



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ KYBERNETIKY

**AUTOMATIZOVANÉ ZPRACOVÁNÍ A ŘÍZENÍ
VELIČIN PŘI BROUŠENÍ NA KULATO**

**AUTOMATED PROCESSING AND CONTROL
OF QUANTITIES IN CYLINDRICAL GRINDING**

Disertační práce

Vypracoval: Mgr. Martin STIANKO

Školitel: Prof. Ing. Miroslav OLEHLA, CSc.

Počet stran: 110

Počet příloh: 12

Počet stran příloh: 73

„Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne 21.1.2007

.....

Poděkování

Děkuji školiteli panu prof. Miroslavu Olehlovi, CSc. za jeho vedení a podporu při řešení otázek souvisejících s tématem disertační práce.

Dále děkuji panu dr. Georgi J. Trmalovi z University of the West of England, Bristol, vedoucímu mého projektu *Automated Monitoring and Diagnostic System for Machining Processes*, za vedení projektu a za nadšení, které mě inspirovalo k práci na projektu. Dále děkuji p. Zdeňku Zárubovi, Ph.D. z téže univerzity za pomoc a rady při pronikání do problematiky broušení na kulato.

Děkuji panu doc. Janu Jersákovi z Katedry obrábění a montáže TU Liberec za jeho vstřícnost při přípravě a realizaci experimentu s bruskou a za finanční podporu z výzkumného záměru katedry při nákupu potřebných komponent.

Děkuji také doc. dr. Františku Holešovskému a PhDr. Jaroslavu Zuckersteinovi, Ph.D. z Fakulty výrobních technologií a managementu Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem za jejich pomoc a vstřícnost při měření povrchu obrobků.

Dále děkuji Technické univerzitě v Liberci a University of the West of England, Bristol za jejich podporu při mém výměnném studentském pobytu ve Velké Británii v rámci projektu Socrates/Erasmus.

Děkuji technikům z University of the West of England a Technické univerzity v Liberci, kteří se podíleli na vývoji monitorovacích a řídicích systémů brusek na svých univerzitách. Jmenovitě děkuji p. Derecku Lockemu (UWE Bristol), p. Zdeňku Motýčkovi a p. Miloši Hejzlarovi (TU Liberec).

Děkuji několika dalším zde nejmenovaným osobám, bez kterých by bylo velmi obtížné provedené experimenty realizovat, a také těm, kteří ke zdárné realizaci experimentů přispěli třeba i jen malým dílem.

Anotace:

Tato disertační práce se zabývá využitím prostředků automatizace a řízení v oblasti vnějšího broušení na kulato. Práce je rozdělena do dvou částí.

První část se zabývá problematikou snižování vlnitosti obrobku během vnějšího broušení na kulato, především velmi tvrdými kotouči, a to pomocí řízení poměru frekvence otáček kotouče a obrobku. Cílem tohoto řízení je zajištění takových podmínek během broušení, které jsou předpokladem k dosažení co nejnižší amplitudy vlnitosti obrobku, a tím také zlepšení kvality jeho povrchu.

Druhá část pojednává o automatizovaném zpracování veličin zaznamenaných během procesu broušení do podoby jednotného grafického protokolu z jednoho obráběcího cyklu. Zpracování probíhá pomocí maker (programů) v jazyce Visual Basic for Applications. Protokoly z broušení slouží ke zpětné analýze průběhu broušení, případně k nalezení souvislostí průběhu broušení s kvalitou obrobku.

Problematika byla studována v laboratořích na University of the West of England, Bristol a na Technické univerzitě v Liberci.

Klíčová slova:

obrábění, broušení na kulato, monitorování veličin, řízení otáček, vlnitost, posun vlny

Annotation:

The thesis deals with using of automation and control tools in cylindrical grinding area.

First part of the thesis deals with minimising of workpiece waviness during cylindrical grinding that uses super-abrasive wheels. This is done through control of ratio of wheel speed and work speed. The aim of this control is to reach such conditions during grinding that are necessary for reaching the lowest possible workpiece waviness and thus improve quality of the workpiece surface.

Second part deals with automated processing of variables recorded during process of grinding into a layout of a graph protocol generated from one grinding cycle. The processing is performed by macros developed in Visual Basic for Applications. The protocols serve for analysis of the grinding process and also for looking for relations between the grinding process and workpiece quality.

Topic of the thesis was studied in laboratories of the University of the West of England, Bristol, UK and Technical University of Liberec, Czech Republic.

Keywords:

machining, cylindrical grinding, monitoring, speed control, waviness, wave-shift

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	viii
ÚVOD	1
ČÁST I. SNIŽOVÁNÍ AMPLITUDY VLNITOSTI OBROBKU ŘÍZENÍM POMĚRU FREKVENCE OTÁČEK KOTOUČE A OBROBKU	3
1. BROUŠENÍ NA KULATO	4
1.1 VLASTNOSTI BROUŠENÍ	4
1.2 PRŮBĚH BROUŠENÍ A VYJISKŘOVÁNÍ	4
1.3 MATERIÁLY BROUSICÍCH KOTOUČŮ.....	5
1.4 VELIČINY BROUŠENÍ NA KULATO.....	5
2. HISTORICKÝ ÚVOD A FORMULACE PROBLÉMU	8
2.1 VLIV HÁZIVOSTI KOTOUČE A FÁZOVÉHO POSUVU VLNY NA KVALITU OBROBKU	8
2.2 PROJEKT CoWASHI NA UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND, BRISTOL.....	11
2.3 SOUVISEJÍCÍ ČLÁNKY	12
2.4 FORMULACE PROBLÉMU	12
2.5 FORMULACE CÍLŮ	13
3. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ V LABORATOŘI UWE BRISTOL	14
ŘÍZENÍ BRUSKY POMOCÍ PC.....	14
3.1 MĚŘENÍ HÁZIVOSTI KOTOUČE (PŘEDPROCESNÍ MĚŘENÍ).....	14
3.2 VYVÁŽENÍ KOTOUČE PRO MINIMÁLNÍ HÁZIVOST ZA POUŽITÍ MĚŘENÍ VLNITOSTI POVRCHU KOTOUČE	14
3.3 MONITOROVÁNÍ BĚHEM BROUŠENÍ (PROCESNÍ MĚŘENÍ)	15
3.4 MĚŘENÍ VLNITOSTI OBROBKU (POSTPROCESNÍ MĚŘENÍ)	17
3.5 VÝSLEDKY PRAKTICKÝCH TESTŮ Z UWE BRISTOL	20
3.6 DISKUSE K VÝSLEDKŮM	22
3.7 UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA	22
3.8 SHRNUTÍ	23
4. SIMULACE BROUŠENÍ NA KULATO A VZNIKU VLNITOSTI POVRCHU OBROBKU.....	24
4.1 ÚVOD.....	24
4.2 POPIS PROGRAMU	25
4.3 ALGORITMUS PROGRAMU	27
4.4 VÝSLEDKY SIMULACE.....	29
4.5 VÝSLEDKY.....	36
5. PRAKTICKÉ BROUŠENÍ A MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI V ČR	38
5.1 ÚVOD.....	38
5.2 PODMÍNKY PŘI TESTOVACÍM BROUŠENÍ	38
5.3 MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI A SOUVISEJÍCÍ PROBLÉMY	38
5.4 VÝSLEDKY.....	39
6. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ V LABORATOŘI TU LIBEREC	40
ŘÍZENÍ BRUSKY POMOCÍ PLC AUTOMATU	40
6.1 ÚVOD.....	40
6.2 SESTAVA LABORATORNÍHO PRACOVISTĚ	40
6.3 VÝVOJ APLIKACE PRO PLC.....	42
6.4 TESTOVÁNÍ APLIKACE PRO PLC PŘED PŘIPOJENÍM K BRUSCE	54
6.5 PRAKTICKÉ BROUŠENÍ V LABORATOŘI TUL	56
6.6 VÝSLEDKY EXPERIMENTU	60

ČÁST II. AUTOMATIZOVANÉ ZPRACOVÁNÍ VELIČIN MONITOROVANÝCH PŘI BROUŠENÍ NA KULATO	79
7. AUTOMATIZOVANÉ ZPRACOVÁNÍ VELIČIN MONITOROVANÝCH PŘI BROUŠENÍ NA KULATO ..	80
7.1 ÚVOD.....	80
7.2 FORMULACE PROBLÉMU	80
7.3 FORMULACE CÍLŮ	81
7.4 FYZIKÁLNÍ ANALÝZA BROUŠENÍ NA KULATO	81
7.5 APLIKACE PRO AUTOMATICKÉ GENEROVÁNÍ GRAFICKÝCH PROTOKOLŮ	85
7.6 PŘÍKLADY INFORMACÍ NALEZENÝCH V PROTOKOLECH Z BROUSICÍCH CYKLŮ	87
7.7 SHRNUTÍ.....	92
ZÁVĚR	93
LITERATURA	95
PUBLIKACE AUTORA	97
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	99
SEZNAM TABULEK	101
PŘÍLOHY	102
PŘÍLOHA Č. 1: PROFILY OBROBKŮ BROUŠENÝCH NA UWE BRISTOL	
PŘÍLOHA Č. 2: UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA – MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI KOTOUČE/PŘÍRUBY CBN KOTOUČE BRUSKY JONES & SHIPMANN 1050 A MĚŘENÍ VLNITOSTI OBROBKU POMOCÍ PŘÍSTROJE TALYROND	
PŘÍLOHA Č. 3: PREZENTACE Z UWE BRISTOL	
PŘÍLOHA Č. 4: FOTODOKUMENTACE Z PRAKTICKÝCH MĚŘENÍ	
PŘÍLOHA Č. 5: ZDROJOVÝ KÓD SIMULAČNÍHO PROGRAMU	
PŘÍLOHA Č. 6: PROTOKOLY Z MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI OBROBKU – PŘÍSTROJ FIRMY CARL ZEISS V MOTOR JIKOV STROJÍRENSKÁ A.S., JINDŘICHŮV HRADEC	
PŘÍLOHA Č. 7: PROTOKOLY Z MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI OBROBKU – PŘÍSTROJ FIRMY WENZEL VE VÚTS A.S., LIBEREC	
PŘÍLOHA Č. 8: ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU V PLC	
PŘÍLOHA Č. 9: NÁVOD K OBSLUZE ŘÍZENÍ BRUSKY V LABORATOŘI KOM, TUL	
PŘÍLOHA Č. 10: PŘÍKLADY MONITOROVACÍCH PROTOKOLŮ PRO CYKLY 185, 191, 197, 228, 240 (GRINDING DATA REPORT)	
PŘÍLOHA Č. 11: PRACOVNÍ PODMÍNKY BĚHEM OBRÁBĚCÍCH TESTŮ NA CNC BRUSCE FIRMY LANDIS LUND	
PŘÍLOHA Č. 12: UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA – MONITOROVÁNÍ BRUSKY FIRMY LANDIS LUND	

Poznámka: Tato práce se nezabývá teorií vnějšího broušení na kulato, nezabývá se ani optimalizací řezných podmínek pro broušení s cílem navrhnout optimální veličiny broušení (jako např. frekvence otáček nebo rychlosti přísuvu, velikost upínací síly apod.), které byly a jsou řešeny odborníky v oblasti vnějšího broušení na kulato. Práce naopak předpokládá, že tyto podmínky jsou technologem či operátorem nastaveny, a na tomto základě se autor snaží o představení dalších způsobů, využívajících prostředky automatizace, které by vedly ke zvýšení kvality obrobků při tomto typu broušení.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

b_s	šířka kotouče	[mm]
b_w	šířka obrobku	[mm]
D_s	průměr kotouče	[mm]
R_s	poloměr kotouče	[mm]
d_w	průměr obrobku	[mm]
r_w	poloměr obrobku	[mm]
n_s	frekvence otáček kotouče	[s ⁻¹ , min ⁻¹]
n_w	frekvence otáček obrobku	[s ⁻¹ , min ⁻¹]
q_n	poměr frekvencí otáček při broušení	[-]
q_{n_v}	poměr frekvencí otáček při vyjiskřování	[-]
v_s	obvodová rychlost kotouče	[m.s ⁻¹]
v_w	obvodová rychlost obrobku	[m.s ⁻¹ , m.min ⁻¹]
q	poměr obvodových rychlostí	[-]
F_{cN}	normálová síla	[N]
F_c	tečná (tangenciální) síla	[N]
μ	poměr sil	[-]
P	obráběcí příkon	[W]
Z	tok materiálu	[mm ³ .s ⁻¹]
Z'	specifický tok materiálu	[mm ² .s ⁻¹]
e_c	specifická energie	[J]
CBN	kubický nitrid bóru	
D	diamant	

ÚVOD

Broušení kovů prošlo za posledních padesát let díky rozvoji řídicí techniky a automatizace mohutným vývojem. Nejprve bylo mechanické řízení brusek nahrazeno řídicím systémem, později byly i mechanické části stroje upraveny pro číslicové řízení (NC stroje), až byl nakonec k řízení použit počítač (CNC brusky a obráběcí centra). Dosud posledním vývojovým stupněm jsou brusky s řízením vlastního řezného procesu, sledování stavu nástroje, sledování rozměrové přesnosti, automatickým doladováním programů, automatickou výměnu otupeného nástroje, zapojením robotů a manipulátorů – viz [7]. I když by se mohlo zdát, že bylo dosaženo dokonalého stavu, stále existují oblasti vnějšího válcového broušení (tzv. broušení na kulato), které obsahují potenciál pro další zvyšování kvality výroby.

Jednou z možností, vedoucích ke zvyšování kvality broušení na kulato, je využití jevu závislosti vlnitosti obrobku na poměru otáček kotouče a obrobku při dokončovací fázi broušení na kulato pomocí tzv. velmi tvrdých kotoučů (angl. *super-abrasive*). Tento jev byl objeven v 70. letech 20. století a popsán v publikacích G. J. Trmala a H. Kaliszera [17], [18], [19], nicméně jev tehdy nemohl být využit, protože tehdejší automatizační technika neumožňovala monitorovat frekvence otáček kotouče a obrobku během broušení a na základě jejich aktuálních hodnot „on-line“ řídit brusku tak, aby byly udržovány požadované podmínky nejen při broušení, ale především při závěrečném vyjiskřování, kdy dochází k dotváření povrchu obrobku. V současné době je již tato technika k dispozici, a tak bylo možné taková pracoviště vybudovat a ověřit, zda by bylo možné jev využít ve výrobě, která vyžaduje vysoké nároky na přesnost kruhových součástí, jako jsou například ložiska nebo klikové a vačkové hřídele pro motory automobilů.

Část I. této disertační práce se proto věnuje vytvoření simulačního programu pro modelování jevu snižování vlnitosti obrobku a dále pak praktickému využití jevu na dvou pracovištích. První z nich bylo pro tento účel vybudováno za spolupráce autora této práce s jedním z hlavních iniciátorů myšlenky, dr. G. J. Trmal, na jeho současném působišti, University of the West of England v Bristolu ve Velké Británii. Pro řízení se zde využívá počítač (PC) s měřicí kartou¹. Další pracoviště bylo vybudováno už samostatně pod vedením autora této práce na Technické Univerzitě v Liberci a využívá programovatelný automat (PLC, *Programmable Logic Controller*), jehož nasazení v průmyslové praxi je pravděpodobnější než v případě PC. Tato práce předkládá výsledky dosažené na obou laboratorních pracovištích, v simulačním programu a tam, kde je to možné, je porovnává.

Další z oblastí broušení na kulato, kde lze využít výpočetní techniku, jsou megabyty dat, která moderní CNC brusky umožňují ukládat během obrábění. Aby byla tato data výrobnímu záводу k užítku, je nezbytné je vhodně zpracovat a ve spolupráci s technologem je interpretovat.

¹ Další pracoviště bylo vybudováno na Fakultě výrobních technologií a managementu Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, se kterou G.J.Trmal také spolupracuje.

Část II. této disertační práce se proto zabývá vývojem automatizovaného zpracování dat naměřených při broušení na kulato s využitím maker (programů) vytvořených v jazyce Visual Basic for Application a dále popisem několika vybraných jevů, které byly objeveny při následné analýze po zpracování dat pomocí vytvořených maker.

Část I.
**Snižování amplitudy vlnitosti obrobku řízením poměru
frekvence otáček kotouče a obrobku**

1. BROUŠENÍ NA KULATO

Vzhledem k tomu, že tato práce pojednává o broušení vnějších válcových ploch (broušení na kulato) a ve všech dalších kapitolách předpokládá znalost základních pojmů z této oblasti a některých jejich souvislostí, je úvodu do problematiky věnována následující část. Čtenáři obeznámení v oboru broušení mohou tuto kapitolu vynechat a pokračovat kapitolou Historický úvod a formulace problému na str. 8.

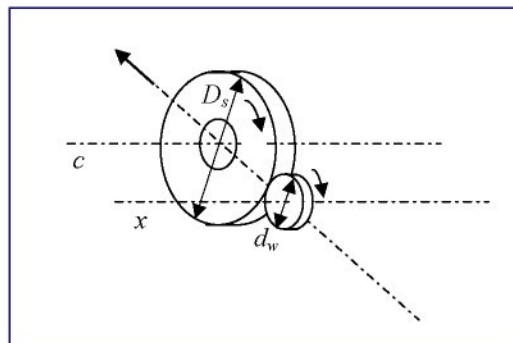
1.1 Vlastnosti broušení

Podle [5] je broušení hromadné rychlostní mikrořezání povrchových vrstev velmi jemnými zrny brusiva stmelеныmi pojivem v nástroj. Broušení na kulato se vyznačuje:

1. **vysokou produktivitou** určenou velikostí plochy obrobku opracované za jednotku času (produktivita se nezvyšuje pouze zvětšováním řezné (tj. obvodové) rychlosti a obráběním velkých ploch, ale také zkracováním doby nezbytně nutné k upnutí a sejmutí obrobku)
2. **vysokou přesností** obrobených rozměrů v mezích od 2 do 3 μm i méně
3. **velkou geometrickou přesností tvaru** obrobených ploch, např. odchylka válcovitosti bývá v mezích 2 až 3 μm , chyba kruhovitosti v rozmezí 0,4 až 0,5 μm i méně
4. **vysokou kvalitou povrchu obrobku** – drsnost řádově v desetinách μm
5. **vysokou kvalitou povrchové vrstvy obrobku** s minimálním stavem zbytkové napjatosti jeho materiálu
6. **možností obrábění velmi tvrdých materiálů** (kalené oceli, slinutých karbidů, minerál-keramických materiálů atd.), protože zrna brusiva jsou velmi tvrdá a tepelně odolná.

1.2 Průběh broušení a vyjiskřování

Při broušení na kulato se kotouč otáčí ve směru otáčení obrobku a brusnými zrny na svém povrchu odebírá materiál obrobku – viz Obr. 1-1. U ručně ovládaných brusek operátor přisouvá obrobek ke kotouči v radiálním směru (osa x) a proces řídí sám, u poloautomatických a automatických brusek se přisuv řídí podle nastaveného programu.



Obr. 1-1 Broušení na kulato

Brousicí kotouč nemá na povrchové přímce souvislý břit, takže na broušeném povrchu zůstanou po jedné otáčce obrobku nerovnosti, které se odstraní při dalších záběrech kotouče s příslušnou plochou. Nerovnosti broušeného povrchu lze zmenšit tím, že se zvětší počet kontaktů kotouče s broušenou plochou, a to:

1. určitým počtem průchodů bez přísuvu, tzv. *vyjiskřením*
2. zmenšením velikosti podélného posuvu (v této práci není podélný posuv uvažován)

Při opakovaných záběrech kotouče bez přísuvu klesá drsnost povrchu obrobku zároveň s intenzitou jisker vznikajících při broušení – podle [5].

1.3 Materiály brousicích kotoučů

V současné době jsou brousicí kotouče rozdělovány do dvou skupin podle brusiva na:

- *konvenční* – obsahují brusivo z Al_2O_3 (A), SiC (C)
- *velmi tvrdé* – obsahují brusivo z diamantu (D) nebo kubického nitridu bóru (CBN)

1.4 Veličiny broušení na kulato

Tyto veličiny můžeme dle [6] rozdělit do tří skupin:

Veličiny	Určují
Preprocesní	počáteční podmínky brousicího procesu
Procesní	podmínky během procesu
Postprocesní	kvalitu obrobku

Tab. 1-1 Rozdělení veličin broušení

1.4.1 Preprocesní veličiny

Preprocesní veličiny (někdy také vstupní veličiny) jsou veličiny, které zahrnují definici kotouče, obrobku, přípravku a stroje (S-N-O-P).

Preprocesní veličiny (v práci použité)		
Veličiny vztahující se k/ke:	Označení, jednotka	Poznámka
a) kotouči:		
technická charakteristika kotouče	např. A99 100 39 V	obsahuje druh brusiva, pojiva, zrnitost, tvrdost, strukturu, koncentraci brusiva
šířka kotouče	b_s [mm]	
průměr / poloměr kotouče	D_s, R_s [mm]	
excentricita	e [mm]	vzdálenost mezi geometrickým středem kotouče a osou uchycení kotouče
házivost	[mm]	velikost výchylky bodů na obvodu kotouče při jedné otočce vzhledem k pevnému bodu vně kotouče

Preprocesní veličiny (v práci použité)		
Veličiny vztahující se k/ke:	Označení, jednotka	Poznámka
b) obrobku:		
šířka obrobku	b_w [mm]	
průměr / poloměr obrobku	d_w, r_w [mm]	

Tab. 1-2 Preprocesní veličiny

1.4.2 Procesní veličiny

Procesní veličiny (někdy také veličiny průběhu procesu) jsou veličiny, které se během broušení buď snímají, nebo se dopočítávají z hodnot naměřených během broušení. Pro potřeby této práce jsou důležité následující veličiny:

Procesní veličiny (v práci použité)		
Veličina:	Označení, jednotka	Poznámka
frekvence otáček kotouče	n_s [min ⁻¹]	frekvence otáček se někdy v literatuře řadí mezi preprocesní veličiny, ale vzhledem k možnosti řízení frekvence otáček obrobku během procesu jsou v této práci řazeny mezi procesní veličiny
frekvence otáček obrobku	n_w [min ⁻¹]	
poměr otáček	$q_n = \frac{n_s}{n_w}$	
normálová síla	F_{cN} [N]	
tangenciální (tečná) síla	F_c [N]	
příkon motoru pohonu včetně	P_p [W]	
moment síly v ose x	M_x [N.m]	x ... osa otáčení obrobku
moment síly v ose c	M_c [N.m]	c ... osa otáčení kotouče

Tab. 1-3 Procesní veličiny

1.4.3 Postprocesní veličiny

Mezi postprocesní veličiny patří veličiny, které popisují stav kotouče a obrobku po dokončení broušení. Pro potřeby této práce jsou důležité následující veličiny:

Postprocesní veličiny (v práci použité)		
Veličiny vztahující se k/ke:	Označení, jednotka	Poznámka
a) kotouči:		
stav brousícího kotouče	-	udržuje se pomocí orovnávací

Postprocesní veličiny (v práci použité)		
Veličiny vztahující se k/ke:	Označení, jednotka	Poznámka
b) obrobku:		
kruhovitost obrobku (též chyba kruhovitosti)	[μm]	rozdíl mezi největším a nejmenším průměrem naměřeným na jedné kružnici povrchu válcového obrobku, někdy se nepřesně nazývá ovalita
vlnitost obrobku	[mm]	geometrická nepřesnost povrchu obrobku vyjádřená v „délkách vln“, tzn. delší, nežli naměřené drsnosti
amplituda vlnitosti	[μm]	

Tab. 1-4 Postprocesní veličiny

Ve všech výše uvedených kategoriích existují ještě další veličiny používané k popisu broušení na kulato (viz např. [5] nebo [6]), ale jejich uvedení na tomto místě nemá přímou souvislost s touto prací.

2. HISTORICKÝ ÚVOD A FORMULACE PROBLÉMU

2.1 Vliv házivosti kotouče a fázového posuvu vlny na kvalitu obrobku

Tématem snižování vlnitosti obrobku pomocí řízení poměru otáček kotouče a obrobku se od 70. let 20. století zabývali G. J. Trmal a H. Kaliszer v článcích *Silové vibrace během broušení a jeho vliv na topografii povrchu*, *Příspěvek k analýze vlnitosti generované během broušení*, *Zřejmá házivost broušícího kotouče a její vliv na topografii povrchu* ([17], [18], [19]). G. J. Trmal z University of the West of England, Bristol pak v roce 2001 společně s J. Holešovským z Univerzity J.E. Purkyně v Ústí n. Labem shrnuli své poznatky v článku *Posun vlny a její vliv na kvalitu povrchu ve velmi tvrdém broušení* (originální název *Wave-shift and its effect on surface quality in super-abrasive grinding*, [2]). Tento článek byl hlavním zdrojem pro vysvětlení podstaty popisovaného jevu a jeho dalších souvislostí:

Autoři článku dospěli k závěru, že jedním z problémů omezujících použití kotoučů s velmi tvrdým brusivem (angl. *super-abrasive wheels*) pro přesnou výrobu je házivost kotouče, kterou nelze účinně snížit pod hodnoty několika mikrometrů. Z jejich výzkumu vyplývá, že vlnitost obrobku generovaná házivostí kotouče závisí na posunu vlny (angl. *wave-shift*), tj. překrývání vzoru otáček kotouče v po sobě jdoucích otáčkách obrobku. Docházejí dále k názoru, že vhodně zvolený posun vlny může vést k výraznému snížení amplitudy vlnitosti, ale protože v současné době (2001) nejsou brusky vybavovány řízením synchronizace soustavy kotouč-obrobek, zůstává posun vlny jedním z náhodných faktorů v procesu broušení na kulato.

Podle výše zmíněného článku byl fenomén posunu vlny zkoumán v polovině 70. let v souvislosti s nevyvážeností konvenčních kotoučů. Nicméně, házivost *konvenčních kotoučů* může být snížena na zlomek mikrometru pomocí vhodného vyvážení a orovnění, a tak řízení posunu vlny, v té době obtížně realizovatelné, nebylo požadováno. Naproti tomu současné *velmi tvrdé kotouče* vykazují významné hodnoty házivosti a pokroky v řízení pohonů umožňují provést synchronizaci soustavy kotouč-obrobek s dostatečnou přesností – nyní například pomocí počítače (PC) nebo programovatelného automatu (PLC).

2.1.1 Excentricita kotouče

Podle článku [2] je vysokorychlostní obrábění velmi tvrdými kotouči stále rozšířenější pro svou vysokou výkonnost a kvalitu výroby. I když lze namítnout, že tyto kotouče nejsou v UK (kde jeden z autorů článku dlouhodobě působí – pozn. autora) používány tak často, jako např. v SRN, Japonsku a USA, jejich podíl na trhu broušení je podstatný. Jedním z důvodů pro jejich pomalejší uvedení ve Velké Británii může být problém s přesností jejich soustřednosti pouze 3 μm , které je velmi obtížné dosáhnout v praxi. To vede na házivost o velikosti 6 μm . Typická hloubka řezu broušení je také okolo 6 μm (pro specifický tok materiálu $Z' = 3 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a rychlost kotouče $v_s = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Zjednodušeně řečeno to znamená, že zrna na jedné straně kotouče nemusejí obrábět vůbec a zrna na protější straně mohou vykonávat dvojnásobné množství práce při stejnoměrném broušícím procesu.

Malá chyba soustřednosti tak vede k velmi nejednotnému rozdělení hloubky řezu, i když je kotouč při orovnání zabudován v brusce. Situace je ještě horší, je-li kotouč orovnáno mimo brusku nebo je elektricky pokoven. Excentricita broušícího povrchu kotouče může být proto významným faktorem, protože provedená práce bude nerovnoměrně rozdělena podél obvodu kotouče, dle článku [2]. Dále je známo, že nerovnoměrné obrábění podél povrchu kotouče přispívá k následujícím jevům:

- snížená životnost kotouče,
- horší kvalita povrchu a
- chyby kruhovitosti.

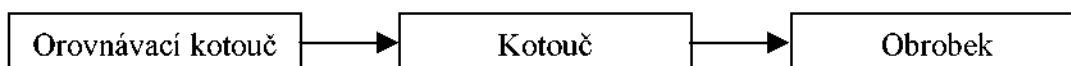
Není náhoda, že známky spálení materiálu se často objevují v podobě skvrn se vzdáleností odpovídající jedné otáčce kotouče.

Autoři článku dále uvádějí, že byly provedeny pokusy o snížení excentricity pokovených kotoučů pomocí úpravy upínacího zařízení kotouče. I když to pomáhalo, stále to nezaručovalo požadované hodnoty soustřednosti. To je stále částečně způsobeno obtížností měření excentricity obráběcího povrchu kotouče. Chyby ve tvaru kotouče (ovalita, laloky) mohou mít podobný efekt jako excentricita. Nicméně jsou pravděpodobně menší a jejich vliv nebyl při zkoumání autory článku posuzován.

Zbytková excentricita broušícího kotouče může být také jedním z důvodů obtíží při výrobě beztrhlinových povrchů isostatické keramiky. Začátek trhlin souvisí s kritickou hloubkou záběru řezu a variace v hloubce zářezu je také částečně ovlivněna excentricitou kotouče.

2.1.2 Vliv orovnávacího kotouče na povrch kotouče a povrch obrobku

Podobná situace nastává při použití rotačních orovnávačů, které jsou nyní široce užívány v průmyslovém broušení. Orovnávací kotouče a disky nemohou být vyrobeny s nulovou házivostí. I nepatrně malá hodnota házivosti je přenesena na orovnávaný kotouč (kotouč je při orovnávání v roli obrobku), a tím snižuje kvalitu následně broušeného povrchu obrobku (Obr. 2-1). Existují případy viditelných vzorků, jako např. vzorek rybí kosti, generované speciálně kotouči orovnávanými nástrojem s příčným diskem. Je pravděpodobné, že tyto vzory jsou způsobeny excentrickým diskovým orovnávacím nástrojem, jeho interakcí s povrchem kotouče a následným přenosem orovnaného vzoru na povrch obrobku – dle článku [2].

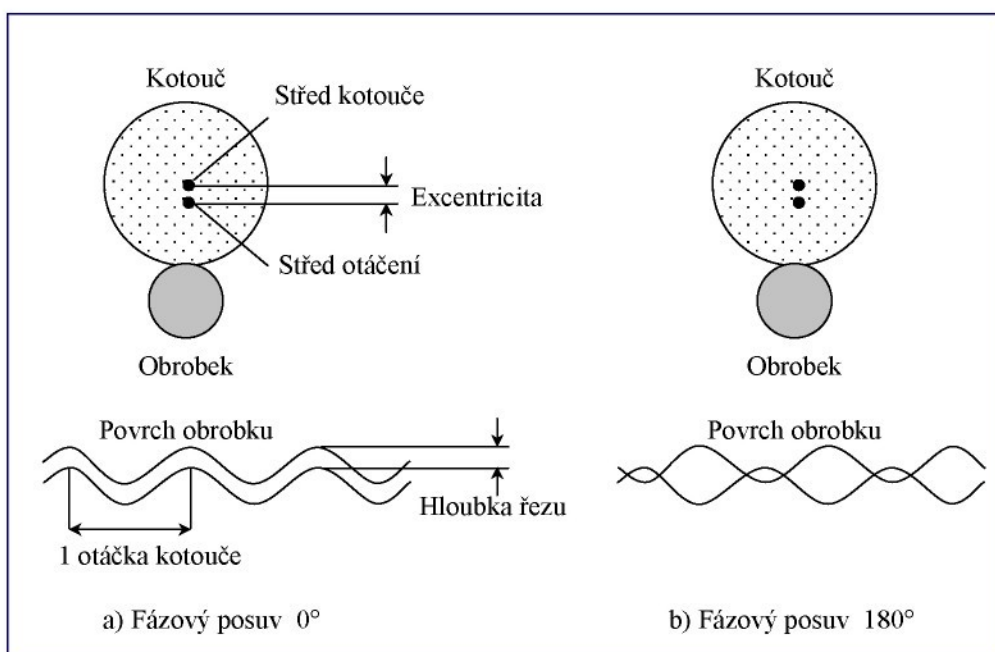


Obr. 2-1 Vliv házivosti orovnávacího kotouče na broušící kotouč a následně na obrobek

Tyto problémy se obvykle objevují v nepravidelných intervalech. Důvodem je vliv nějakého faktoru, který není pod kontrolou a objevuje se náhodně. Řešení těchto problémů je časově náročné, zvyšuje nároky na obsluhu a v důsledku snižuje efektivitu výroby.

2.1.3 Vliv fázového posuvu kotouče a obrobku na povrch obrobku

Práce na nevyváženosti kotouče podporovaná v UK v sedmdesátých letech 20. století vedla k identifikaci tzv. „zřejmé házivosti“ jako hlavního faktoru charakterizujícího nevyváženost kotouče [19]. Tato „zřejmá házivost“ je ve skutečnosti sinusoidní radiální pohyb povrchu kotouče proti obrobku s frekvencí rovnou otáčení kotouče. Záleží nejen na velikosti nevyváženosti kotouče, ale také na posloupnosti orovnávacích a vyvažovacích operací. Přenos pohybu k povrchu obrobku a vzorek podél obvodu kotouče poté závisí nejen na hodnotě házivosti, ale také na fázovém posunutí soustavy kotouč-obrobek, neboli synchronizaci polohy kotouče a obrobku, tj. překrytí otáčky kotouče v po sobě jdoucích otáčkách obrobku. Dva extrémní případy fázového posunutí soustavy kotouč-obrobek ukazuje Obr. 2-2. V obou případech vykazuje kotouč stejnou excentricitu a házivost, ale hodnota fázového posunutí je rozdílná.



Obr. 2-2 Vliv fázového posuvu kotouče a obrobku na povrch obrobku²

V případě znázorněném na Obr. 2-2a je počet otáček kotouče na jednu otáčku obrobku (tj. poměr frekvence otáček označovaný q_n) celé číslo a fázové posunutí je 0° . Není zde žádný překryv otáček kotouče ve dvou po sobě jdoucích otáčkách obrobku. Vlny generované na povrchu obrobku ve dvou po sobě jdoucích otáčkách jsou ekvidistantní a všechny části povrchu kotouče způsobují stejný tok materiálu.

V případě znázorněném na Obr. 2-2b je fázové posunutí π (180°), posun vlny je proto polovina otáčky. Počet otáček kotouče na jednu otáčku obrobku (q_n) je celé číslo a půl. Vlnitost generovaná na povrchu obrobku je redukována, ale ta část povrchu kotouče, která hází, je více namáhána. Nicméně, maximální tok materiálu je také zvýšen, což vede na hrubší povrch generovaný některými částmi kotouče a na další možné problémy (vibrace).

² Obrázek vytvořen s využitím článku [2]

Posun vlny se může měnit od jednoho extrému k druhému díky velmi malé změně rychlosti obrobku o velikosti 2-3%, jak ukazuje například Tab. 2-1 na hodnotách použitých v experimentu na University of the West of England (dále jen UWE Bristol) v roce 2003 – viz kapitola 3. V době původního výzkumu nebyla možná taková přesnost řízení otáček obrobku, resp. poměru otáček kotouče a obrobku. Kromě toho házivost konvenčních kotoučů lze minimalizovat na zlomek mikrometru citlivým vyvážením a orovnááním, a tak řízení posunu vlny tehdy nebylo potřeba. Ale zavedení jednovrstevných velmi tvrdých kotoučů (diamant, CBN), které nevyžadují orovnávání, změnilo situaci. Jak bylo zmíněno výše, tyto kotouče vykazují házivost, která nemůže být efektivně redukována pod hodnotu několika mikrometrů. Současně s tím, pokroky v řízení elektrických motorů umožňují dosáhnout požadované přesnosti synchronizace rychlosti kotouče a obrobku ve většině brousicích systémů.

Broušení - vyjiskřování				Broušení - vyjiskřování				
Otáčky kotouče - n_s [min^{-1}]	Poměr otáček - q_{n_v}	Otáčky obrobku - n_w [min^{-1}]	Fázový posuv $[\circ]$	Otáčky kotouče - n_s [min^{-1}]	Poměr otáček - q_{n_v}	Otáčky obrobku - n_w [min^{-1}]	Fázový posuv $[\circ]$	Změna otáček obrobku [%]
2106	17	123,9	0	2106	17,5	120,3	180	2,9
2730	17	160,6	0	2730	17,5	156,0	180	2,9

Tab. 2-1 Změna otáček obrobku v procentech při změně fázového posunu o 180°

2.2 Projekt CoWaShi na University of the West of England, Bristol

V letech 2000-2004 byl na UWE Bristol řešen projekt CoWaShi (Control of WaveShift – řízení posunu vlny), který se mimo jiné zabýval dalším výzkumem v oblasti řízení posunu vlny při broušení na kulato. V rámci tohoto projektu bylo vybudováno laboratorní pracoviště s brusku na kulato, kde bylo možné řídit poměr frekvence otáček během broušení i vyjiskřování, a bylo proto možné využít popisovaný jev v praxi. Tohoto projektu se autor disertační práce zúčastnil během studentského výměnného pobytu na UWE Bristol v akademickém roce 2003/04 – blíže o projektu pojednává kapitola 3 - Praktické měření v laboratoři UWE Bristol.

Problematiku řešenou v projektu výstižně popisuje jeho anotace na www stránkách univerzity ([22]): „Společný vliv posunu vlny (waveshift) a vibrace otáčejících se mechanismů při broušení na kulato. Posun vlny je definován jako rozdíl mezi poměrem otáček kotouče a obrobku a nejbližším větším celým číslem. Posun vlny určuje rozsah, v jakém je excentricita kotouče a nevyváženost kotouče (tj. házivost – pozn. autora) přenášena do profilu kruhovitosti obrobku.“

Vlivem házivosti kotouče a posunu vlny mezi kotoučem a obrobkem se zabývá i článek Toma Pierce z UWE Bristol – *Vliv házivosti kotouče a posunu vlny na opakující se vzor na obrobku (The Effect of Wheel Run-out and Waveshift on Regenerative Chatter)* – viz [20].

2.3 Související články

2.3.1 Inteligentní monitorovací systém pro axiální broušení na kulato (Kruszyński, Lajmert)

Další publikací, která souvisí s hledáním podmínek broušení na kulato s cílem minimalizovat geometrické chyby obrobku (oproti této práci včetně podélného posuvu při broušení), je práce autorů B.W. Kruszyński a P. Lajmert – *Intelligentní monitorovací systém pro axiální broušení na kulato (An Intelligent Supervision System for Cylindrical Traverse Grinding)*. Článek představuje dohledový (někdy též supervisní) systém, který používá techniky umělé inteligence pro monitorování, řízení a optimalizaci axiální brousící operace. Systém se skládá ze dvou úrovní, které pracují současně, aby splňovaly geometrické a povrchové požadavky při maximální možné výkonnosti. Cílem první optimalizační úrovně je maximalizovat tok materiálu a současně dodržovat požadavky na drsnost povrchu, chybu kruhovitosti a chyby vlnitosti a na teplotu broušení. Současně s tím, druhá, geometrická, vrstva, je odpovědná za odstranění počáteční chyby tvaru obrobku stabilizací trajektorie pohybu kotouče ve vztahu k obráběné součásti – viz [3].

2.3.2 Srovnání parametrů charakterizujících topografii v broušení (Terry, Brown)

Závěr zde uvedu článek, který napsali A.J. Terry a C.A. Brown – *Srovnání parametrů charakterizujících topografii v broušení (A comparison of topographic characterization parameters in grinding)*. V článku jsou zkoumány parametry pro charakteristiku topografií a metoda výběru těchto parametrů. Jsou testovány konvenční a škálově-citlivé (scale-sensitive) fraktální parametry pro nalezení vzájemných korelací, schopnost diferenciací procesních veličin a schopnost dát do souvislosti topografii (tvar) brousícího kotouče s topografií (tvarem) obrobeného povrchu. Povrchy byly obráběny různými kotouči, různými způsoby orovnávaní a toku materiálu. Profily byly získány kontaktní hrotovou sondou na kotouči a obrobeném povrchu ve směru rovnoběžném a kolmém na směr pohybu broušení. Autoři došli k závěru, že konvenční výškové parametry mají tendenci být více vzájemně svázané než prostorové parametry, a že žádné parametry v této studii nemohou rozlišit procesní veličiny ani nemohou souviset s topografií kotouče a obrobku ve všech situacích. Dalším závěrem bylo, že velikost vlnitosti byla nejlepší proměnnou pro odlišení procesních veličin a parametr „přechod z hladkého na hrubý povrch“ (the smooth-rough crossover - SRC) byl nejlepší ve vztahu k topografii kotouče a obrobku – viz [4].

2.4 Formulace problému

Jak bylo uvedeno v historickém úvodu, podle názoru autorů článku [2] dospěl vývoj v oblasti řízení pohonů do okamžiku, kdy je možné provést synchronizaci soustavy kotouč-obrobek s dostatečnou přesností, aby bylo možné řídit poměr frekvence otáček během broušení. Dalším krokem ve vývoji je tak logicky: *takové pracoviště vybudovat a ověřit teorii v praxi*.

První laboratorní pracoviště začalo vznikat na UWE Bristol, kde G.J. Trmal dlouhodobě působí, v rámci projektu CoWaShi. Toto pracoviště využívá pro řízení brusky počítač (PC) s měřicí kartou, který ale, podle mého názoru, není vhodný k použití na bruskách v průmyslu.

Moderní CNC brusky jsou řízeny pomocí programovatelných automatů (PLC) řídicích pohony kotouče, obrobku, přísuvu apod. Vystává tak otázka:

Kdyby se podařilo otestovat řízení poměru otáček kotouče a obrobku brusky pomocí PLC a ukázalo se, že tento způsob je srovnatelný s řešením využívajícím PC s měřicí kartou, bylo by možné upravit existující brusky tak, aby měly možnost synchronizace otáček kotouče a obrobku?

Další otázky přináší téma simulace:

1. Lze simulovat proces broušení na kulato a vznik vlnitosti povrchu obrobku na počítači, a ověřit tak výsledky praktických měření?
2. Pomohla by tato simulace při nalezení dalších vztahů, které s sebou synchronizace otáček při broušení na kulato přináší?
3. Lze vůbec simulovat tak dynamicky složitý proces, jakým broušení vnějších válcových ploch je?

2.5 Formulace cílů

Pro vyřešení problému byly stanoveny následující cíle:

1. Vybudování laboratorního pracoviště na TU Liberec s řízením na brusce

- 1a. Upravit laboratorní pracoviště na TU Liberec s bruskou na kulato s manuálním řízením k řízení pomocí PLC tak, aby bylo možné řídit poměr frekvence otáček kotouče a obrobku během broušení.
- 1b. Provést měření a porovnat výsledky laboratorních měření na UWE Bristol a TU Liberec.

2. Simulační program

- 2a. Vytvořit počítačový program pro simulaci broušení na kulato a vzniku vlnitosti povrchu obrobku.
- 2b. Ověřit simulované výsledky a hodnoty z praktických měření na brusce.

3. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ V LABORATOŘI UWE BRISTOL

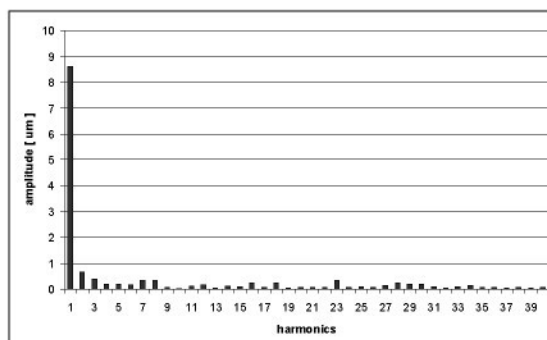
Řízení brusky pomocí PC

Praktické měření bylo prováděno na University of the West of England (UWE), Bristol v laboratoři RAMP na brusce Jones & Shipman 1050. K testům byl použit kotouč z kubického nitridu bóru (CBN). Měření se skládalo z několika částí a spolupracoval jsem na něm s dr. G. Trmalem, Z. Zárubou a techniky z UWE Bristol:

1. Orovnání kotouče	- nebylo prováděno, velmi tvrdé kotouče se neorovnávají
2. Předprocesní měření	- změření házivosti kotouče (<i>run-out</i>)
3. Procesní měření	- broušení na kulato sady obrobků
4. Vyvážení kotouče	- statické vyvážení pomocí tří závaží
5. Předprocesní měření	- přeměření házivosti kotouče
6. Procesní měření	- broušení na kulato sady obrobků
7. Postprocesní měření	- měření vlnitosti obrobků obou sad obrobků

3.1 Měření házivosti kotouče (předprocesní měření)

Měření bylo provedeno pomocí bezdotykového kapacitního čidla. Signál výchylky čidla byl přiveden na vstup měřicí karty monitorovacího systému (PC). Byly zaznamenány čtyři otáčky kotouče a vypočtena průměrná hodnota na jednu otáčku. Nad takto získanými daty byla provedena Fourierova analýza, jejímž výstupem je graf harmonických složek vstupního signálu. Amplituda první harmonické složky představuje házivost kotouče.



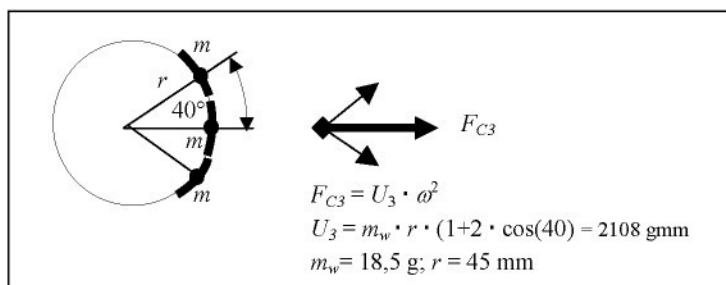
Obr. 3-1 Harmonické spektrum nevyváženého kotouče

Poznámka k Obr. 3-1: Házivost nevyváženého kotouče dosahovala 8,5 μm .

