jen $h = 0,03$ a $0,04$ mm - při $h = 0,01$ a $0,02$ mm byly vyjiskřovací křivky navýrazné).

4. Porovnávací grafy:

A, Silové porovnání

1. Diference jednotlivých hodnot sil
2. Sestavení grafů

B, Procentuální porovnání

1. Vyjádření jednotlivých hodnot sil v [%]
Fr: 200 N = 100 %
Ft: 100 N = 100 %
2. Diference jednotlivých hodnot
3. Sestavení grafů

5. Porovnal jsem hodnoty řezivosti pro $h = 0,04$ mm. Použil jsem **Majkusovo kritérium**

$$K = \frac{V_p}{Fr} , \quad (11)$$

které platí pro broušení vnějších válcových ploch. Pro rovinné broušení jsem je upravil na tvar

$$K = \frac{h}{Fr_1} , \quad (12)$$

kde Fr_1 je jednotková síla připadající na jednotku šířky obrobku. Při dosazování Fr vycházely neúnosně malé hodnoty K . Výsledky jsou v tabulkách č. 6 a 7.

Tabulka č. 6: K1

K . 10 ⁻³ [N]		
	PC	KL
MA	3,663	5,427
MB	3,285	4,306

Tabulka č. 7: K2

K . 10 ⁻³ [N]		
	PC	KL
MA	3,853	4,179
MB	3,233	3,856

9. ZÁVĚR

Na základě provedených měření a nabytých zkušeností při práci s novým systémem lze celý projekt zhodnotit ze čtyř pohledů:

1. Manipulace s novým systémem v porovnání se starou aparaturou:

a, výhody:

- možnost otevření souboru naměřených hodnot bezprostředně po jejich získání,
- možnost okamžitého grafického zobrazení průběhu broušení na monitoru a volby mnoha úprav po skončení měření,
- možnost průběžného sledování měření na přístrojích,
- zadávání všech parametrů snímání veličin do přehledných oken,

b, nevýhody:

- v systému Control Panel nelze vytisknout graf,
- v systému Control Panel není možný výtisk odfiltrovaných naměřených hodnot,
- musíme hlídat kapacitu paměti počítače. Jeden naměřený soubor při intervalu zápisu dat 0,01 s vyžaduje přibližně 120 kB.

2. Výsledky měření PC metodou:

- a, velikosti sil Fr_{KL} a Fr_{PC} se výrazněji liší při hodnotách vyšších než 90 N (až 20 %), při nižších hodnotách jsou difference do 10 %,
- b, rozdíly hodnot sil Ft_{KL} a Ft_{PC} jsou stejné v celém rozsahu měření, výjimečně jsou větší než 15 %,
- c, vysoký počet zaznamenaných hodnot pro každý záběr brousícího kotouče do vzorku,

- d, při měření s neorovnaným brousícím kotoučem jsem naměřil až o 50 N vyšší hodnoty řezné síly F_r ,
 - e, vyjiskřovací křivky (G09 až G24) mají plynulejší průběhy v porovnání se starou metodou s oscilografem.
3. Přínosy nového systému pro výzkum v oblasti broušení:
- a, snímání, sledování a zaznamenávání všech fyzikálních veličin (kapitola 3) charakterizujících proces broušení najednou,
 - b, zpřesnění měření.
4. Další kroky a vylepšení systému:
- a, napojení, snímání a vyhodnocování dalších veličin. Upřednostňuji postupnou realizaci těchto parametrů:
 - rychlost pojezdu stolu brusky,
 - tloušťka odřezané vrstvy,
 - obvodová rychlost brousícího kotouče.
 - b, možné vylepšení systému použitím programu, který vytiskne grafické závislosti a statisticky vyhodnotí experimenty. Doporučuji systém INMES.

Na závěr bych chtěl poděkovat rodičům za podporu při studiích, Ing. Jaroslavu Votočkoví za odborné vedení při tvorbě diplomové práce, Doc. Ing. Jaromíru Gazdovi, CSc. za poskytnutí potřebných konzultací, Ing. Janu Kočímu za cené rady při sestavování programu, Milanu Pulcovi za vytvoření vhodných podmínek při realizaci experimentů.