3.2 Vyvážení kotouče pro minimální házivost za použití měření vlnitosti povrchu kotouče

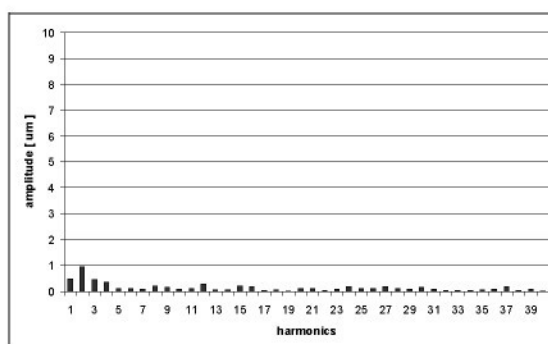
Pro vyvážení kotouče byla do jeho příruby postupně po 30° umísťována trojice závaží svírajících mezi sebou úhel 40° tak, aby byla zjištěna pozice, při které je klidová házivost kotouče se závažími minimální (Obr. 3-2). Při každém z 12 měření byl snímán signál z bezdotykového kapacitního čidla, který byl přímo úměrný (lineární závislost) vzdálenosti

mezi čidlem a povrchem kotouče během jedné otočky kotouče. Signál byl zaznamenán na počítači a vyhodnocen.



Obr. 3-2 Schéma rozmístění závaží na kotouči³

Výsledek: při umístění tří závaží symetricky okolo úhlu 306° byla výchylka nejmenší. Závaží byla proto umístěna okolo této pozice a znovu bylo provedeno měření házivosti.



Obr. 3-3 Harmonické spektrum vyváženého kotouče

Obr. 3-3 ukazuje, že házivost vyváženého kotouče nedosahuje ani 1 μm , a druhá harmonická složka je ta, která nakonec určuje výslednou házivost kotouče.

3.3 Monitorování během broušení (procesní měření)

3.3.1 Původní a nový monitorovací a řídicí systém

Původní monitorovací systém, kterým byla bruska vybavena, nemohl být pro měření použit, neboť používal jako vstup data z řídicího modulu, tj. hrozilo tu nebezpečí, že by v případě, kdy by byla data v řídicím systému zatížena chybou, byla by i monitorovaná data zatížena chybou. Proto byly řídicí a monitorovací systém během mé práce na projektu *Automated Monitoring and Diagnostic System for Machining Processes* odděleny a umístěny na dvě nezávislá PC.

V novém monitorovacím a řídicím systému obsluha nastavuje otáčky kotouče brusky a poměr frekvence otáček, tj. už nenastavuje otáčky obrobku, jako je tomu u ostatních brusek. Dvě inkrementální čidla snímají otáčky kotouče a obrobku a předávají signály do monitorovací stanice. Na jejich základě řídicí program dopočítává a průběžně nastavuje otáčky obrobku. Povrch obrobku je tak obráběn za vhodných podmínek (poměr frekvence otáček) jak při broušení, tak při vyjiskřování.

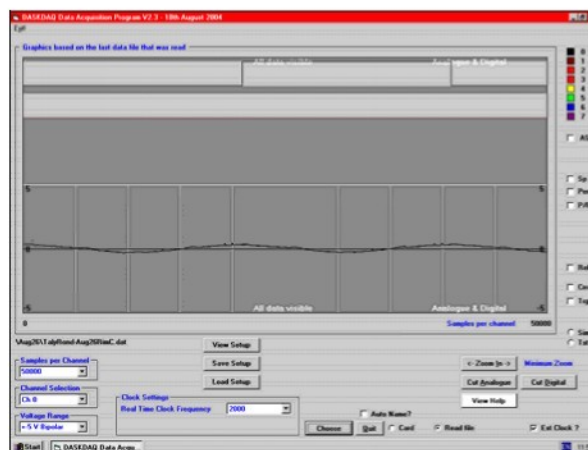
³ Obrázek vytvořen s využitím podkladů G.J. Trmala

3.3.2 Vybavení monitorovací stanice

Monitorovací stanicí byl osobní počítač PC s OS Windows vybavený kartou ADLINK DAQ-2010 PCI. Karta obsahovala čtyři analogové a osm digitálních vstupů. Analogové vstupy mohly být naprogramovány na 8 různých rozsahů (Bi-polar: ± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V, $\pm 1,25$ V; Uni-polar: 10 V, 5 V, 2,5 V, 1,25 V), digitální vstupy pracují v rozsahu 0-5 V. Vzorkovací perioda byla odvozena od oscilátoru vestavěného na kartě v režimu *Internal clock mode*, anebo z externího signálu, který v obecném případě nemusí mít stálou frekvenci, v režimu *External clock mode*.



Obr. 3-4 Bruska Jones & Shipman 1050 s monitorovací stanicí (řídící stanice je mimo záběr)



Obr. 3-5 Obrazovka monitorovací stanice

3.3.3 Popis sady testů

Byly provedeny tři sady testů po třech experimentálních broušeních (tj. 9 obrobků) za těchto podmínek:

Sada č. 1	Bez vyváženého kotouče, $n_s = 2106 \text{ min}^{-1}$	Bez vyjiskřování, $q_n = 17$	S vyjiskřováním, $q_n = 17$ $q_{n v} = 17$	S vyjiskřováním, $q_n = 17$ $q_{n v} = 17,5$
Sada č. 2	S vyvážením kotouče, rychlost $n_s = 2106 \text{ min}^{-1}$	Bez vyjiskřování, $q_n = 17$	S vyjiskřováním, $q_n = 17$ $q_{n v} = 17$	S vyjiskřováním, $q_n = 17$ $q_{n v} = 17,5$
Sada č. 3	S vyvážením kotouče, maximální rychlost kotouče, $n_s = 2730 \text{ min}^{-1}$	Bez vyjiskřování, $q_n = 17$	S vyjiskřováním, $q_n = 17$ $q_{n v} = 17$	S vyjiskřováním, $q_n = 17$ $q_{n v} = 17,5$

Tab. 3-1 Řezné podmínky při broušení na kulato

Poznámka: Smyslem třetí sady měření oproti druhé sadě je zjistit, zda při zvýšení otáček kotouče oproti druhé sadě dojde působením odstředivé síly na vložena závaží k další minimalizaci vlivu házivosti kotouče na vlnitost obrobku, a tím i na kvalitu povrchu.

3.3.4 Specifikace kotouče a obrobku

Kotouč	Specifikace	Parametry
CBN	EP3A1-250-19-76.2 (jednovrstevný, elektrolyticky pokovený)	Průměr: $D_s = 250$ mm Šířka: $b_s = 19$ mm
Obrobky	Materiál	Parametry
	ocel 11600	Průměr: $d_w = 62$ mm Šířka: $b_s = 18$ mm

Tab. 3-2 Specifikace kotouče a obrobku použitých pro experiment na brusce Jones & Shipman 1050

3.4 Měření vlnitosti obrobku (postprocesní měření)

Měření povrchu obrobku bylo provedeno přístrojem TalyRond a zaznamenaná data zpracována v programech ERond a MS Excel.

3.4.1 Přístroj TalyRond

Pro dotykové měření vlnitosti povrchu obrobku bylo použito zařízení *TalyRond 200* firmy Taylor-Hobson. Přístroj snímá sondou povrch vzorku a zaznamenává signál sondy během jedné otáčky. Současně s tím je na kruhový list papíru vykreslen profilogram povrchu obrobku.



Obr. 3-6 Přístroj TalyRond 200 firmy Taylor-Hobson pro měření povrchu obrobků

3.4.2 Program ERond

Pro možnost dalšího zpracování hodnot snímaných z přístroje TalyRond byl analogový výstup z tohoto zařízení připojen během měření na vstup měřicí karty monitorovací stanice, a tak mohl být signál uložen. Poté byl soubor načten do programu ERond, který pro tento účel vyvinul na UWE Bristol v rámci výměnného programu Socrates/Erasmus Daniel Valošek z TU Ostrava. Mým přínosem v této části výzkumu byla modifikace programu ERond v prostředí Borland Delphi tak, aby program oproti původní verzi zobrazoval harmonické spektrum signálu jedné otočky (užitečné pro výběr zobrazení jen vybraných harmonických složek) a aby profilogram obsahoval popisné údaje (jaké harmonické složky

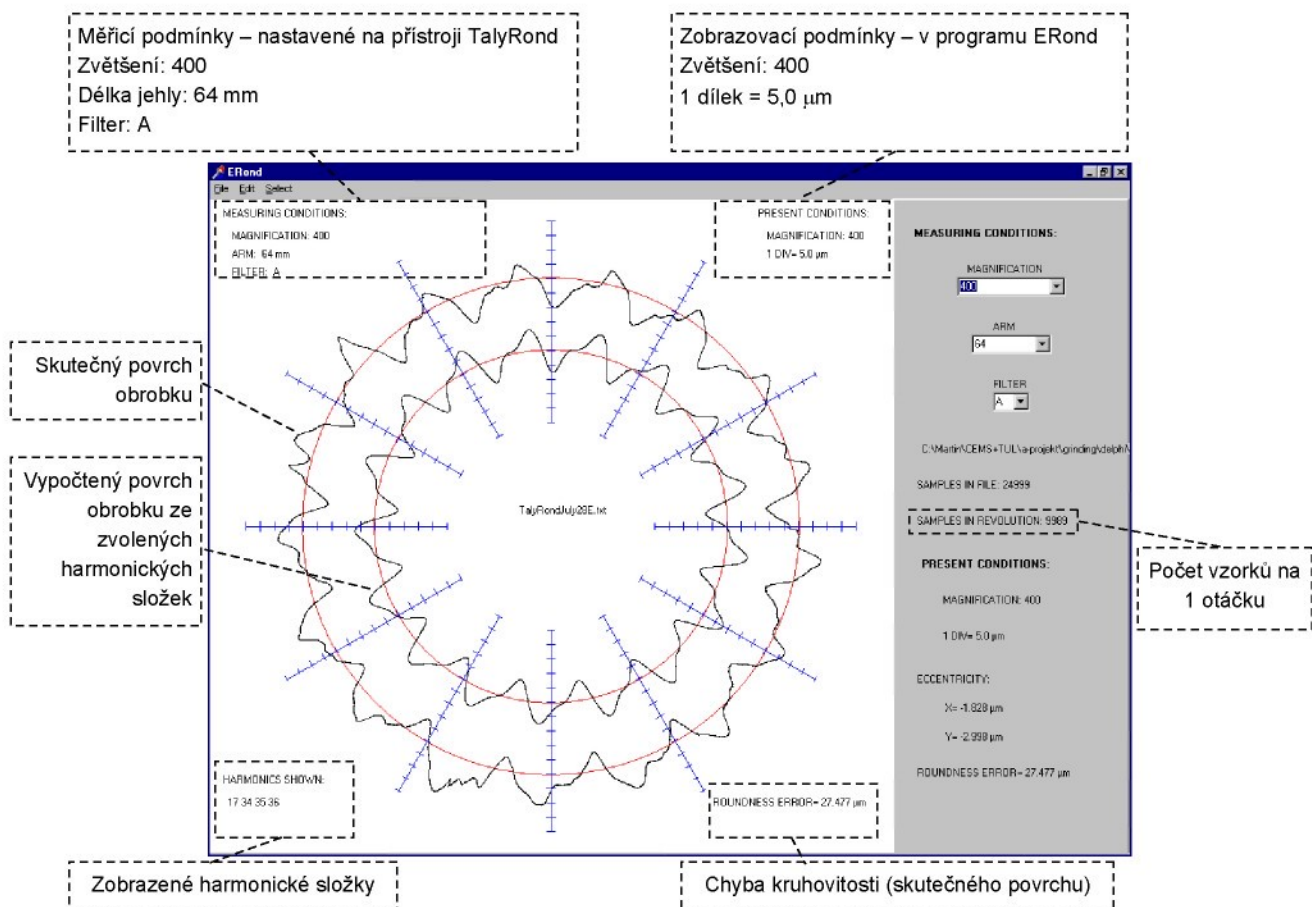
jsou zobrazeny, s jakou citlivostí a zvětšením byl obrobek snímán, jaká je chyba kruhovitosti apod. – užitečné pro lepší orientaci ve výsledcích) – viz Obr. 3-8.

Program *ERond* slouží ke dvěma účelům:

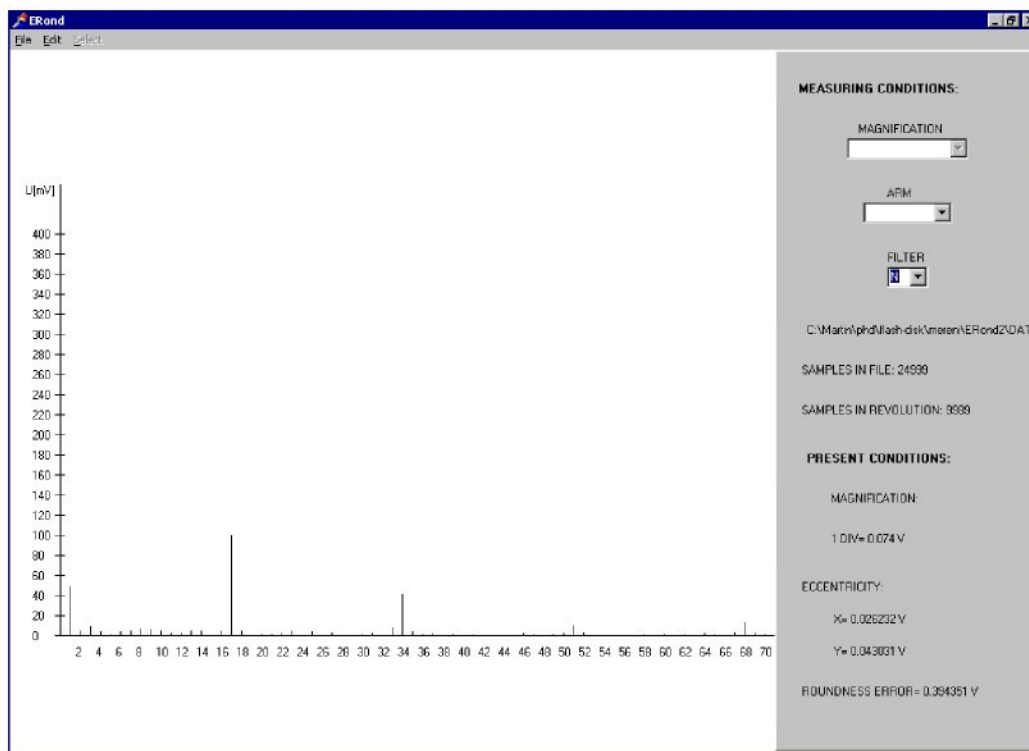
- k vykreslení profilu obrobku a
- k provedení harmonické analýzy signálu jedné otočky

Výpočet harmonických složek pomocí rozvoje do Fourierovy řady umožňuje zobrazit tvar profilu tvořený pouze některými harmonickými složkami vstupního signálu. V diagramu, který po načtení signálu program vykreslí, představuje vnější křivka skutečný povrch, vnitřní křivka je vypočtena z harmonických složek získaných Fourierovou analýzou. Uživatel programu má možnost vybrat si, které harmonické složky mají být zobrazeny (HARMONICS SHOWN v Obr. 3-8). Díky tomu si může ověřit hypotézy, které harmonické složky jsou zodpovědné za výsledný tvar povrchu obrobku. Program dále vypočítá velikost chyby kruhovitosti (ROUNDNESS ERROR) jako rozdíl poloměrů kružnic proložených body nejdále a nejbližše středu obrobku.

Pro vykreslení jednoho profilogramu bylo použito přibližně 10 000 hodnot snímaných během jedné otáčky (SAMPLES IN REVOLUTION).



Obr. 3-7 Diagram vlnitosti obrobku a profil vypočtený z harmonických složek v programu *ERond*

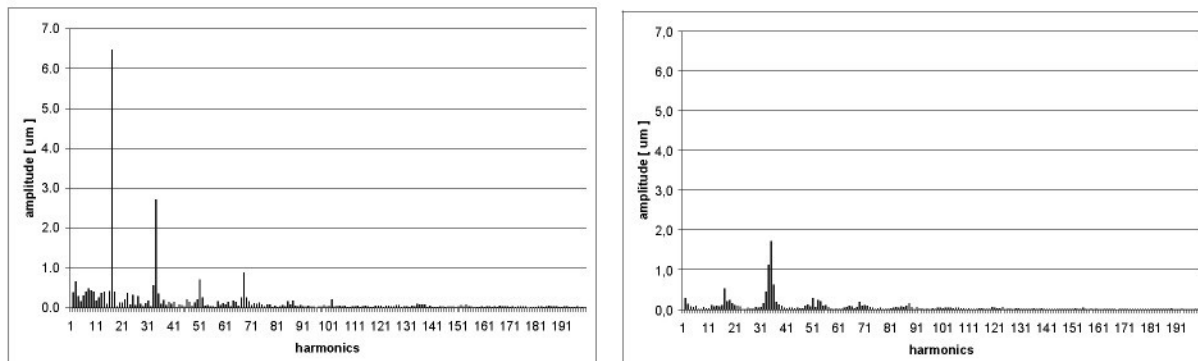


Obr. 3-8 Harmonické spektrum signálu jedné otočky povrchu obrobku v programu ERond

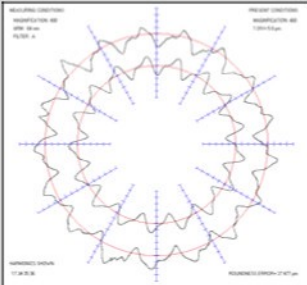
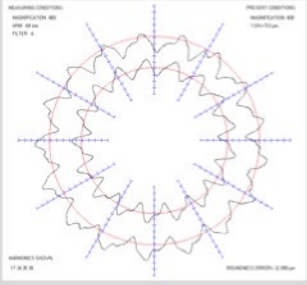
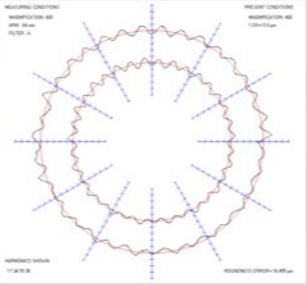
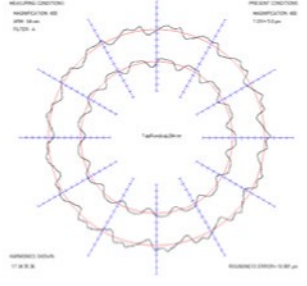
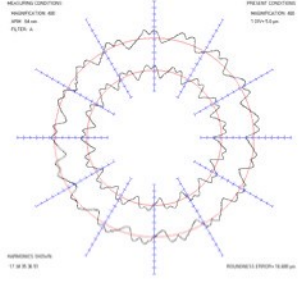
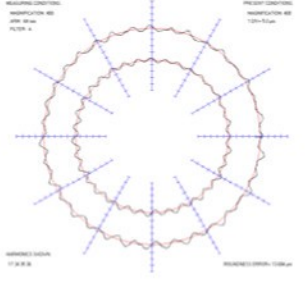
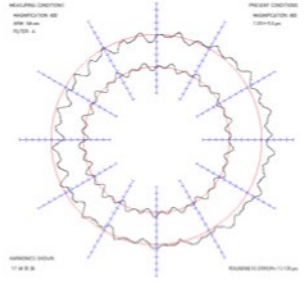
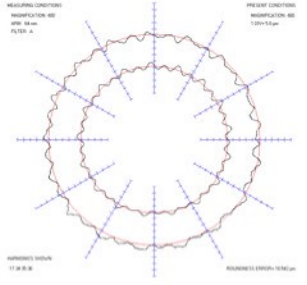
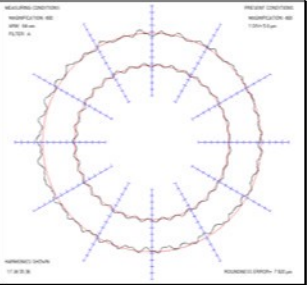
3.4.3 Zpracování dat v MS Excel

Data získaná z přístroje TalyRond byla zároveň vstupem pro makra v MS Excel s naprogramovanou harmonickou analýzou, jejímž výstupem byl graf s harmonickými složkami vstupního signálu. (Makra vytvořil Zdeněk Záruba z UWE Bristol.) Z grafů (viz Obr. 3-9) vyplývá, která ze složek je nejdůležitější pro tvorbu vlnitosti obrobku – ta s nejvyšší amplitudou.

Je zde také vidět souvislost poměru otáček kotouče a obrobku q_{n_v} s nejvyšší amplitudou harmonického spektra. Byl-li poměr frekvence otáček 17, byla amplituda 17. harmonické složky tou nejvyšší a harmonické složky násobku 17 (tj. 34., 51., 68.) byly také významné. Byl-li poměr frekvence otáček $q_{n_v} = 17,5$, byly v harmonickém spektru také zastoupeny složky násobku 17, ale amplituda 34. složky byla největší. Podrobněji jsou harmonické složky jednotlivých měření rozebrány dále v textu a znázorněny na Obr. 3-10.

Obr. 3-9 Harmonické složky povrchu obrobku pro $q_{n_v} = 17$ a $q_{n_v} = 17,5$

3.5 Výsledky praktických testů z UWE Bristol

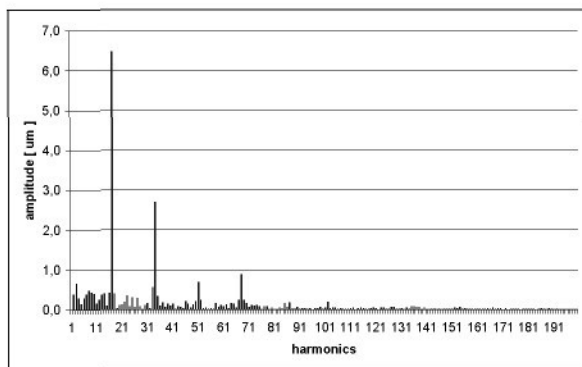
 University of the West of England BRISTOL	Bez vyjiskřování	Poměr frekv. otáček při vyjiskřování $q_{n_v} = 17$	Poměr frekv. otáček při vyjiskřování $q_{n_v} = 17,5$
1) Nevyvážený kotouč, otáčky kot. 2106 min^{-1}	 a) Chyba kruhovitosti : 27,5 μm Nejhorší kvalita obrobku	 b) Chyba kruhovitosti : 22,1 μm	 c) Chyba kruhovitosti : 16,5 μm
2) Vyvážený kotouč, otáčky kot. 2106 min^{-1}	 d) Chyba kruhovitosti : 11,0 μm	 e) Chyba kruhovitosti : 16,7 μm	 f) Chyba kruhovitosti : 13,7 μm
3) Vyvážený kotouč, maximální otáčky kot., 2730 min^{-1}	 g) Chyba kruhovitosti : 13,1 μm	 h) Chyba kruhovitosti : 10,5 μm	 i) Chyba kruhovitosti : 7,9 μm Nejlepší kvalita obrobku

Tab. 3-3 Výsledky z měření vlnitosti obrobku broušených za různých podmínek

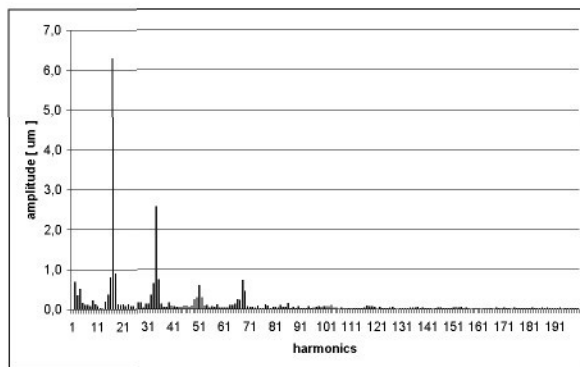
Poznámka: Zvětšené profily obrobků z Tab. 3-3 jsou uvedeny v Příloze č. 1).

Pro doplnění uvádím dále grafy harmonických složek vlnitosti povrchu obrobků, které potvrzují tvar profilogramů jednotlivých obrobků.

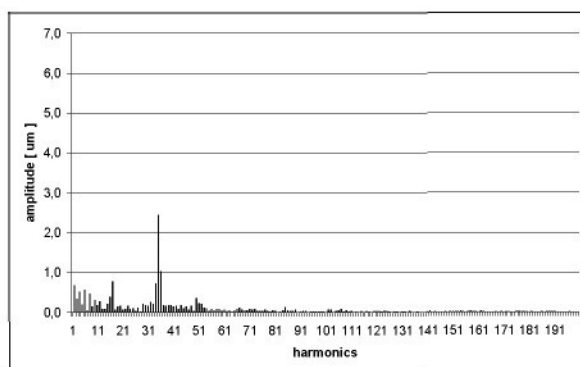
1) Nevyvážený kotouč, $n_s = 2106 \text{ min}^{-1}$:



a) Bez vyjiskřování, při $q_n = 17$

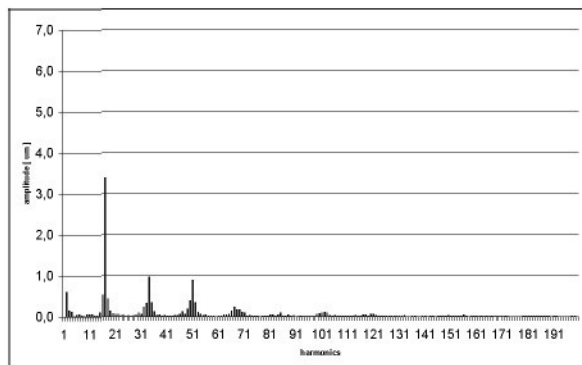


b) S vyjiskřováním, při $q_n = 17$ a $q_{n_v} = 17$

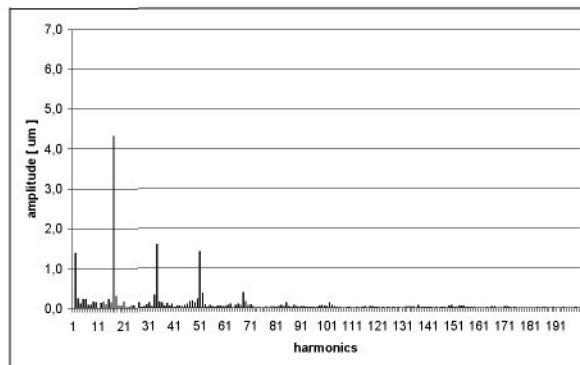


c) S vyjiskřováním, při $q_n = 17$ a $q_{n_v} = 17,5$

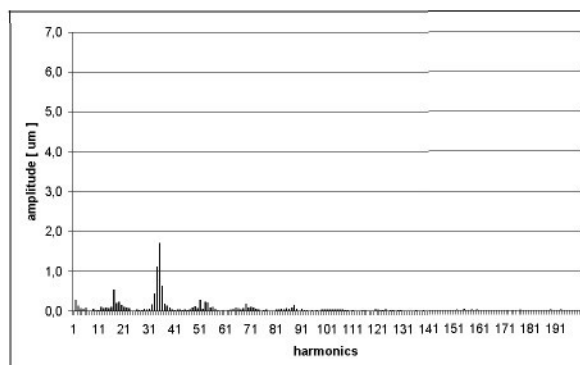
2) Vyvážený kotouč, $n_s = 2106 \text{ min}^{-1}$:



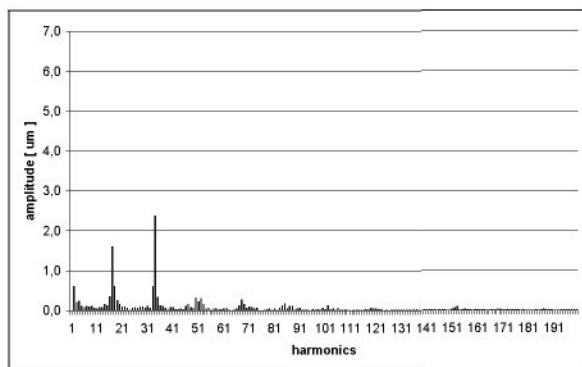
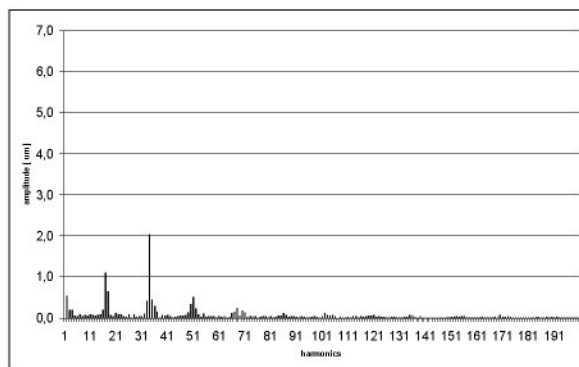
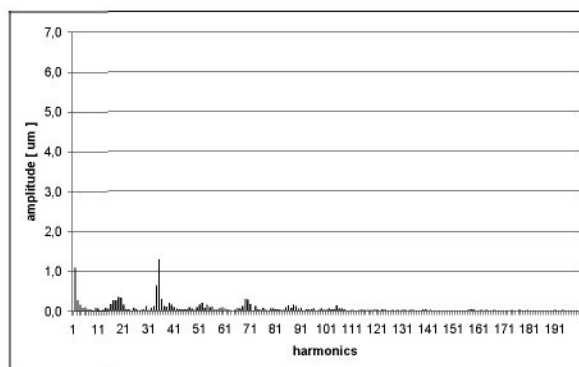
d) Bez vyjiskřování, při $q_n = 17$



e) S vyjiskřováním, při $q_n = 17$ a $q_{n_v} = 17$



f) S vyjiskřováním, při $q_n = 17$ a $q_{n_v} = 17,5$

3) Vyvážený kotouč, $n_s = 2730 \text{ min}^{-1}$:g) Bez vyjiskřování, při $q_n = 17$ h) S vyjiskřováním, při $q_n = 17$ a $q_{n_v} = 17$ i) S vyjiskřováním, při $q_n = 17$ a $q_{n_v} = 17,5$

Obr. 3-10 Harmonické složky vlnitosti povrchu obrobků

3.6 Diskuse k výsledkům

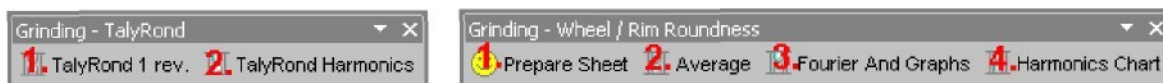
Z profilogramů uvedených v Tab. 3-3 a grafů v Obr. 3-10 vyplývá, že vlnitost obrobku broušeného nevyváženým kotoučem a bez vyjiskřování dosahuje $27,5 \mu\text{m}$, naproti tomu vlnitost obrobku broušeného vyváženým kotoučem při maximálních otáčkách (odstředivá síla závisí na 2. mocnině frekvence otáček kotouče) a s vyjiskřováním při $q_{n_v} = 17,5$ je $7,9 \mu\text{m}$. Bylo tak dosaženo snížení chyby kruhovitosti vyvážením kotouče pomocí závaží a změnou podmínek při vyjiskřování.

Získané výsledky jsou v souladu s grafy harmonických složek v Obr. 3-10: u obrobků, kde byl poměr frekvence otáček $q_n = 17$ (bez vyjiskřování, 1. sloupec v Tab. 3-3, a) a d) v Obr. 3-10) nebo $q_{n_v} = 17$ (s vyjiskřováním, 2. sloupec v Tab. 3-3, b) a e) v Obr. 3-10), je 17. harmonická složka v harmonickém spektru významná. U obrobků, kde byl poměr frekvence otáček $q_{n_v} = 17,5$, převažuje ve spektru především 34. složka (s vyjiskřováním, 3. sloupec v Tab. 3-3, c), f) a i) v Obr. 3-10).

3.7 Uživatelská příručka

Pro měření kruhovitosti příruby kotouče na brusce J&S 1050 na UWE Bristol (předprocesní měření) a pro měření vlnitosti obrobku pomocí přístroje TalyRond (postprocesní měření) autor práce sestavil uživatelskou příručku s návodem, jak postupovat při zpracování dat z obou těchto měření. Zpracování je výrazně automatizováno pomocí

maker v jazyce Visual Basic. Kromě sepsání manuálu bylo přínosem autora práce vývoj uživatelského rozhraní pro spouštění maker z programu MS Excel – panely nástrojů (Obr. 3-11). Český překlad uživatelské příručky je uveden v Příloze č. 2).



Obr. 3-11 Panely nástrojů pro spouštění maker v jazyce Visual Basic

3.8 Shrnutí

Na UWE Bristol bylo vybudováno laboratorní pracoviště, na kterém je možné řídit poměr frekvence otáček při broušení a vyjiskřování uživatelem tak, aby byly dodrženy podmínky pro synchronizaci otáček kotouče a obrobku během jednotlivých fází broušení. Nezbytnou podmínkou pro správný výsledek experimentů bylo oddělení monitorovací a řídicí stanice.

Bylo provedeno devět měření v různých podmínkách, která ukázala vliv vyváženosti a nevyváženosti kotouče na velikost házivosti kotouče, a tím i na kvalitu povrchu broušeného obrobku, která je zde určována pomocí chyby kruhovitosti. Ke snímání povrchu obrobku bylo použito zařízení pro měření kruhovitosti obrobků (TalyRond), k vykreslení profilogramu povrchu byl použit program ERond, k provedení harmonické analýzy nad signálem jedné otáčky povrchu obrobku nebo kotouče bylo použito makro v programu MS Excel.

Realizovaná měření ukazují, že při minimalizaci házivosti kotouče a při přesně specifikovaných podmínkách během broušení – fázový posuv 0° , tj. celočíselný poměr frekvence otáček kotouče a obrobku při broušení, a fázový posuv 180° , tj. neceločíselný poměr frekvence otáček při vyjiskřování – lze dosáhnout významného snížení vlnitosti povrchu obrobku – zde konkrétně z $27,5 \mu\text{m}$ na $7,9 \mu\text{m}$. Z tabulky výsledků měření (sloupce 2 a 3 v Tab. 3-3) také vyplývá, že amplitudu vlnitosti kotouče lze snížit i bez snižování házivosti kotouče, a to pouze dodržením výše specifikovaných podmínek při broušení a vyjiskřování.

3.8.1 Vlastní přínos

Mým přínosem v praktickém měření na UWE Bristol byla spolupráce na provádění experimentů, úprava programu ERond vedoucí k vykreslení grafu harmonických složek povrchu obrobku, vytvoření uživatelského rozhraní pro práci s makry v MS Excel a sjednocení formátu datových souborů na výstupu z monitorovací stanice do jednotné podoby pro další zpracování jak v programu ERond, tak pomocí maker v MS Excel.

Z práce na projektu *Automated Monitoring and Diagnostic System for Machining Processes* byla autorem disertační práce vypracována závěrečná zpráva, která je uložena na UWE Bristol.

4. SIMULACE BROUŠENÍ NA KULATO A VZNIKU VLNITOSTI POVRCHU OBROBKU

4.1 Úvod

Pro modelování vzniku vlnitosti povrchu obrobku jsem vytvořil počítačový program, ve kterém je implementován geometrický model broušení na kulato velmi tvrdým kotoučem, tj. bez úbytku materiálu kotouče. Program výpočtem simuluje vznik vln po obvodu obrobku, a umožňuje tak porovnání průběhů broušení za různých podmínek. Program neumožňuje zadávat tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek-přípravek (S-R-O-P) ani nepostihuje ostatní dynamické vlastnosti broušení na kulato, které jsou obecně složitější než tento kinematický pohled. Program byl vytvořen v prostředí Borland Pascal 7.0. Jeho zdrojový kód je uveden v Příloze č. 5).

Vstupními parametry programu jsou:

Veličina	Význam	Jméno proměnné v programu
n	počet bodů vrcholu obrobku	
<i>Preprocesní veličiny</i>		
R_s	poloměr kotouče	R
r_w	poloměr obrobku	r_w
rt	házivost kotouče	rt
<i>Procesní veličiny</i>		
f_x	rychlost přísuvu	f_x
n_s	frekvence otáček kotouče	n_s
q_n	poměr frekvence otáček	q_n
q_{n_v}	poměr frekvence otáček při vyjiskřování	q_n

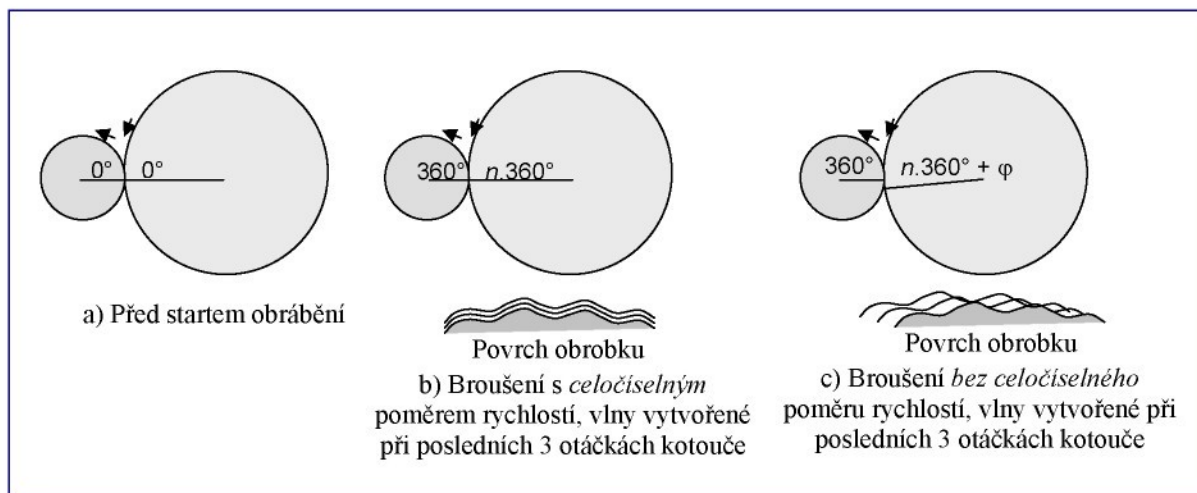
4.1.1 Vlnitost obrobku

Vlnitost obrobku (angl. *waviness*) jsou „pravidelné nerovnosti povrchu s vlnami delšími než rozteče výstupků a prohlubní drsnosti povrchu. Jsou viditelné pouhým okem při vhodném osvětlení a vznikají důsledkem chvění soustavy stroj-nástroj-obrobek-přípravek (S-N-O-P). Vlnitost je přechodová fáze mezi drsností a úchylkou tvaru“ – viz [1].

Vlny vznikají i při velmi malých hodnotách házivosti kotouče v řádech μm a jsou důsledkem periodického přibližování a oddalování kotouče od obrobku. Jak bylo uvedeno už v kapitole 2.1.3 v Obr. 2-2, mohou nastat dva extrémní případy:

a) v případě celočíselného poměru (n) frekvencí otáček kotouče a obrobku se při otočení obrobku o 360° kotouč otočí o $n \cdot 360^\circ$ a dostane se na totéž místo na povrchu obrobku, a tak se vlna posouvá stále hlouběji do materiálu obrobku, nicméně její geometrický tvar zůstává neměnný – viz Obr. 4-1b.

b) v případě, že poměr frekvencí otáček kotouče a obrobku není během obrábění celé číslo, kotouč se při otočení obrobku o 360° dostane nikoliv do téhož místa na povrchu obrobku, ale do místa posunutého o úhel φ podél obvodu obrobku. V ideálním případě, kdy je $\varphi = 180^\circ$, dojde k oříznutí oblouku předchozí vlny, a tím také ke snížení amplitudy vlnitosti povrchu – viz Obr. 4-1c.



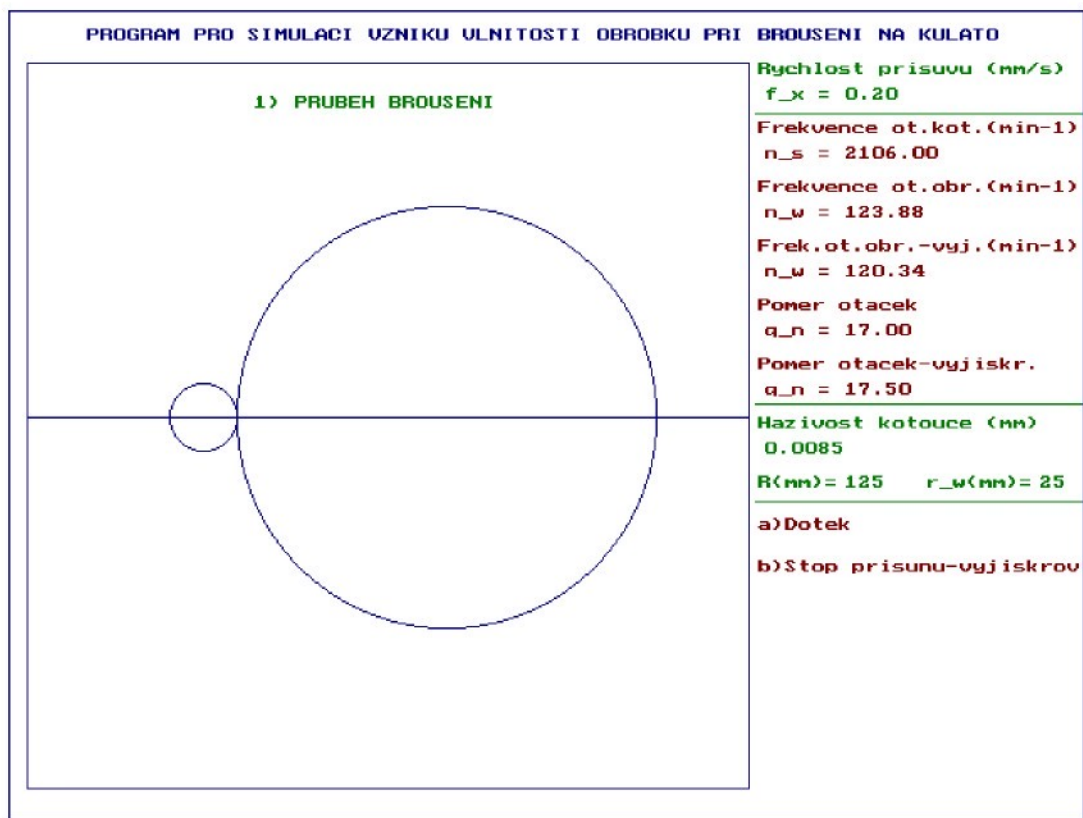
Obr. 4-1 Vznik vlnitosti obrobku při celočíselném a neceločíselném poměru otáček

4.2 Popis programu

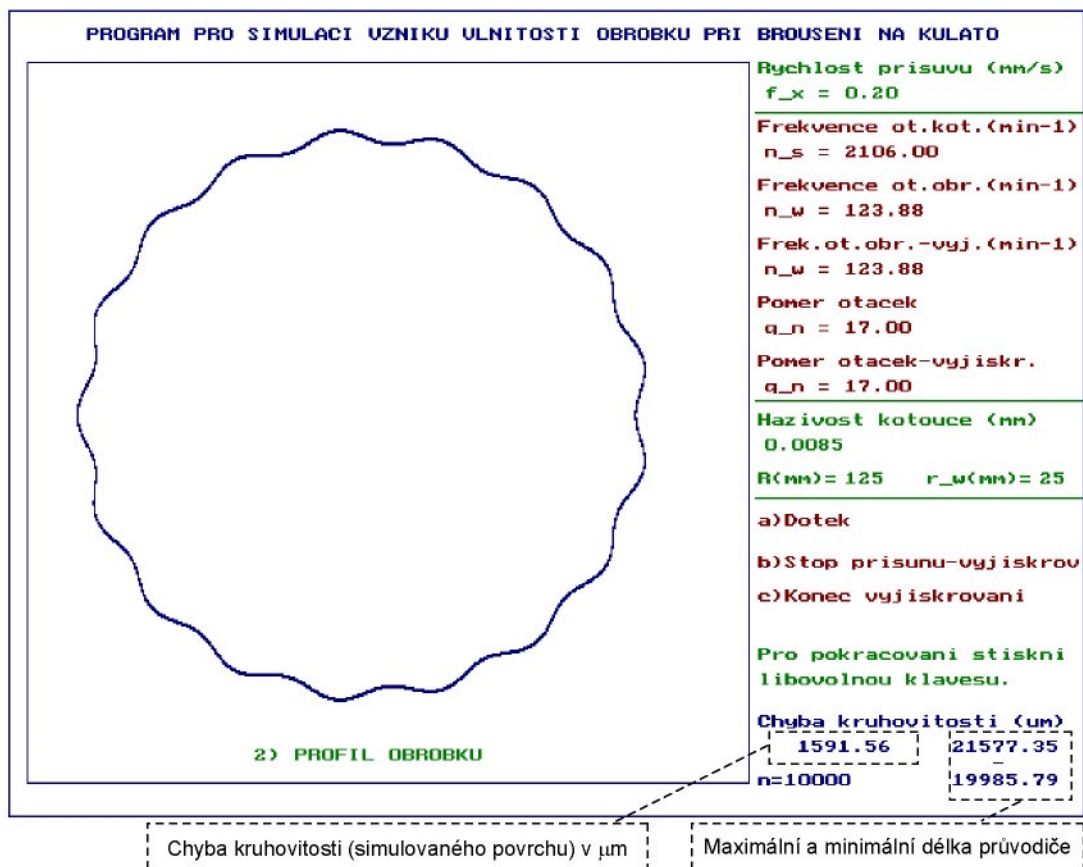
Simulační program obsahuje dvě základní části, k nimž přísluší dvě obrazovky: *Průběh broušení* a *Profil obrobku*.

1. V části *Průběh broušení* je na základě vstupních parametrů broušení zadaných před spuštěním programu simulován pohyb obrobku vzhledem ke kotouči, po doteku obou součástí je simulováno vlastní broušení, tj. úbytek „materiálu“. Po odebrání 5 mm „materiálu“ je ukončen přírůstek a je simulována fáze vyjiskřování až do okamžiku zastavení vyjiskřování zásahem uživatele, tj. obdobně jako u reálného broušení. Viz Obr. 4-2.

2. V části *Profil obrobku* je na základě vypočtených dat po skončení simulace broušení ve zvětšeném měřítku zobrazen výsledný profil povrchu obrobku (profilogram) a vypočtena chyba kruhovitosti simulovaného obrobku. Viz Obr. 4-3.



Obr. 4-2 Obrazovka simulačního programu v 1. části – Průběh broušení



Obr. 4-3 Obrazovka simulačního programu ve 2. části – Profil obrobku

4.2.1 Průběh simulace

Stejně jako v reálném případě na brusce na UWE Bristol, program je vytvořen tak, aby byla frekvence otáček obrobku řízena na základě znalosti frekvence otáček kotouče n_s a poměru otáček q_n , tj. tak, aby byl udržován požadovaný poměr frekvence otáček jak při broušení, tak při vyjiskřování dle vztahu

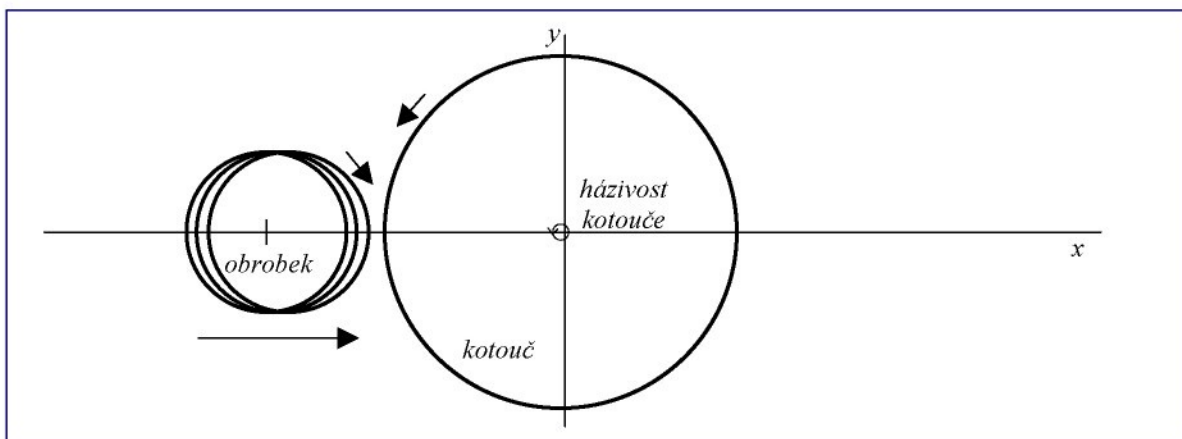
$$n_w = \frac{n_s}{q_n}, \text{ resp. } n_{w_v} = \frac{n_s}{q_{n_v}}. \quad (4.1)$$

Výstupními veličinami programu jsou frekvence otáček obrobku n_w jak ve fázi broušení, tak ve fázi vyjiskřování (n_{w_v}), a chyba kruhovitosti obrobku, která je spočtena jako rozdíl mezi největším a nejmenším poloměrem simulovaného obrobku. Kromě toho program vykreslí profil povrchu obrobku ve zvětšeném měřítku.

4.3 Algoritmus programu

Pro potřeby simulace bylo nutné navrhnout a vytvořit datový model, který by reprezentoval body na povrchu obrobku, ale přitom by byl vhodný pro co nejjednodušší výpočet výsledného povrchu obrobku. Následující úvaha byla podstatná pro vytvoření datového modelu:

Při skutečném obrábění na kulato se střed obrobku pohybuje směrem ke středu kotouče po společné ose x (neuvažujeme-li axiální posuv obrobku) – viz Obr. 4-4.



Obr. 4-4 Přisuv obrobku při skutečném obrábění

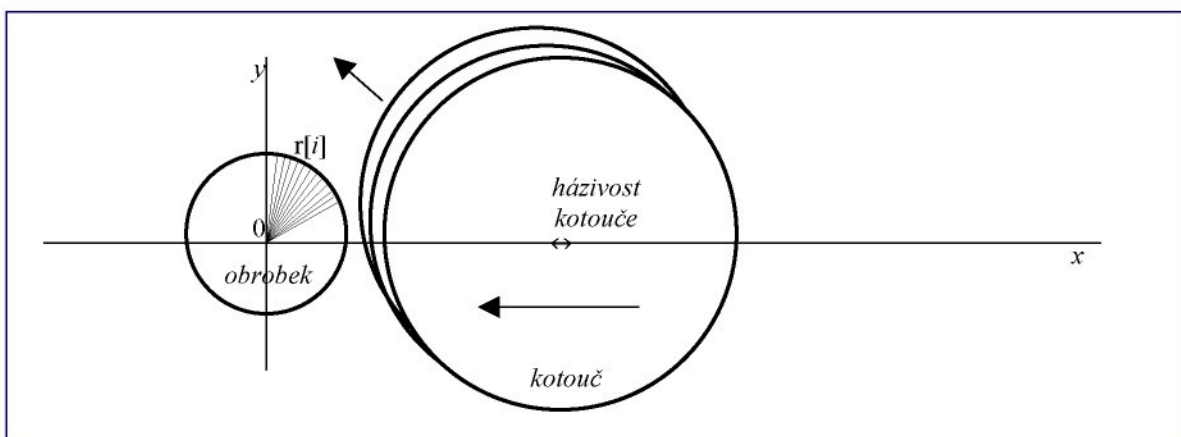
Vzhledem k tomu, že při skutečném broušení se obrobek pohybuje a současně s tím se poté, co dojde k dotyku obrobku s kotoučem, mění poloměr obrobku, bylo by zbytečně složité vytvářet datový model reprezentující pohybující se obrobek, navíc s proměnnou délkou poloměru po jeho obvodu. Pro výpočet průběhu obrábění a tomu odpovídajícího výsledného profilu obrobku jsem proto použil model, ve kterém je umístěn počátek soustavy souřadnic do středu obrobku, a kde se kotouč pohybuje směrem k obrobku. Tento způsob umožňuje jednoduše reprezentovat obvod obrobku jako pole n reálných čísel, kde každý prvek pole $r[i]$ představuje *délku poloměru* pro příslušný úhel $i \cdot 2\pi/n$, kde i je index prvku (celé číslo) z intervalu $\langle 1, n \rangle$, a tím také jednoduše udržovat informaci o délce průvodiče ze středu obrobku k jeho okraji v rozsahu $\langle 0, 2\pi \rangle$. Hodnoty z tohoto pole jsou poté použity pro

vykreslení profilogramu obrobku po skončení broušení. V navrženém modelu je použito $n = 10\,000$, tj. povrch obrobku je reprezentován tímto počtem bodů (stejně jako při snímání povrchu obrobku během jedné otáčky přístroje TalyRond v laboratoři na UWE Bristol – viz kapitola Měření vlnitosti obrobku (postprocesní měření) na str. 17).

Přísuv obrobku f_x je v modelu nahrazen přísuvem kotouče reprezentovaného kružnicí pohybující se směrem k obrobku stejnou rychlostí f_x , jako je rychlost přísuvu obrobku ke kotouči při skutečném broušení. Přitom předpokládáme, že poloměr kotouče-kružnice se během obrábění nemění, neboť u velmi tvrdých kotoučů s povrchem z kubického nitridu bóru (CBN) nebo diamantu je odběr materiálu minimální. Otáčení obrobku je zde reprezentováno „obíháním“ kotouče okolo obrobku, jak je znázorněno na Obr. 4-5, tj. místo otáčení obrobku v čase obíhá kotouč (kružnice s házivostí) obrobek (tj. pole vrcholů obrobku).

Házivost kotouče je v modelu řešena jako harmonický pohyb středu kotouče po úsečce o velikosti dvojnásobku velikosti házivosti kotouče, tj. k aktuální poloze středu kotouče je přičtena změna polohy m_{rt} daná vzorcem

$$m_{rt} = rt \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{n_s}{60} \cdot t\right) \quad (4.2)$$



Obr. 4-5 Reprezentace přísuvu obrobku v algoritmu simulačního programu

Čas plynoucí při simulaci broušení je simulován jako diskrétní čas a je vypočítáván z frekvence otáček obrobku n_w (v Hz) podle následující úvahy:

Označíme-li periodu jedné otáčky obrobku T_w , platí pro periodu vztah

$$T_w = \frac{1}{n_w} \quad (4.3)$$

K pootočení o $1/10\,000$ otáčky obrobku, neboli o 1 dílek, na který je povrch obrobku rozdělen, dojde za čas

$$dt = \frac{1}{10\,000} \cdot \frac{1}{n_w} \quad (4.4)$$

S krokem dt je v programu cyklicky zvyšován čas broušení ($t := t + dt$) až do splnění podmínky doteku kotouče s obrobkem (zde je použita frekvence otáček obrobku při broušení n_w) a poté do ukončení vyjiskřování uživatelem (n_{w_v}).

Poznámka: Kromě vykreslení výsledného profilu obrobku je pole délek poloměrů obrobku uloženo do textového souboru s možností dalšího zpracování, např. v programu MS Excel.

4.4 Výsledky simulace

Na počítači s operačním systémem Windows XP (800 MHz, 256 MB RAM) bylo provedeno několik simulovaných broušení za různých podmínek⁴.

4.4.1 Porovnání s praktickými měřeními na UWE Bristol

Pro připomenutí nejprve uvádím výsledky získané z praktického měření pro nevyvážený (házivost 8,5 μm) a vyvážený kotouč (házivost 1 μm) – viz kapitoly 3.1 a 3.2 na straně 14 a Tab. 3-3 na straně 20 (2. a 3. sloupec):

1) Naměřené výsledky:

Broušení na UWE Bristol, UK				n = 10 000		R _s = 125 mm	
Házivost: 0,0085 mm - bez vyvážení kotouče						r _w = 25 mm	
Broušení + vyjiskřování				Broušení + vyjiskřování			
Otáčky kotouče - n _s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q _{n_v}	Otáčky obrobku - n _w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]	Otáčky kotouče - n _s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q _{n_v}	Otáčky obrobku - n _w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]
2106	17	123,9	22,1	2106	17,5	120,3	16,5

Tab. 4-1 Chyba kruhovitosti obrobků – reálné broušení s nevyváženým kotoučem

Broušení na UWE Bristol, UK				n = 10 000		R _s = 125 mm	
Házivost: 0,001 mm - s vyvážením kotouče						r _w = 25 mm	
Broušení + vyjiskřování				Broušení + vyjiskřování			
Otáčky kotouče - n _s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q _{n_v}	Otáčky obrobku - n _w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]	Otáčky kotouče - n _s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q _{n_v}	Otáčky obrobku - n _w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]
2106	17	123,9	16,7	2106	17,5	120,3	13,7
2730	17	160,6	10,5	2730	17,5	156,0	7,9

Tab. 4-2 Chyba kruhovitosti obrobků – reálné broušení s vyváženým kotoučem

⁴ Simulační program běží i na PC s OS Windows 95 s 80 MHz a 32 MB RAM, ale jeden simulační cyklus pak trvá přibližně 5-10 minut ($n = 10\,000$) oproti několika sekundám na počítačích s rychlejšími procesory.

2) Simulované výsledky:

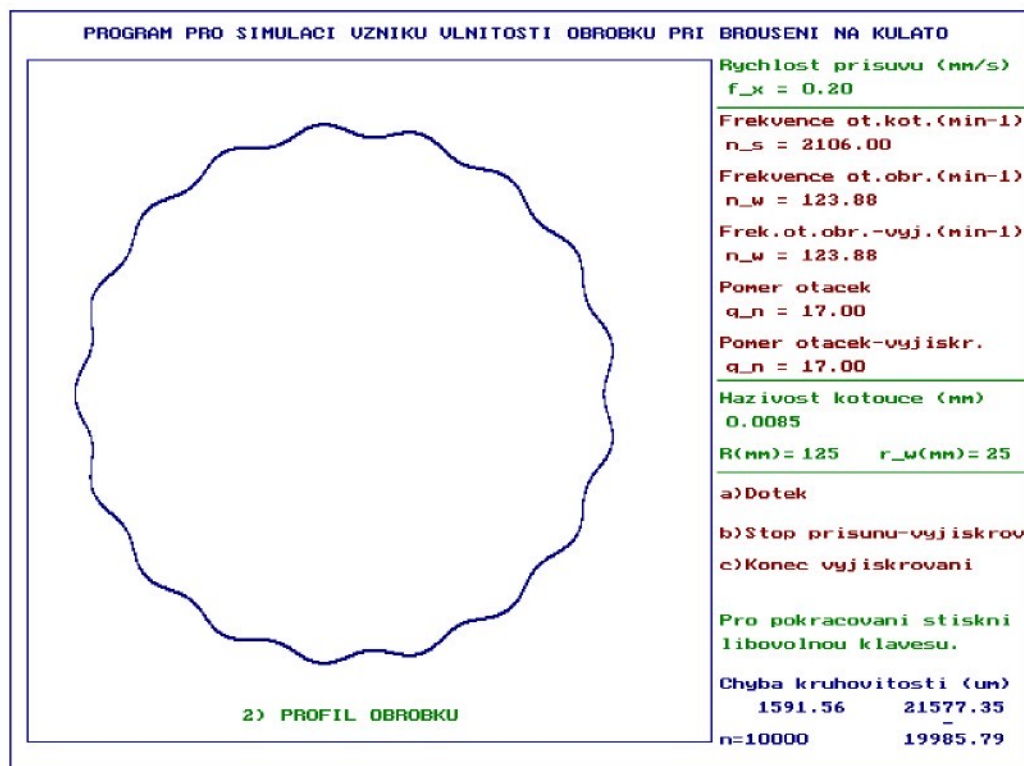
Simulace		Rychlost přísuvu:		0,2 mm/s		$R_s = 125$ mm	
Házivost: 0,0085 mm				n = 10 000		$r_w = 25$ mm	
Broušení + vyjiskřování				Broušení + vyjiskřování			
Otáčky kotouče - n_s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q_{n_v}	Otáčky obrobku - n_w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]	Otáčky kotouče - n_s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q_{n_v}	Otáčky obrobku - n_w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]
2106	17	123,9	1591,6	2106	17,5	120,3	771,9

Tab. 4-3 Chyba kruhovitosti obrobků – simulace s nevyváženým kotoučem

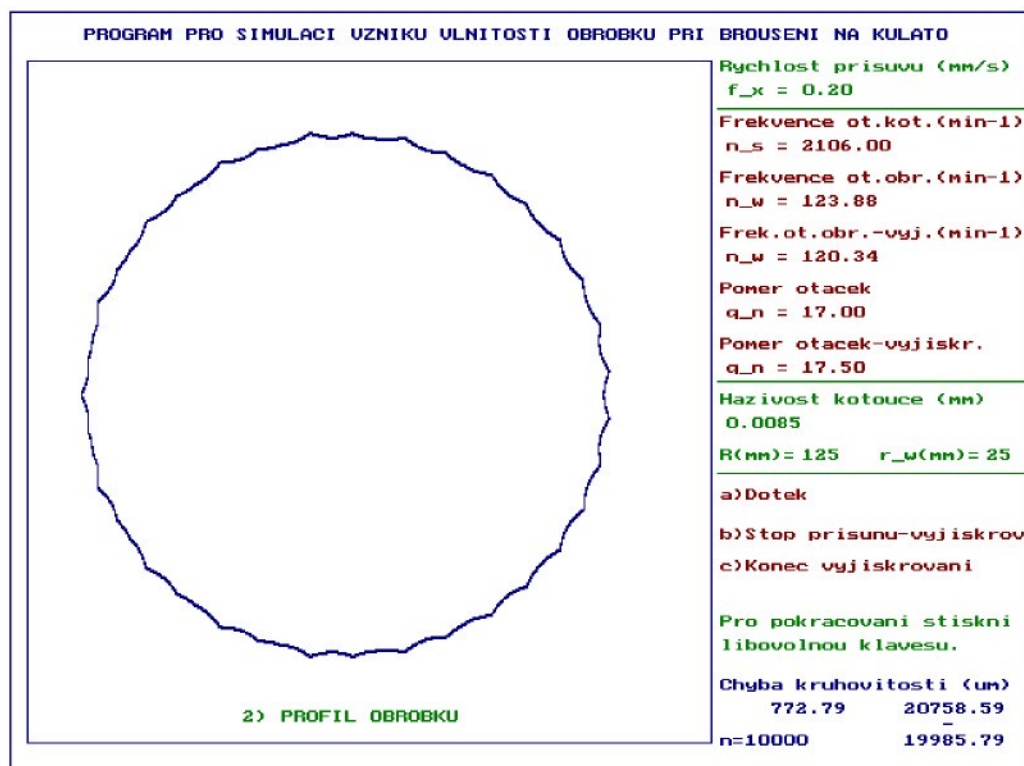
Simulace		Rychlost přísuvu: 0,2 mm/s		R _s = 125 mm			
Házivost: 0,001 mm		n = 10 000		r _w = 25 mm			
Broušení + vyjiskřování				Broušení + vyjiskřování			
Otáčky kotouče - n_s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q_{n_v}	Otáčky obrobku - n_w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]	Otáčky kotouče - n_s [min ⁻¹]	Poměr otáček - q_{n_v}	Otáčky obrobku - n_w [min ⁻¹]	Chyba kruhovitosti [μm]
2106	17	123,9	187,2	2106	17,5	120,3	90,8
2730	17	160,6	187,2	2730	17,5	156,0	90,7

Tab. 4-4 Chyba kruhovitosti obrobků – simulace s vyváženým kotoučem

Z porovnání hodnot chyby kruhovitosti v Tab. 4-3 a Tab. 4-4 vidíme, že chyba kruhovitosti při vyjiskřování s $q_{n_v} = 17,5$ je nižší, přibližně poloviční, než v případě $q_{n_v} = 17$. Nicméně velikost chyby kruhovitosti je o několik řádů vyšší než u naměřených hodnot z reálného broušení – tato vlastnost programu bude dále probrána. Počet vln na povrchu obrobku při $q_{n_v} = 17$ je 17 (Obr. 4-6) a při $q_{n_v} = 17,5$ je 35 (Obr. 4-7), tj. je zde určitá shoda s naměřenými výsledky.

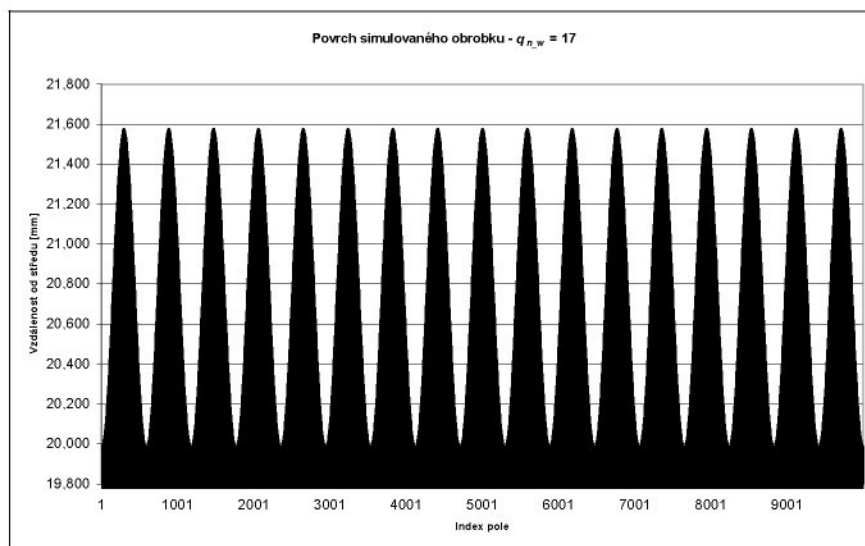


Obr. 4-6 Profil obrobku při simulaci broušení s $q_{n,v} = 17$

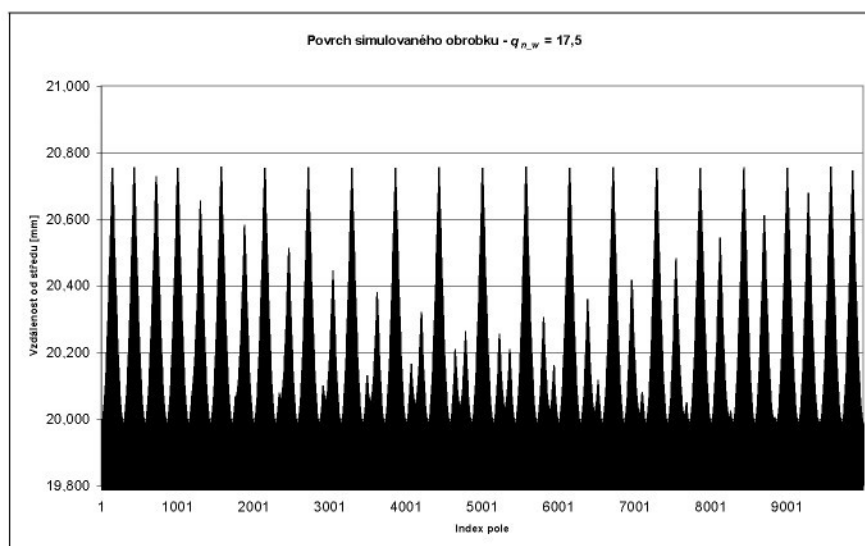


Obr. 4-7 Profil obrobku při simulaci broušení s $q_{n,v} = 17,5$

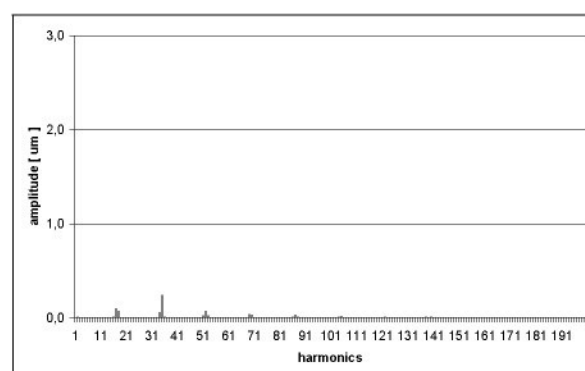
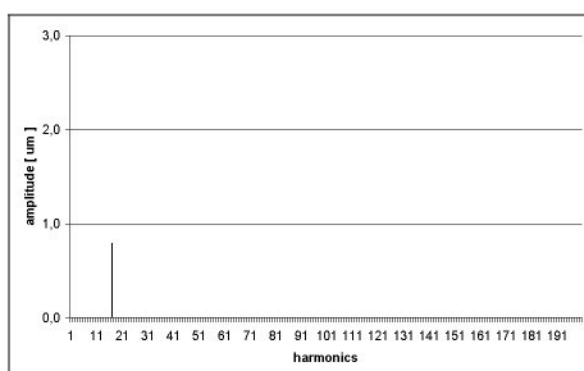
Poznámka: Stojí za povšimnutí, že hodnota minima poloměru obrobku (19 985 na Obr. 4-6 a Obr. 4-7) byla konstantní u všech simulací za podmínek lišících se pouze hodnotou $q_{n,v}$.



Obr. 4-8 Povrch simulovaného obrobku s chybou kruhovitosti $1591 \mu\text{m}$



Obr. 4-9 Povrch simulovaného obrobku s chybou kruhovitosti $772 \mu\text{m}$



Obr. 4-10 Harmonické složky simulovaného povrchu obrobku pro $q_{n_v} = 17$ ($1591 \mu\text{m}$) a $q_{n_v} = 17,5$ ($772 \mu\text{m}$)

Podívejme se podrobněji na další vlastnosti simulačního programu.

4.4.2 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček při vyjiskřování

Pro zjištění závislosti chyby kruhovitosti na poměru otáček při vyjiskřování byla provedena sada simulovaných broušení za stejných podmínek (házivost $0,001 \text{ mm}$,

$f_x = 0,2 \text{ mm.s}^{-1}$, $R_s = 125 \text{ mm}$, $r_w = 25 \text{ mm}$, $n_s = 2106 \text{ min}^{-1}$), při kterých byl postupně měněn poměr frekvence otáček při vyjiskřování po 0,05 tak, aby byl pokryt nejprve celý interval q_{n_v} od 17 do 18, tj. fázové posunutí v intervalu $0-360^\circ$. Později byl interval rozšířen od 11,5 do 19,5.

Výsledky v Tab. 4-5 a jejich grafické znázornění na Obr. 4-11 ukazují na to, že hodnoty chyby kruhovitosti jsou symetrické okolo bodu $q_{n_v} = 17,5$, a především odhalují, že mimo $q_{n_v} = \{17, 17,5, 18\}$ se pohybují v intervalu $1,1 - 26 \mu\text{m}$. Toto chování se opakuje i v dalších intervalech (Obr. 4-12 a Tab. 4-6), kde se projevuje klesající tendence nejvyšších hodnot se zvyšujícím se poměrem otáček.

Poznámka: **Tučně** jsou v tabulkách zvýrazněny hodnoty, které se objevují i v dalších tabulkách, tj. jedná se o tytéž podmínky při simulaci, a slouží k lepší orientaci ve výsledcích.

q_{n_v}	17	17,05	17,1	17,15	17,2	17,25	17,3	17,35	17,4	17,45	17,5
Chyba kruhovitosti [μm]	187,2	1,1	4,6	1,1	17,6	27,0	4,5	1,1	17,4	1,0	90,9
q_{n_v}	18	17,95	17,9	17,85	17,8	17,75	17,7	17,65	17,6	17,55	↓
Chyba kruhovitosti [μm]	176,8	1,1	4,3	1,0	17,0	26,1	4,3	1,1	17,2	1,1	←

Tab. 4-5 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček při vyjiskřování – $q_n = 17-17,55$



Obr. 4-11 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček (simulace)



Obr. 4-12 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček – větší rozsah (simulace)

$q_{n\ v}$	11,50	11,55	11,60	11,65	11,70	11,75	11,80	11,85	11,90	11,95
Chyba kruhovitosti [μm]	137,8	1,6	26,1	1,6	6,6	39,5	25,4	1,6	6,4	1,6
$q_{n\ v}$	12,00	12,05	12,10	12,15	12,20	12,25	12,30	12,35	12,40	12,45
Chyba kruhovitosti [μm]	263,9	1,6	6,4	1,6	24,4	37,9	6,2	1,5	24,4	1,5
$q_{n\ v}$	12,50	12,55	12,60	12,65	12,70	12,75	12,80	12,85	12,90	12,95
Chyba kruhovitosti [μm]	126,3	1,6	23,7	1,5	6,1	35,8	23,5	1,5	5,7	1,5
$q_{n\ v}$	13,00	13,05	13,10	13,15	13,20	13,25	13,30	13,35	13,40	13,45
Chyba kruhovitosti [μm]	244,9	1,4	5,9	1,4	22,8	35,1	5,7	1,4	22,6	1,4
$q_{n\ v}$	13,50	13,55	13,60	13,65	13,70	13,75	13,80	13,85	13,90	13,95
Chyba kruhovitosti [μm]	117,6	1,4	22,1	1,4	5,5	33,7	22,0	1,3	5,6	1,4
$q_{n\ v}$	14,00	14,05	14,10	14,15	14,20	14,25	14,30	14,35	14,40	14,45
Chyba kruhovitosti [μm]	227,4	1,4	5,4	1,3	21,4	32,3	5,3	1,4	20,8	1,3
$q_{n\ v}$	14,50	14,55	14,60	14,65	14,70	14,75	14,80	14,85	14,90	14,95
Chyba kruhovitosti [μm]	109,5	1,2	20,7	1,3	5,2	31,6	20,4	1,3	5,2	1,3
$q_{n\ v}$	15,00	15,05	15,10	15,15	15,20	15,25	15,30	15,35	15,40	15,45
Chyba kruhovitosti [μm]	212,2	1,3	5,0	1,3	19,9	30,4	5,1	1,3	19,5	1,3
$q_{n\ v}$	15,50	15,55	15,60	15,65	15,70	15,75	15,80	15,85	15,90	15,95
Chyba kruhovitosti [μm]	102,4	1,3	19,5	1,2	4,9	29,5	19,1	1,2	4,9	1,2
$q_{n\ v}$	16,00	16,05	16,10	16,15	16,20	16,25	16,30	16,35	16,40	16,45
Chyba kruhovitosti [μm]	198,9	1,2	4,7	1,2	18,6	28,6	4,8	1,2	18,5	1,2
$q_{n\ v}$	16,50	16,55	16,60	16,65	16,70	16,75	16,80	16,85	16,90	16,95
Chyba kruhovitosti [μm]	96,3	1,2	18,2	1,2	4,7	27,6	18,1	1,2	4,5	1,2
$q_{n\ v}$	17,00	17,05	17,10	17,15	17,20	17,25	17,30	17,35	17,40	17,45
Chyba kruhovitosti [μm]	187,2	1,1	4,6	1,1	17,6	27,0	4,5	1,1	17,4	1,1
$q_{n\ v}$	17,50	17,55	17,60	17,65	17,70	17,75	17,80	17,85	17,90	17,95
Chyba kruhovitosti [μm]	90,9	4,4	17,1	1,1	4,3	26,2	17,1	1,1	4,3	1,1
$q_{n\ v}$	18,00	18,05	18,10	18,15	18,20	18,25	18,30	18,35	18,40	18,45
Chyba kruhovitosti [μm]	176,8	1,1	4,3	1,1	16,7	25,5	4,2	4,2	16,4	1,1
$q_{n\ v}$	18,50	18,55	18,60	18,65	18,70	18,75	18,80	18,85	18,90	18,95
Chyba kruhovitosti [μm]	86,0	1,1	16,3	1,0	4,1	24,8	16,1	1,0	4,1	1,0
$q_{n\ v}$	19,00	19,05	19,10	19,15	19,20	19,25	19,30	19,35	19,40	19,45
Chyba kruhovitosti [μm]	167,5	1,0	4,0	1,0	15,7	24,1	4,0	1,0	15,6	1,0

Tab. 4-6 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček při vyjiskřování – $q_n = 11,5-19,45$

4.4.3 Závislost chyby kruhovitosti na poloměru obrobku

Provedená simulační broušení ukazují, že chyba kruhovitosti nezáleží na poloměru obrobku.

Házivost = 0,001 mm $R_s=125$ mm $n_s = 2106$ $n = 10\ 000$				
Poloměr obrobku - r_w [mm]	Poměr otáček - $q_{n\ v}$	Chyba kruhovitosti [μm]	Poměr otáček - $q_{n\ v}$	Chyba kruhovitosti [μm]
25	17	187,2	17,5	90,9
20	17	187,2	17,5	90,9
15	17	187,2	17,5	90,6
10	17	187,2	17,5	90,3

Tab. 4-7 Závislost chyby kruhovitosti na poloměru obrobku

4.4.4 Závislost chyby kruhovitosti na rychlosti přísuvu

Provedená simulační broušení prokazují, že chyba kruhovitosti nezáleží ani na velikosti rychlosti přísuvu.

Házivost = 0,001 mm $R_s=125$ mm $n_s = 2106$ $n = 10\,000$				
Rychlost přísuvu - f_x [mm.s ⁻¹]	Poměr otáček - q_{n_v}	Chyba kruhovitosti [μm]	Poměr otáček - q_{n_v}	Chyba kruhovitosti [μm]
0,25	17	187,2	17,5	90,8
0,20	17	187,2	17,5	90,6
0,15	17	187,2	17,5	90,9
0,10	17	187,2	17,5	89,7

Tab. 4-8 Závislost chyby kruhovitosti na rychlosti přísuvu (simulace)

4.4.5 Závislost chyby kruhovitosti na házivosti kotouče

Provedená simulační broušení ukazují, že chyba kruhovitosti je přímo úměrná házivosti kotouče – viz Tab. 4-9. Při zmenšení házivosti na 1/5 (8,5 → 1,7, 1 → 0,2) se chyba kruhovitosti snížila také 5-krát. Podmínky simulace broušení byly shodné s předchozími.

$R_s=125$ mm $n_s = 2106$ $n = 10\,000$						
Házivost [μm]	Poměr otáček - q_{n_v}	Chyba kruhovitosti [μm]	Podíl chyby/házivost	Poměr otáček - q_{n_v}	Chyba kruhovitosti [μm]	Podíl chyby/házivost
8,5	17	1591,6	187,2	17,5	771,9	90,8
1,7	17	318,3	187,2	17,5	154,3	90,8
1	17	187,2	187,2	17,5	90,8	90,8
0,2	17	37,5	187,5	17,5	18,2	91,0

Tab. 4-9 Závislost chyby kruhovitosti na házivosti kotouče (simulace)

4.4.6 Závislost chyby kruhovitosti na počtu bodů povrchu obrobku

Záznam z provedených simulační broušení v Tab. 4-10 ukazuje, že chyba kruhovitosti závisí na počtu bodů povrchu obrobku. S každým zvýšením počtu bodů povrchu obrobku o 500 bodů se chyba kruhovitosti zvýšila průměrně o 40 μm.

n	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
Chyba kruhovitosti [μm]	77,0	113,2	153,8	192,2	231,7	266,6	308,7	347,6	385,9	424,3
Rozdíl		36,2	40,6	38,4	39,5	34,9	42,1	38,9	38,3	38,4
n	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	
Chyba kruhovitosti [μm]	462,3	500,1	535,4	578,6	616,1	654,6	695,4	732,7	771,9	
Rozdíl	38,0	37,8	35,3	43,2	37,5	38,5	40,8	37,3	39,2	

Tab. 4-10 Závislost chyby kruhovitosti na počtu bodů povrchu obrobku (simulace)

Podmínky simulace: házivost 0,0085 mm, $f_x = 0,2$ mm.s⁻¹, $R_s = 125$ mm, $r_w = 25$ mm, $n_s = 2106$ min⁻¹, $q_{n_v} = 17,5$.

4.4.7 Diskuse k výsledkům

Z výsledků simulačních broušení vyplývá, že chyba kruhovitosti vypočtená simulačním programem:

- závisí na *poměru otáček při vyjiskřování* – závislost odpovídá reálnému měření
- nezávisí na *poloměru obrobku* – nejsou k dispozici odpovídající reálná měření
- nezávisí na *rychlosti přísmvu* – nejsou k dispozici odpovídající reálná měření
- je přímo úměrná *házivosti kotouče* – 5x menší házivost → 5x menší chyba kruhovitosti – u reálných měření není přímá úměrnost
- závisí na *počtu bodů povrchu obrobku*
- nezáleží na *frekvenci otáček kotouče* – v Tab. 4-4 jsou simulované hodnoty chyb kruhovitosti shodné pro obě frekvence otáček kotouče. Důvod je zřejmý – simulační program nebere v úvahu odstředivé síly působící na skutečný kotouč, a tak výsledek nemohou ovlivnit vložená závaží, jako tomu bylo u reálného měření.

4.5 Výsledky

Byl vytvořen program pro simulaci broušení na kulato a vzniku vlnitosti povrchu obrobku. Při simulaci broušení s celočíselným poměrem otáček při vyjiskřování, např. $q_{n_v} = 17$, vzniklo po obvodu obrobku 17 vln. Při vyjiskřování s poměrem $q_{n_v} = 17,5$ vzniklo 35 vln s amplitudou nižší než v případě s celočíselným násobkem. V *počtu vln* vzniklých na povrchu obrobku odpovídají výsledky simulačního programu naměřeným hodnotám na reálné brusce na UWE Bristol.

Problematická je ale závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček, která především pro celočíselné a „půlové“ násobky (16,5, 17,5 atd.) neodpovídá naměřeným hodnotám na obrocích měřených na UWE Bristol, u kterých byly právě tyto hodnoty q_{n_v} nastavovány. To způsobuje, že program v současné podobě, kdy není bráno v úvahu dynamické působení soustavy stroj-kotouč-obrobek, nelze použít k *odhadům velikosti chyby kruhovitosti* obrobku při reálném broušení, přestože při simulaci s hodnotami poměru otáček mimo inkriminované hodnoty byly výsledné chyby kruhovitosti řádově srovnatelné s naměřenými hodnotami.

4.5.1 Náměty pro další vývoj simulačního programu

4.5.1.1 Zahnutí dynamických vlastností broušení na kulato

4.5.1.2 Zvýšení uživatelského komfortu

Simulační program byl vytvořen v prostředí Borland Pascal 7.0, se kterým jsem měl v dané době nejvíce zkušeností pro práci s 2D grafikou. Jeho nevýhodou je nutnost zadávat vstupní parametry přímo do zdrojového kódu programu v Pascalu, ten překompilovat a poté program spustit. Tuto nevýhodu by bylo možné odstranit např. převedením programu do prostředí Borland Delphi nebo Matlab:

1) Prostředí **Borland Delphi** pracuje s programovým kódem napsaným v jazyce Pascal, a tak by zbývalo doprogramovat grafické uživatelské prostředí pro interaktivní zadávání parametrů broušení a jejich následné použití při spuštění simulace broušení.

2) Druhou možností, která také nabízí lepší uživatelský komfort pro zadávání vstupních parametrů i jemnější grafiku pro odečítání odchylek obrobku od kruhového tvaru oproti stávající verzi, je využít prostředí **Matlab**. K tomuto účelu by bylo možné využít kombinace demonstrační aplikace Matlabu *graph2d* s příkladem na použití polárních souřadnic a demoaplikace *ardemo*, která obsahuje několik editačních polí pro zadávání vstupních parametrů. Obě demoaplikace jsou součástí balíku Matlabu nainstalovaného i s dokumentací. V tomto případě by stávající programový kód navíc vyžadoval úpravu podle syntaxe programování v prostředí Matlab.

5. PRAKTICKÉ BROUŠENÍ A MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI V ČR

5.1 Úvod

Pro ověření jevu závislosti kvality povrchu obrobku na poměru otáček při broušení popsaného v předchozích kapitolách a v článku [2] byla provedena dvě broušení na brusce s poloautomatickým řízením z produkce TOS Hostivař ve společnosti Motor Jikov Strojírenská, a.s. v Jindřichově Hradci. Poté byla provedena post-procesní měření kruhovitosti obrobku v téže společnosti a ve VÚTS, a.s. v Liberci (Výzkumný ústav textilních strojů).

5.2 Podmínky při testovacím broušení

Dvě testovací broušení ocelové trubky o vnějším průměru 30 mm, vnitřním průměru 15 mm a délce 50 mm byla provedena v Motor Jikov Strojírenská, a.s. za podmínek uvedených v Tab. 5-1. Na obrobku vznikly broušením dvě části obrobené za odlišných podmínek.

Č.	n_s [min^{-1}]	n_w [min^{-1}]	q_n
1.	2 040	250	8,16
2.	2 040	150	13,60

Tab. 5-1 Podmínky broušení obrobku v Motor Jikov Strojírenská, a.s.

Po broušení byla změřena kruhovitost obrobků na dvou různých zařízeních.

5.3 Měření kruhovitosti a související problémy

První měření kruhovitosti povrchu obrobku bylo provedeno v sídle firmy Motor Jikov Strojírenská, a.s. na přístroji firmy Carl Zeiss, a to dotykovým třírozměrným měřením s automatickým generováním diagramu z měřených bodů na připojeném počítači. Protokoly z měření kruhovitosti jsou uvedeny v příloze 6).

Z protokolů vyplývá, že kruhovitost povrchu obrobku z testu č. 2 je lepší než u testu č. 1, nicméně přesnost tohoto způsobu měření není dostatečná pro porovnávání odchylek v řádu μm . To prokázalo i druhé měření vzorků ve zkušební laboratoři VÚTS, a.s., Liberec, které bylo prováděno také na zařízení pro dotykové třírozměrné měření povrchů, tentokrát od firmy Wenzel, typ LH87. Protokoly z tohoto měření jsou uvedeny v příloze 7).

Č.	Firma	Průměr dotykové kuličky	Počet měřených bodů
1.	Motor Jikov Strojírenská, a.s.	3 mm	100
2.	VÚTS, a.s.	1 mm	1000

Tab. 5-2 Podmínky pro měření kruhovitosti

5.4 Výsledky

Měření prokázala shodu s předchozími měřeními. Kruhovitost povrchu obrobku obrobeného v testu č.2, tj. s poměrem otáček q_{n_v} blízkým celému číslu plus jedna polovina – 13,60, je lepší než kruhovitost obrobku obrobeného v testu č. 1, kdy byla hodnota q_{n_v} téměř celočíselná – 8,16.

Měření kruhovitosti pomocí dotykových měření zařízeními s pohybem ve třech osách se ale ukázala být nedostatečně přesná, a tak bylo nutné používat pro měření vlnitosti obrobků pouze přístroje určené k měření chyby kruhovitosti, tj. např. TalyRond od firmy Taylor-Hobson nebo přístroje od firmy Hommel. Těmi jsou v ČR vybaveny pouze firmy a organizace zabývající se přesným měřením geometrických parametrů výrobků, jako jsou např. zkušebny a kalibrační laboratoře měřících zařízení nebo některá akademická pracoviště.

5.4.1 Zkušenosti z praxe

Z osobního rozhovoru se zaměstnanci Motor Jíkov Strojírenská, a.s. dále vyplynulo, že přesnost, s jakou zákazníci požadují dodat výrobky, se liší: zákazníci z ČR obvykle vyžadují přesnost několik setin mm, naproti tomu zákazníci ze SRN nebo Rakouska vyžadují přesnost v tisícinách mm (μm). S tím současně vyšlo najevo, že dosažení přesnosti v tisícinách mm je při současném vybavení mnohem náročnější než přesnost v setinách, a to jak technicky, tak ekonomicky (více zmetků), a tak by řešení přinášející větší přesnost při broušení bylo vhodným doplněním jejich brusky.

6. PRAKTICKÉ MĚŘENÍ V LABORATOŘI TU LIBEREC

Řízení brusky pomocí PLC automatu

6.1 Úvod

Pro ověření jevu závislosti kvality povrchu obrobku na poměru otáček při broušení popsaného v předchozích kapitolách bylo na Katedře obrábění a montáže TU Liberec vybudováno laboratorní pracoviště a proveden experiment na brusce českého výrobce TOS Hostivař, typ BU 16A.



Obr. 6-1 Bruska na kulato z TOS Hostivař (před úpravou)



Obr. 6-2 Detail kotouče před uchycením inkrementálních snímačů otáček

6.2 Sestava laboratorního pracoviště

Základem mechanické části experimentu je *bruska na kulato*, typ BU 16A.

Pro řízení jsem navrhl použít *programovatelný automat* (tzv. PLC – *Programmable Logic Controller*), který je vhodnější než řešení využívající počítač (PC) s měřicí kartou⁵. Byla vybrána česká firma AMiT, aby se minimalizovaly případné komplikace při řešení

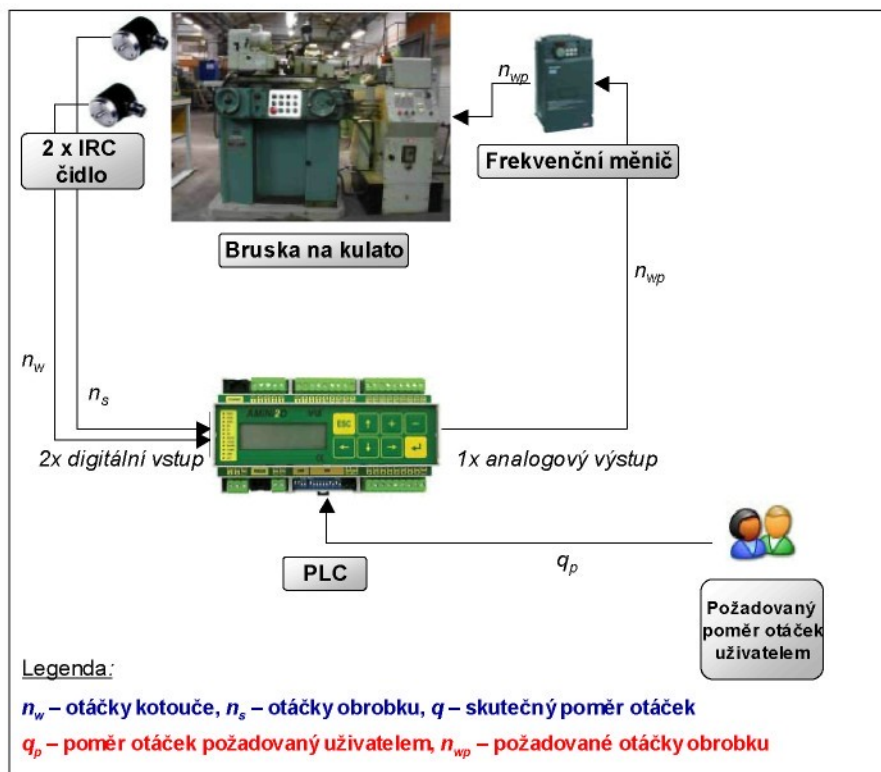
⁵ Důvodem pro toto rozhodnutí byla obava z toho, že by počítač s operačním systémem (pravděpodobně Windows) a programem v prostředí LabView nemusel zvládat plynule načítat impulsy z IRC čidel, a tak by dodával nepravdivé hodnoty frekvence otáček. Řešení pomocí PLC je také bližší průmyslovému prostředí.

problémů s technickou podporou u zahraničních společností. Z nabídky firmy AMiT byl zvolen kompaktní typ AMiNi2D, který v jedné jednotce obsahuje 8 digitálních vstupů (vhodné pro připojení IRC čidel), 8 analogových vstupů (lze použít i jako digitální vstupy při nedostatku digitálních vstupů), 8 digitálních výstupů (zde nevyužity) a 4 analogové výstupy (pro proměnný napěťový nebo proudový výstup). Dalším důvodem pro výběr tohoto typu byl vestavěný LCD displej s 4 řádky po 20 znacích a 8 tlačítka pro komunikaci s obsluhou. Díky možnosti připojit IRC čidla přímo na digitální vstupy bylo toto řešení nakonec levnější než varianta sestavená z modulárního systému ADiS, obsahující samostatné moduly pro načítání z IRC čidel + modul pro vstupy a výstupy + externí displej.