Seznam použité literatury

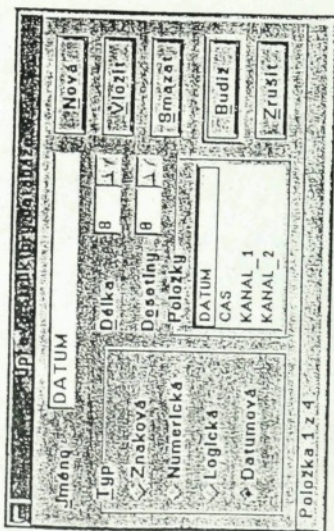
- [1] DRÁB, V. : Technologie I., Liberec 1985, VŠST - fakulta strojní, 295 s
- [2] GAZDA, J. : Řezivost brusných kotoučů, habilitační práce, Liberec 1979, VŠST - fakulta strojní, 131 s
- [3] GAZDA, J. : Teorie obrábění: Řezné síly při obrábění, Liberec 1993, VŠST - fakulta strojní, 123 s
- [4] GAZDA, J. : Experimentální pracoviště pro studium obrobiteľnosti broušením (závěrečná zpráva), Liberec 1990, VŠST - fakulta strojní, 46 s
- [5] MASLOV, J.N.: Teorie broušení kovů, SNTL 1979, 248 s
- [6] PŘÍKRYL, Z.: Teorie obrábění, SNTL 1982, 240 s
- [7] ROJEK, P.: Statistické zpracování parametrů broušení a výsledků měření zbytkových pnutí pomocí mikropočítače (diplomová práce), Liberec 1988, VŠST - fakulta strojní, 60 s
- [8] VÁVRA, P. : Strojnické tabulky, SNTL 1983, 672 s
- [9] ALCOR : Control Panel (Příručka uživatele), Brno 1994, L - Print, 275 s

Seznam příloh

- CHXB1*
Příloha č. 1: Disketa č. 1 (členění souborů do adresářů
a jejich obsah v příloze 3)
Příloha č. 2: Vybrané statě z příručky uživatele CP
Příloha č. 3: Obsah diskety č. 1
Příloha č. 4: Ukázka naměřených vyjiskřovacích křivek
Příloha č. 5: Disketa č. 2 (soubory naměřených
hodnot - pokračování)
Příloha č. 6: Ukázky naměřených vyjiskřovacích křivek

Úprava databáze

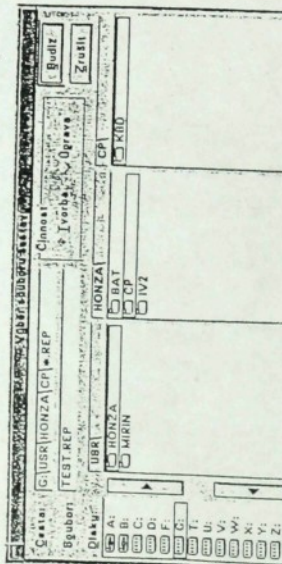
Všechné údaje v databázi lze upravovat. K tomu slouží z menu "Databáze" volba "Úprava...".



Jednotlivé záznamy lze upravovat z menu "Záznamy" výběrem "Přidat...", Po záznamech se posunuje tlačítka "Minulý" či "Další". Chcete-li některý ze záznamů smazat, stiskněte u něj tlačítko "Vymazání". Nakonec uzavřete okno tlačítkem "Budiz".

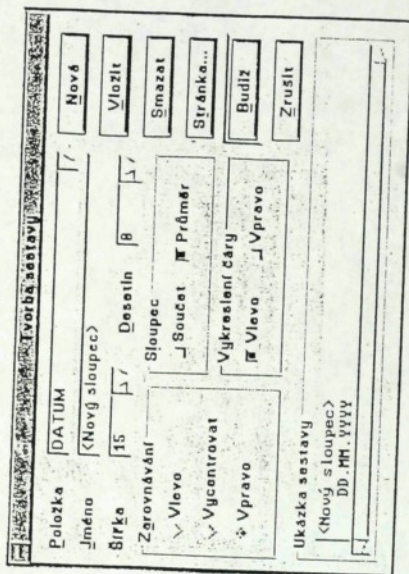
Tvorba výstupní sestavy databáze archiveru

Z menu "Databáze" vyberte položku "Sestava...". Otevře se standardní okno (viz 2.8.1), z něhož lze vybrat soubor sestavy:



Soubor sestavy má příponu "REP". Do řádku "Soubor" vepište název sestavy (např. DATA1.REP). Vpravo v části "Činnost" zvolte "Tvorba" (volba "Úprava" je funkční při úpravě již existující sestavy). Potvrďte "Budiz".

Objeví se okno "Tvorba sestavy".



V řádku "Položka" se objeví název první položky. Chcete-li ji vybrat, neupravujte řádek; nechcete-li ji vybrat, stiskněte šipku za řádkem a vyvoluje se seznam s dalšími položkami. Z nich vyberte požadovanou položku.