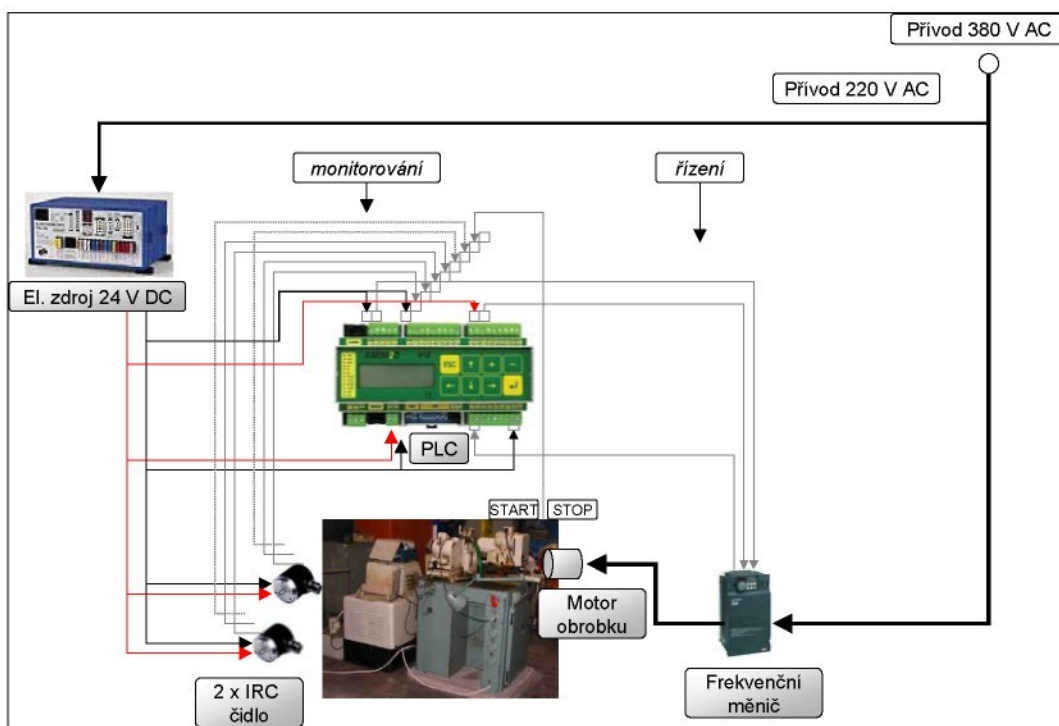
Pro snímání otáček kotouče a obrobku brusky byla vybrána dvě *inkrementální čidla* (výrobce LARM Netolice, typ IRC 502, 512 impulsů na otáčku). Signály z obou čidel byly přivedeny na digitální vstupy PLC a jsou dále zpracovávány v PLC do podoby dvou proměnných s hodnotami načtených impulsů. Vzhledem k tomu, že jsou načítány impulsy při náběžné i sestupné hraně od dvou vzájemně fázově posunutých kotoučů, čte PLC celkem 4×512 , tj. 2048 impulsů za otáčku jednoho čidla.

Signál z analogového výstupu PLC je veden na vstup vzdáleného řízení *frekvenčního měniče*, jehož výstup je ve formě trojfázového napětí 400 V připojen na vstup elektromotoru pohánějícího obrobek. Frekvenční měnič od japonského výrobce TAIAN, řada T-VERTER, typ K1-430-M3, příkon 40 kVA disponuje dostatečným výkonem pro udržení stabilních otáček obrobku poháněného elektromotorem s příkonem 370 W.

Schéma laboratorního zapojení znázorňuje Obr. 6-3, elektrické zapojení Obr. 6-4.



Obr. 6-3 Schéma laboratorního zapojení na TU Liberec



Obr. 6-4 Elektrické schéma zapojení PLC, frekvenčního měniče a IRC čidel k brusce na kulato

6.3 Vývoj aplikace pro PLC

6.3.1 Počáteční stav a změny v systému řízení brusky

Bruska BU 16A byla vyrobena v roce 1970. Je osazena dvěma motory pro pohon kotouče a pohon obrobku. Otáčky kotouče lze volit ze dvou poloh hnacího řemene, otáčky kotouče bylo možné volit ze čtyř poloh-převodů. Měla-li být bruska osazena řídicím automatem s cílem plynule řídit otáčky obrobku, znamenalo to odpojit hnací motor obrobku od zdroje třífázového napětí 400 V, 50 Hz a připojit je na výstup frekvenčního měniče s napětím 400 V, ale proměnné frekvence. Pro účely ověření navrhovaného řešení by původně stačilo provést toto přepojení dočasně na dobu experimentu a připojit motor obrobku k PLC automatu s programem pro řízení poměru frekvence otáček kotouče a obrobku. Ale ze strany vedení Katedry obrábění a montáže TUL vznikl požadavek na trvalé osazení PLC automatu a frekvenčního měniče na brusce. Proto bylo nutné změnit přístup k řízení brusky tak, aby mohla být používána jak v režimu řízení poměru otáček, tak i v režimu obvyčejného řízení, tj. s možností plynulého nastavení otáček, ale bez regulace, tj. bez řízení poměru za výše popsaným účelem. Obrazně řečeno, ze stavu „0“ (4 rychlosti dle pozice řemenu) se bruska dostala do stavu „1“ (plynulé *řízení* otáček obrobku zadaných obsluhou) nebo do stavu „2“ (*regulace*, tj. řízení otáček obrobku dle poměru otáček zadaného obsluhou). Tato změna umístění PLC z dočasného na trvalé si vyžádala větší složitost algoritmu v PLC, neboť bylo nutné definovat další interní stavy programu v PLC a vyvinout celý program tak, aby splňoval požadavky na bezpečnost (např. snížit řídicí napětí na 0 V – odpovídá 0 min^{-1} – na vstupu frekvenčního měniče při zastavení brusky, při přerušení komunikačního kabelu apod.). Problematika byla vyřešena nadefinováním jednotlivých stavů PLC odpovídajících různým stavům řízení na brusce a jejich implementací v programu PLC a na obrazovkách LCD displeje.

6.3.2 Popis stavů definovaných v PLC automatu

<i>PLC</i>	<i>LCD</i>
Po startu PLC: Při zapojení PLC na zdroj 220 V naběhne automat do stavu, kdy očekává zapnutí měniče. Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 0. Stav: 0	Obrazovka 0: „Měnič není pod napětím“
Po zapnutí měniče: Je-li měnič zapnut, na vstupu AI.6 se objeví napětí (logická 1). Program čeká na stisk tlačítka START na brusce. Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 1. Stav: 1	Obrazovka 1: „Stroj připraven, zapni stiskem START.“
Po stisku tlačítka START obrobku na brusce: Dojde-li ke stisku tlačítka START obrobku na brusce, na vstupu DI6.0 se objeví napětí (logická 1). Program začne načítat impulsy. (Rozsah čítače impulsů z IRC čidel se dle manuálu k PLC naplní po 32 h provozu při frekvenci otáček kotouče 2200 min^{-1}.) Bruska roztáčí kotouč (impulsy z IRC čidel se zpracovávají při výpočtu frekvence otáček kotouče), obrobek stojí. Program čeká na zadání požadované frekvence otáček obrobku. Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 3. Stav: 3	Obrazovka 3: „Zadej otáčky obrobku“
Po zadání požadované frekvence otáček obrobku: Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 7 – řízení. Obsluha může měnit zadanou frekvenci obrobku v rozsahu mezí, po potvrzení klávesou Enter se obrobek roztáčí touto frekvencí. Stav: 7 (řízení)	Obrazovka 7: Aktuální otáčky: „kotouč: min^{-1}“ „obrobek: min^{-1}“
Po zadání požadovaného poměru otáček: Program přejde do stavu 11 – regulace. V obou stavech 7 a 11 může obsluha ručně přepínat mezi obrazovkami č. 3, 7 a 11. Při zadání frekvence otáček obrobku se program přepne do stavu 7, při zadání poměru otáček se přepne do stavu 11 a podle toho je řízen výstup na frekvenční měnič. Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 11. Stav: 11 (regulace)	Obrazovka 11: „Zadej požadovaný poměr otáček“

<i>PLC</i>	<i>LCD</i>
Po stisku tlačítka STOP obrobku na brusce: Dojde-li ke stisku tlačítka STOP obrobku na brusce, na vstupu DI6.0 není napětí (logická 0). Program přejde do stavu 1 - Stroj připraven. Na analogový výstup AO.0 je přivedeno napětí 0 V odpovídající požadované frekvenci 0 min⁻¹ obrobku. Kotouč se dotáčí nezávisle na PLC. Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 1. Stav: 1	Obrazovka 1: „Stroj připraven, zapni stiskem START.“
Po stisku tlačítka TOTAL STOP na brusce: Dojde-li ke stisku tl. TOTAL STOP na brusce, program se chová stejně jako v předchozím případě (tlačítko STOP). Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 1. Stav: 1	Obrazovka 1: „Stroj připraven, zapni stiskem START.“
Při přerušení dodávky proudu do měniče: Dojde-li k přerušení dodávky proudu do měniče, program přejde do stavu 0 – Měnič není pod napětím. Na analogový výstup AO.0 je přivedeno napětí odpovídající požadované frekvenci 0 min⁻¹ obrobku. Kotouč se dotáčí nezávisle na PLC. Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 0. Stav: 0	Obrazovka 0: „Měnič není pod napětím“

Tab. 6-1 Popis stavů definovaných v PLC a jim odpovídajících obrazovek na LCD displeji

Jak je vidět z Tab. 6-1, bylo nadefinováno pět stavů popisujících chování programu v PLC. Každému stavu odpovídá hodnota proměnné *stav*, jejíž bitový zápis uvádí Tab. 6-2.

<i>Číslo stavu</i>	<i>Bitový zápis proměnné stav</i>	<i>Popis stavu</i>	<i>Číslo obrazovky</i>
0	00000000	Měnič nemá napětí	0
1	00000001	Měnič má napětí, stroj připraven	1
3	00000011	Po stisku tlačítka START obrobku	3
7	00000111	Řízení frekvence otáček	3, 7, (11)
11	00001011	Regulace poměru otáček	(3), 7, 11

Tab. 6-2 Shrnutí označení stavů programu v PLC a čísla odpovídajících obrazovek

Z tohoto zápisu je patrný význam jednotlivých bitů, z nichž je sestavena hodnota proměnné *stav* (označení bitů zprava, dle zvyklostí výrobce PLC se začíná nulou).

- 0.bit – měnič nemá (0) / má (1) napětí
- 1.bit – obrobek nemá (0) / má (1) napětí
- 2.bit – řízení frekvence otáček (1)
- 3.bit – řízení poměru otáček (1)

Toto řešení jsem zvolil proto, aby bylo možné hodnotou proměnné *stav* (např. přiřazením *stav:= 0*) ovládat automatické přepnutí do obrazovky č.0 nebo 1, tedy se stejným číslem, jako je hodnota proměnné *stav*, v situacích, kdy dojde například k přerušení přívodu vstupního napětí frekvenčního měniče nebo ke stisku tlačítka STOP na brusce apod. Stejně tak program automaticky přepne LCD displej na obrazovku č.3, je-li měnič pod napětím a bylo-li poté stisknuto tlačítko START obrobku, nebo při pokusu o přechod na obrazovku č.0 nebo 1 ve chvíli, kdy je bruska v chodu (tj. měnič má napětí a bylo stisknuto tlačítko START obrobku).

6.3.3 Výpočet frekvence otáček

Výpočet frekvence otáček kotouče resp. obrobku programem v PLC probíhá podle následujícího postupu:

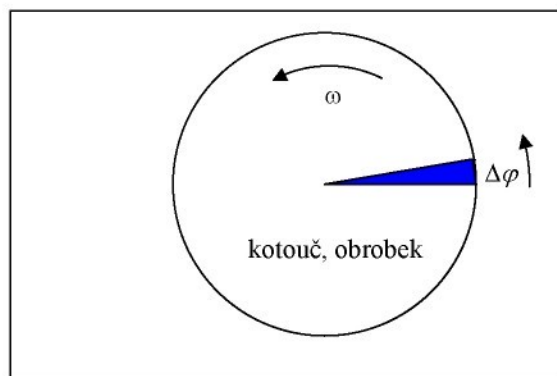
Zavedeme označení:

$\Delta\varphi$... změna úhlu otočení hřídele [rad]

Δt čas odpovídající změně úhlu $\Delta\varphi$ [s]

ω kruhová frekvence otáček [rad.s^{-1}],
[rad.min^{-1}]

n_s, n_w frekvence otáček v [Hz], [min^{-1}]



Obr. 6-5 Schéma k výpočtu frekvence otáček

Mezi těmito veličinami platí dle [8] vztahy:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (6.1)$$

$$n_s = \frac{\omega}{2\pi} \quad (6.2)$$

Rovnice (6.1) a (6.2) jsou implementovány v proměnných a algoritmu programu PLC dle následujícího označení:

Veličina	Význam	Jméno proměnné v PLC
n_1	aktuální počet impulsů	<i>irc_k</i> , resp. <i>irc_o</i>
n_0	počet impulsů v čase o T nižším	<i>irc_k_predch</i> , resp. <i>irc_o_predch</i>
<i>IRC</i>	počet impulsů na 1 otáčku IRC čidla	512
T	perioda procesu HI01 – 150 ms	<i>perioda</i> ⁶
n_s, n_w ..	frekvence otáček	<i>rych_kotouc</i> , resp. <i>rych_obrobek</i>

Změna úhlu $\Delta\varphi$ je vypočtena podle vztahu

$$\Delta\varphi = \frac{(n_1 - n_0) \cdot 2\pi}{IRC}, \quad (6.3)$$

⁶ Délka periody je v PLC uložena v [ms]

úhlová frekvence ω pak dle (6.1) jako

$$\omega = \frac{(n_1 - n_0) \cdot 2\pi}{IRC \cdot T} \quad (6.4)$$

Využívám zde faktu, že PLC spouští opakovaně s velmi krátkou periodou T proces, ve kterém dochází ke čtení okamžitého stavu čítače otáček (proces HI01), a tak změna úhlu za tuto periodu je rovna okamžité hodnotě úhlové rychlosti ω . (Jak bude vysvětleno dále, toto řešení s konstantní periodou T muselo být později upraveno, neboť nebylo dostatečně přesné.)

Frekvence n_s (resp. n_w) je pak vypočtena v s^{-1} dle (6.2) jako

$$n_s = \frac{(n_1 - n_0)}{IRC \cdot T}, \quad (6.5)$$

analogicky frekvence n_s v $\min^{-1}$ jako

$$n_s = \frac{(n_1 - n_0)}{IRC \cdot T} \cdot 60. \quad (6.6)$$

Tomuto výrazu odpovídá v označení pomocí proměnných programu v PLC vztah pro výpočet frekvence otáčení kotouče n_s :

$$rych_kotouc = \frac{(irc_k - irc_k_predch)}{512 \cdot perioda \cdot 0.001} \cdot 60 \quad (6.7)$$

a pro frekvenci otáčení obrobku n_w :

$$rych_obrobek = \frac{(irc_o - irc_o_predch)}{512 \cdot perioda \cdot 0.001} \cdot 60. \quad (6.8)$$

Pro přehlednost shrnuje rovnice (6.3) až (6.8) následující tabulka:

Obecně	V programu PLC
$\Delta\varphi = \frac{(n_1 - n_0) \cdot 2\pi}{IRC}$ $\omega = \frac{(n_1 - n_0) \cdot 2\pi}{IRC \cdot T}$ $n_s = \frac{(n_1 - n_0)}{IRC \cdot T} \dots\dots v s^{-1}$ $n_s = \frac{(n_1 - n_0)}{IRC \cdot T} \cdot 60 \dots v \min^{-1} \Rightarrow$	$rych_kotouc = \frac{(irc_k - irc_k_predch)}{512 \cdot perioda \cdot 0.001} \cdot 60 \dots v \min^{-1}$ $rych_obrobek = \frac{(irc_o - irc_o_predch)}{512 \cdot perioda \cdot 0.001} \cdot 60 \dots v \min^{-1}$

Tab. 6-3 Vztahy pro výpočet frekvence otáčení kotouče a obrobku

Poznámka 1: Program pracuje interně s hodnotami frekvence otáček v $\min^{-1}$.

Poznámka 2: Názvy proměnných obsahují označení *rychlost* namísto *otáčky*, neboť vznikly původně z anglického označení pro frekvenci otáček kotouče a obrobku – *wheel speed*, *work speed*. Toto označení bylo v programu ponecháno v této podobě, aby nedošlo při přejmenování na český ekvivalent k zanesení chyby do programu. Názvy veličin zobrazované obsluze na LCD displeji jsou v souladu s normou ČSN ISO 3002-5, 1993.

6.3.4 Výpočet poměru otáček a žádané frekvence otáček obrobku

Poměr frekvence otáček q_n je definován podle vztahu:

$$q_n = \frac{n_s}{n_w} \quad (6.9)$$

Rovnice (6.9) je implementována v proměnných a algoritmu programu PLC takto:

Veličina	Význam	Jméno proměnné v PLC
n_s	frekvence otáček kotouče [min^{-1}]	<i>rych_kotouc</i>
n_w	frekvence otáček obrobku [min^{-1}]	<i>rych_obrobek</i>
n_{wp}	žádaná fr. otáček obrobku [min^{-1}]	<i>rych_obrobek_z</i>
q_n	poměr frekvence otáček [-]	<i>pomer_rych</i>
q_{np}	požadovaný poměr frekvence otáček [-]	<i>pomer_rych_z</i>

Obecně	V programu PLC
$q_n = \frac{n_s}{n_w}$	$pomer_rych = \frac{rych_kotouc}{rych_obrobek} \quad (6.10)$
	Žádanou frekvenci otáček obrobku pak vypočteme jako
$n_{wp} = \frac{n_s}{q_{np}}$	$rych_obrobek_z = \frac{rych_kotouc}{pomer_rych_z} \quad (6.11)$

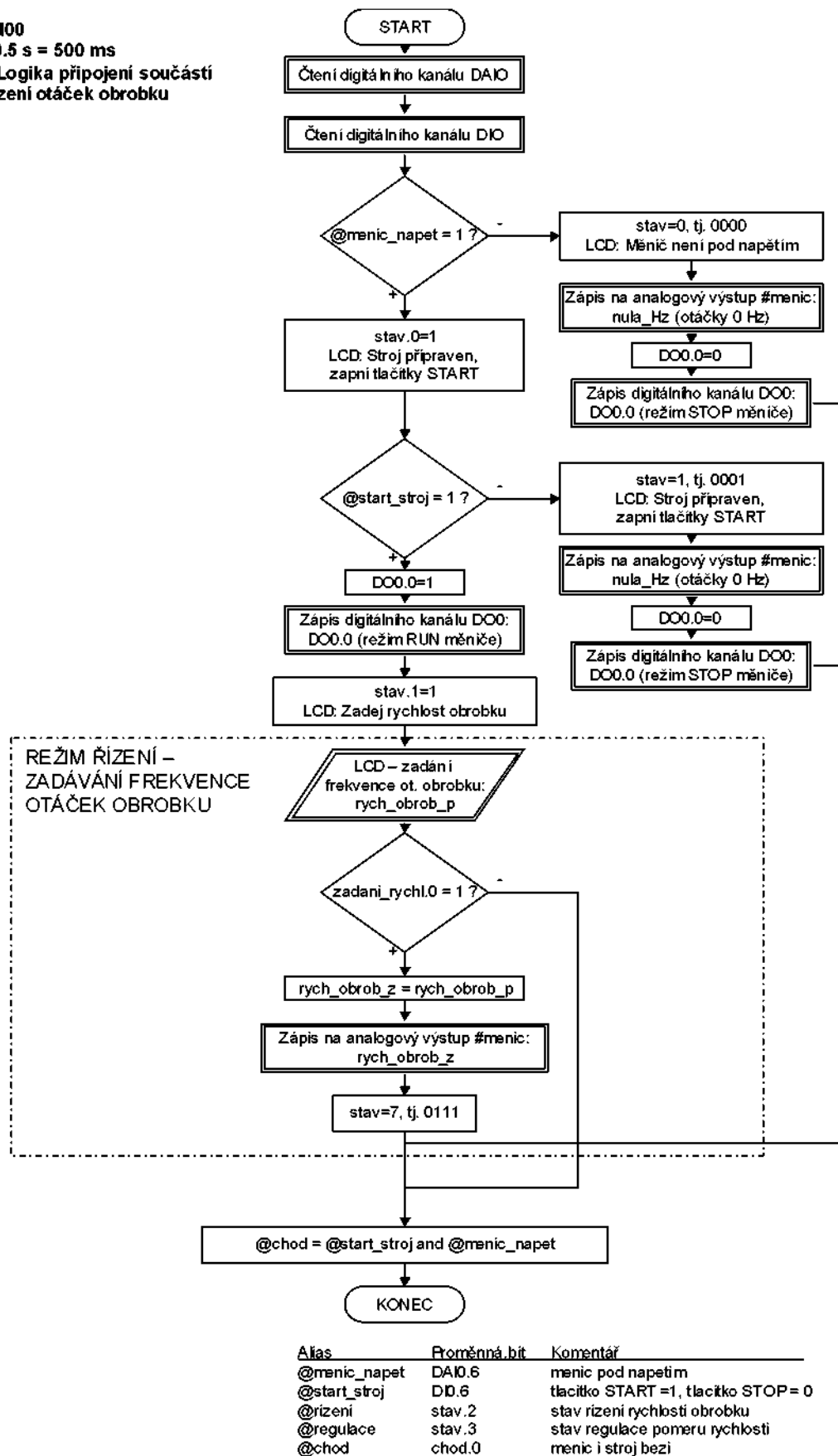
Tab. 6-4 Vztahy pro výpočet poměru otáček kotouče a obrobku a žádané frekvence otáček obrobku

6.3.5 Procesy v programu PLC

Algoritmy výpočtů jsou v PLC vyráběných firmou AMiT zapisovány ve formě procesů. Jako procesy jsou v tomto případě chápány algoritmy zadané v nejjednodušší formě pomocí posloupnosti příkazů. Existují tři základní typy procesů – *periodické* (např. PROC00-PROC15), které jsou spouštěny periodicky s nastavenou periodou procesu, tzv. *interrupt procesy* (např. ITR00-ITR07), které jsou spuštěny při změně hodnoty na digitálním vstupu příslušejícím k danému ITR procesu, a tzv. *vysokofrekvenční procesy* (HI00, HI01), které mají nejvyšší prioritu při běhu algoritmu a periodu nastavitelnou v rozsahu 1 ms – 1 677 ms.

Hlavní algoritmus pro ovládání motoru obrobku brusky popsáný v Tab. 6-1 na str. 44 je zpracován ve dvou vysokofrekvenčních procesech – HI00 (perioda 500 ms) a HI01 (perioda 150 ms). Jejich vývojové diagramy znázorňují Obr. 6-6 a Obr. 6-7. Orámované moduly v diagramech představují bloky se vstupy (ze zařízení či od obsluhy) a výstupy (na zařízení nebo na displej obsluhy). Proces ProcINIT je spuštěn pouze jednou při startu PLC k inicializaci proměnných. Proces Proc07 slouží pro archivaci poměru otáček (je-li archivace zapnuta), proces ProcIDLE slouží k obnově displeje. Jako proces s nejnižší prioritou je spouštěn tehdy, nejsou-li ostatní procesy vytíženy. Obr. 6-8 ilustruje vývoj aplikace ve vývojovém prostředí PSP3 firmy AMiT.

Proces: H100
 Perioda: 0.5 s = 500 ms
 Význam: Logika připojení součástí
 a režim řízení otáček obrobku



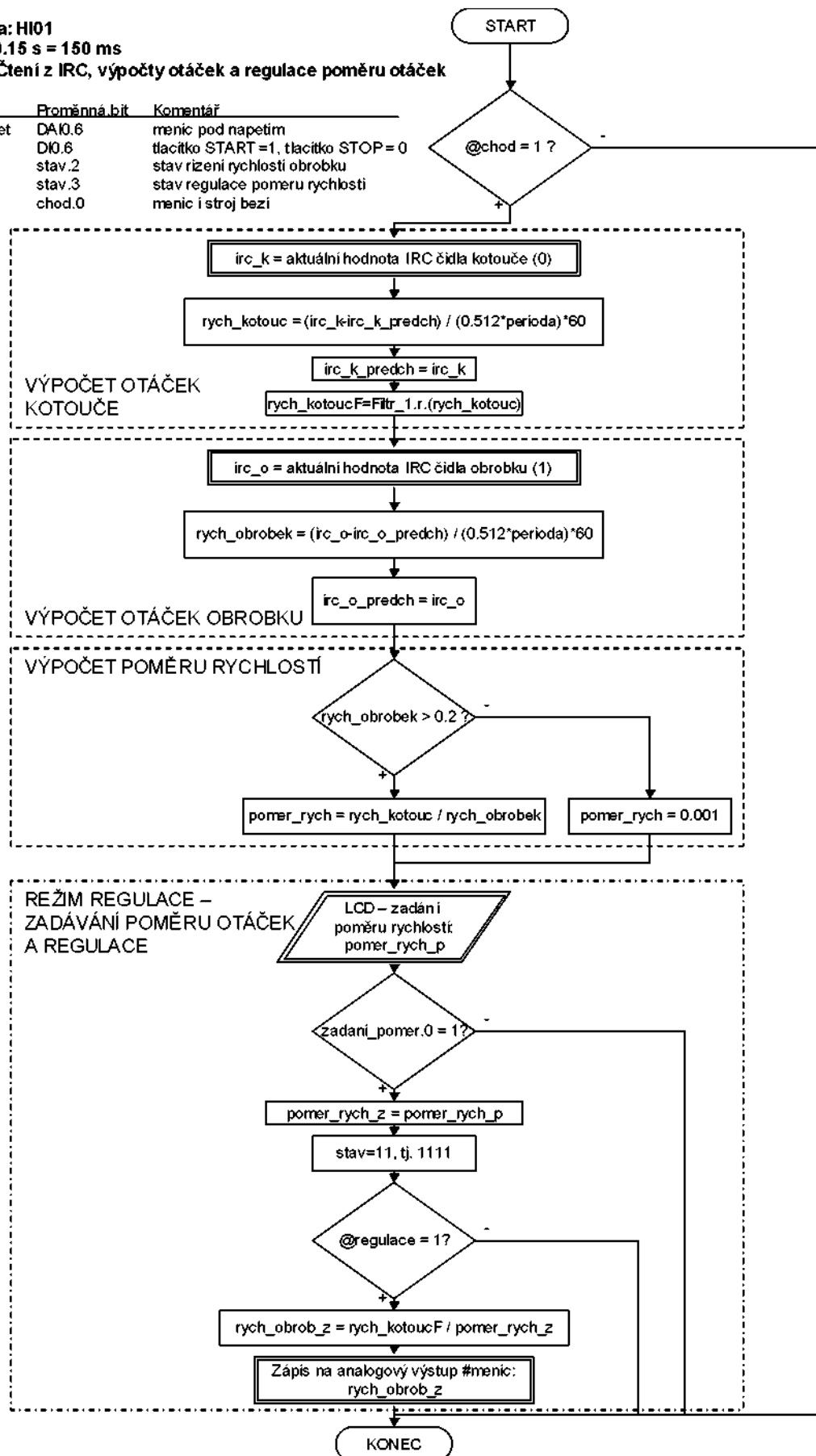
Obr. 6-6 Vývojový diagram procesu H100 v PLC AMiNi2D

Procedura: HI01

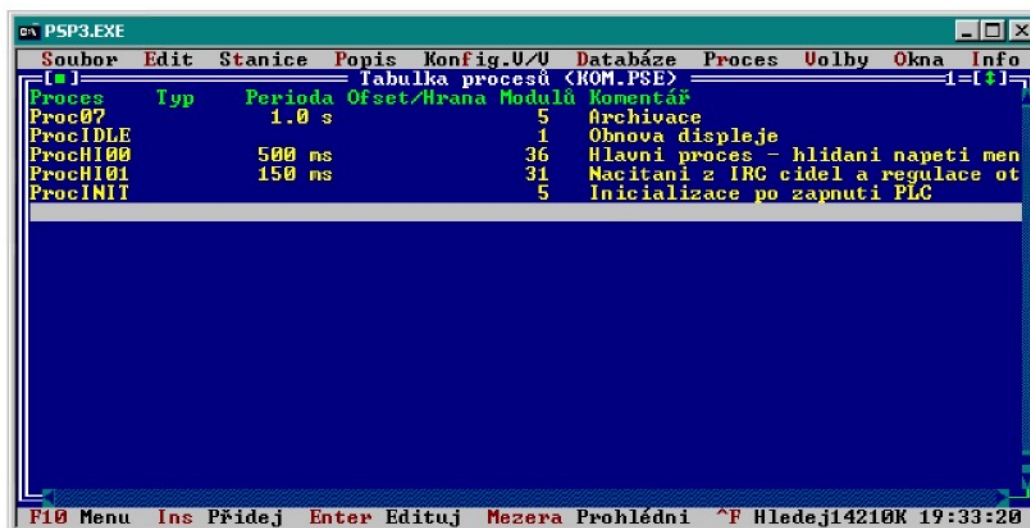
Perioda: 0.15 s = 150 ms

Význam: Čtení z IRC, výpočty otáček a regulace poměru otáček

Alias	Proměnná, bit	Komentář
@menic_napet	DAI0.6	menic pod napetím
@start_stroj	DI0.6	tlacitko START=1, tlacitko STOP=0
@řízení	stav.2	stav řízení rychlosti obrobku
@regulace	stav.3	stav regulace poměru rychlosti
@chod	chod.0	menic i stroj běží

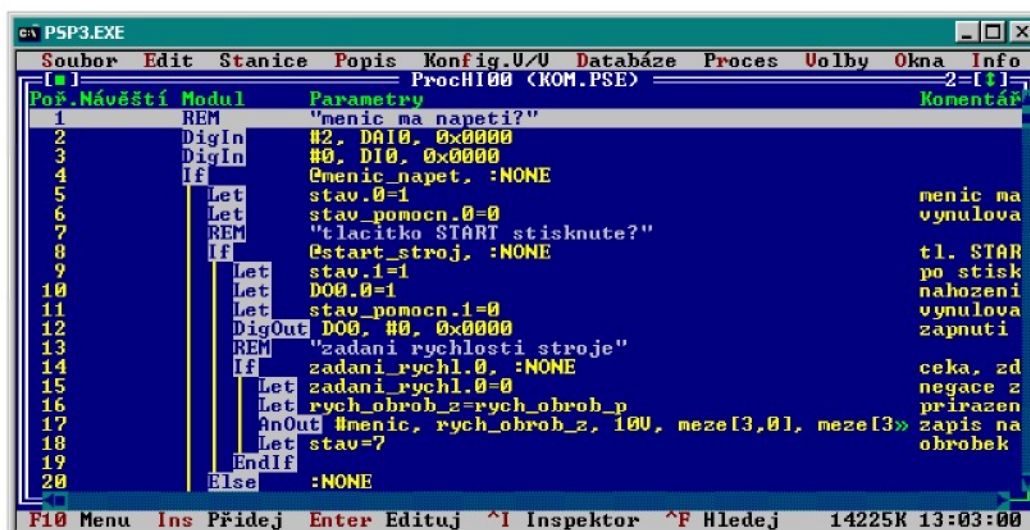


Obr. 6-7 Vývojový diagram procesu HI01 v PLC AMiNi2D

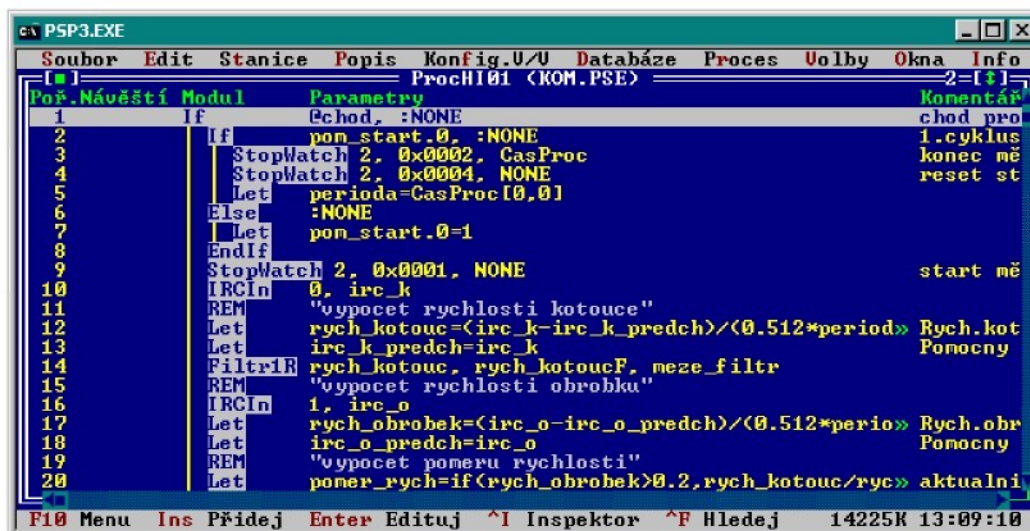


Obr. 6-8 Vývoj aplikace pro PLC ve vývojovém prostředí PSP3

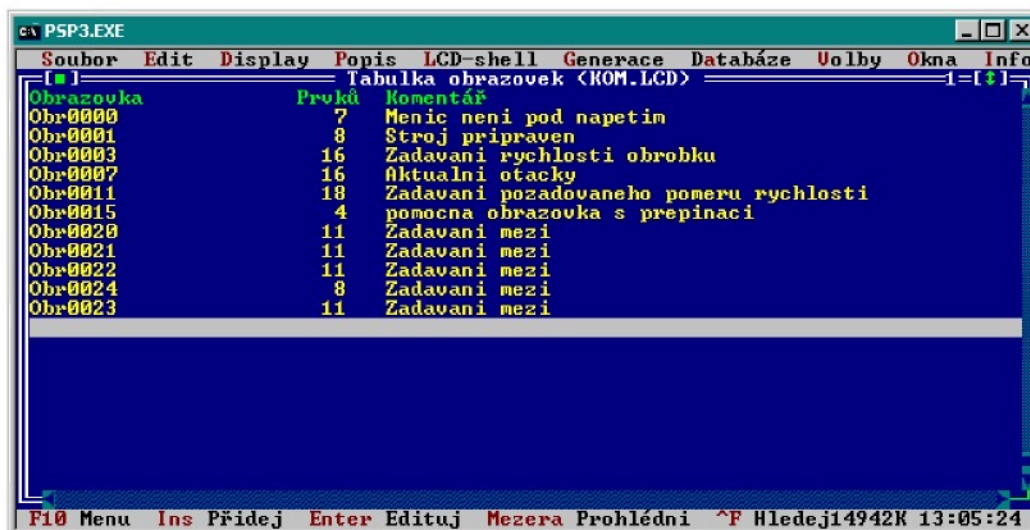
a) Seznam procesů



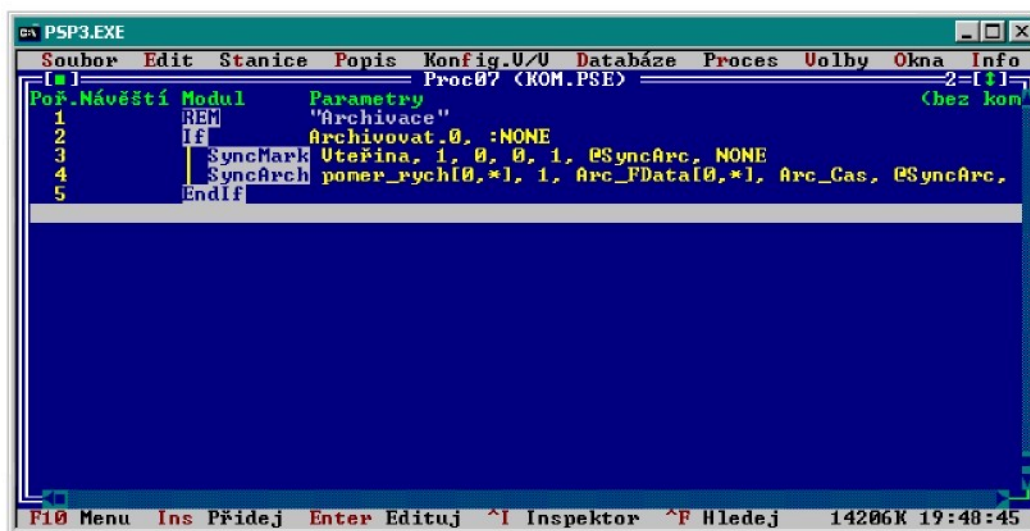
b) Ukázka procesu HI00



c) Ukázka procesu HI01



d) Seznam obrazovek LCD panelu



e) Ukázka procesu pro archivaci

6.3.6 Zadávání otáček a poměru otáček na LCD displeji PLC

Obsluha brusky komunikuje s PLC pomocí displeje a 8-tlačítkové klávesnice. Klávesy „+“ a „-“, a „šipka nahoru“, „šipka dolů“ slouží k nastavení požadované hodnoty otáček obrboku nebo poměru otáček. Každou zadávanou změnu hodnoty je nutné potvrdit klávesou „Enter“ na LCD displeji.

	Klávesy ↑ a ↓	Klávesy + a -
Zadávání otáček obrobku	+/- 10	+/- 1
Zadávání poměru otáček	+/- 0,1	+/- 1

Tab. 6-5 Význam kláves pro zadávání hodnot na displeji PLC

Změna stavu podle Tab. 6-2 na str. 44 je signalizována změnou hodnoty proměnné stavu zobrazované v pravém dolním rohu každé obrazovky LCD displeje.

6.3.7 Meze pro zadávání otáček obrobku a poměru otáček z obrazovky AMiNi2D

Pro uchování mezí slouží v PLC maticová proměnná s názvem Meze. Její nastavení při startu PLC je uvedeno v Tab. 6-6. Obsluha brusky při přihlášení se s programátorskými právy může meze měnit – ke vstupu do této sekce slouží tlačítko ESC.

Řádek /sloupec	0 - Dolní mez	1 - Horní mez
	Otáčky obrobku:	
0	0 min ⁻¹	500 min ⁻¹
	Poměr frekvence otáček kotouč/obrobek:	
1	2	40
	Fyzikální meze analogového výstupu na měnič:	
2	0 min ⁻¹	540 min ⁻¹
	Elektrické meze analogového výstupu na měnič:	
3	0 V	10 V

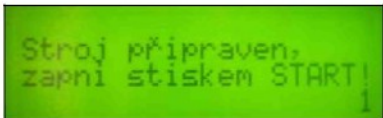
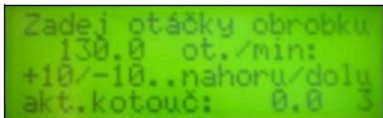
Tab. 6-6 Hodnoty zadávacích mezí a kalibračních konstant při startu PLC

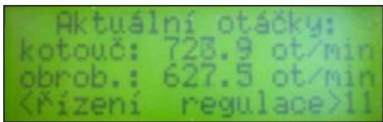
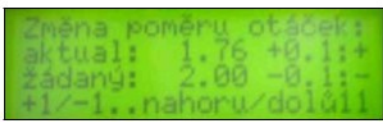
6.3.8 Ovládání PLC prostřednictvím LCD displeje

Po zapnutí měniče a startu obrobku uživatel nastavuje frekvenci otáček obrobku nebo poměr frekvence otáček kotouče a obrobku prostřednictvím tlačítek a LCD displeje PLC.



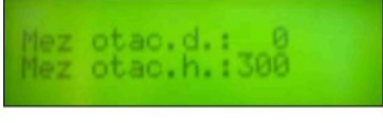
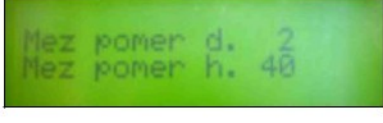
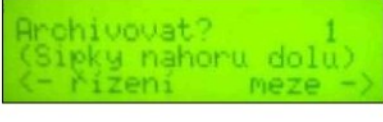
Obr. 6-9 LCD displej v AMiNi2D

 a) Úvodní obrazovka na displeji PLC AMiNi2D	 b) Obrazovka pro stav = 0: Měnič nemá napětí
 c) Obrazovka pro stav = 1: Stroj připraven	 d) Obrazovka pro stavy 3 a 7: Zadání otáček

 e) Obrazovka pro stavy 7 a 11: Aktuální otáčky	 f) Obrazovka pro stav = 11: Řízení poměru
---	---

Obr. 6-10 Obrazovky LCD displeje pro komunikaci s obsluhou

Dále byly připraveny obrazovky pro změny nastavení elektrických a fyzikálních mezí a pro zapnutí/vypnutí archivace.

 a) Obrazovka pro nastavení fyzikálních mezí napětového výstupu na frekvenční měnič	 b) Obrazovka pro nastavení elektrických mezí napětového výstupu na frekvenční měnič
 c) Obrazovka pro nastavení mezí zadávání otáček obrobku	 d) Obrazovka pro nastavení mezí zadávání poměru otáček
 e) Obrazovka pro zapnutí/vypnutí archivace	

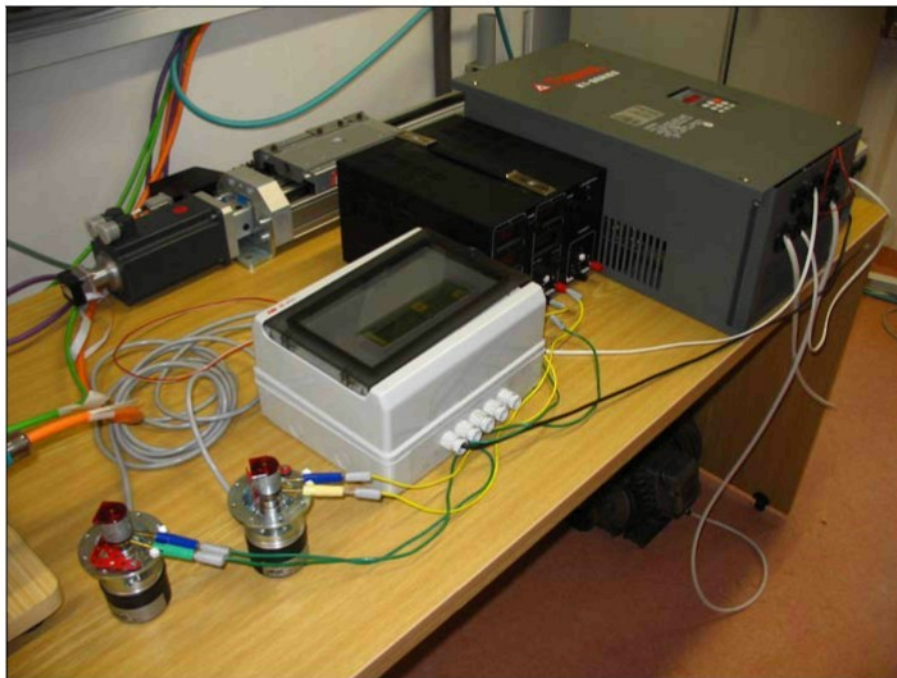
Obr. 6-11 Obrazovky LCD displeje pro nastavování mezí

6.3.9 Archivace poměru otáček

Aby bylo možné zjistit, zda navržený algoritmus v PLC odpovídá požadavkům na přesnost řízení, byla v programu PLC naprogramována možnost zapnutí záznamu hodnot poměru otáček q_n během broušení i vyjiskřování. Nejkratší perioda, se kterou je v experimentu použité PLC schopné archivovat hodnoty, je 1 s. Kapacita archivu je 1000 hodnot, tj. 16,6 minut.

6.4 Testování aplikace pro PLC před připojením k brusce

Aplikace pro PLC byla před připojením k brusce průběžně odlaďována na testovací sestavě v laboratoři Katedry aplikované kybernetiky FS TUL. Fotodokumentace z tohoto zapojení je uvedena v Příloze č. 4).



Obr. 6-12 Testovací zapojení pro ladění programu: zleva IRC čidla poháněná elektromotorky 4,5 V, krabice s PLC, el. zdroj 24 V, frekvenční měnič, pod stolem pomocný elektromotor

6.4.1 Problémy řešené při zapojení na testovací soustavě

Před zapojením PLC s IRC čidly na brusku BU 16A byl navržený algoritmus v PLC testován na testovací soustavě složené z

- a) PLC,
- b) dvou IRC čidel snímajících otáčky z dvou elektromotorků (4,5 V) a
- c) frekvenčního měniče pohánějícího
- d) náhradní elektromotor.

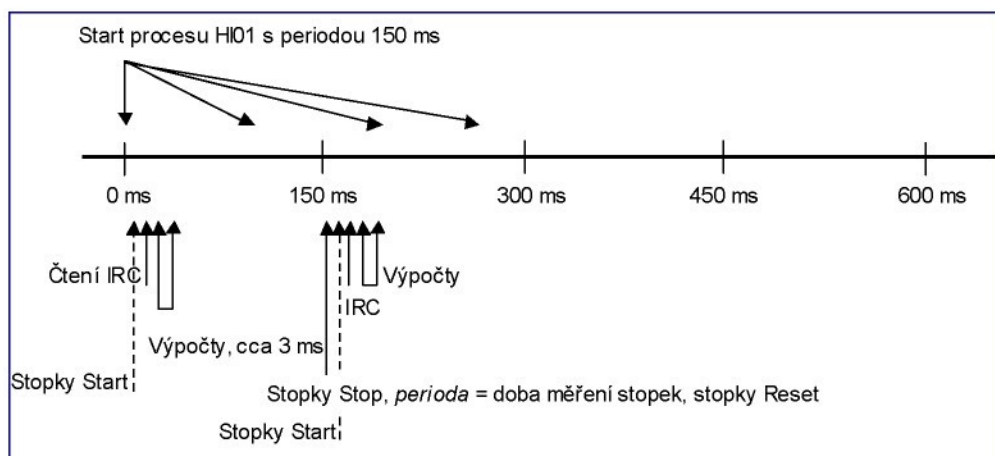
Objevily se následující dva problémy:

1. **Kolísání hodnot na displeji:** příliš rychlé vzorkování času pro přesný výpočet otáček kotouče a obrobku (150 ms) způsobovalo kolísání jak hodnoty frekvence otáček kotouče na LCD displeji, tak i požadované frekvence otáček obrobku na displeji frekvenčního měniče. Tento problém byl vyřešen zařazením filtru 1. řádu s experimentálně zvolenou časovou konstantou rovnou 1,5 s do výpočtu frekvence otáček kotouče, s možností změny hodnoty časové konstanty z obrazovky LCD displeje. Výstupní hodnota z filtru je ustálená a je použita jak pro zobrazení otáček kotouče na LCD displeji PLC, tak pro výpočet požadované hodnoty otáček obrobku.

Druhý problém byl závažnější.

2. **Pokles hodnoty požadované frekvence otáček obrobku** na displeji frekvenčního měniče při přepnutí na obrazovky s dvojciferným číslem: K tomuto jevu docházelo při přepínání mezi obrazovkami LCD displeje v režimu regulace (*stav* = 11) – byla-li hodnota požadované frekvence otáček obrobku např. 129 min^{-1} , při přepnutí na obrazovku s číslem 11 (zadávatí poměru otáček) nebo kteroukoliv obrazovku s čísly 20-24 (pro nastavování mezí a konstant), snížila se během cca 2-3 s po přepnutí obrazovky hodnota požadované frekvence na 126 min^{-1} . Tento pokles o 3 min^{-1} znamená v tomto konkrétním případě pokles o 2,4 %, a jak bylo popsáno v kapitole 2 - Historický úvod a formulace problému, odpovídá pokles v řádu 2-3 % přechodu od jednoho extrému fázového posuvu k druhému. Jinými slovy, při tomto ne zcela přesném zapojení **by nebyla zaručena přesnost řízení fázového posuvu** (tj. poměru otáček), neboť by obsluha neměla zaručeno, že požadovaný poměr frekvence otáček nastavený na displeji je skutečně nastaven i na výstupu frekvenčního měniče!!!

Po důkladné analýze bylo zjištěno, že problém je způsoben nepřesností při výpočtu otáček kotouče, které mají následně vliv na výpočet požadované frekvence otáček obrobku (podle rovnice (6.11)). Klíčovou se ukázala být skutečná doba mezi dvěma čteními z IRC čidel, která nebyla vždy rovna konstantě oproti konstantní hodnotě proměnné *perioda* (150 ms) používané k výpočtu frekvence otáček kotouče. Při zařazení interních stopek do algoritmu v PLC se ukázalo, že doba mezi dvěma čteními z IRC čidel se sice pohybovala okolo 150 ms (např. 149,1, 149,3, 150,0), ale v mezních případech – např. po přepnutí mezi některými obrazovkami – dosahovala také 147,7 ms až 161,9 ms, tj. byla zde chyba v rozsahu 14,2 ms – to je 9,5 % z „konstantní“ periody procesu HI01 - 150 ms. V algoritmu PLC byly proto stopky ponechány, měří vždy dobu mezi dvěma čteními z IRC čidla kotouče a tato doba je poté přiřazena do proměnné *perioda*, která je použita pro výpočet otáček kotouče i obrobku. Po provedení této úpravy se už pokles požadované frekvence otáček obrobku o 3 min^{-1} při přepnutí na obrazovku s dvojciferným číslem neobjevil.



Obr. 6-13 Schéma k výpočtu periody mezi dvěma čteními impulsů z IRC čidla

6.5 Praktické broušení v laboratoři TUL

Na TU Liberec bylo upraveno laboratorní pracoviště s bruskou na kulato tak, že je nyní možné řídit poměr frekvence otáček při broušení a vyjiskřování uživatelem.



Obr. 6-14 Bruska na kulato z TOS Hostivař (po úpravě), vlevo frekvenční měnič TALAN

Bruska BU 16A nemá ovšem dostatečnou tuhost, aby na ní bylo možné brousit velmi tvrdým kotoučem (diamant, CBN). Pro experimentální část proto bylo navrženo použít dva kotouče – konvenční kotouč (Al_2O_3) a kotouč z materiálu SG, který se svými vlastnostmi blíží vlastnostem velmi tvrdých kotoučů, ale je možné jej použít na zvolené brusce. Domnívám se, že toto omezení nemá zásadní vliv na vývoj aplikace pro PLC, přestože odlišný typ kotouče může mít vliv na výslednou kvalitu povrchu obrobku.

Další fotografie brusky a jednotlivých součástí jsou uvedeny v Příloze č. 4).

Pro experiment byly použity obrobky a kotouče s následujícími parametry:

Kotouč	Specifikace	Parametry
Č.1 – konvenční	99 BA 46 K8V	Průměr: $D_s = 250$ mm Vnitřní průměr: $D_{\text{vnitřní}} = 76$ mm Šířka: $b_s = 20$ mm
Č.2 – SG	99 SA 360 J9V-01	
Obrobky	Materiál	Parametry
13 ks	ocel 11600, ocel 14100	Průměr: $d_w = 68$ mm Šířka: $b_s = 15$ mm

Tab. 6-7 Specifikace kotoučů a obrobků použitých pro experiment na TUL

6.5.1 Průběh experimentu

Kotouč konvenční:

1. Vyvážení kotouče	- statické vyvážení pomocí tří závaží
2. Orovnání kotouče	- orovnění diamantem z příslušenství brusky
3. Vyvážení kotouče	- statické vyvážení pomocí tří závaží
⇒ Vyvážený kotouč	
4. Broušení sady obrobků vyváženým kotoučem	- procesní měření poměru otáček q_n
5. Měření vlnitosti obrobků	- postprocesní měření chyby kruhovitosti vzorků
6. Rozvážení kotouče	- posunem jednoho ze tří závaží o 10 mm
⇒ Nevyvážený kotouč	
7. Broušení sady obrobků vyváženým kotoučem	- procesní měření poměru otáček q_n
8. Měření vlnitosti obrobků	- postprocesní měření chyby kruhovitosti vzorků

Vzorek č.	Kotouč	Obrobek	Nastavený poměr otáček q_n
Vyvážený kotouč			
1	konvenční	ocel 11 600	17
2			17
3			17,5
4			17,5
5		ocel 14 100	17
6			17
7			17,5
8			17,5
9			17,3
10			17,2
11			17,5
12			17,7
13			17,8
Nevyvážený kotouč			
14	konvenční	ocel 11 600	17
15			17
16			17,5
17			17,5

Tab. 6-8 Podmínky experimentu na brusce BU 16A



Obr. 6-15 Detail vzorku s trnem pro uchycení ve sklíčidle

Broušení bylo prováděno bez chlazení, s opatrným ručním přísuvem. Během závěrečné fáze broušení a během vyjiskřování byla zapnuta archivace v PLC a zaznamenáván průběh hodnoty aktuálního poměru otáček q_n na brusce.

Původně plánované měření kotoučem z materiálu SG nebylo provedeno, neboť při broušení 17. vzorku konvenčním kotoučem došlo k poruše na pohonu obrobku, která zamezila dalšímu pokračování experimentu. Nicméně, jak bude uvedeno dále, alespoň částečných výsledků bylo dosaženo.

6.5.2 Měření chyby kruhovitosti povrchu obrobků na UJEP, Ústí nad Labem

Ke snímání povrchu nabroušených vzorků bylo na Fakultě výrobních technologií a managementu Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem použito zařízení pro měření kruhovitosti obrobků – Hommel Tester Form 1000.



Obr. 6-16 Přístroj Hommel Tester Form 1000 pro dotykové měření kruhovitosti obrobků



Obr. 6-17 Diagram vlnitosti na PC propojeném s přístrojem Hommel Tester Form 1000

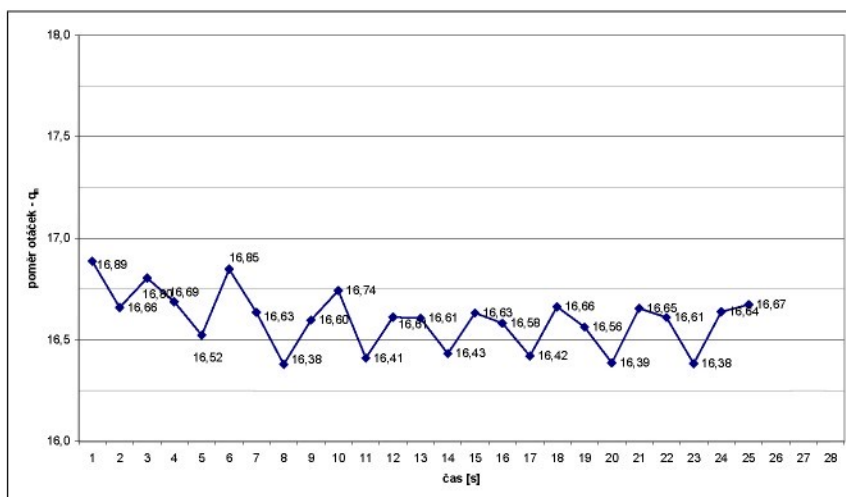
6.6 Výsledky experimentu

Ve všech měřeních bylo pracováno s hodnotami frekvence otáček $n_s = 2400 \text{ min}^{-1}$, $n_w = 135\text{-}140 \text{ min}^{-1}$ a žadáním poměrem otáček $q_n = 17\text{-}17,8$ dle Tab. 6-8.

6.6.1 Vyvážený kotouč

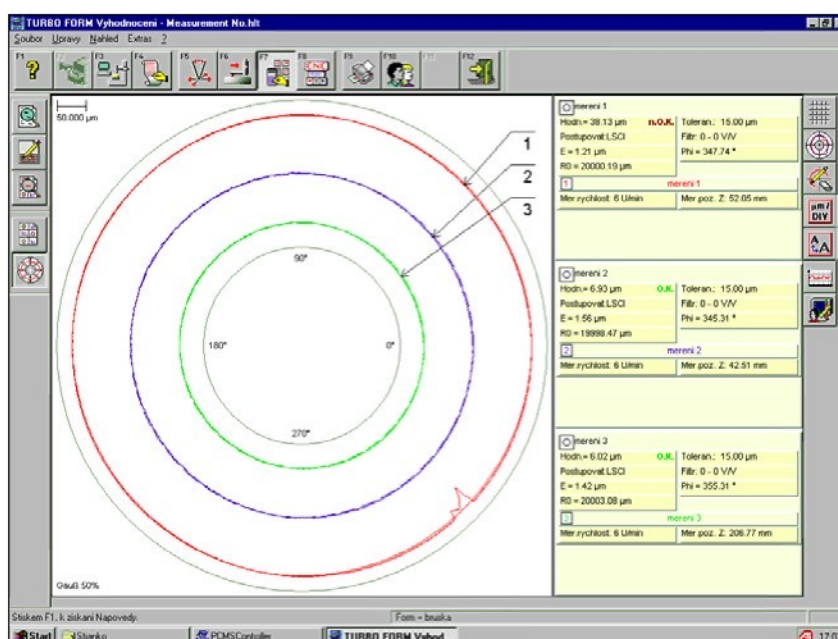
Vzorek č.1:

Obr. 6-18 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 16,38 - 16,67 při požadované hodnotě $q_n = 17$ – rozdíl 0,29 odpovídá změně o 1,8 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček – viz kapitola 2.1.3 – Vliv fázového posuvu ... na str. 10.



Obr. 6-18 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.1, $q_n = 17$

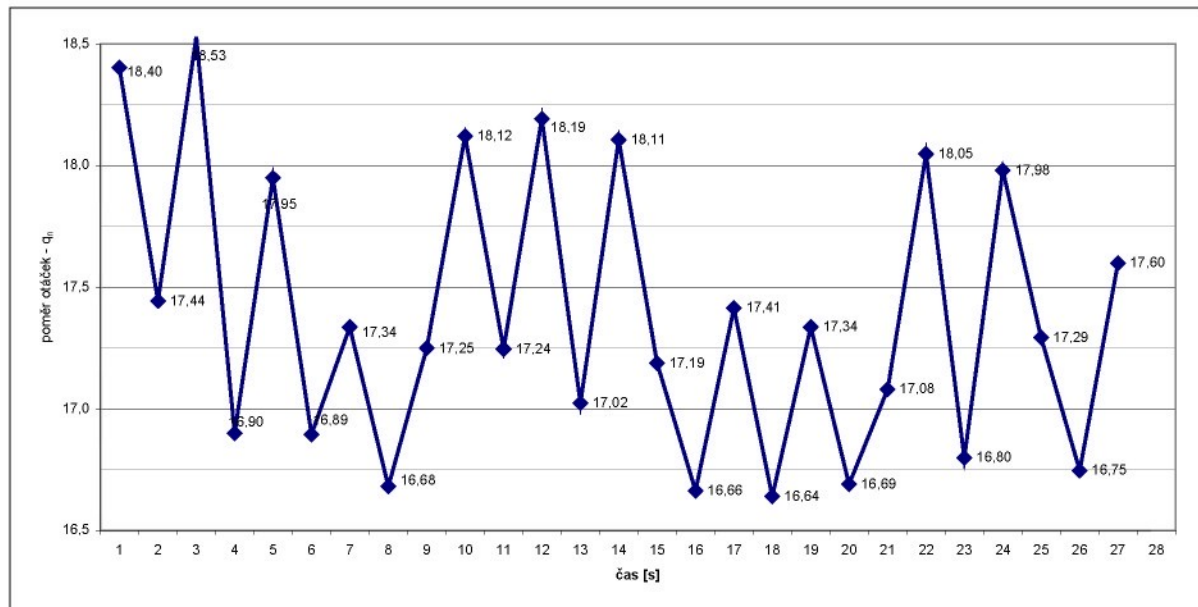
Obr. 6-19 znázorňuje profil obrobku č.1. Jeho chyba kruhovitosti se pohybuje v intervalu 6-7 μm . Vzhledem k tomu, byl kotouč orovněn a vyvážen, neprojevuje se zde vlnitost povrchu.



Obr. 6-19 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.1 (chyba kruhovitosti 6-7 μm)

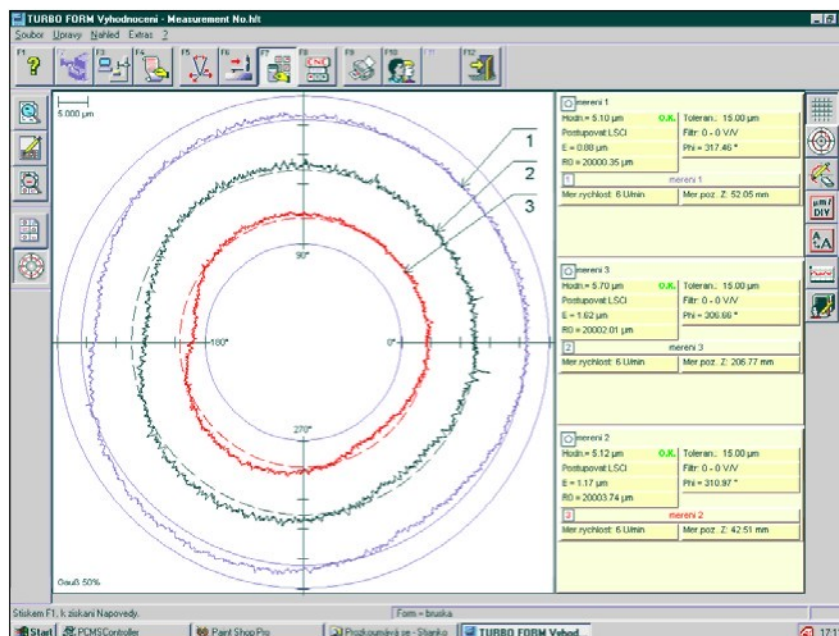
Vzorek č.2:

Obr. 6-20 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že hodnota q_n kolísala při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 16,75 -17,98 při požadované hodnotě $q_n = 17$ – rozdíl 1,23 odpovídá změně o 7 % a **přesahuje 3 %** pásmo přípustné změny poměru otáček.



Obr. 6-20 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.2, $q_n = 17$

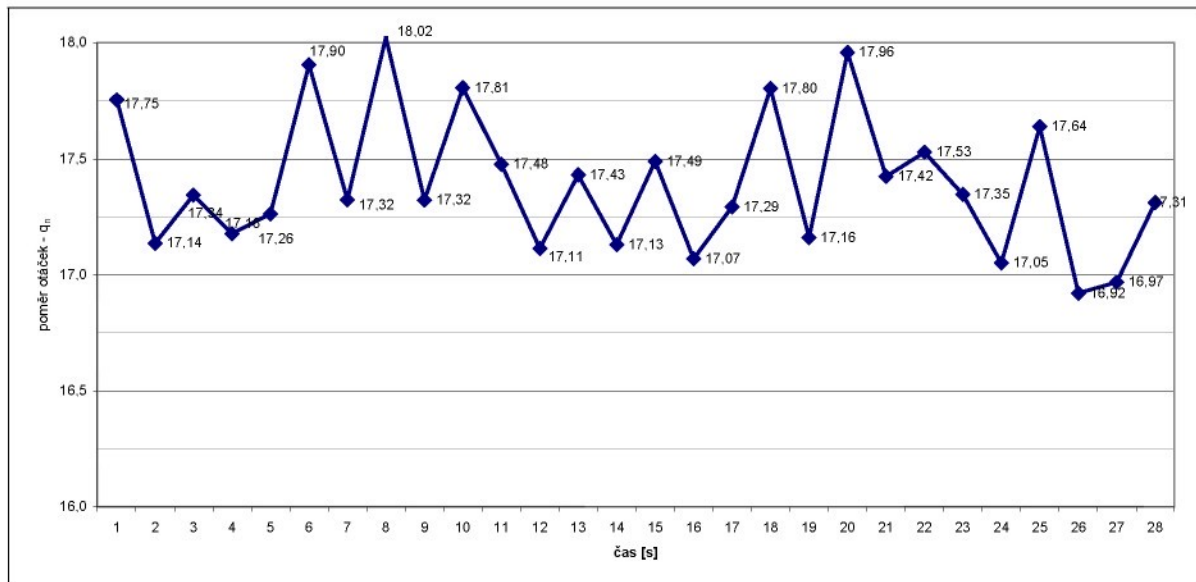
Obr. 6-21 znázorňuje profil obrobku č.2. Jeho chyba kruhovitosti se pohybuje v intervalu 5,1-5,7 μm . Deformovaný tvar obrobku je ovlivněn desetinásobným zvětšením měřítka oproti vzorku č.1.



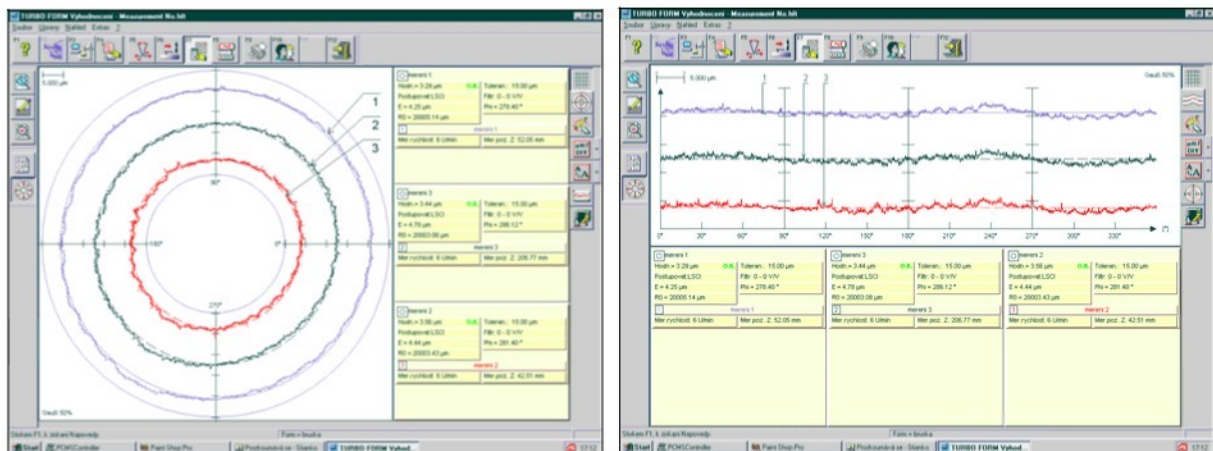
Obr. 6-21 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.2 (chyba kruhovitosti 5,3 μm)

Vzorek č.3:

Obr. 6-22 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že hodnota q_n kolísala při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 16,92 -17,64 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,72 odpovídá změně o 4 % a **přesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



Obr. 6-22 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.3, $q_n = 17,5$

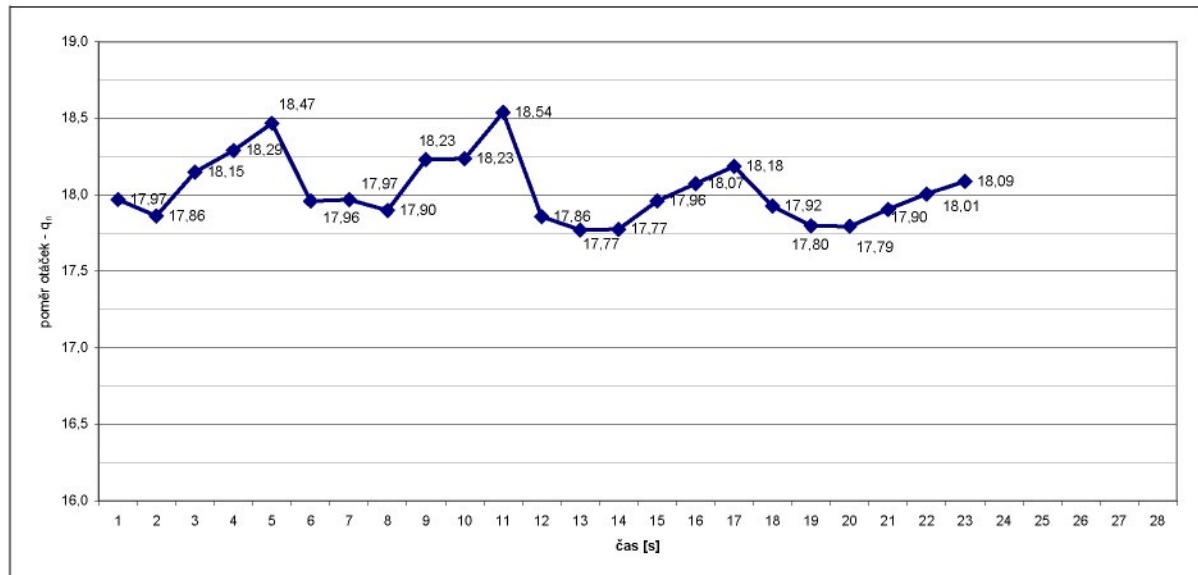


Obr. 6-23 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.3 (chyba kruhovitosti 3,4 µm)

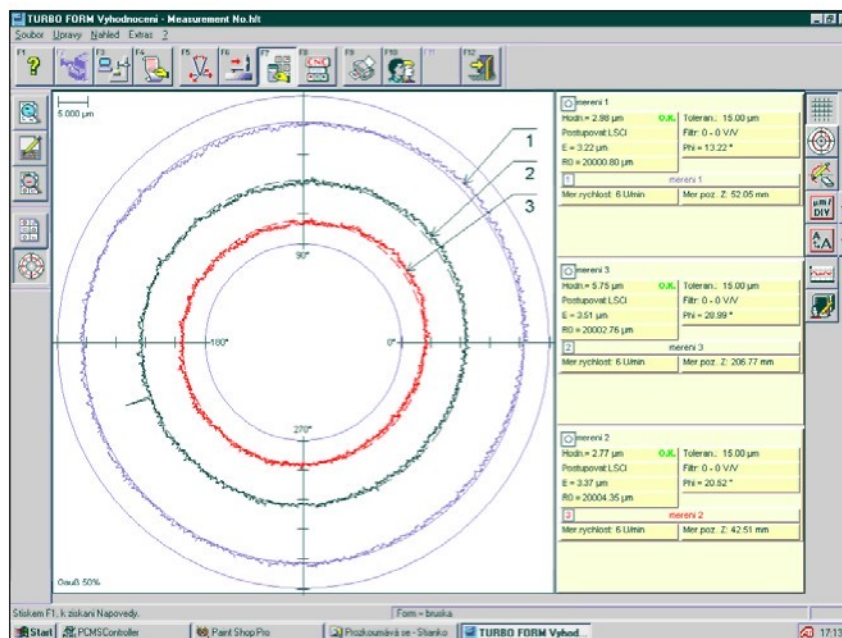
Poznámka: Přestože byl tento vzorek obráběn vyváženým a ořvnaným kotoučem, objevilo se na jeho povrchu **34 vln** (tj. 2 x 17), které jsou dobře vidět na lineárním profilogramu obrobku. V tomto případě tedy došlo k jevu popisovanému v kapitole 2 - Historický úvod a formulace problému.

Vzorek č.4:

Obr. 6-24 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 17,79-18,09 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,30 odpovídá změně o 1,7 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



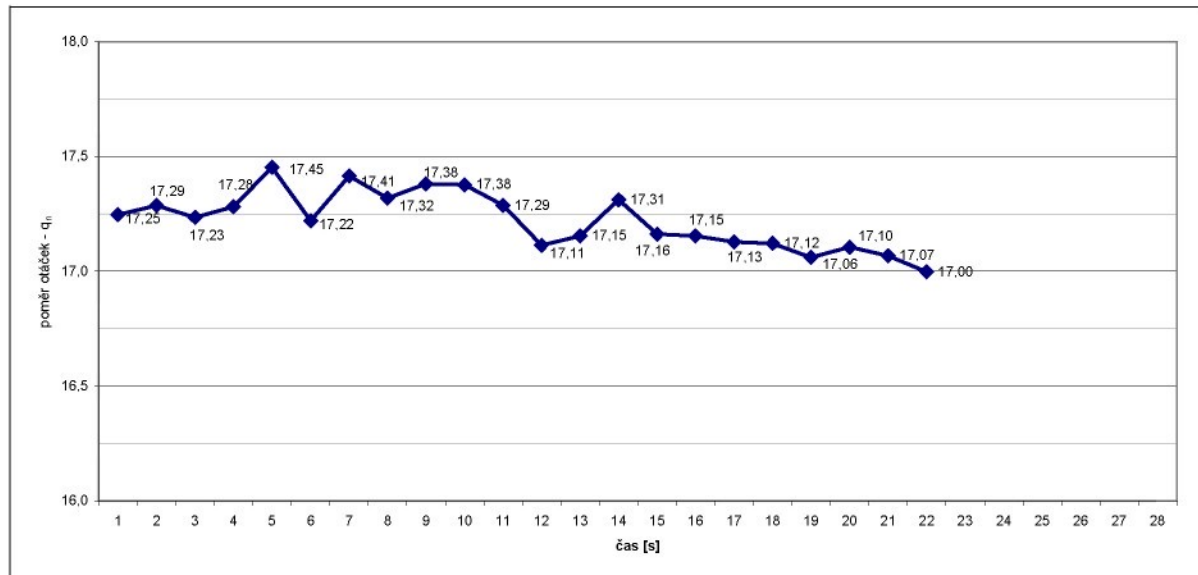
Obr. 6-24 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.4, $q_n = 17,5$



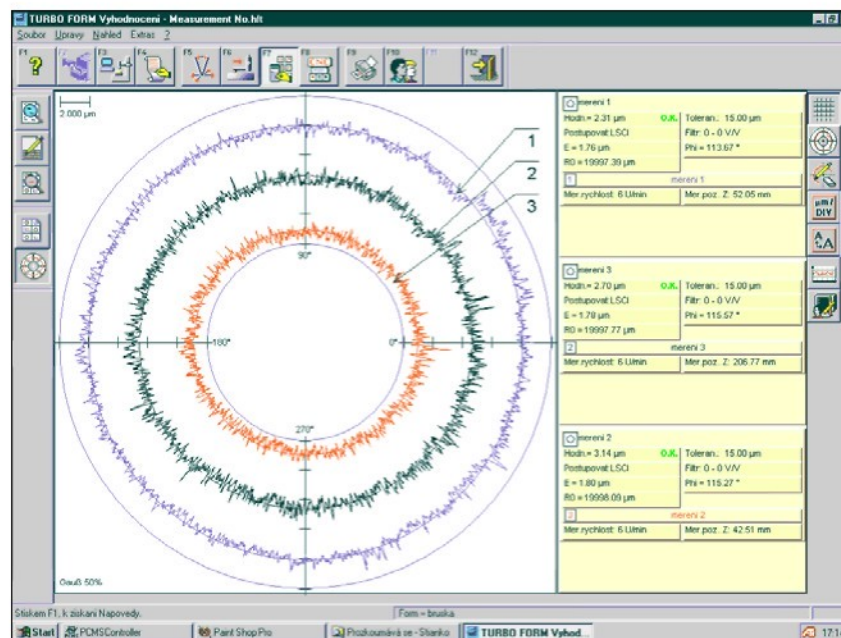
Obr. 6-25 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.4 (chyba kruhovitosti 3,8 μm)

Vzorek č.5:

Obr. 6-26 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 17,00 -17,12 při požadované hodnotě $q_n = 17$ – rozdíl 0,12 odpovídá změně o 0,7 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



Obr. 6-26 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.5, $q_n = 17$

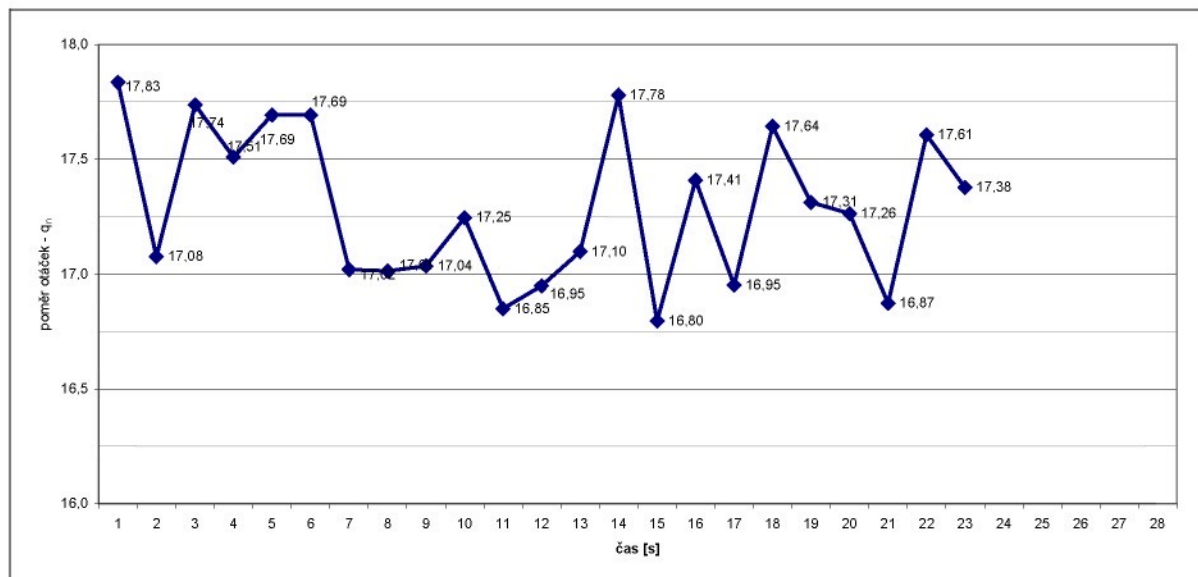


Obr. 6-27 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.5 (chyba kruhovitosti 3 µm)

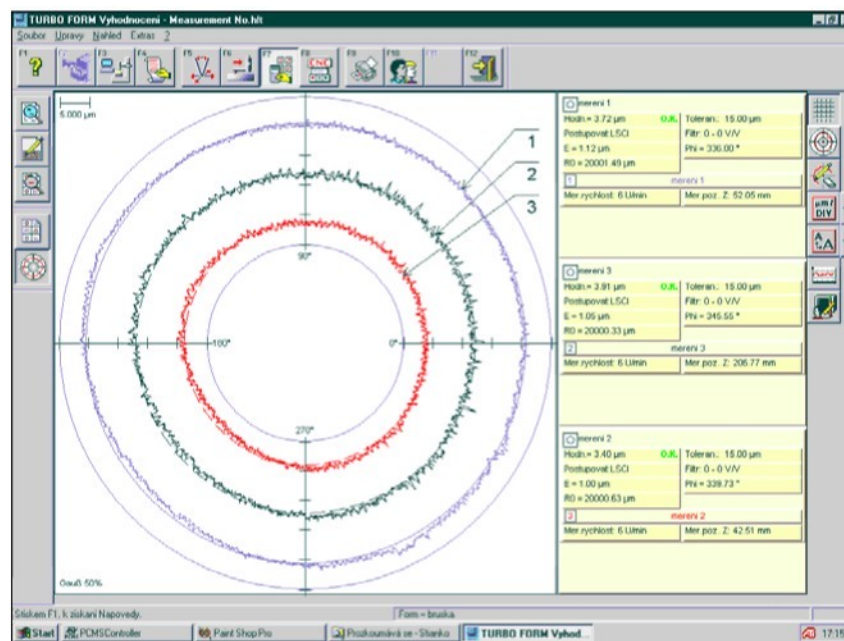
Poznámka: Velká zrnitost zobrazeného profilogramu je způsobena maximálním zvětšením – jeden dílek zde odpovídá 2 µm.

Vzorek č.6:

Obr. 6-28 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že hodnota q_n kolísala při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 16,87 - 17,61 při požadované hodnotě $q_n = 17$ – rozdíl 0,74 odpovídá změně o 4,2 % a **přesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



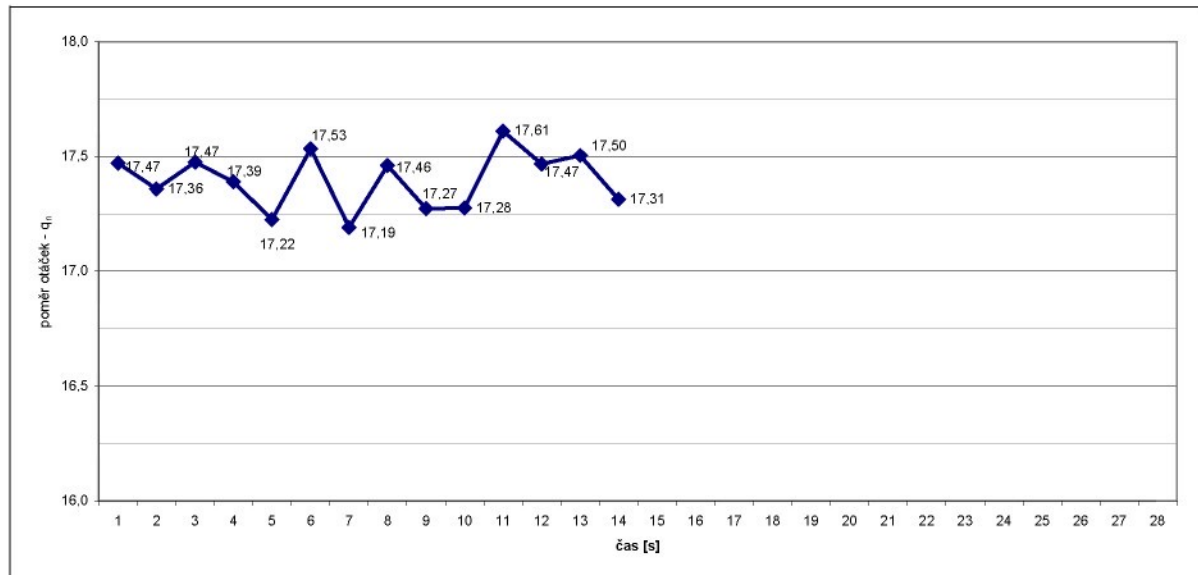
Obr. 6-28 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.6, $q_n = 17$



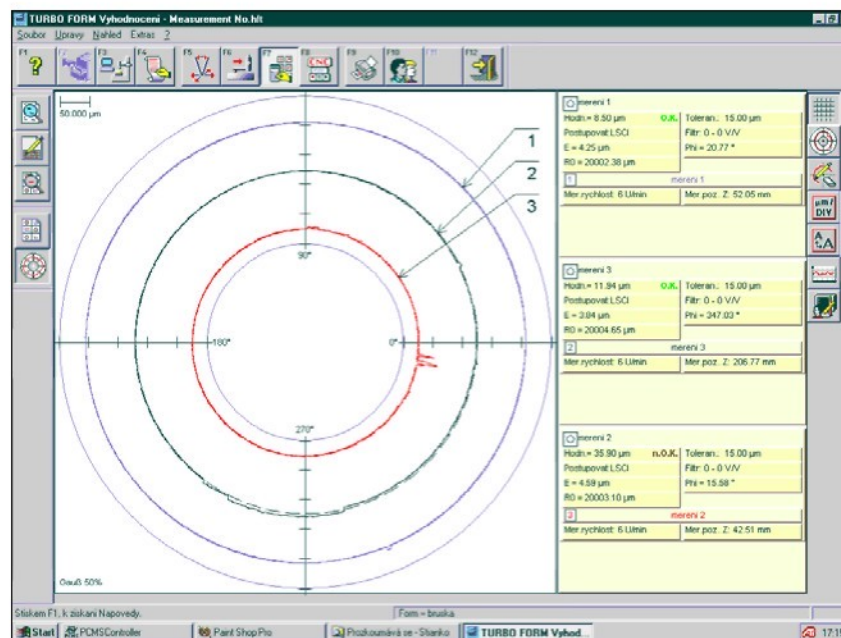
Obr. 6-29 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.6 (chyba kruhovitosti 3-4 μm)

Vzorek č.7:

Obr. 6-30 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 17,28 -17,61 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,33 odpovídá změně o 1,9 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



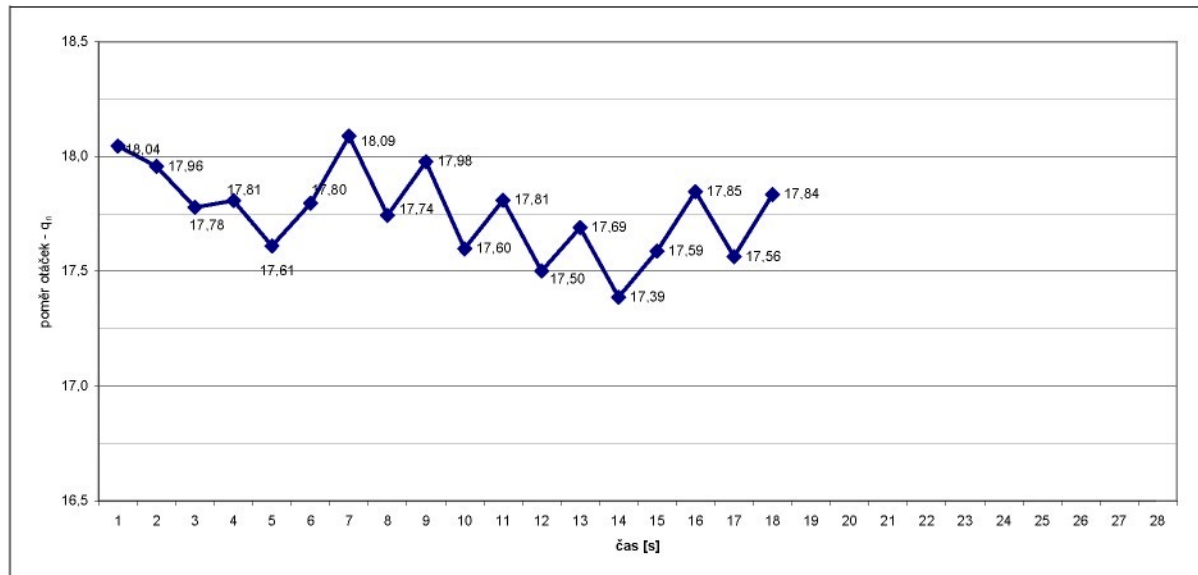
Obr. 6-30 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.7, $q_n = 17,5$



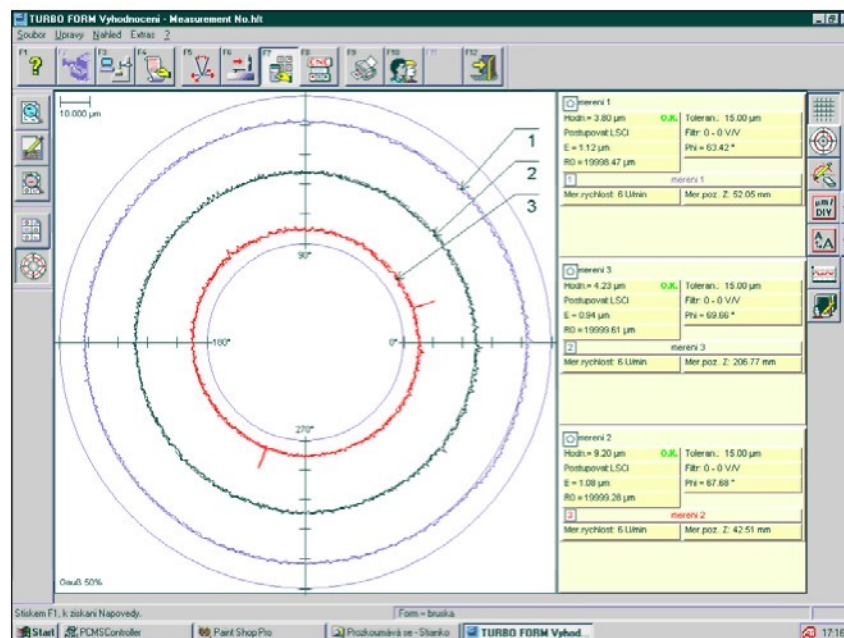
Obr. 6-31 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.7 (chyba kruhovitosti 10 µm)

Vzorek č.8:

Obr. 6-32 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 17,39 - 17,85 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,46 odpovídá změně o 2,6 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



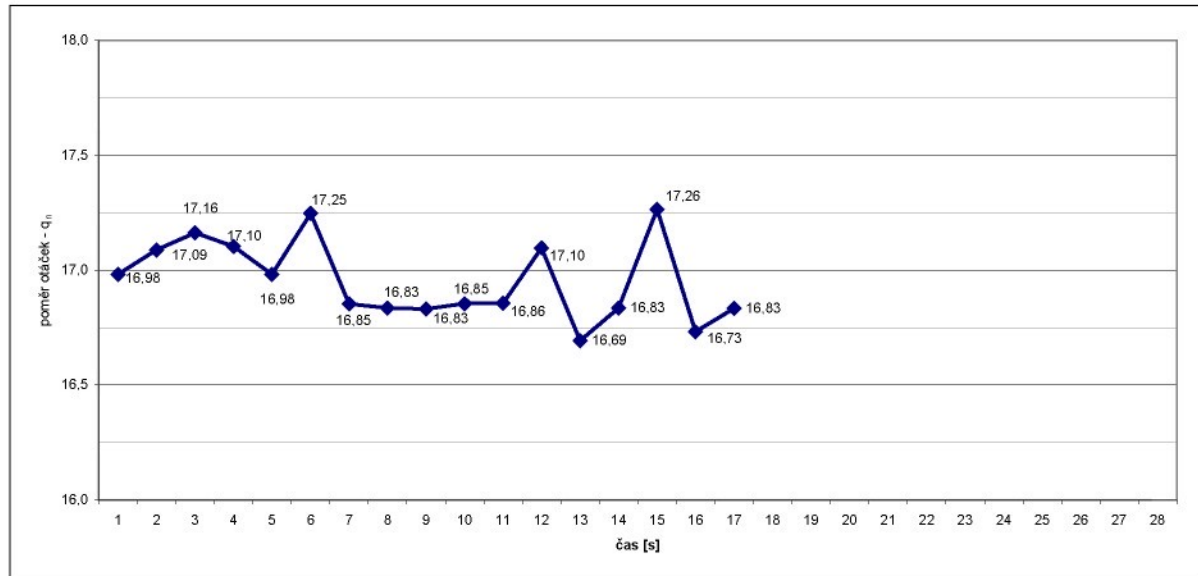
Obr. 6-32 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.8, $q_n = 17,5$



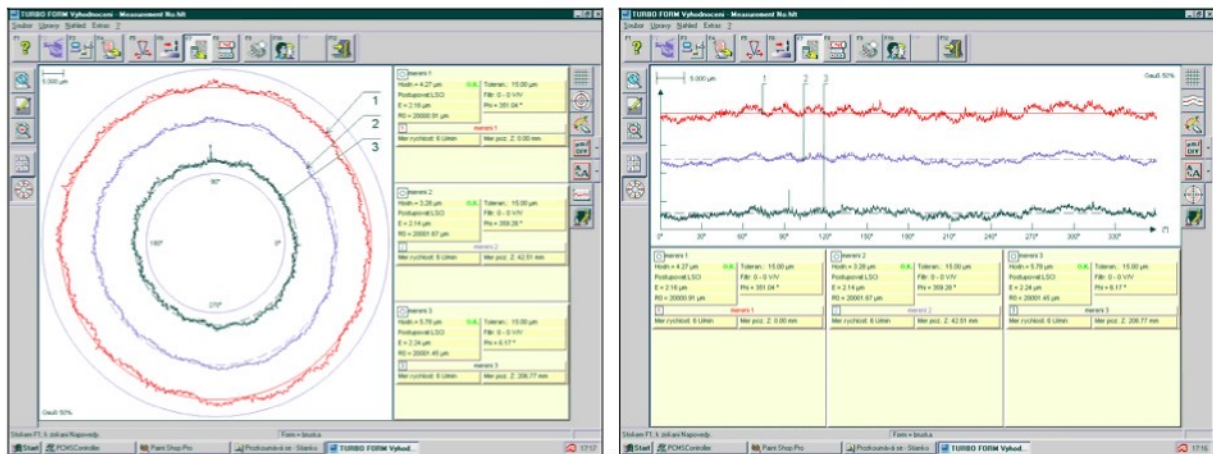
Obr. 6-33 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.8 (chyba kruhovitosti 4 μm)

Vzorek č.9:

Obr. 6-34 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že hodnota q_n kolísala při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 16,69 -17,26 při požadované hodnotě $q_n = 17,3$ – rozdíl 0,57 odpovídá změně o 3,3 % a **přesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček. Průměrná hodnota za posledních 5 s: $16,98 \pm 0,28$, tj. téměř ideální hodnota $q_n = 17$.