V řádku "Jméno" určete, jak má být v tiskové sestavě sloupec těchto položek nazván. V řádku "Sířka" specifikujte počet znaků ve sloupci - nejméně by jich mělo být tolik, kolik je určeno této položce ve struktuře databáze.

V části "Zarovnávání" zvolte, zda v tomto sloupci budou údaje zarovnány vlevo, zprava či centrovány. V části "Sloupec" můžete zvolit (pochoptitelně jen u některých numerických hodnot) konečný součet či výpočet průměru hodnot.

V části "Vykreslení čáry" lze pro přehlednost u sloupce vykreslit čáru po levé či pravé straně. Ve spodní části "Ukázka sestavy" vidíte ihned vnoji zvolené nastavení.

Control Panel

Tisk sestavy

Před vlastním tiskem je zapotřebí nejprve vybrat výstupní sestavu, která má být vytvořena podle předchozí kapitoly. V menu "Zpracování" zvolte položku "Sestava..." a ve standardním okně (viz 2.8.1) "Výběr sestavy" vyberte vhodnou sestavu s příponou ".RPT". Potvrďte "Budiž". Proveďte se výpis sestavy na obrazovku monitoru.

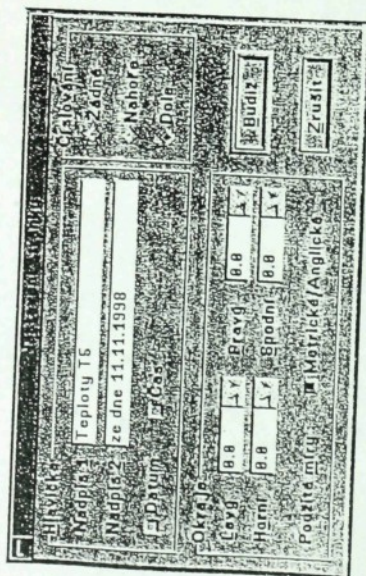
Nyní v tomto okně, které nese název, jež jste sami zadali, vyberte v menu zpracování položku "Tisk"

Z dalších možností lze vybrat nastavení tiskárny či zápis databáze do souboru dokumentu (s příponou ".DOC^{vi}").

Control Panel

Potvrďte stisknutím tlačítka "Nová" a pokračujte znovu podle předchozího postupu. V řádku "Položka" můžete vybrat další položku a zadat opět příslušné volby.

Potom stisknete vpravo tlačítko "Stránka..." pro nastavení formátu stránky:



V řádku "Nadpis 1" vyplíte název, který se bude zobrazovat v titulku okna při zobrazení sestavy na monitoru nebo jako 1. řádek při tisku. V řádku "Nadpis 2" můžete použít při tisku jako podnadpis.

Dále v části "Hlavička" můžete zvolit zobrazení data a času porizení výpisu.

V části "Číslování" zadejte, zda stránky chcete číslovat a kde (nahore, dole).

Ve spodní části okna zadejte požadované vzdálenosti okrajů tiskové sestavy od okrajů stránky. Vzdálenosti lze zadávat v míre metrické nebo v palcích (anglická míra).

Nakonec potvrďte "Budiž". Vráti se okno "Úprava sestavy" a opět potvrďte "Budiž".

Definice přístrojů

Jednotlivým přístrojům jsou přiřazeny tyto ikony:



REAL INSTRUMENT



BOOLEAN INSTRUMENT



HIDDEN INSTRUMENT



CHART



REAL TRANSMITTER



BOOLEAN TRANSMITTER



SWITCH



RECIPE



ARCHIVER



PROTOCOL



CHECK



POWER INSTRUMENT



MAXIMUM



MAXIMUM GRAPH



SUPPLY METER



DIAGRAM



SCOPE



MULTIPLEXER



DEMULTIPLEXER



PID REGULATOR



BOOLEAN REGULATOR



STEP REGULATOR



SEQUENCE



LOGIC CELL



LOGIC UNIT



LABEL



BITMAP



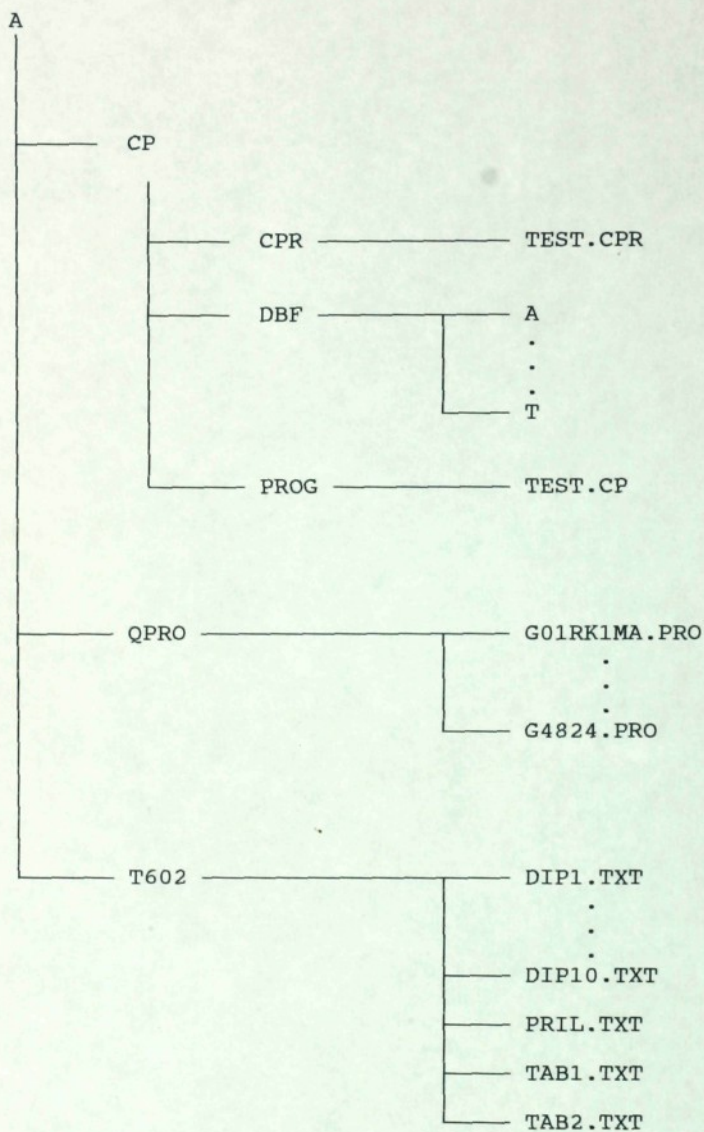
LEVEL INSTRUMENT



SWITCH LABEL



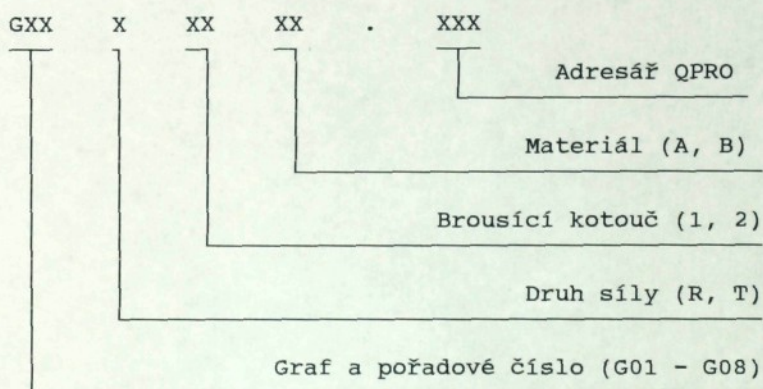
MOVE LABEL



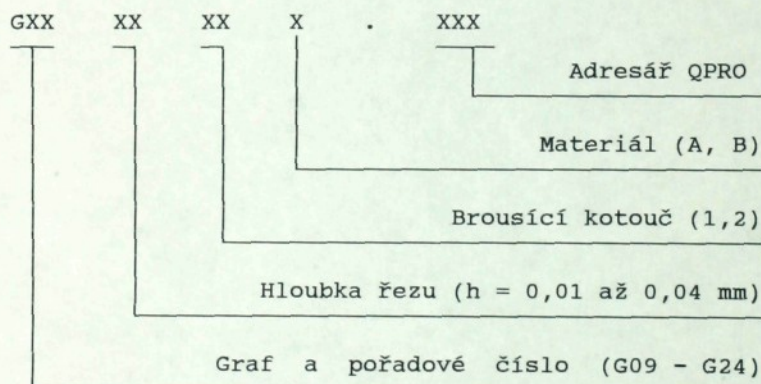
Kódy grafů

Každý graf je uložen pod kódem, ze kterého lze vyčíst všechny parametry, které jej charakterizují. Použil jsem tři typy kódů:

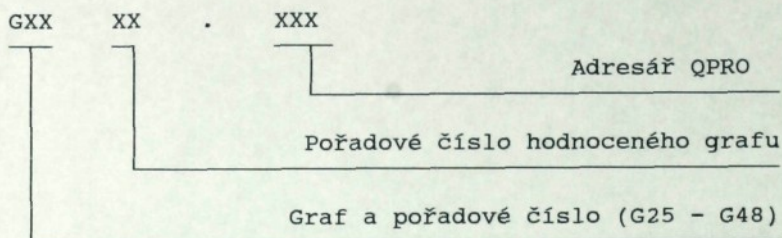
- pro závislosti $F = f(h)$



- pro závislosti $F = f(t)$



- pro rozdílové grafy

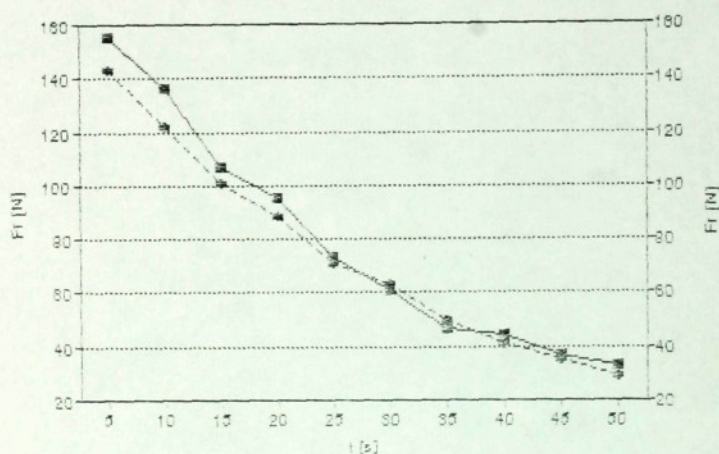


Textová část diplomové práce

Soubor	Rozsah kapitol
DIP1.TXT	Úvodní list Zadání diplomové práce Anotace Místopřísežné prohlášení
DIP2.TXT	Obsah Seznam použitých symbolů
DIP3.TXT	1
DIP4.TXT	2 - 2.2
DIP5.TXT	2.2 - 2.5
DIP6.TXT	3 - 4.8.3
DIP7.TXT	5 - 6.2.3
DIP8.TXT	6.3 - 6.4.5
DIP9.TXT	7 - 9
DIP10.TXT	Poděkování Seznam použité literatury Seznam příloh

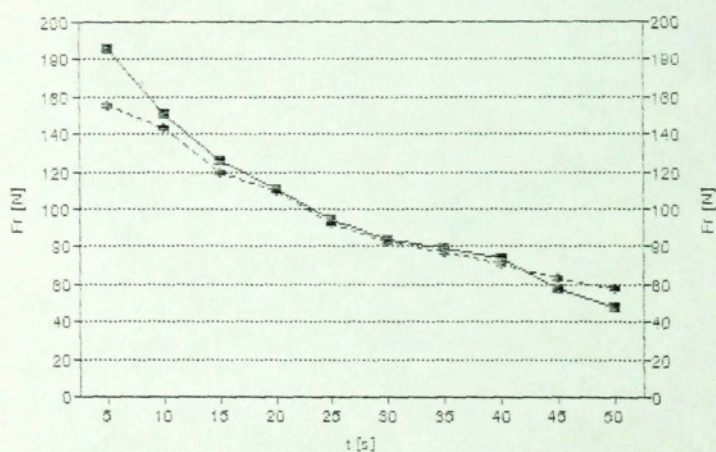
ZAVISLOST $Fr - t$

G15: $h = 0.04$ mm, K2, MA



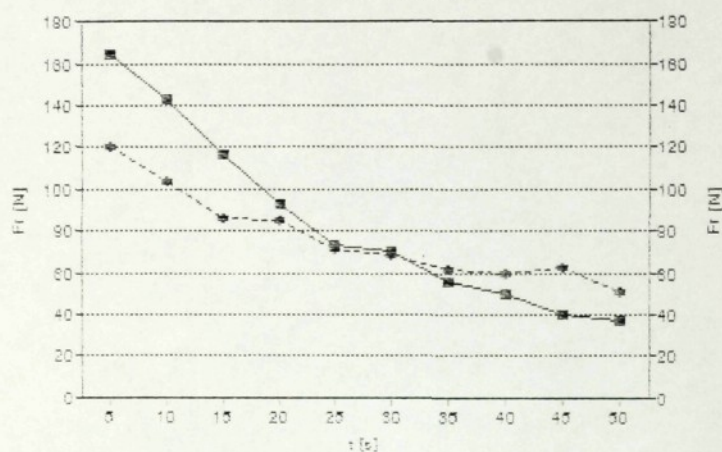
ZAVISLOST $Fr - t$

G16: $h = 0.04$ mm, K2, MB



ZAVISLOST $Fr - t$

G13: $h = 0.04$, K1, MA



ZAVISLOST $Fr - t$

G14: $h = 0.04$ mm, K1, MB