Obr. 6-34 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.9, $q_n = 17,3$

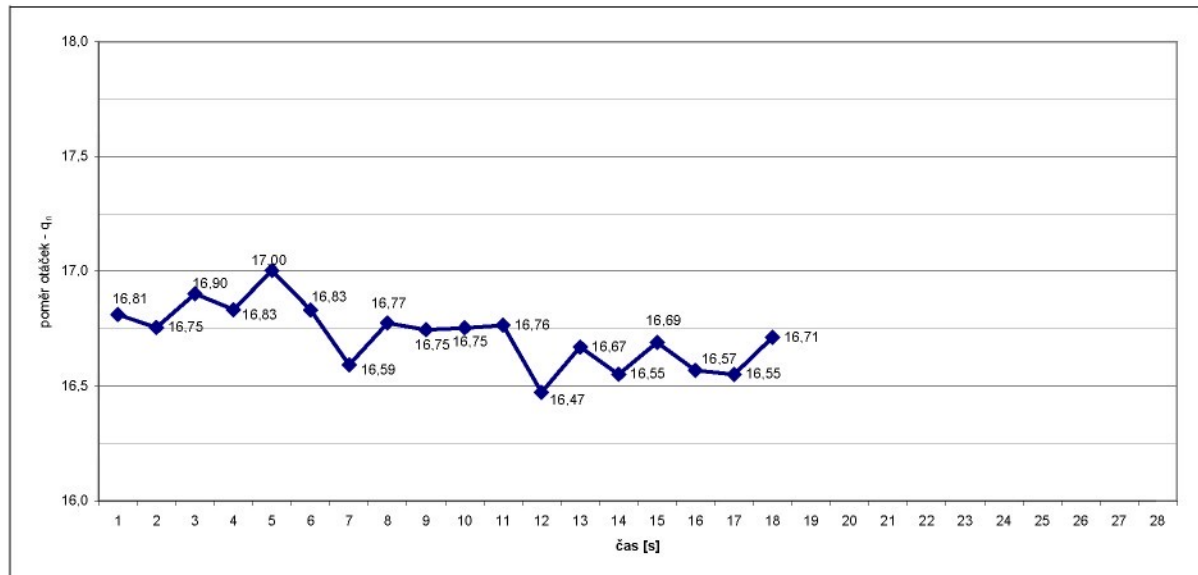


Obr. 6-35 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.9 (chyba kruhovitosti 4 µm, 17 vln podél povrchu)

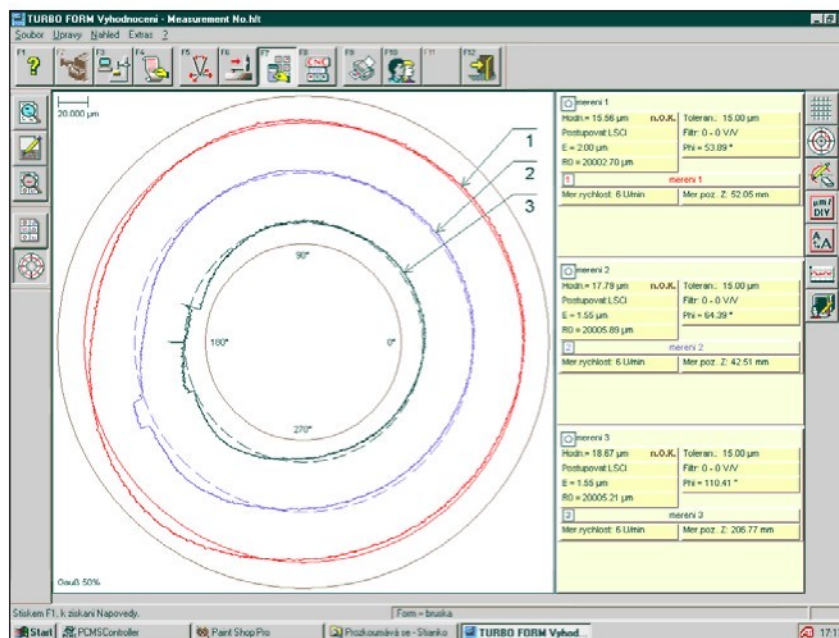
Poznámka: Na povrchu tohoto vzorku se objevilo **17 vln**, které jsou dobře vidět jak na kruhovém, tak na lineárním profilogramu obrobku.

Vzorek č.10:

Obr. 6-36 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 16,55 -16,71 při požadované hodnotě $q_n = 17,2$ – rozdíl 0,16 odpovídá změně o 1 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



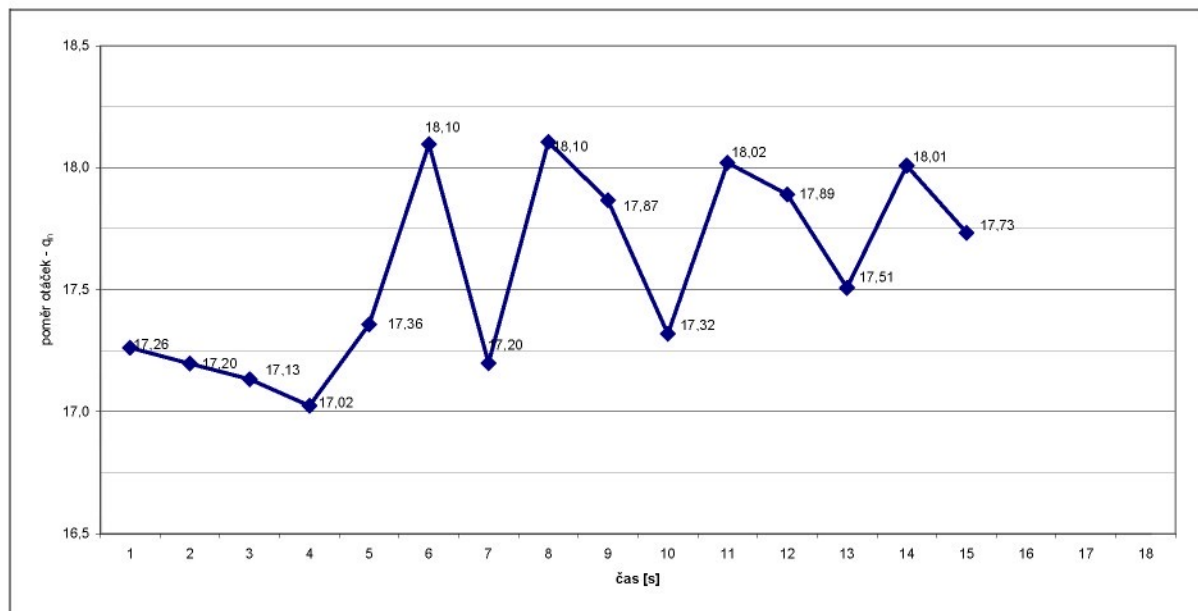
Obr. 6-36 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.10, $q_n = 17,2$



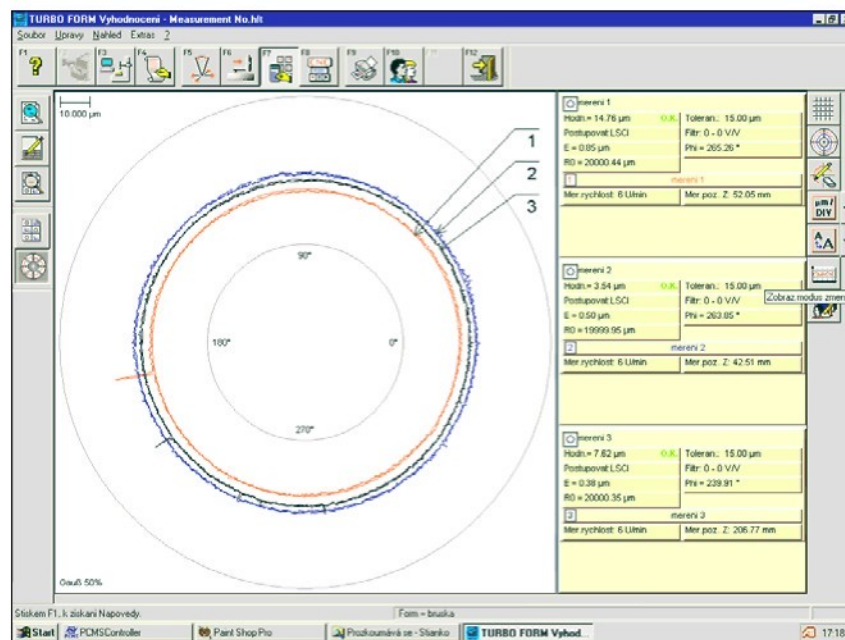
Obr. 6-37 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.10 (chyba kruhovitosti 4 µm)

Vzorek č.11:

Obr. 6-38 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že hodnota q_n kolísala při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 17,51 -18,2 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,69 odpovídá změně o 3,8 % a **přesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



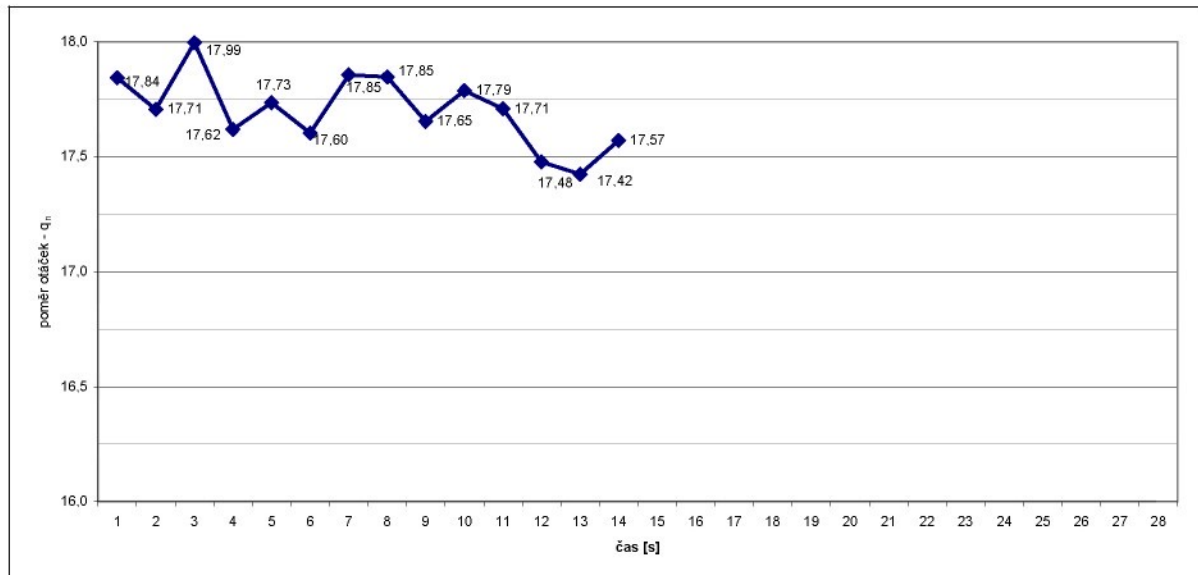
Obr. 6-38 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.11, $q_n = 17,5$



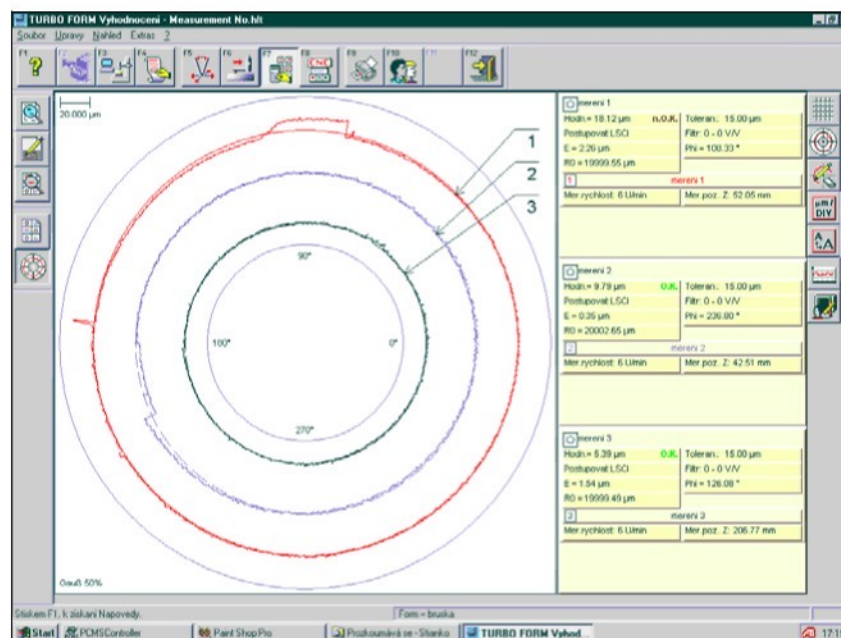
Obr. 6-39 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.11 (chyba kruhovitosti 4 µm)

Vzorek č.12:

Obr. 6-40 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 17,42 -17,79 při požadované hodnotě $q_n = 17,7$ – rozdíl 0,37 odpovídá změně o 2 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



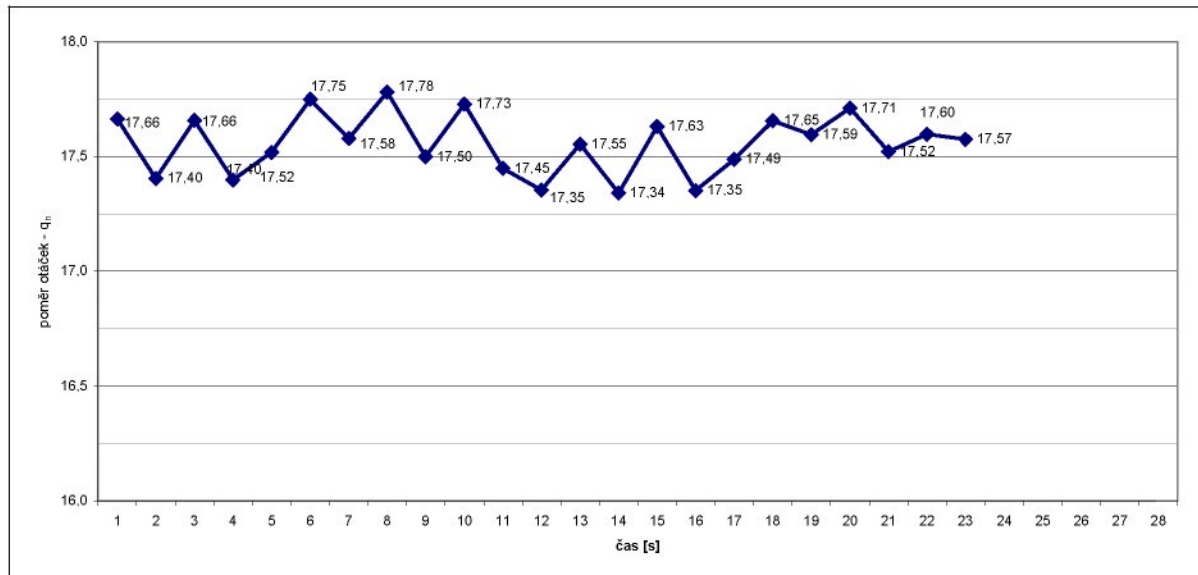
Obr. 6-40 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.12, $q_n = 17,7$



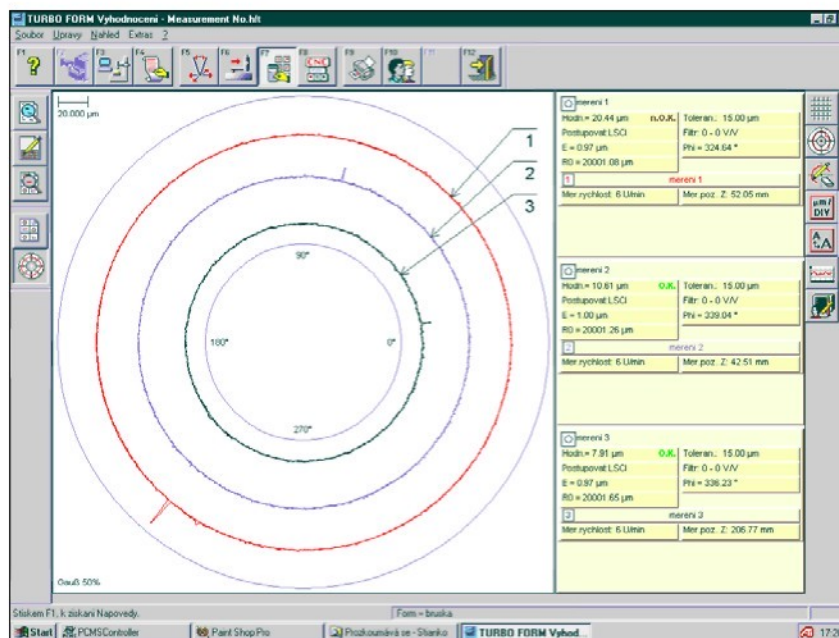
Obr. 6-41 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.12 (chyba kruhovitosti 6 µm)

Vzorek č.13:

Obr. 6-42 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n během posledních 5s vyjiskřování v intervalu 17,52 -17,71 při požadované hodnotě $q_n = 17,8$ – rozdíl 0,29 odpovídá změně o 1,6 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



Obr. 6-42 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.13, $q_n = 17,8$

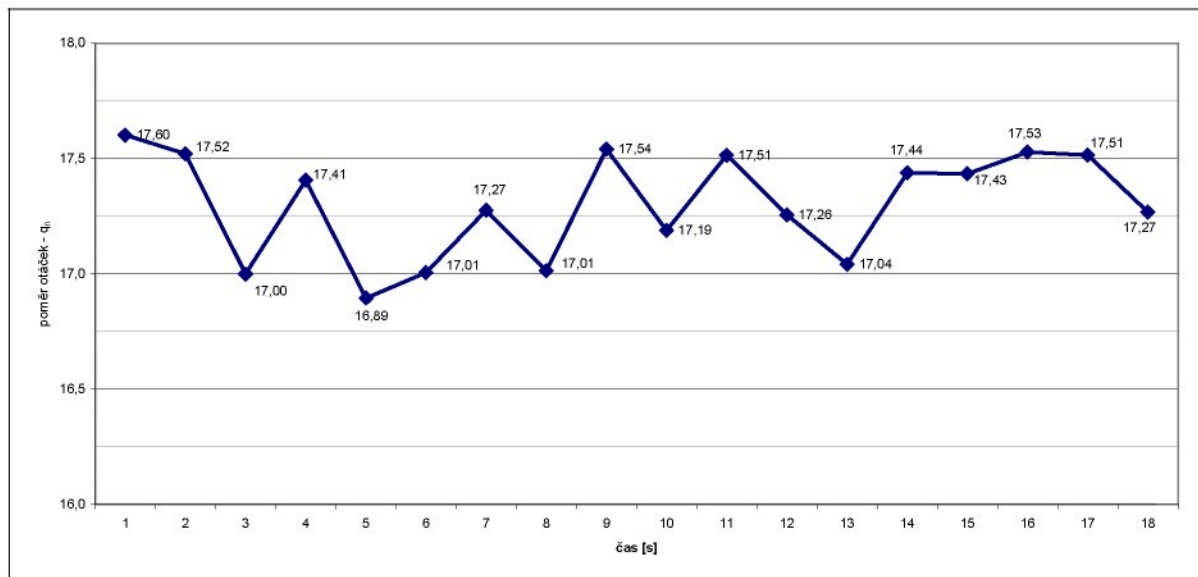


Obr. 6-43 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.13 (chyba kruhovitosti 8 μm)

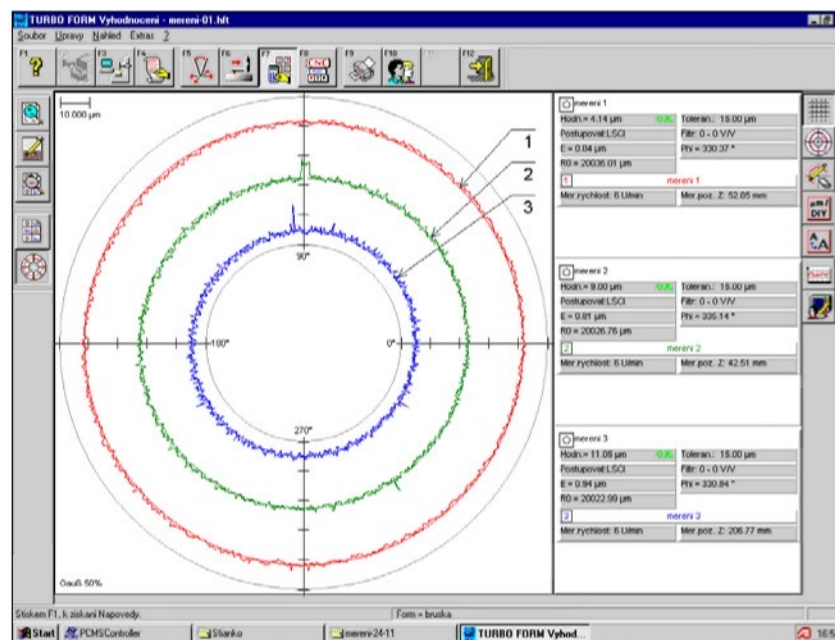
6.6.2 Nevyvážený kotouč

Vzorek č.14:

Obr. 6-44 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 17,27-17,53 při požadované hodnotě $q_n = 17$ – rozdíl 0,26 odpovídá změně o 1,5 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



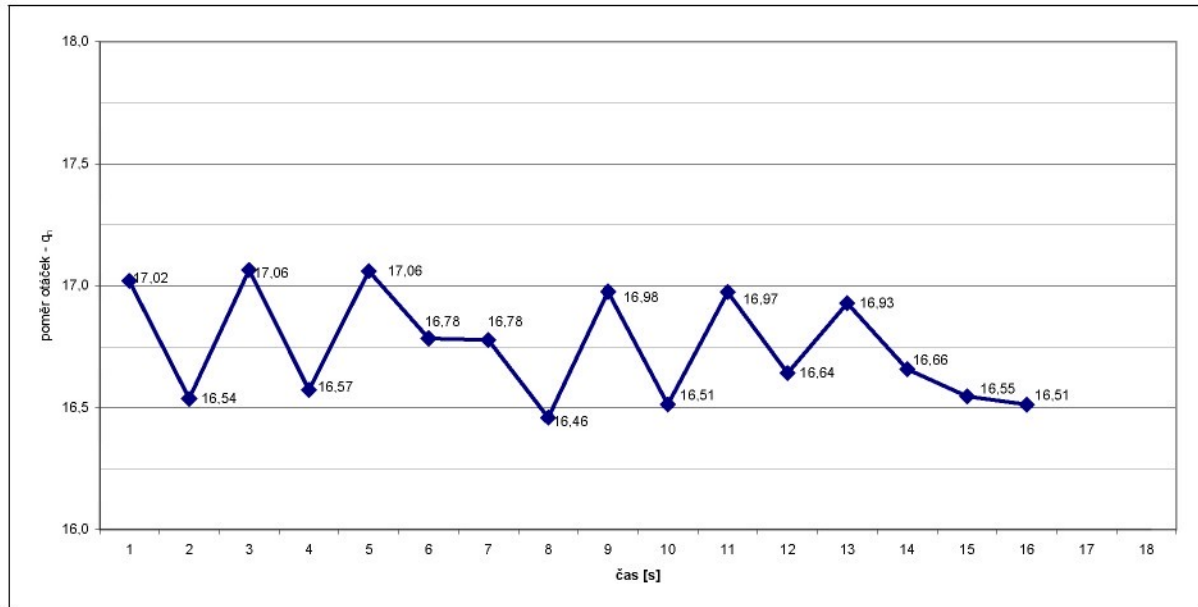
Obr. 6-44 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.14, $q_n = 17$



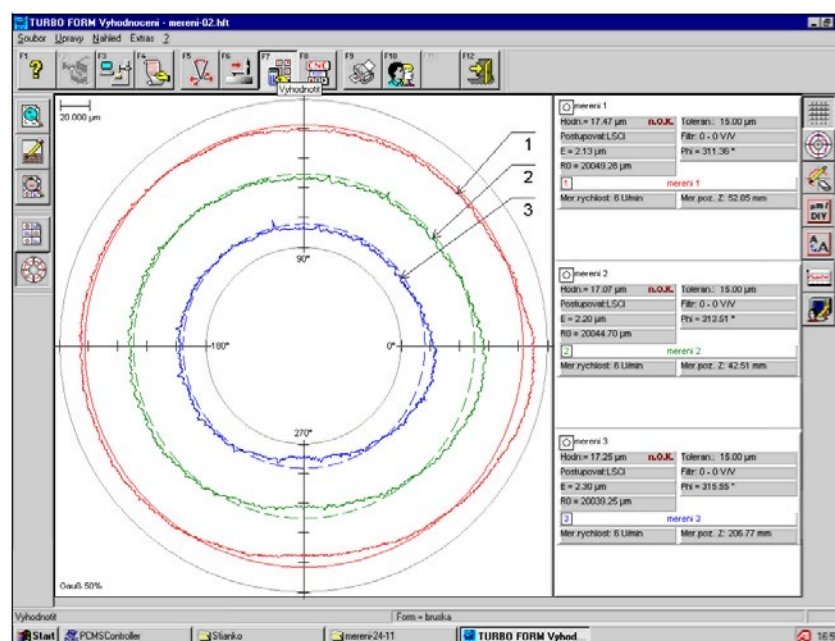
Obr. 6-45 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.14 (chyba kruhovitosti 4 μm)

Vzorek č.15:

Obr. 6-46 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 16,51 -16,93 při požadované hodnotě $q_n = 17$ – rozdíl 0,42 odpovídá změně o 2,5 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček, nicméně mezi krajními hodnotami je fázový posun téměř rovný π .



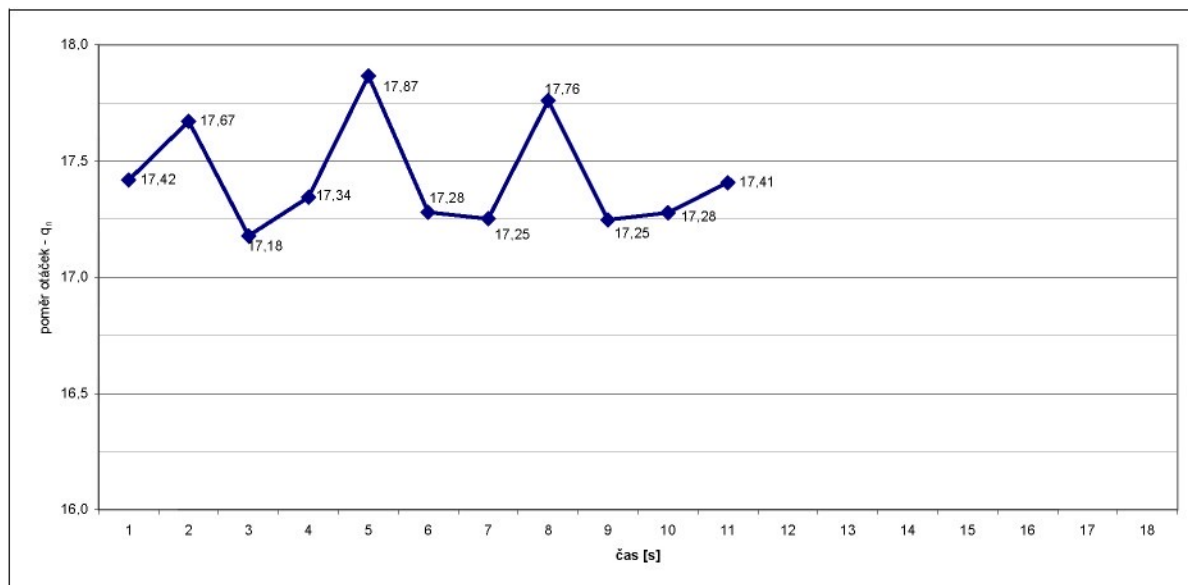
Obr. 6-46 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.15, $q_n = 17$



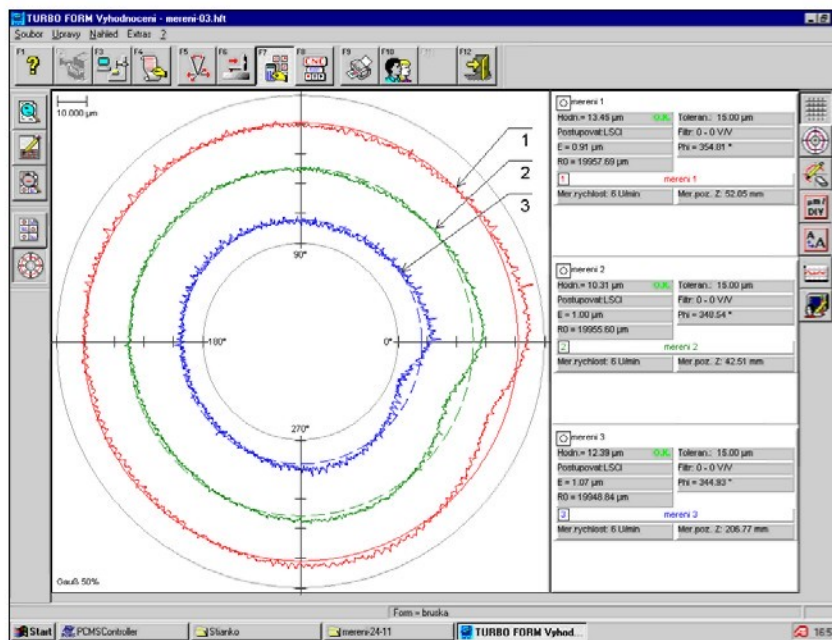
Obr. 6-47 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.15 (chyba kruhovitosti 17 μm)

Vzorek č.16:

Obr. 6-48 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že hodnota q_n kolísala při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 17,25 -17,76 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,51 odpovídá změně o 2,8 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



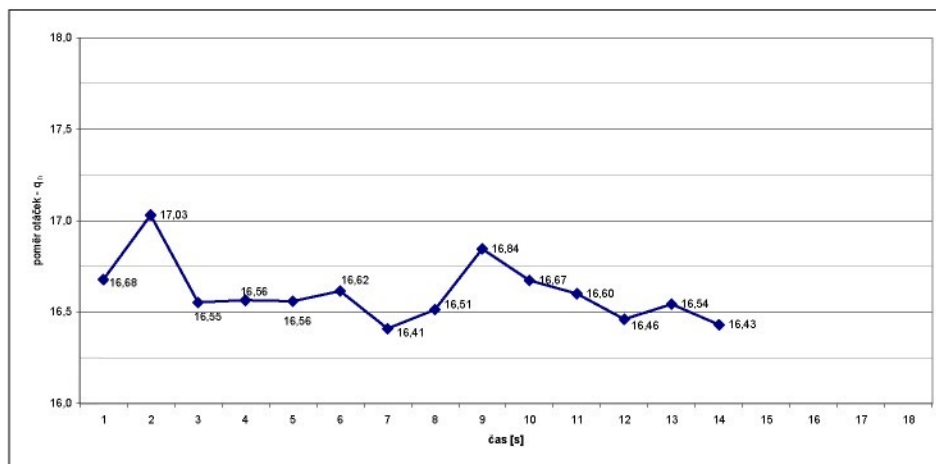
Obr. 6-48 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.3, $q_n = 17,5$



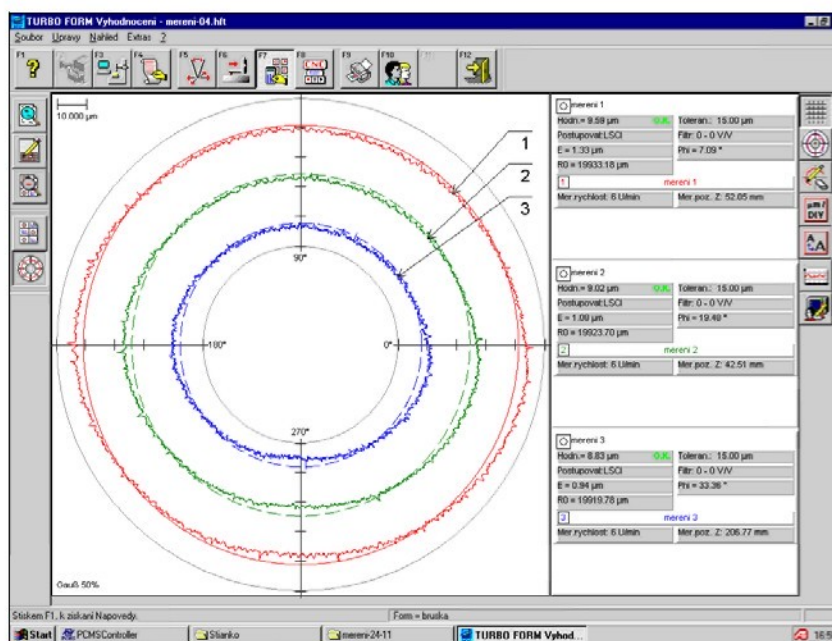
Obr. 6-49 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.16 (chyba kruhovitosti 12 μm)

Vzorek č.17:

Obr. 6-50 ukazuje časový průběh q_n . Z grafu vyplývá, že bylo dosaženo udržení hodnoty q_n při vyjiskřování během posledních 5s v intervalu 16,43 -16,60 při požadované hodnotě $q_n = 17,5$ – rozdíl 0,17 odpovídá změně o 1 % a **nepřesahuje** 3 % pásmo přípustné změny poměru otáček.



Obr. 6-50 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.4, $q_n = 17,5$



Obr. 6-51 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.17 (chyba kruhovitosti 9 μm)

6.6.3 Diskuse k výsledkům

Z výše uvedených grafů hodnoty poměru otáček q_n během broušení sady obrobků a doplňujících profilogramů povrchů obrobků vyplývá, že **navržené řešení umožňuje regulovat poměr otáček q_n** , nicméně existují zde omezení:

1. ne vždy byla hodnota q_n nastavená obsluhou na brusce přesně dosažena
2. naměřený rozsah hodnot q_n nebyl vždy v přípustném 3% pásmu tolerance změny otáček (viz. kapitola 2.1.3 - Vliv fázového posuvu kotouče a obrobku na povrch obrobku na str. 10)

Výsledky představené v této kapitole shrnuje Tab. 6-9.

Vzorek č.	Změna v %	Výsledek
Vyvážený kotouč		
1	1,8	OK
2	7,0	!!
3	4,0	!!
4	1,7	OK
5	0,7	OK
6	4,2	!!
7	1,9	OK
8	2,6	OK
9	3,3	!!
10	1,0	OK
11	3,8	!!
12	2,0	OK
13	1,6	OK
Nevyvážený kotouč		
14	1,5	OK
15	2,5	OK
16	2,8	OK
17	1,0	OK

Tab. 6-9 Výsledky experimentu na brusce BU 16A

Nejnižší hodnoty změny q_n během posledních 5s broušení bylo dosaženo u vzorků č. 5, 10 a 17.

Příčinou nalezených nedostatků se zdá být prokluz řemenů při přenosu pohonu obrobku, jak je podrobněji popsáno v následující podkapitole.

Dalším poznatkem vyplývajícím z provedeného experimentu je, že použitý způsob nevyvážení konvenčního kotouče posunutím jednoho ze tří závaží o 10 mm na přírubě konvenčního kotouče nezpůsobil vznik vln na povrchu všech obrobků – pouze u vzorku č. 9 se objevilo 17 vln odpovídajících průměrné hodnotě q_n a u vzorku č. 3 se objevilo 34 vln.

Mechanická závada na brusce bohužel znemožnila dokončit broušení s nevyváženým kotoučem a provést obdobné měření s kotoučem z materiálu SG. Nebylo proto možné porovnat srovnatelné laboratorní výsledky z UWE Bristol a TU Liberec.

6.6.4 Problémy řešené při praktickém zapojení na laboratorní soustavě

Řemenové převody, jejich možné prokluzy a vliv na přesnost řízení: U brusky BU 16A použité k laboratornímu experimentu (viz. Obr. 6-52) je pohon z hřídele elektromotoru (1) přenášen řemenem na pomocnou hřídel (2) a odtud prostřednictvím ploché spojky (není v záběru) na hřídel obrobku (3). Dochází tak k jevu, kdy je sice přesně monitorována frekvence otáček obrobku n_w a z ní na základě znalosti požadovaného poměru otáček q_n vypočtena požadovaná frekvence otáček obrobku, ale takto jsou řízeny otáčky hřídele elektromotoru, ne obrobku. Tato vlastnost brusky byla korigována změnou nastavení horní fyzikální meze odpovídající horní elektrické mezi pro vstupní napětí řízení frekvenčního měniče vynásobením příslušnou konstantou (vycházející z poměru poloměrů vodičích drážek řemenů), tak, aby bylo možné se alespoň v jistém rozsahu otáček přiblížit k hodnotě poměru q_n zadaného na displeji PLC. Toto řešení ale není optimální a stále obsahuje možnost vlivu

prokluzu obou řemenů, též s ohledem na stáří brusky z r. 1970. Pro přesnější řízení hodnoty q_n by bylo vhodné umístit snímač otáček obrobku i jeho pohon na tutéž osu. To by ovšem v tomto konkrétním případě znamenalo výrazný zásah do konstrukce brusky, který by už byl nad rámec této disertační práce.



Obr. 6-52 Přenos pohonu z hřídele elektromotoru přes pomocnou hřídel na hřídel obrobku

6.6.5 Návrhy pro využití řešení v praxi nebo pro další výzkum

Řešení pro řízení poměru otáček brusky představená v kapitole č.3 (UWE Bristol) a v této kapitole (TU Liberec) jsou laboratorní řešení.

První z nich zpracovává signály z IRC čidel pomocí počítače (PC) a komunikační karty. Druhé z nich využívá programovatelný automat (PLC) a je dle názoru autora práce bližší k výrobní praxi – to proto, že v současné době vyráběné CNC brusky na kulato mají zabudované řízení pomocí PLC.

Nicméně, pokud by mělo být řešení s PLC využito v praxi, bylo by vhodné doplnit do brusky čidla snímání otáček, aby byly skutečné frekvence otáček získávány monitorováním, a ne pouze přepočtem z proudu procházejícího pohonem kotouče obrobku, neboť jak ukázaly zkušenosti dr. Trmala a Z. Záruby z projektu CoWaShi řešeného na UWE Bristol, bez tohoto monitorování se požadované hodnoty frekvence otáček ne vždy shodovaly se skutečnými frekvencemi otáček. Z toho důvodu by uvedení předkládaného řešení do průmyslové praxe zahrnovalo navíc umístění snímačů otáček a doprogramování řízení do PLC řídicího CNC brusku.

Dalším doporučením je zajistit umístění snímačů otáček kotouče a obrobku na společnou osu s jejich pohony.

Část II.
Automatizované zpracování veličin
monitorovaných při broušení na kulato

7. AUTOMATIZOVANÉ ZPRACOVÁNÍ VELIČIN MONITOROVANÝCH PŘI BROUŠENÍ NA KULATO

7.1 Úvod

Díky vývoji v oblasti řízení strojů využívají současné CNC brusky řízení programovatelnými automaty, sledují množství parametrů a veličin během broušení, a jsou-li tak naprogramovány, dokáží tyto údaje zaznamenat (in-process monitoring) pro pozdější použití. Je pak na obsluze – operátorovi, jak tato data později převede na užitečné informace.

Tato kapitola popisuje jeden ze způsobů, jak z dat – fyzikálních veličin naměřených během procesu – získat informace o průběhu broušení, a poznat tak podmínky, za jakých byl konkrétní obrobek vyroben a jaké fyzikální děje měly vliv na jeho výslednou kvalitu. Motivem pro tento výzkum byl požadavek řešitelů projektu CoWaShi, aby bylo možné z dat zaznamenávaných během broušení na CNC bruskách jednoho z komerčních partnerů projektu vyčíst informace, které by shrnovaly, jak probíhalo broušení v daném brousicím cyklu.

7.2 Formulace problému

Jako vstupní data byly k dispozici záznamy z 47 brousicích cyklů (broušení na kulato bez axiálního posuvu) provedených v rámci projektu CoWaShi na brusce Landis Lund 860-01. Záznamy obsahovaly desítky různých parametrů (jak fyzikálních veličin, tak uživatelsky definovaných parametrů) a byly uloženy do samostatných souborů pro každý brousicí test ve formátu CSV (*Comma Separated Values*), tj. v textové podobě vhodné k dalšímu zpracování, např. v programu MS Excel. Vzhledem k periodě vzorkování 1 ms a délce záznamu 15 sekund včetně 5 sekund vlastního obrábění obsahoval každý ze souborů cca 15 000 řádků, a tak se velikost záznamu jednoho cyklu pohybovala mezi 5 a 7 MB. Problém byl tedy následující:

„Skrývá-li každý z těchto 5-7 MB naměřených *dat* nějakou užitečnou *informaci* o sledovaném procesu, kde ji hledat a jak ji zviditelnit?“



Obr. 7-1 Bruska firmy Landis Lund, typ 860-01

7.3 Formulace cílů

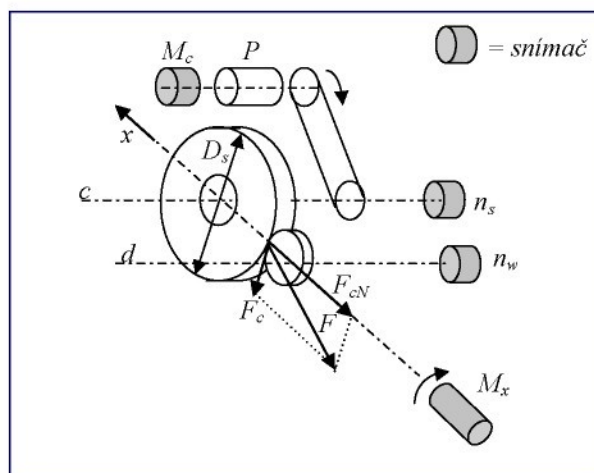
Pro vyřešení problému byly stanoveny tyto cíle:

1. Provést *fyzikální analýzu* procesu broušení na kulato, ze které vyplynou vztahy mezi zaznamenanými a dalšími veličinami, které lze ze zaznamenaných veličin vypočítat.
2. Implementovat nalezené vztahy do jednoduché *aplikace pro automatizované zpracování naměřených dat* na počítači, jejímž výstupem bude grafický protokol z jednoho broušicího cyklu.
3. Uvést *příklady nalezení informace* skryté v protokolech z broušicích cyklů.

7.4 Fyzikální analýza broušení na kulato

Pro rozbor broušení na kulato (bez axiálního přísuvu) použijeme následující označení:

Veličina	Význam	Záznam
n_s	frekvence otáček kotouče [min^{-1}]	✓
n_w	frekvence otáčení obrobku [min^{-1}]	✓
M_x	moment síly v ose x [N.m]	✓
M_c	moment síly v ose c [N.m]	✓
P	příkon motoru pohánějícího kotouč [W]	
F_{cN}	normálová složka řezné síly [N]	
F_c	tangenciální (tečná) složka síly [N]	
φ	úhel otočení kotouče [rad]	
x	poloha přísuvu v ose x [mm]	✓
D_s	průměr kotouče [mm]	



Obr. 7-2 Veličiny a parametry broušení na kulato

7.4.1 Zaznamenané veličiny

Obr. 7-2 znázorňuje schéma pracovní soustavy broušení, tj. kotouče a obrobku během broušení na kulato se snímači tak, jak byly zapojeny při záznamu dat u výrobce brusek. Motor o příkonu P roztáčí *kotouč* na frekvenci otáček n_s působením momentu sil M_c . *Obrobek* je roztáčen na frekvenci otáček n_w , jeho pohon není v tuto chvíli důležitý. Obrobek je přísouván ke kotouči ve směru osy x servomotorem, který působí na obrobek momentem síly M_x (broušení bez axiálního posuvu). Momenty sil M_c a M_x byly zjišťovány z průběhu proudu na elektropohonu vřetene, resp. přísuvu obrobku.

Mezi kotoučem a obrobkem působí *síla* F , kterou můžeme rozložit na *tečnou* (tangenciální) složku F_c a *normálovou složku* F_{cN} . Obě složky se v laboratorních podmínkách obvykle měří pomocí dynamometru, ale v tomto případě nebyl dynamometr použit. Složky síly proto budou vypočteny na základě vztahů uvedených níže. Dále byla zaznamenávána poloha v ose x (při vynesení v závislosti na čase udává informaci o rychlosti přísuvu obrobku – sklon směrnice). Výše uvedené monitorované veličiny – M_c , M_x , n_s , n_w a x – (resp. jejich časové průběhy) budou využity pro výpočty dalších veličin.

7.4.2 Příkon P

Příkon P motoru pohánějícího kotouč lze dle [5] vyjádřit podle vztahu

$$P = F_c \cdot v_s \quad (7.1)$$

kde F_c označuje tangenciální složku řezné síly a v_s obvodovou rychlost kotouče.

Dále, mezi tangenciální složkou F_c a momentem síly M_c roztáčejícím kotouč platí vztah

$$M_c = F_c \cdot R_s \quad (7.2)$$

kde R_s označuje poloměr kotouče.

Rychlost v_s můžeme vyjádřit jako

$$v_s = \omega \cdot R_s = 2\pi \cdot n_s \cdot R_s \quad (7.3)$$

Úpravou rovnic (7.1), (7.2) a (7.3) vyjádříme příkon ze znalosti dvou zaznamenaných veličin – M_c a n_s – jako

$$P = 2\pi \cdot M_c \cdot n_s \quad (7.4)$$

Poznámka: V odvození neuvažujeme ztráty příkonu motoru použité na vykonání práce třecích sil v ložiscích motoru, kotouče apod. Předpokládáme tedy, že veškerý příkon motoru se použije na práci třecích sil mezi kotoučem a obrobkem a na překonání sil krystalové mřížky obrobku při odběru materiálu (obecně sil vnitřní struktury materiálu). Přesnějšího výsledku by se dosáhlo při použití dynamometru pro měření tangenciální složky řezné síly, ze které by byl příkon dopočten dle vztahu (7.1).

7.4.3 Normálová síla F_{cN}

Pro odvození vztahu pro normálovou sílu využijeme zákona o zachování energie, neboť práce W_{cN} vykonaná normálovou silou působící mezi kotoučem a obrobkem se při zanedbání práce třecích sil rovná práci W_x vykonané motorem přísuvu ve směru osy x .

$$W_{cN} = W_x \quad (7.5)$$

Práci W_{cN} vyjádříme dle definice práce (viz např. [8]) jako součin normálové síly a dráhy

$$W_{cN} = F_{cN} \cdot \Delta x, \quad (7.6)$$

práci W_x vyjádříme jako součin

$$W_x = M_x \cdot \Delta\varphi, \quad (7.7)$$

kde M_x je moment síly při přísuvu a $\Delta\varphi$ úhel je otočení šroubu přísuvu obrobku.

Po dosazení vztahů (7.7) a (7.6) do rovnosti (7.5) získáváme

$$F_{cN} \cdot \Delta x = M_x \cdot \Delta\varphi \quad (7.8)$$

a F_{cN} vyjádříme jako

$$F_{cN} = M_x \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} \quad (7.9)$$

Poměr $\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}$ je pro konkrétní brusku konstantní, neboť představuje, o jakou dráhu Δx se posune obrobek ve směru osy x při otočení šroubu posuvu o úhel $\Delta\varphi$. Vztah pro výpočet F_{cN} lze tedy zapsat ve tvaru

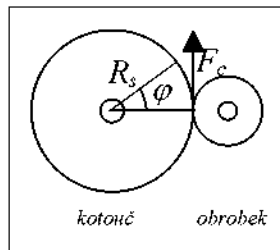
$$F_{cN} = M_x \cdot K, \quad (7.10)$$

kde K je konstanta příslušná dané brusce.

7.4.4 Tečná síla F_c

Známe-li z předchozích výpočtů příkon P motoru kotouče, vypočteme tečnou sílu F_c z obvodové rychlosti kotouče v_s a příkonu P dle vztahu (7.1) jako

$$F_c = \frac{P}{v_s}, \quad (7.11)$$



Obr. 7-3 Schéma k výpočtu tečné síly

Neznáme-li obvodovou rychlost v_s , vypočteme ji z průměru kotouče D_s a frekvence otáček n_s podle vztahu

$$v_s = \omega \cdot R_s = 2\pi \cdot n_s \cdot \frac{D_s}{2} = \pi \cdot n_s \cdot D_s. \quad (7.12)$$

Vzorec pro tečnou sílu F_c má po dosazení (7.12) do (7.11) tvar

$$F_c = \frac{P}{\pi \cdot n_s \cdot D_s} \quad (7.13)$$

Odvodili jsme zde vzorce pro výpočet příkonu P a normálové složky F_{cN} a tangenciální složky F_c síly F působící mezi kotoučem a obrobkem.

Dalšími parametry, které popisují nebo ovlivňují kvalitu broušicího procesu, jsou *poměr frekvence otáček q_n , poměr sil μ a specifická energie E_s* .

7.4.5 Poměr frekvence otáček q_n

Podle publikací G.J.Trmala, např. článku [2], a také podle Části I. této disertační práce závisí vlnitost povrchu obrobku (a tím také kvalita povrchu) na poměru otáček kotouče a obrobku během obrábění a především během vyjiskřování, kdy je povrch vytvářen. Z článku vyplývá, že nejlepších výsledků vlnitosti bude dosaženo, pokud je poměr frekvence otáček celé číslo během *obrábění* (tj. $n_s / n_w =$ např. 17, 18, 19, ...) a když během *vyjiskřování* tento poměr naopak není celočíselný (tj. $n_s / n_w =$ např. 17,3, 17,5). Proto je poměr frekvence otáček důležitým parametrem pro diagnostiku konkrétního obrobku. Poměr frekvence otáček vypočítáme podle vztahu

$$q_n = \frac{n_s}{n_w} \quad (7.14)$$

7.4.6 Poměr sil μ

Poměr sil je měřená veličina, která představuje součinitel broušení mezi kotoučem a obrobkem, a je odborníky na broušení považován za důležité kritérium pro hodnocení procesu broušení. Je definován jako podíl tangenciální složky F_c a normálové složky F_{cN} .

$$\mu = \frac{F_c}{F_{cN}} \quad (7.15)$$

7.4.7 Specifická energie e_c

Specifická energie (někdy také *měrná energie broušení*) je veličina, která charakterizuje kvalitu broušícího procesu pro daný kotouč a materiál obrobku. Specifická energie představuje množství energie potřebné k odběru 1 mm³ materiálu. Vypočteme ji podle vztahu:

$$e_c = \frac{P}{Z}, \quad (7.16)$$

kde P je příkon motoru kotouče a Z je *tok materiálu* během broušení. Místo Z se obvykle používá normovaná veličina, *specifický tok materiálu*, označovaná Z' , která je vztažením toku materiálu na 1 mm šířky b obrobku, tj.

$$Z = Z' \cdot b, \text{ resp. } Z' = \frac{Z}{b} \quad (7.17)$$

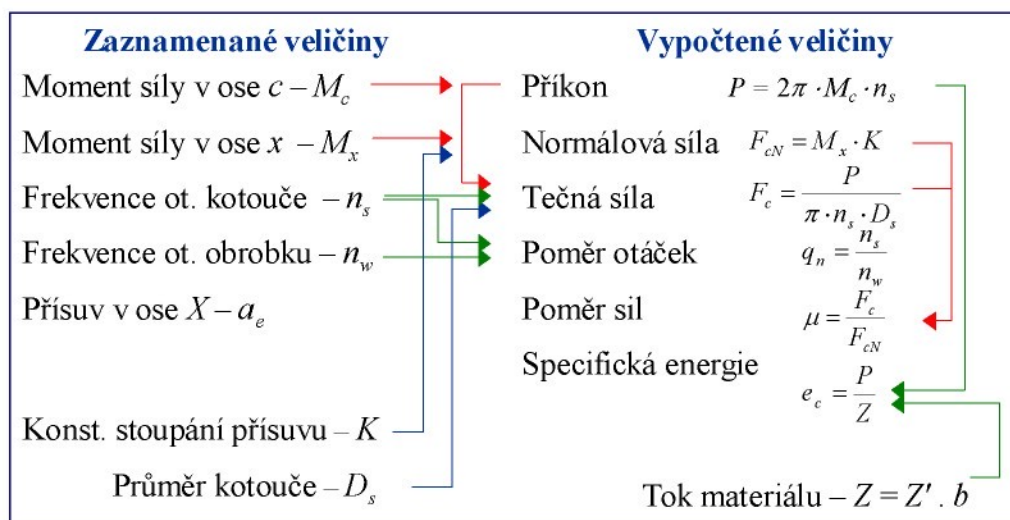
Vzorec pro výpočet specifické energie pak má tvar

$$e_c = \frac{P}{Z' \cdot b} \quad (7.18)$$

Konkrétní hodnota Z' je různá pro různé kombinace materiálů kotouče a obrobku, stejně tak šířka obrobku b se v různých cyklech může lišit, a tak jsou obě veličiny proměnné a je nutné je před výpočtem zjistit od obsluhy brusky.

7.4.8 Závěr

Z veličin zaznamenaných během broušení – momentu síly M_c v ose c , momentu síly M_x v ose x , frekvence otáček kotouče n_s , frekvence otáček obrobku n_w a polohy přísuvu x – lze na základě výše uvedených vztahů a s ohledem na v textu popsání zjednodušení vypočítat následující veličiny procesu broušení (resp. jejich časové průběhy): příkon P , normálovou sílu F_{cN} , tečnou sílu F_c , poměr frekvence otáček q_n , poměr sil μ , specifickou energii e_c . Jednotlivé vztahy shrnuje Obr. 7-4.



Obr. 7-4 Přehled vztahů mezi zaznamenanými veličinami

7.5 Aplikace pro automatické generování grafických protokolů

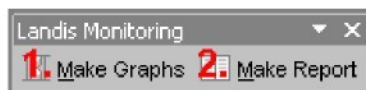
Pro automatizované zpracování dat z broušicích testů byly vytvořeny dva programové kódy (tzv. *makra*) v jazyce Visual Basic for Applications, který je součástí programu MS Excel. Jejich úkolem je:

1. Zpracovat vybrané naměřené veličiny, provést výpočty dle zjištěných vztahů a vytvořit grafy časových závislostí vybraných veličin
2. Z grafů sestavit grafický protokol v MS Word

Jazyk Visual Basic for Applications byl vybrán proto, že úzce spolupracuje s aplikací MS Excel, který je vhodný ke zpracování tabulkových dat. S tím souvisí i volba aplikace MS Word jako prostředí pro tvorbu protokolu – jednoduše proto, aby bylo vše řešeno uvnitř balíku MS Office, který je v průmyslových podnicích běžnou součástí vybavení PC.

7.5.1 Makro č. 1 – Generování grafů

První makro automaticky zpracuje vybraná data do grafů časových závislostí těchto veličin: *frekvence otáčení kotouče n_s , frekvence otáčení obrobku n_w a poloha v ose X – a_e* – (tj. poloha přísuvu) a dále grafy časové závislosti vypočtených veličin: *příkon P , normálová síla F_{cN} , poměr frekvence otáček q_n , tangenciální síla F_c , poměr sil μ a specifická energie e_c* .

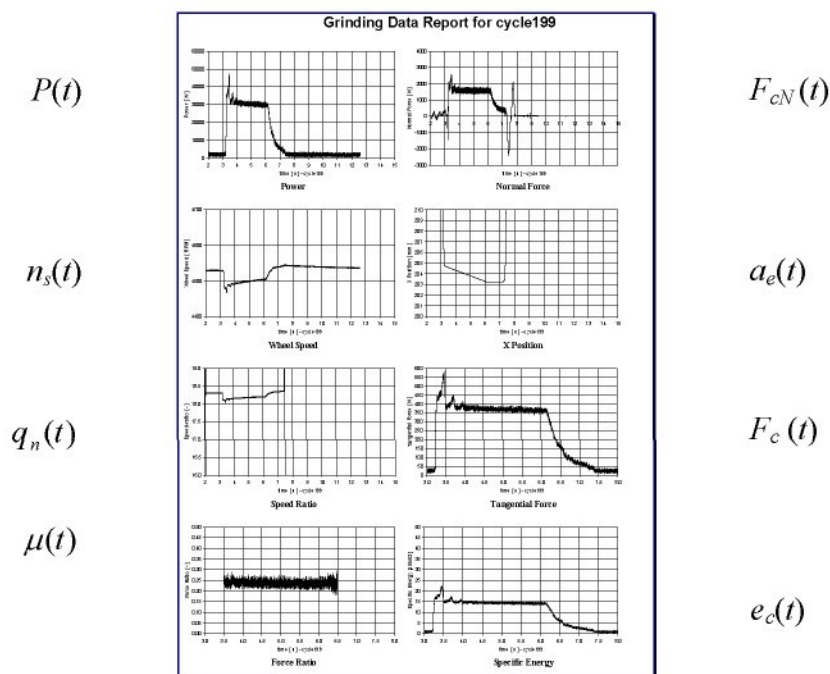


Obr. 7-5 Panel nástrojů pro spouštění maker v jazyce Visual Basic

7.5.2 Makro č. 2 – Generování protokolů z grafů

Druhé makro z vygenerovaných grafů sestaví v programu MS Word grafický protokol. Komunikace mezi MS Excel a MS Word je programována v jazyce Visual Basic – makro v MS Excel ovládá pohyb kurzoru v dokumentu MS Word, vkládání grafů, jejich formátování atd.

Umístění grafů závislosti vybraných veličin na čase na jednu stranu formátu A4 umožňuje porovnat získané hodnoty popisující vybraný cyklus broušení, a to pro každý test zvlášť na samostatném listu. Informace a souvislosti skryté v tisících řádků v MS Excel pro různé veličiny tak mohou být nalezeny při pohledu na jednostránkový protokol (Obr. 7-6).



Obr. 7-6 Příklad grafického protokolu pro jeden obráběcí cyklus (formát A4 – viz příloha č. 10)

Na vývoji maker autor spolupracoval se Z. Zárubou z UWE Bristol, který vyvinul část makra č.1 – zpracování dat a generování grafů cca 2/3 veličin. Autor práce dokončil zpracování dat zbylých veličin, generování jejich grafů a vyvinul celé makro č.2 – generování protokolů.

7.5.3 Uživatelská příručka

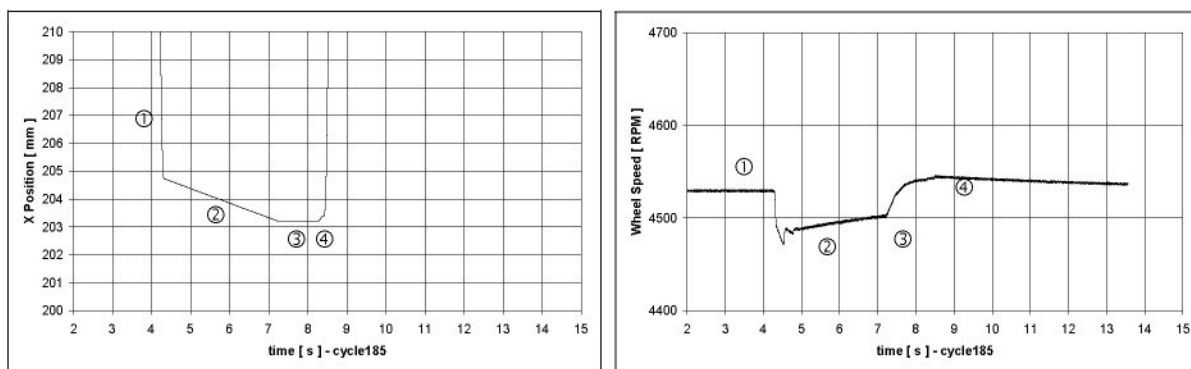
Pro automatizované zpracování dat monitorovaných při broušení na kulato jsem sestavil uživatelskou příručku s návodem, jak postupovat při zpracování dat s využitím maker v jazyce Visual Basic. Příručka je uvedena v Příloze č. 12).

7.6 Příklady informací nalezených v protokolech z brousicích cyklů

V této kapitole uvádím tři příklady, jaké informace byly nalezeny v protokolech z broušení. Protokoly zmiňované v této kapitole jsou uvedeny v Příloze č. 11) – Pracovní podmínky během obráběcích testů na CNC brusce firmy Landis.

7.6.1 Kotouč zasáhl obrobek před ukončením rychloposuvu

K rozboru brousicího cyklu č.185, ve kterém se popisovaný jev objevil, použijeme graf polohy v ose X na Obr. 7-7a, který ukazuje průběh přísuvu během broušení.



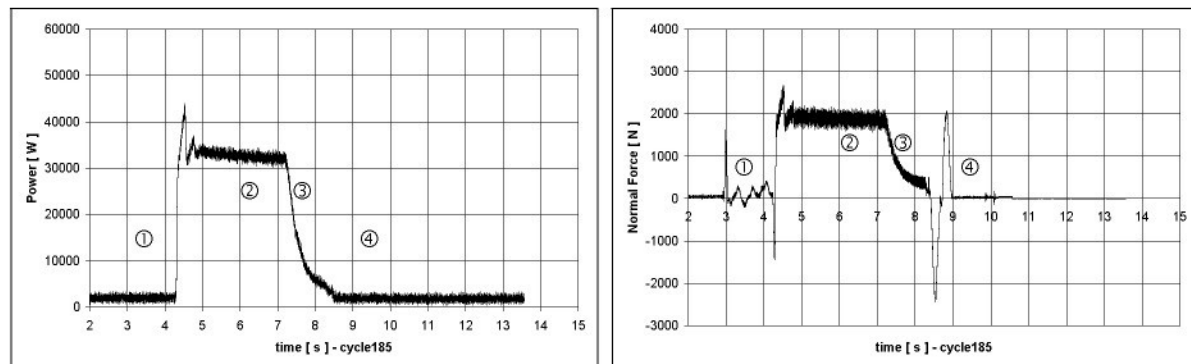
a) Poloha obrobku $a_x(t)$

b) Frekvence otáček kotouče $n_s(t)$

Obr. 7-7 Grafy polohy obrobku v ose X a frekvence otáček kotouče v cyklu č.185

Fáze	Časový interval	Popis fáze
①	2s – 4,3s	rychloupřisuv
②	4,3s – 7,2s	pomalý posuv a broušení
③	7,2s – 8,3s	vyjiskřování
④	8,3s -	rychloupřisuv zpět

Porovnáme-li tyto časy s průběhy příkonu a normálové síly (Obr. 7-8a, b), ukazují velký nárůst příkonu P a normálové síly F_{cN} v čase 4,3s. Důvodem pro toto chování je kotouč, který zasáhl obrobek ještě před ukončením rychloposuvu obrobku. Výrazný pokles otáček kotouče na začátku broušení je také zaznamenán v grafu frekvence otáček kotouče (Obr. 7-7b).



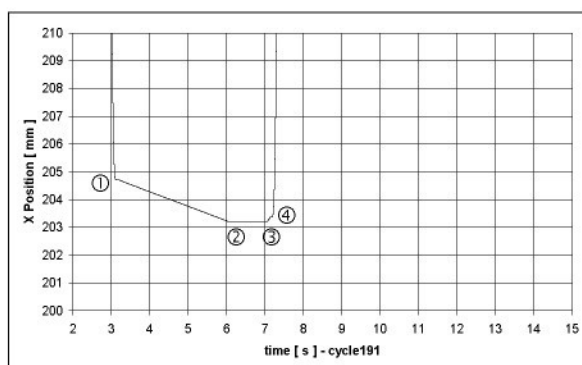
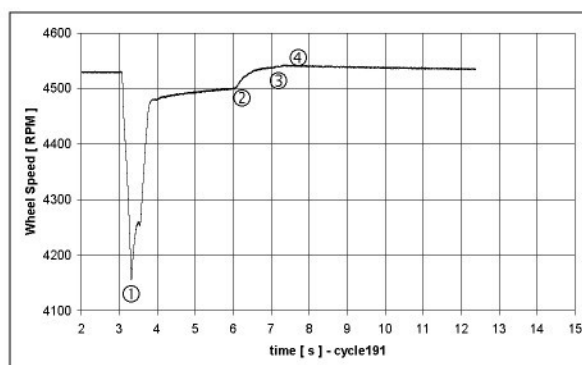
a) Příkon $P(t)$

b) Normálová síla $F_{cN}(t)$

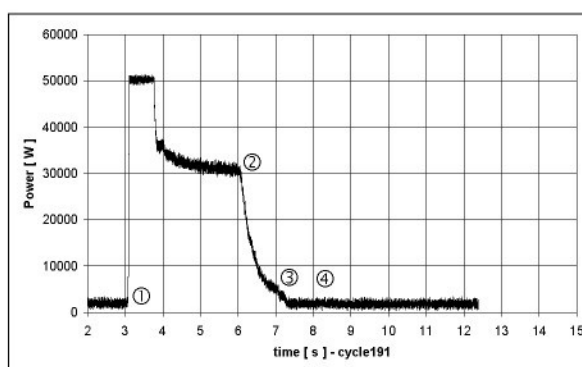
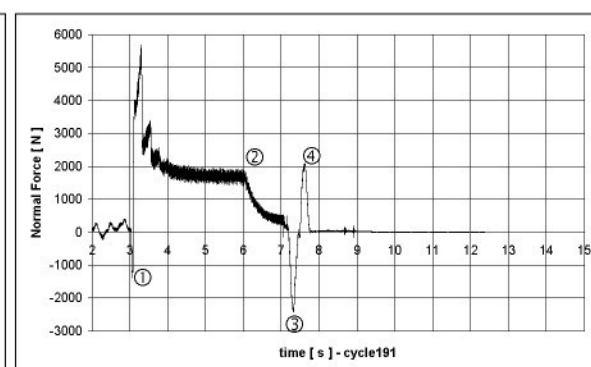
Obr. 7-8 Grafy příkonu a normálové síly v cyklu č.185

Velmi výrazný nárůst příkonu a normálové síly při startu broušení byl zaznamenán také pro cyklus č.191. Jak ukazuje Obr. 7-10b, normálová síla vzrostla až k hodnotě 5500 N ve srovnání s hodnotami pohybujícími se okolo 1500 - 2000 N během další fáze broušení, opět z důvodu pozdního ukončení rychloposuvu a okamžitého startu broušení.

Fáze	Časový interval	Popis fáze
①	3s – 3,1s	rychloposuv
②	3,1s – 6,0s	pomalý posuv a broušení
③	6,0s – 7,1s	vyjiskřování
④	7,1s -	rychloposuv zpět

a) Poloha obrobku $a_e(t)$ v ose X b) Frekvence otáček kotouče $n_s(t)$

Obr. 7-9 Graf polohy obrobku frekvence otáček kotouče v cyklu č.191

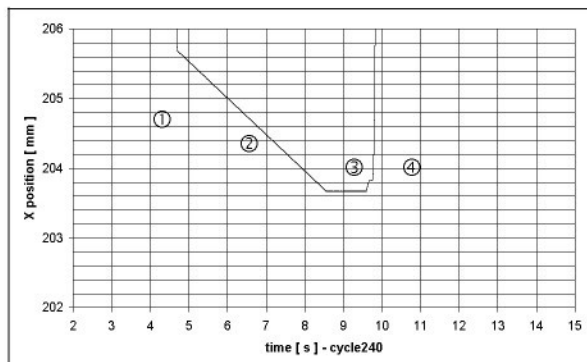
a) Příkon $P(t)$ b) Normálová síla $F_{cN}(t)$

Obr. 7-10 Grafy příkonu a normálové síly v cyklu č.191

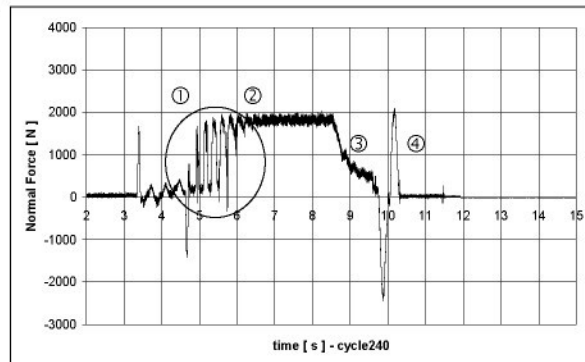
Obdobně se objevil start broušení před ukončením rychloposuvu v cyklu č.197 (viz Příloha č. 10) s grafickým protokolem broušícího cyklu č.197).

7.6.2 Excentrický obrobek

Pro zjištění pohybu obrobku použijeme opět graf *polohy v ose X* – $a_e = f(t)$ (Obr. 7-11a).



a) Poloha obrobku $a_e(t)$ v ose X



b) Frekvence otáček kotouče $n_s(t)$

Obr. 7-11 Grafy polohy obrobku a normálové síly v cyklu č.240

Fáze	Časový interval	Popis fáze
①	3,3s - 4,7s	rychloposuv
②	4,7s - 8,6s	broušení
③	8,6s - 9,6s	vyjiskřování
④	9,6s -	nečinný příkon

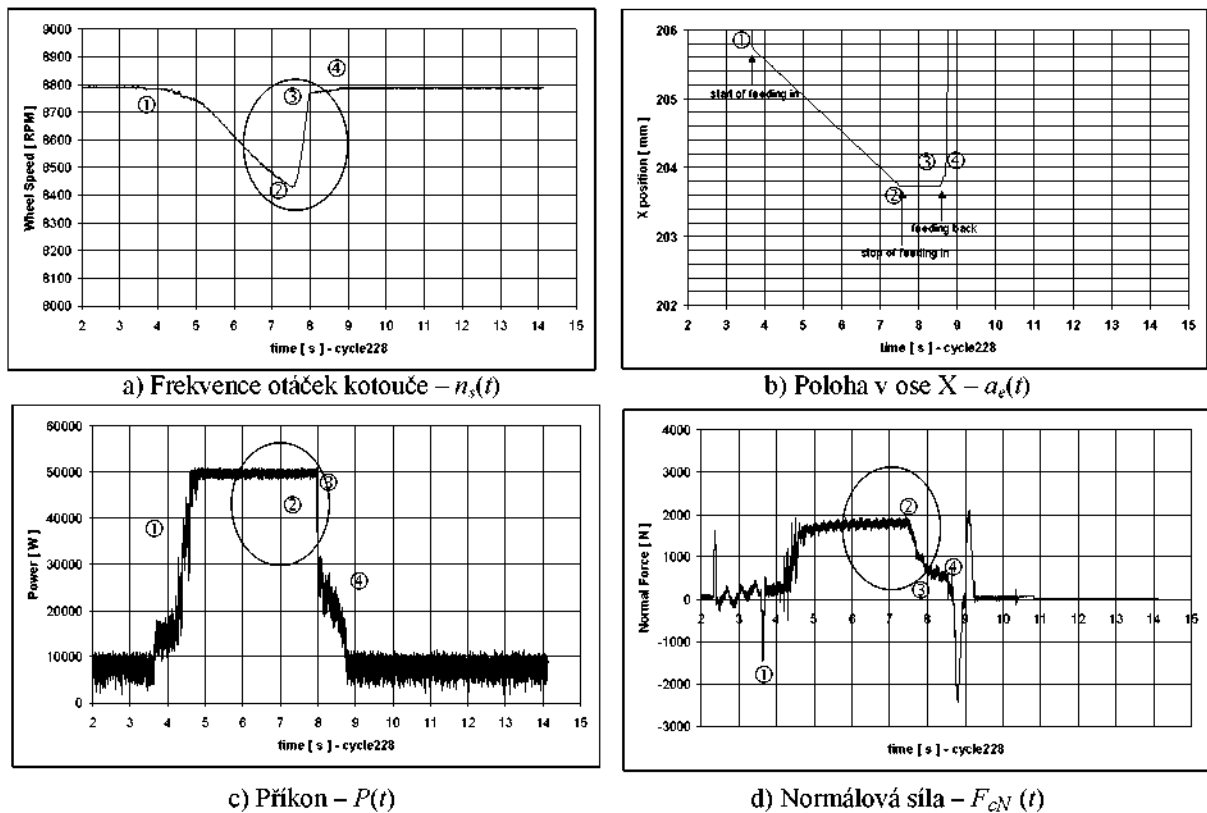
Graf normálové síly na Obr. 7-11a ukazuje oscilace s frekvencí přibližně 4,5 Hz zaznamenané po začátku broušení. Co bylo příčinou těchto oscilací? Víme-li, že frekvence otáček obrobku byla 266 min^{-1} , to v přepočtu odpovídá 4,43 Hz, poznáváme, že oscilace byla pravděpodobně způsobena excentrickým obrobkem.

7.6.3 Pokles příkonu a normálové síly při vyjiskřování

7.6.3.1 Popis jevu

Zajímavý jev byl objeven během analýzy sady brousicích testů, kdy bylo dosahováno nejvyšších otáček kotouče ze všech provedených měření – přibližně 8780 min^{-1} (viz cykly č.220-228, Příloha č. 11). Graf *frekvence otáček kotouče* na Obr. 7-12a ukazuje značný pokles otáček během broušení – z 8780 min^{-1} na 8430 min^{-1} – tj. o 4%, který je pravděpodobně způsoben nadměrným zatížením stroje. Dále, grafy *příkonu* a *normálové síly* (Obr. 7-12c, d) ukazují pokles v různých časových okamžicích, přestože obvykle hodnoty obou veličin klesají okamžitě po zastavení přísuvu – viz graf *polohy v ose X* na Obr. 7-12b.

Fáze	Časový interval	Popis fáze
①	2,4 - 3,7s	rychloposuv
②	3,7s - 7,5s	broušení
③	7,5s - 8,6s	vyjiskřování
④	8,6s -	nečinný příkon



Obr. 7-12 Pokles příkonu a normálové síly při vyjiskřování v různých časových okamžicích

Podrobný pohled na grafy na Obr. 7-12 ukazuje, že F_{CN} klesá ihned po skončení přísuvu, tj. od okamžiku $t = 7,5$ s, nicméně příkon $P(t)$ začíná klesat až v čase $t = 8$ s. Podíváme-li se na graf frekvence otáček kotouče $n_s(t)$ (Obr. 7-12a), začala frekvence otáček klesat v čase $t = 3,7$ s (①), který odpovídá začátku broušení, až do času $t = 7,5$ s (②), kdy opět rostla. Další významná změna frekvence otáček kotouče nastala v čase $t = 8$ s (③) a v čase 8,6 s (④). Graf polohy v čase X ukazuje, že tyto okamžiky korespondují se začátkem pomalého přísuvu (①), zastavením přísuvu (②), dosažením frekvence otáček na začátku broušení (③) a odtažením obrobku (④). Z popsaného chování můžeme sestavit pravděpodobný průběh broušícího cyklu:

Čas	Akce
3,7s - 7,5s	broušení
7,5s -8,6s	zastavení přísuvu, vyjiskřování
8s	dosažení původní frekvence otáček kotouče
8,6s	odtažení obrobku

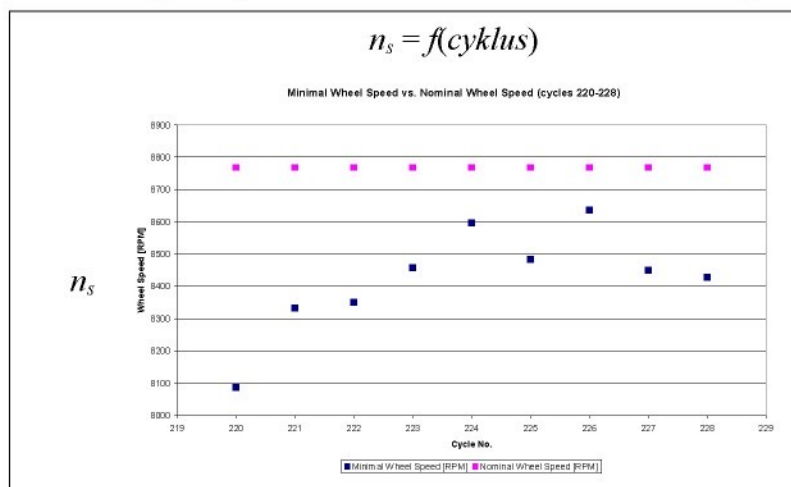
Z výše uvedeného popisu se lze domnívat, že za daných specifických pracovních podmínek – nejvyšší frekvence otáček kotouče během testů – nebyl pohon kotouče schopen dosáhnout požadavku řídicího systému stroje na předepsanou frekvenci otáček, a frekvence otáček se tak postupně snižovala. Předpokládám přitom, že v obráběcím stroji je řídicí systém, který se snaží udržet frekvenci otáček kotouče na hodnotě požadované operátorem nebo nastavené v programu. Proto, zastavil-li operátor (nebo CNC program) pomalý přísuv, snížila

se zátěž kotouče a řídicí systém se mohl pokusit o dosažení požadované hodnoty frekvence otáček kotouče (8780 min^{-1}). Znamená to, že energie odpovídající udržení hodnoty maximálního příkonu po dobu 0,5 s byla použita na zrychlení kotouče, a příkon proto nepoklesl v čase $t = 7,5 \text{ s}$, ale až $t = 8 \text{ s}$, kdy už frekvence otáček kotouče téměř odpovídala hodnotě požadované řídicím systémem.

7.6.3.2 Porovnání s dalšími cykly broušení za obdobných podmínek

Minimální frekvence otáček kotouče ve vztahu k požadované, nominální frekvenci otáček kotouče pro cykly č.220-228 (cykly s nejvyššími frekvencemi otáček kotouče) byly vyneseny do grafu na Obr. 7-13, nicméně žádná závislost mezi pořadím cyklu a minimální frekvencí otáček kotouče nebyla nalezena. Nejméně se popisovaný jev projevil u cyklu č.228 (pokles 4%), nejvíce u cyklu č.220 (pokles 8%).

Je zřejmé, že při obdobných výkyvech frekvencí otáček kotouče během broušení i během vyjiskřování v řádu několika procent dochází i ke změně poměru otáček. To má pak vliv na výslednou vlnitost obrobku, jak bylo zmiňováno v Části I. této disertační práce.



Obr. 7-13 Minimální frekvence otáček kotouče vs. nominální frekvence otáček kotouče (cykly č.220-228)

7.6.3.3 Závěr

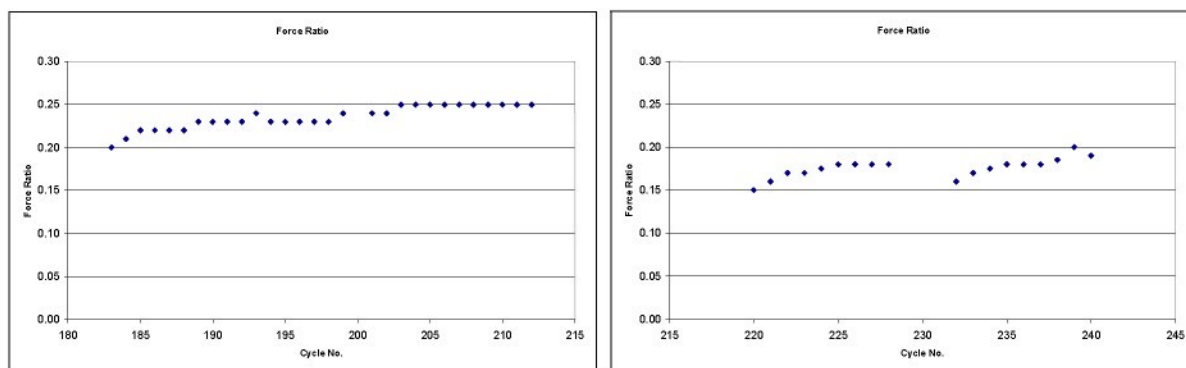
Z výše uvedeného popisu se domnívám, že za daných pracovních podmínek – nejvyšší frekvence otáček kotouče v celém souboru testů (cykly č.220-228, Příloha č. 11) – je důvodem k tomuto chování fakt, že řídicí systém stroje nebyl schopen splnit požadavek operátora, a tak došlo ke snížení frekvence otáček. Ve stroji je řídicí systém, který se snaží udržet frekvenci otáček kotouče na nastavené hodnotě, je-li to možné. Proto jakmile operátor (nebo program v CNC stroji) zastavil přísuv, řídicí systém obráběcího centra se pokusil zvýšit frekvenci otáček, a dosáhnout tak hodnoty 8768 min^{-1} , jak bylo původně požadováno. Podařilo se mu to během 0,5 s, a po startu odsunu obrobku tak dosáhl nominální hodnoty frekvence otáček.

7.6.4 Poměr sil v celém souboru testů

Data zpracovaná pomocí maker lze použít také k hledání souvislostí mezi jednotlivými brousicími cykly nebo k vytváření souhrnných grafů – například při sledování kvality

broušení během celé sady broušicích cyklů. Jedním z parametrů udávajících kvalitu broušení udává poměr sil μ .

Jak bylo uvedeno výše, poměr sil je definován vztahem $\mu = F_c / F_{cN}$ a označen jako součinitel broušení. Pro výpočty poměrů sil v broušicích cyklech č. 183-240 byly použity hodnoty sil $F_{cN}(t)$ a $F_c(t)$ vypočtené pomocí výše popsaného makra v MS Excel. Grafy na Obr. 7-14 ukazují, že v cyklech č.183-212 zůstával poměr sil v rozsahu 0,20 – 0,25, pro cykly č.220-228 a č.232-240 se poměr sil pohyboval v rozsahu 0,15 – 0,20. To odpovídá dle osobních rozhovorů s dr. G.J. Trmalem z UWE Bristol broušení ostrým kotoučem.



Obr. 7-14a) Poměr sil v cyklech č.183-212

b) Poměr sil v cyklech č.220-240

7.7 Shrnutí

Lze konstatovat, že:

- S využitím literatury a s výše uvedenými omezeními byl proveden fyzikální rozbor procesu broušení na kulato a byly nalezeny vztahy mezi zaznamenanými veličinami broušení.
- Na základě těchto vztahů bylo v prostředí MS Excel vytvořeno makro pro automatizované zpracování naměřených veličin a výpočet dalších veličin a pro automatizované vynesení veličin do grafů časové závislosti. Dále bylo vytvořeno druhé makro pro automatizovanou tvorbu grafického protokolu formátu A4 z jednoho broušicího cyklu v prostředí MS Word.

Vyhodnocení dat získaných z monitorování stroje firmy Landis Lund a zpracovaných nově vyvinutou metodou ukázalo, že:

- Monitorování procesu broušení odhaluje informace, které nemusí být viděny ani pociťovány operátorem (např. excentricky uchycený obrobek)
- Monitorování procesu broušení poskytuje po zpracování dat souhrnné informace o celé sadě broušicích cyklů, a může tak odhalit tendence nalezitelné pouze při porovnání několika po sobě následujících cyklů
- Zpracování dat z broušicích cyklů a generování grafických protokolů makry v jazyce Visual Basic for Applications je rychlé a pro všechny cykly jednotné.

Cílů formulovaných v kapitole 7.3 pro Část II. této práce bylo dosaženo.

ZÁVĚR

Část I.: Snížování amplitudy vlnitosti obrobku řízením poměru otáček kotouče a obrobku

Cílem Části I. této práce bylo zaměřit se na řízení poměru otáček kotouče a obrobku při broušení na kulato s cílem minimalizovat amplitudu vlnitosti obrobku. Autor práce spolupracoval na vytvoření laboratorního pracoviště na UWE Bristol, pravděpodobně prvního na světě, na kterém lze řídit otáčky kotouče a obrobku brusky na kulato tak, aby byla zachována synchronizace otáček během broušení a příp. i vyjiskřování, a obrobek tak byl obráběn za vhodných podmínek pro co nejnižší amplitudu vlnitosti povrchu obrobku, která je jednou z geometrických měřítek kvality povrchu.

Dále autor vytvořil počítačový program, který simuluje broušení na kulato a vznik vlnitosti obrobku při různých vstupních parametrech broušení. Výsledky simulací v programu jsou v souladu s laboratorními měřeními na brusce na UWE Bristol co se týká počtu vln generovaných na povrchu obrobku, ale nedosahují shody v číselném vyjádření velikosti chyby kruhovitosti u naměřených a simulovaných hodnot. Zde se projevuje nedokonalost jednoduchého kinematického modelu v simulačním programu, který nezahrnuje dynamické vlastnosti soustavy bruska–kotouč–obrobek při broušení na kulato.

Za účelem provedení experimentu s případným budoucím využitím ve výzkumu byla pod vedením autora práce v laboratoři Katedry obrábění a montáže na TU Liberec upravena bruska na kulato, na které je nyní možné řídit poměr frekvence otáček kotouče a obrobku pomocí průmyslového PLC automatu, který byl pro tento účel zakoupen od firmy AMiT za prostředky z výzkumného záměru MSM 4674788501 podporovaného MŠMT ČR. Získané výsledky z experimentu potvrzují shodu s výsledky naměřenými na UWE Bristol. Přestože byl experiment předčasně ukončen kvůli poruše na brusce, realizovaná měření přinesla zkušenosti pro možný budoucí výzkum v této oblasti a zároveň ukazují na slabá místa v konkrétní aplikaci, kterými jsou přenosy pohonů pomocí řemenů a nižší spolehlivost 36 let staré brusky na kulato. Použití průmyslového PLC automatu pro řízení se ukázalo být vyhovující. Pro účely výzkumu je jedinou výhradou k použitému PLC příliš hrubá perioda archivace hodnot - 1s. Na druhou stranu přínosem pro snazší vývoj aplikace bylo vývojové prostředí v češtině a výborná spolupráce s pracovníky firmy AMiT v Brně. Měření povrchu nabroušených vzorků byla provedena v laboratoři Fakulty výrobních technologií a managementu Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

Část II. – Automatizované zpracování veličin monitorovaných při broušení na kulato

Cílem Části II. této práce bylo zaměřit se na automatizované zpracování dat z broušení na kulato na CNC brusce. Byla provedena fyzikální analýza broušení na kulato, nalezeny vztahy mezi veličinami zaznamenanými během broušení na CNC brusce a byla vypracována makra v jazyce Visual Basic for Applications, která ze zaznamenaných veličin na základě fyzikálních vztahů při broušení na kulato vypočítávají další veličiny, sestaví z nich grafy časové závislosti a z vybraných grafů vytvoří v programu MS Word jednostránkový grafický

protokol z broušení. Při vyhodnocování dat z měření byly použity moment síly pohonu kotouče pro měření příkonu a moment síly pohonu přisuvu obrobku pro měření normálové složky síly působící mezi kotoučem a obrobkem.

LITERATURA

Použitá literatura:

- [1] CSN ISO 3002-5. *Základné veličiny pri rezaní a brúsení*. Praha : Český normalizační institut, 1993. 32 s.
- [2] Trmal, G.J., Holesovsky, F., Wave-shift and its effect on surface quality in super-abrasive grinding, In: *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41 (2001), pp. 979-989
- [3] Kruszyński, B.W., Lajmert, P., An Intelligent Supervision System for Cylindrical Traverse Grinding, *Annals of CIRP*, 54/1 (2005), p. 305
- [4] Terry, A.J., Brown, C.A., A comparison of topographic characterization parameters in grinding authors, *Annals of CIRP*, 46/1 (1997), p. 497
- [5] Maslov, J.N., *Teorie broušení kovů*, SNTL Praha, 1979
- [6] Náprstková, N., *Charakteristické veličiny procesu broušení a možnosti jejich monitorování*, Doktorandský seminář Automatizácia a počítačová podpora predvýrobných etáp, výrobných a technologických procesov, Žilina- Sušov, 24.3.2003. str. 59-69
- [7] Vytlačil, M., Veverka, J., *Technologie automatizovaných výrob*, VŠST Liberec, Fakulta strojní, 1990
- [8] Urgošik, B., *Fyzika*, SNTL Praha, 1987
- [9] Kolektiv autorů, *Terminologie obrábění a montáže*, UJEP Ústí nad Labem, ÚTRV, 2004
- [10] Malkin, S., *Grinding Technology*, Ellis Horwood Limited, 1989
- [11] Kolektiv autorů, *PSP3 – Obsluha programu a PSP3 – Knihovna funkčních modulů, programátorská příručka*, AMiT spol. s r.o., 2006, dostupné na www.amit.cz
- [12] Microsoft Visual Basic Help in Microsoft Office 2000 Professional Package, Microsoft, 1999

Další použité zdroje:

- [13] Davies, T., Trmal, G. J., *Measurement of the wheel run-out at Landis Lund*, CoWaShi project, UWE Bristol, 1991
- [14] Osobní rozhovory s: Dr. George J. Trmal, Dr. John Lanham, Zdeněk Záruba, Derek Locke – UWE Bristol, Doc. Jan Jersák, CSc. – TU Liberec
- [15] Seminář „General Grinding principles Training Programme“ pořádaný IGT@UWE (Institute of Grinding Technology) – Institutem brousících technologií při UWE Bristol, 25 – 27. 5. 2004, UWE Bristol
- [16] Institute of Grinding Technology (IGT@UWE), *Proceedings from the Advances in Grinding Technology Annual Seminar*, UWE Bristol, 18. 5. 2004

Související literatura:

- [17] Kaliszer, H., Trmal, G., Force vibration during plunge grinding and its effect on surface topography, new developments in grinding, in: *Proceedings of the International Grinding Conference*, Pittsburgh, PA, 1972, pp. 708-733
- [18] Kaliszer, H., Singhal, P.D., Contribution to the analysis of waviness generated during grinding, *Annals of CIRP* 150 (1967), pp. 245

- [19] Kaliszer, H., Trmal, G., Apparent run-out of the grinding wheel periphery and its effect on surface topography, in: *Proceedings of the 13th International MTDR Conference*, 1972, pp. 297-302
- [20] Pearce, T. R. A., Fricker, D. C., The Effect of Wheel Run-out and Waveshift on Regenerative Chatter, In: *The Seventh International Symposium on Advances in Abrasive Technology*, 17-19 June 2004, Bursa, Turkey

Internetové odkazy:

- [21] Obrázek přístroje TalyRond 200 na straně 17 byl použit z www stránky
www.emigage.com/CPO_Talyrond200.htm
- [22] Popis projektu CoWaShi – www.uwe.ac.uk/cems/research/centres/amrc/igt/project-cowashi.html

PUBLIKACE AUTORA

- [1] Stianko, M.: OPC - nový standard informační technologie. In: *Sborník referátů z konference AUTOS 2000*, Praha, TERIS 2002, a.s., červen 2000, s. 99-103, ISSN 1212-5709.
- [2] Stianko, M.: OPC - nový standard informační technologie. Automa, 2000, roč. 6, č.6, s. 3-5 (on-line verze na <http://www.odbornecasopisy.cz/automa/2000/au060003.htm>)
- [3] Stianko, M.: *Nové specifikace od OPC Foundation*. Automa, 2000, roč. 6, č.8, s. 11 (on-line verze na <http://www.odbornecasopisy.cz/automa/2000/au080011.htm>)
- [4] Stianko, M.: *Novinka v průmyslové automatizaci - standard OPC*. Automatizace, roč. 43 (2000), č. 10, s. 714 - 715. (on-line verze: Švédsky (fa Germatech): http://www.germatech.se/opc_artikel.htm
Rusky: http://www.merz-scada.ru/www/Russian/articles/about_opc.htm)
- [5] Stianko, M.: *OPC server podle specifikace Data Access 1.0 a 2.0 - technický popis*. Automatizace, roč. 43 (2000), č. 11, s. 773. (on-line verze: Rusky: http://www.merz-scada.ru/www/Russian/articles/opc_da.htm)
- [6] Stianko, M.: Using of Internet Technologies in the Merz Company. In: *E-commerce: šance pro malé a střední firmy na nových trzích (Electronic commerce: Chancen für die kleinen und mittleren Unternehmen in neuen Märkten, Commerce électronique: les chances des Petites et Moyennes Entreprises sur les nouveaux marchés)*, Thüringer Staatskanzlei, Erfurt und Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, München, 2001, s. 339, ISBN 3-932081-47-1 – sborník z konference o E-commerce, Hof, SRN, 2.-3.7. 2000.
- [7] Stianko, M.: Sběr technologických dat s využitím standardu OPC. In: *Sborník z konference AUTOS 2001 – Automatizované systémy*, duben 2001, Praha, TERIS 2002, a.s., ČVUT Praha FEL, ZPČ Universita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, VŠB TU Ostrava, VUT v Brně a časopis AUTOMA, s. 291-295, ISSN 1212-5709.
- [8] Stianko, M., Machek, R.: *Technologický informační systém pro papírny ve Štětí*, Automatizace, roč. 44 (2001), č. 3, s. 188-190
- [9] Burras, S. R.J., Stianko, M., Dvorak, V.: *SCADA HMI system, ASPIC for Multiple Platforms (incl LINUX)*, přednáška v rámci 5. rámcového programu Evropské komise na setkání členů a partnerů klubu TCCL (The Advanced Technology Awareness Club), Londýn, září 2001.
- [10] Stianko, M.: *OPC server pro komunikaci s automaty SAIA®PCD*, Automatizace, 45 (2002), č. 4, s. 254-255
- [11] Stianko, M.: OPC v průmyslové komunikaci - In: *Sborník z konference Principia Cybernetica '03*, TU Liberec, 2003, 6 stran
- [12] Stianko, M., Peterka, J.: *OPC v průmyslové komunikaci*. Automa, 2004, roč. 10, č. 6, s. 40-42 (on-line verze na <http://www.odbornecasopisy.cz/automa/2004/au060440.htm>)
- [13] Stianko, M.: *Automated Monitoring And Diagnostic System For Machining Processes*, Závěrečná zpráva z projektu (MEng. Project), University of the West of England, Bristol, Velká Británie, září 2004

- [14] Stianko, M.: Monitorování a diagnostika broušení - In: *Sborník z konference Automatizácia a informatizácia strojov a procesov AI 2004* (Mezinárodní konference kateder automatizace a kybernetiky technických vysokých škol a univerzit ČR a SR), 6.- 8. září 2004, Bratislava, Slovensko, ISBN 80-227-2106-9, s. 015-1..015-8
- [15] Stianko, M., Trmal, G.J., Zaruba, Z.: Automated Processing of Data Monitored During Grinding, In. *Proceedings of the 15th International Conference on Process Control '05*, Strbske Pleso, Slovakia, June 7-10, 2005. ISBN 80-227-2235-9, s. 043-1..043-8
- [16] Stianko, M., Trmal, G.J., Záruba, Z.: Snižování vlnitosti obrobku při broušení pomocí řízení poměru rychlosti kotouče a obrobku, In. *Sborník příspěvků z konference Principia Cybernetica 2005*, Konference kateder automatizace a kybernetiky technických vysokých škol a univerzit ČR a SR, 7.-9. září 2005, Ostrava, Česká republika. ISBN 80-248-0773-4, s. 191-198 (přednáška)
- [17] Stianko, M., Trmal, G. J., Zaruba, Z.: Workpiece angular speed control for minimisation of surface waviness in cylindrical grinding, In. *Sborník z XV. mezinárodního vědeckého sympozia TU Liberec - TU Dresden* (XV. Internationales Wissenschaftliches Symposium TU Liberec - TU Dresden, XV. International Science Symposium TU Liberec - TU Dresden), 13. – 15.9.2005, Liberec, Czech Republic. ISBN 80-7083-975-9, s. 56-62, 7 stran (přednáška)
- [18] Stianko, M., Pittnerova, R., Genserova, J., Kurkova, M., Rydvalova, P., Lizbetinova, J.: *Regional Innovation Profile of the North-East Bohemia*, Regional Contact Point Liberec, Regional Contact Point Pardubice, November 2005. ISBN 80-239-6496-8 (on-line verze na <http://www.vuts.cz/innoprofile/>)
- [19] Stianko, M., Blažek, J.: Minimising waviness of the workpiece using PLC, In. *Proceedings of the 7th International Scientific - Technical Conference - PROCESS CONTROL 2006*, June 13-16, 2006, Kouty nad Desnou, Czech Republic. ISBN 80-7194-860-8, 4 strany (CD-ROM)
- [20] Stianko, M.: Simulace broušení na kulato a vzniku vlnitosti povrchu obrobku, In. *Sborník příspěvků z konference Principia Cybernetica 2006*, Konference kateder automatizace a kybernetiky technických vysokých škol a univerzit ČR a SR, 6.-8. září 2006, Zlín, Česká republika. ISBN 80-7318-460-5, 11 stran (CD-ROM)
- [21] Stianko, M. Trmal, G.J., Záruba, Z.: *Automatizované zpracování dat z obrábění*. Strojírenská technologie, 2006, roč. 11, č. 2, s. 10–15. ISSN 1211-4162
- [22] Stianko, M.: *Prostorové dojmy z rovinných obrazců*. Rozhledy matematicko-fyzikální, 2006, roč. 81, č. 2, s. 47–50. ISSN 0035-9343

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Broušení na kulato	4
Obr. 2-1 Vliv házivosti orovnávacího kotouče na brousící kotouč a následně na obrobek	9
Obr. 2-2 Vliv fázového posuvu kotouče a obrobku na povrch obrobku	10
Obr. 3-1 Harmonické spektrum nevyváženého kotouče	14
Obr. 3-2 Schéma rozmístění závaží na kotouči	15
Obr. 3-3 Harmonické spektrum vyváženého kotouče	15
Obr. 3-4 Bruska Jones & Shipman 1050 Obr. 3-5 Obrazovka monitorovací stanice	16
Obr. 3-6 Přístroj TalyRond 200 firmy Taylor-Hobson pro měření povrchu obrobků	17
Obr. 3-7 Diagram vlnitosti obrobku a profil vypočtený z harmonických složek v programu ERond	18
Obr. 3-8 Harmonické spektrum signálu jedné otočky povrchu obrobku v programu ERond	19
Obr. 3-9 Harmonické složky povrchu obrobku pro $q_{n_v} = 17$ a $q_{n_v} = 17,5$	19
Obr. 3-10 Harmonické složky vlnitosti povrchu obrobků	22
Obr. 3-11 Panely nástrojů pro spouštění maker v jazyce Visual Basic	23
Obr. 4-1 Vznik vlnitosti obrobku při celočíselném a neceločíselném poměru otáček	25
Obr. 4-2 Obrazovka simulačního programu v 1. části – Průběh broušení	26
Obr. 4-3 Obrazovka simulačního programu ve 2. části – Profil obrobku	26
Obr. 4-4 Přisuv obrobku při skutečném obrábění	27
Obr. 4-5 Reprezentace přisuvu obrobku v algoritmu simulačního programu	28
Obr. 4-6 Profil obrobku při simulaci broušení s $q_{n_v} = 17$	31
Obr. 4-7 Profil obrobku při simulaci broušení s $q_{n_v} = 17,5$	31
Obr. 4-8 Povrch simulovaného obrobku s chybou kruhovitosti 1591 μm	32
Obr. 4-9 Povrch simulovaného obrobku s chybou kruhovitosti 772 μm	32
Obr. 4-10 Harmonické složky simulovaného povrchu obrobku pro $q_{n_v} = 17$ (1591 μm) a $q_{n_v} = 17,5$ (772 μm)	32
Obr. 4-11 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček (simulace)	33
Obr. 4-12 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček – větší rozsah (simulace)	33
Obr. 6-1 Bruska na kulato z TOS Hostivař (před úpravou)	40
Obr. 6-2 Detail kotouče před uchycením inkrementálních snímačů otáček	40
Obr. 6-3 Schéma laboratorního zapojení na TU Liberec	41
Obr. 6-4 Elektrické schéma zapojení PLC, frekvenčního měniče a IRC čidel k brusce na kulato	42
Obr. 6-5 Schéma k výpočtu frekvence otáček	45
Obr. 6-6 Vývojový diagram procesu HI00 v PLC AMiNi2D	48
Obr. 6-7 Vývojový diagram procesu HI01 v PLC AMiNi2D	49
Obr. 6-8 Vývoj aplikace pro PLC ve vývojovém prostředí PSP3	50
Obr. 6-9 LCD displej v AMiNi2D	52
Obr. 6-10 Obrazovky LCD displeje pro komunikaci s obsluhou	53
Obr. 6-11 Obrazovky LCD displeje pro nastavování mezi	53
Obr. 6-12 Testovací zapojení pro ladění programu: zleva IRC čidla poháněná elektromotorky 4,5 V, krabice s PLC, el. zdroj 24 V, frekvenční měnič, pod stolem pomocný elektromotor	54
Obr. 6-13 Schéma k výpočtu periody mezi dvěma čteními impulsů z IRC čidla	55
Obr. 6-14 Bruska na kulato z TOS Hostivař (po úpravě), vlevo frekvenční měnič TAIAN	56
Obr. 6-15 Detail vzorku s trnem pro uchycení ve sklíčidle	58
Obr. 6-16 Přístroj Hommel Tester Form 1000 pro dotykové měření kruhovitosti obrobků	59
Obr. 6-17 Diagram vlnitosti na PC propojeném s přístrojem Hommel Tester Form 1000	59
Obr. 6-18 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.1, $q_n = 17$	60
Obr. 6-19 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.1 (chyba kruhovitosti 6-7 μm)	60
Obr. 6-20 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.2, $q_n = 17$	61
Obr. 6-21 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.2 (chyba kruhovitosti 5,3 μm)	61
Obr. 6-22 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.3, $q_n = 17,5$	62
Obr. 6-23 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.3 (chyba kruhovitosti 3,4 μm)	62

Obr. 6-24 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.4, $q_n = 17,5$	63
Obr. 6-25 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.4 (chyba kruhovitosti $3,8 \mu\text{m}$)	63
Obr. 6-26 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.5, $q_n = 17$	64
Obr. 6-27 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.5 (chyba kruhovitosti $3 \mu\text{m}$)	64
Obr. 6-28 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.6, $q_n = 17$	65
Obr. 6-29 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.6 (chyba kruhovitosti $3-4 \mu\text{m}$)	65
Obr. 6-30 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.7, $q_n = 17,5$	66
Obr. 6-31 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.7 (chyba kruhovitosti $10 \mu\text{m}$)	66
Obr. 6-32 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.8, $q_n = 17,5$	67
Obr. 6-33 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.8 (chyba kruhovitosti $4 \mu\text{m}$)	67
Obr. 6-34 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.9, $q_n = 17,3$	68
Obr. 6-35 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.9 (chyba kruhovitosti $4 \mu\text{m}$, 17 vln podél povrchu).....	68
Obr. 6-36 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.10, $q_n = 17,2$	69
Obr. 6-37 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.10 (chyba kruhovitosti $4 \mu\text{m}$)	69
Obr. 6-38 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.11, $q_n = 17,5$	70
Obr. 6-39 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.11 (chyba kruhovitosti $4 \mu\text{m}$)	70
Obr. 6-40 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.12, $q_n = 17,7$	71
Obr. 6-41 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.12 (chyba kruhovitosti $6 \mu\text{m}$)	71
Obr. 6-42 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.13, $q_n = 17,8$	72
Obr. 6-43 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.13 (chyba kruhovitosti $8 \mu\text{m}$)	72
Obr. 6-44 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.14, $q_n = 17$	73
Obr. 6-45 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.14 (chyba kruhovitosti $4 \mu\text{m}$)	73
Obr. 6-46 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.15, $q_n = 17$	74
Obr. 6-47 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.15 (chyba kruhovitosti $17 \mu\text{m}$)	74
Obr. 6-48 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.3, $q_n = 17,5$	75
Obr. 6-49 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.16 (chyba kruhovitosti $12 \mu\text{m}$)	75
Obr. 6-50 Graf průběhu poměru otáček q_n během broušení - vzorek č.4, $q_n = 17,5$	76
Obr. 6-51 Záznam z měření vlnitosti vzorku č.17 (chyba kruhovitosti $9 \mu\text{m}$)	76
Obr. 6-52 Přenos pohonu z hřídele elektromotoru přes pomocnou hřídel na hřídel obrobku.....	78
Obr. 7-1 Bruska firmy Landis Lund, typ 860-01.....	80
Obr. 7-2 Veličiny a parametry broušení na kulato.....	81
Obr. 7-3 Schéma k výpočtu tečné síly	83
Obr. 7-4 Přehled vztahů mezi zaznamenanými veličinami	85
Obr. 7-5 Panel nástrojů pro spouštění maker v jazyce Visual Basic	86
Obr. 7-6 Příklad grafického protokolu pro jeden obráběcí cyklus (formát A4 – viz příloha č. 10).....	86
Obr. 7-7 Grafy polohy obrobku v ose X a frekvence otáček kotouče v cyklu č.185	87
Obr. 7-8 Grafy příkonu a normálové síly v cyklu č.185.....	87
Obr. 7-9 Graf polohy obrobku frekvence otáček kotouče v cyklu č.191	88
Obr. 7-10 Grafy příkonu a normálové síly v cyklu č.191.....	88
Obr. 7-11 Grafy polohy obrobku a normálové síly v cyklu č.240	89
Obr. 7-12 Pokles příkonu a normálové síly při vyjiskřování v různých časových okamžicích	90
Obr. 7-13 Minimální frekvence otáček kotouče vs. nominální frekvence otáček kotouče (cykly č.220-228)	91
Obr. 7-14a) Poměr sil v cyklech č.183-212 b) Poměr sil v cyklech č.220-240	92

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Rozdělení veličin broušení.....	5
Tab. 1-2 Preprocesní veličiny	6
Tab. 1-3 Procesní veličiny	6
Tab. 1-4 Postprocesní veličiny	7
Tab. 2-1 Změna otáček obrobku v procentech při změně fázového posunu o 180°	11
Tab. 3-1 Řezné podmínky při broušení na kulato.....	16
Tab. 3-2 Specifikace kotouče a obrobku použitých pro experiment na brusce Jones & Shipman 1050.....	17
Tab. 3-3 Výsledky z měření vlnitosti obrobku broušených za různých podmínek	20
Tab. 4-1 Chyba kruhovitosti obrobků – reálné broušení s nevyváženým kotoučem	29
Tab. 4-2 Chyba kruhovitosti obrobků – reálné broušení s vyváženým kotoučem	29
Tab. 4-3 Chyba kruhovitosti obrobků – simulace s nevyváženým kotoučem	30
Tab. 4-4 Chyba kruhovitosti obrobků – simulace s vyváženým kotoučem.....	30
Tab. 4-5 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček při vyjiskřování – $q_n = 17-17,55$	33
Tab. 4-6 Závislost chyby kruhovitosti na poměru otáček při vyjiskřování – $q_n = 11,5-19,45$	34
Tab. 4-7 Závislost chyby kruhovitosti na poloměru obrobku.....	34
Tab. 4-8 Závislost chyby kruhovitosti na rychlosti přísuvu (simulace).....	35
Tab. 4-9 Závislost chyby kruhovitosti na házivosti kotouče (simulace).....	35
Tab. 4-10 Závislost chyby kruhovitosti na počtu bodů povrchu obrobku (simulace)	35
Tab. 5-1 Podmínky broušení obrobku v Motor Jikov Strojírenská, a.s.	38
Tab. 5-2 Podmínky pro měření kruhovitosti.....	38
Tab. 6-1 Popis stavů definovaných v PLC a jim odpovídajících obrazovek na LCD displeji.....	44
Tab. 6-2 Shrnutí označení stavů programu v PLC a čísla odpovídajících obrazovek	44
Tab. 6-3 Vztahy pro výpočet frekvence otáčení kotouče a obrobku	46
Tab. 6-4 Vztahy pro výpočet poměru otáček kotouče a obrobku a žádané frekvence otáček obrobku	47
Tab. 6-5 Význam kláves pro zadávání hodnot na displeji PLC.....	51
Tab. 6-6 Hodnoty zadávacích mezí a kalibračních konstant při startu PLC.....	52
Tab. 6-7 Specifikace kotoučů a obrobků použitých pro experiment na TUL.....	56
Tab. 6-8 Podmínky experimentu na brusce BU 16A.....	58
Tab. 6-9 Výsledky experimentu na brusce BU 16A.....	77

PŘÍLOHY

Část I.:

- 1) Profily obrobků broušených na UWE Bristol
- 2) Uživatelská příručka – Měření kruhovitosti kotouče/příruby CBN kotouče brusky Jones & Shipmann 1050 a měření vlnitosti obrobku pomocí přístroje TalyRond
- 3) Prezentace na závěrečné schůzce týmu řešitelů a partnerů projektu *CoWaShi*, 23. června, 2004, UWE Bristol
- 4) Fotodokumentace z praktického měření
- 5) Zdrojový kód simulačního programu broušení
- 6) Protokoly z měření kruhovitosti obrobku – Motor Jikov Strojírenská a.s., Jindřichův Hradec
- 7) Protokoly z měření kruhovitosti obrobku – VÚTS a.s., Liberec
- 8) Zdrojový kód programu v PLC AMiNi2D
- 9) Návod k obsluze řízení brusky v laboratoři KOM, TU Liberec

Část II.:

- 10) Příklady monitorovacích protokolů pro cykly 185, 191, 197, 228, 240 (*Grinding Data Report*)
- 11) Pracovní podmínky během obráběcích testů na CNC brusce firmy Landis Lund
- 12) Uživatelská příručka – Monitorování brusky firmy Landis Lund

PŘÍLOHA Č. 1: PROFILY OBROBKŮ BROUŠENÝCH NA UWE BRISTOL

V příloze jsou uvedeny zvětšené profilogramy obrobků z Tab. 3-3 na str. 20.

PŘÍLOHA Č. 2:
UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA –
MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI KOTOUČE/PŘÍRUBY CBN KOTOUČE
BRUSKY JONES & SHIPMANN 1050 A MĚŘENÍ VLNITOSTI
OBROBKU POMOCÍ PŘÍSTROJE TALYROND

PŘÍLOHA Č. 3: PREZENTACE Z UWE BRISTOL

Název: Monitorování broušení na brusce firmy Landis Lund & monitorování a řízení broušení na brusce Jones & Shipman
Účel: Presentace na schůzce týmu řešitelů a zástupců průmyslových partnerů projektu CoWaShi (Control of WaveShift)
Datum: 23. června 2004
Místo: University of the West of England, Bristol, Velká Británie
Přednášející: autor této práce

PŘÍLOHA Č. 4:

FOTODOKUMENTACE Z PRAKTICKÝCH MĚŘENÍ

PŘÍLOHA Č. 5:

ZDROJOVÝ KÓD SIMULAČNÍHO PROGRAMU

PŘÍLOHA Č. 6:
PROTOKOLY Z MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI OBROBKU – PŘÍSTROJ
FIRMY CARL ZEISS V MOTOR JIKOV STROJÍRENSKÁ A.S.,
JINDŘICHŮV HRADEC

PŘÍLOHA Č. 7:
PROTOKOLY Z MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI OBROBKU – PŘÍSTROJ
FIRMY WENZEL VE VÚTS A.S., LIBEREC

PŘÍLOHA Č. 8: ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU V PLC

PŘÍLOHA Č. 9:

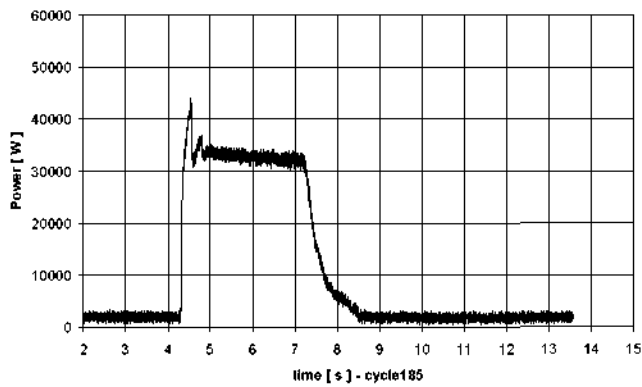
NÁVOD K OBSLUZE ŘÍZENÍ BRUSKY V LABORATOŘI KOM, TUL

PŘÍLOHA Č. 10:
PŘÍKLADY MONITOROVACÍCH PROTOKOLŮ PRO CYKLY 185,
191, 197, 228, 240 (*GRINDING DATA REPORT*)

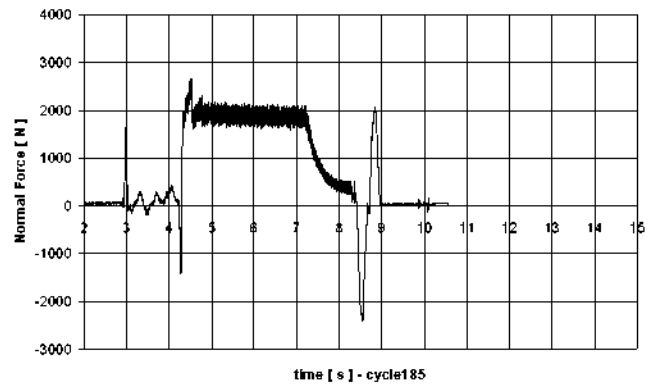
PŘÍLOHA Č. 11:
PRACOVNÍ PODMÍNKY BĚHEM OBRÁBĚCÍCH TESTŮ NA CNC
BRUSCE FIRMY LANDIS LUND

PŘÍLOHA Č. 12:
UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA – MONITOROVÁNÍ BRUSKY FIRMY
LANDIS LUND

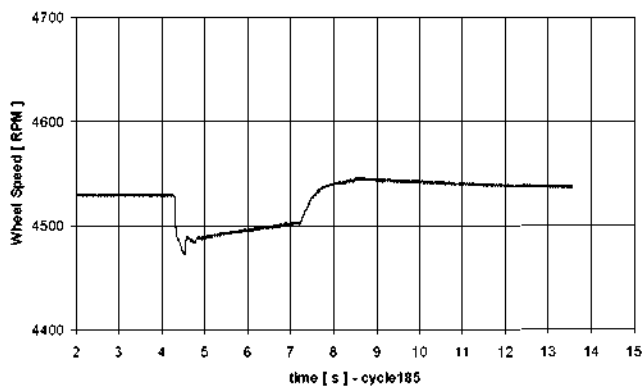
Landis Grinding Data Report for cycle185



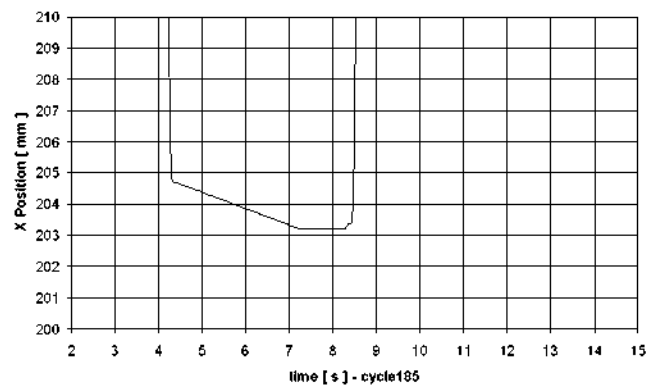
Power



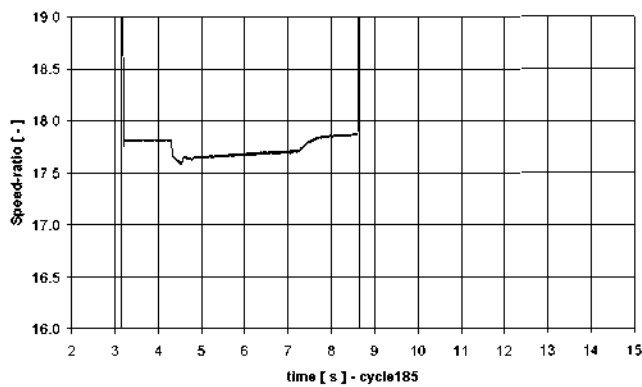
Normal Force



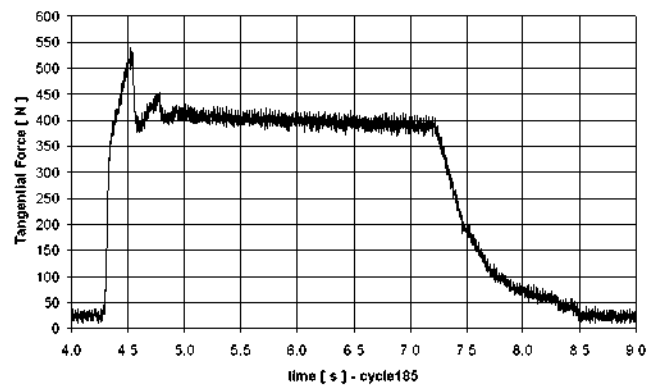
Wheel Speed



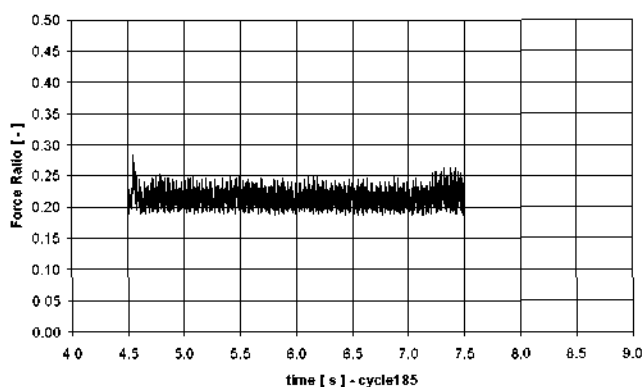
X Position



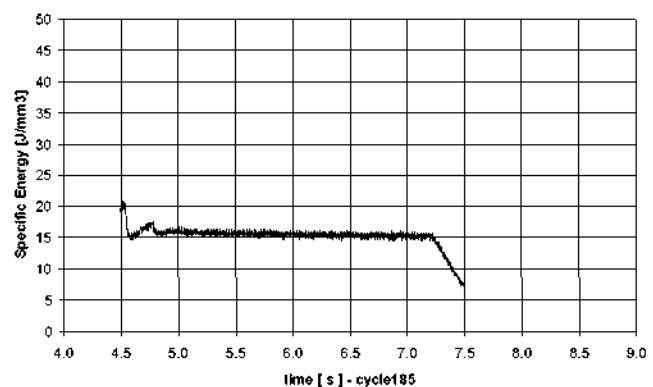
Speed Ratio



Tangential Force

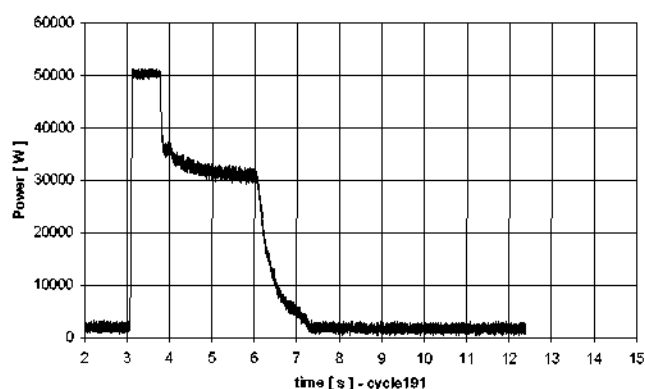


Force Ratio

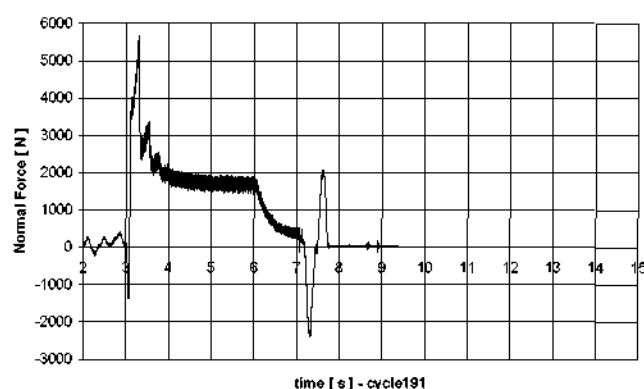


Specific Energy

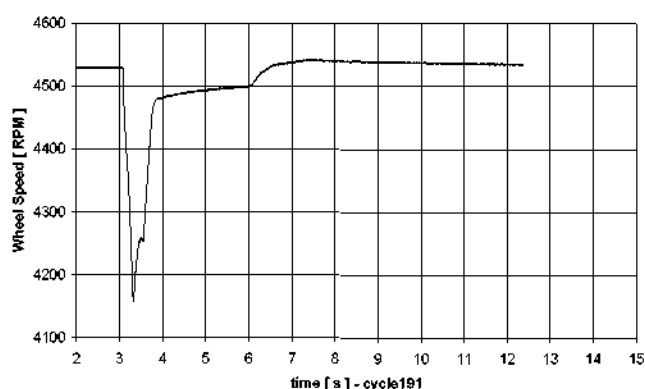
Landis Grinding Data Report for cycle191



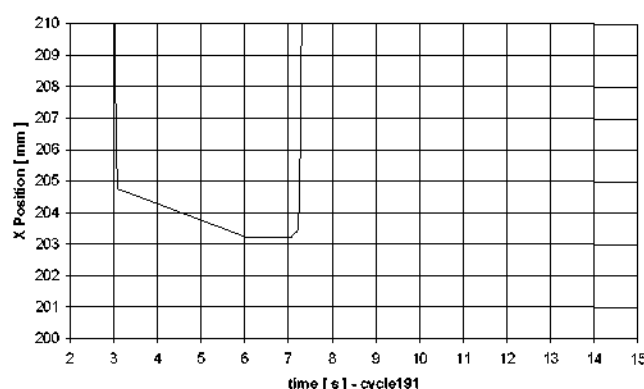
Power



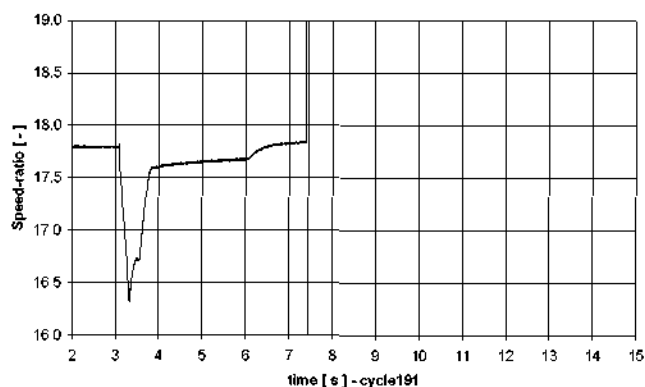
Normal Force



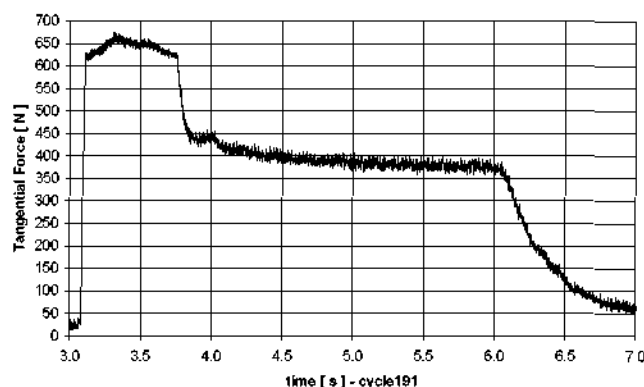
Wheel Speed



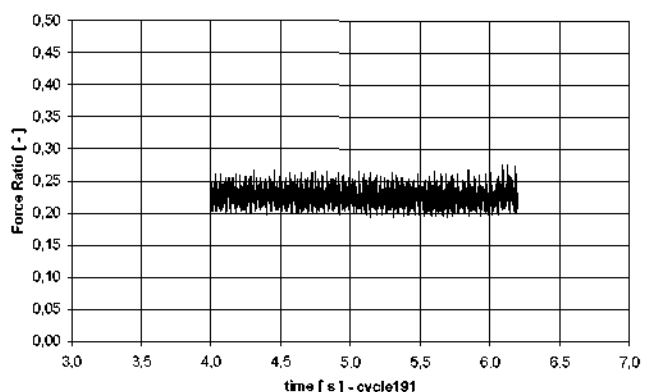
X Position



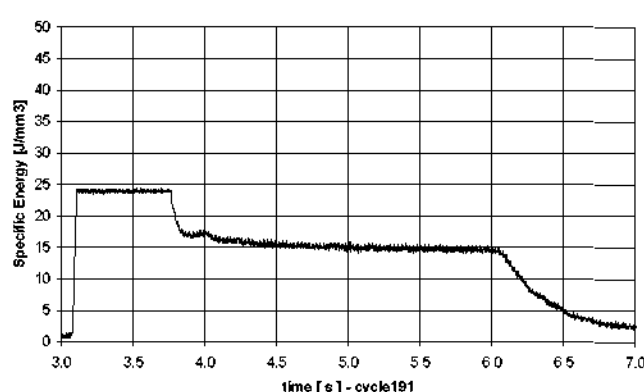
Speed Ratio



Tangential Force

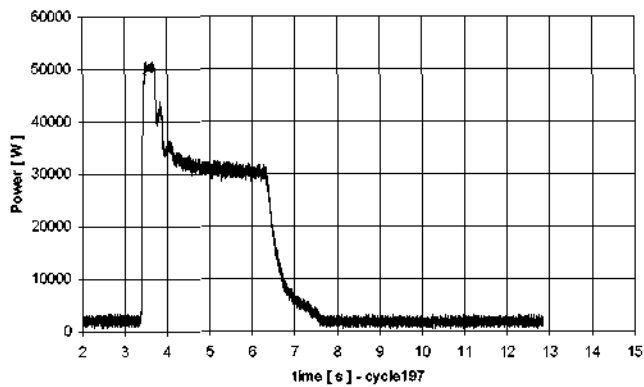


Force Ratio

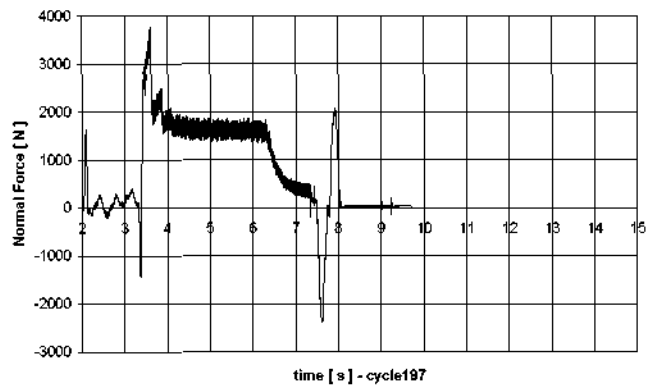


Specific Energy

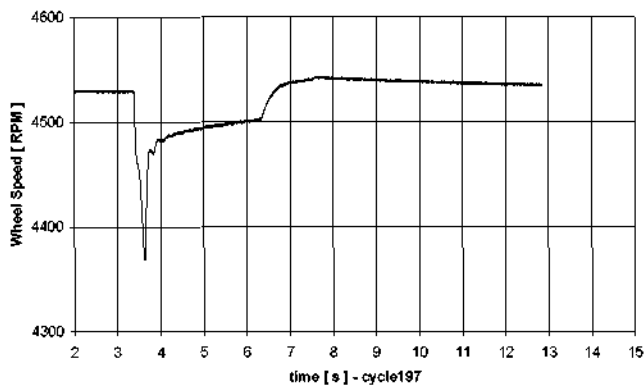
Landis Grinding Data Report for cycle197



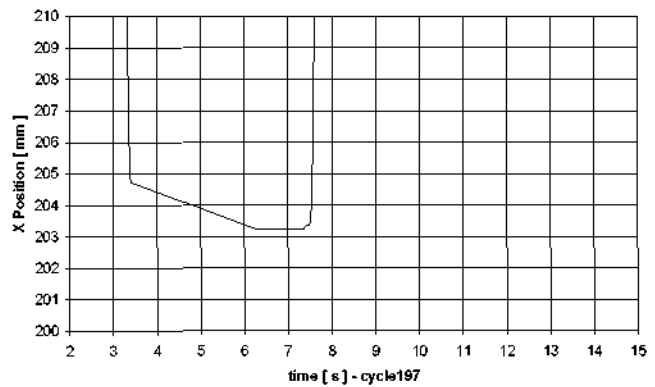
Power



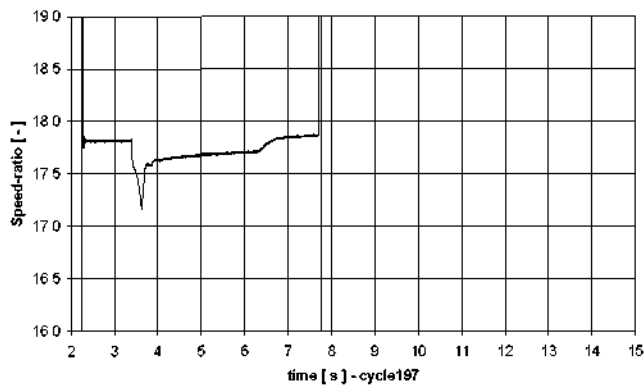
Normal Force



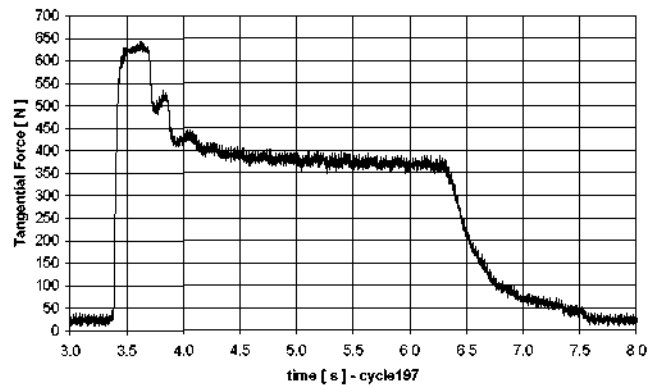
Wheel Speed



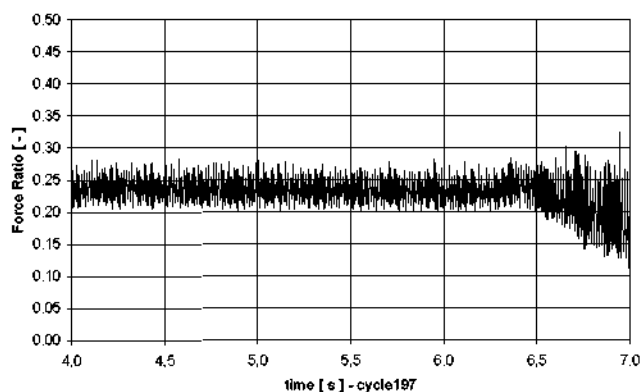
X Position



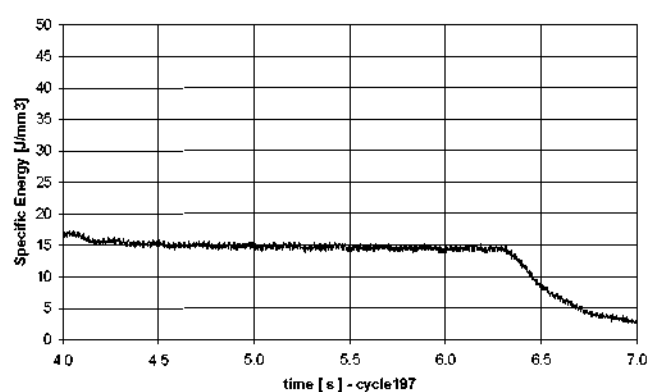
Speed Ratio



Tangential Force

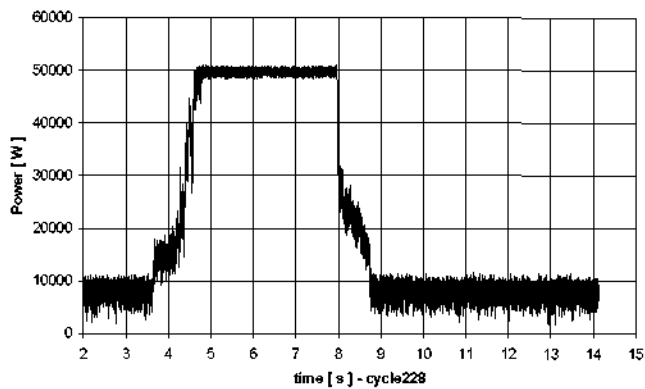


Force Ratio

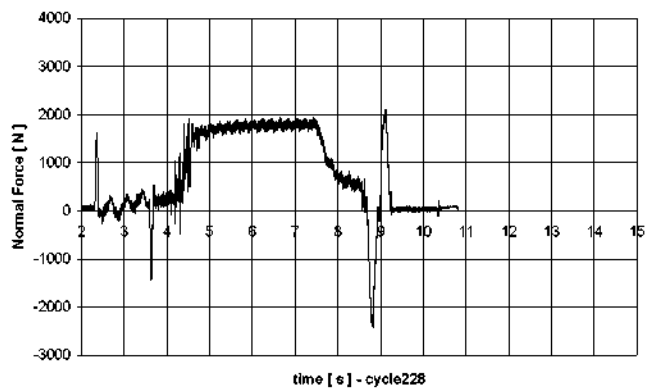


Specific Energy

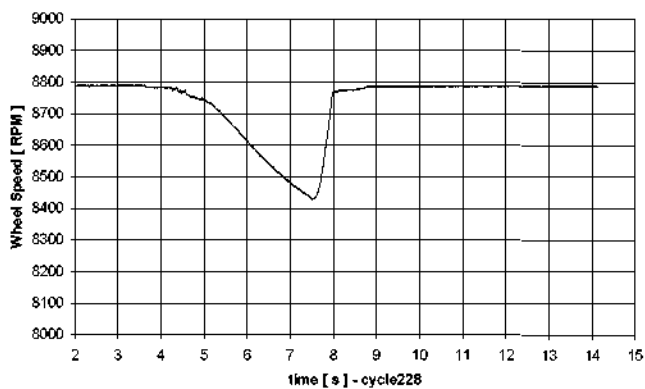
Landis Grinding Data Report for cycle228



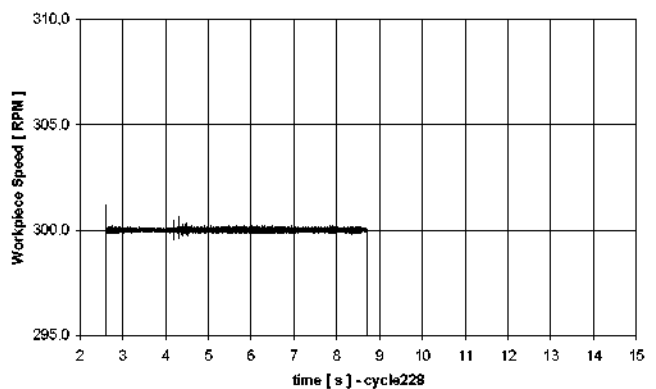
Power



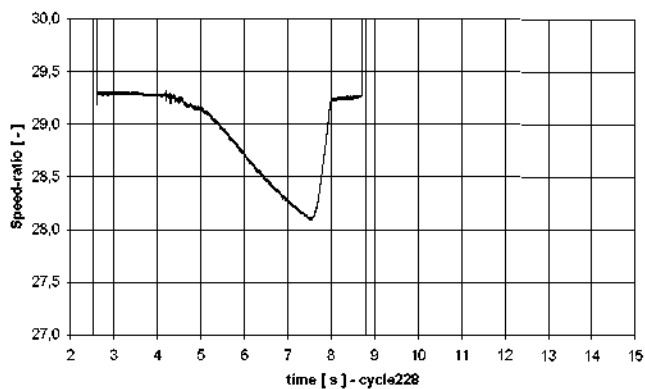
Normal Force



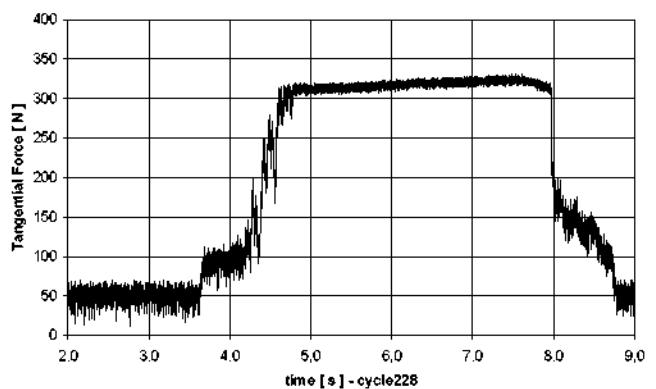
Wheel Speed



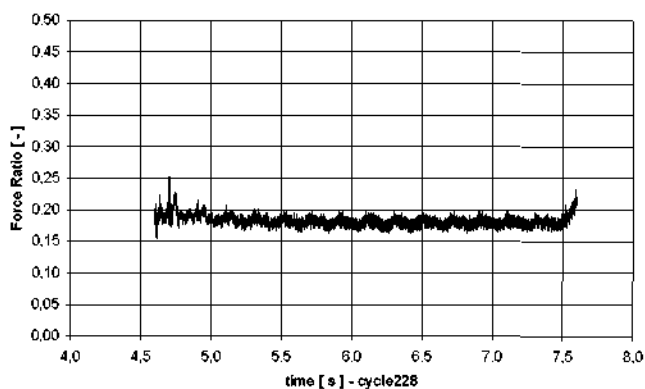
Workpiece Speed



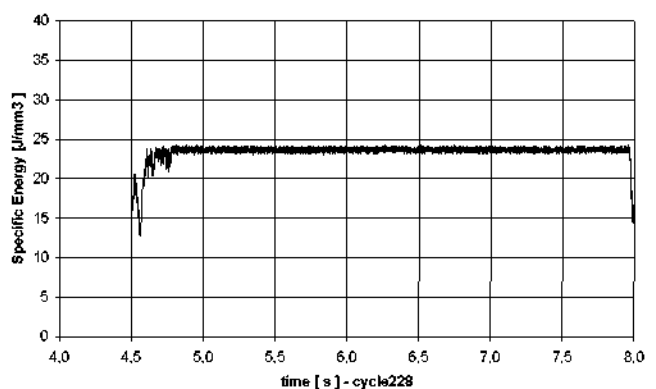
Speed Ratio



Tangential Force

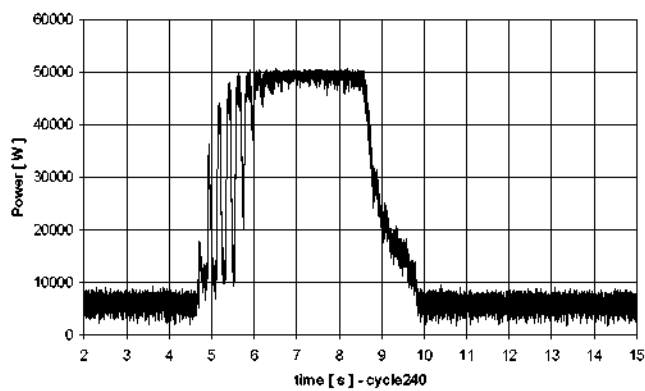


Force Ratio

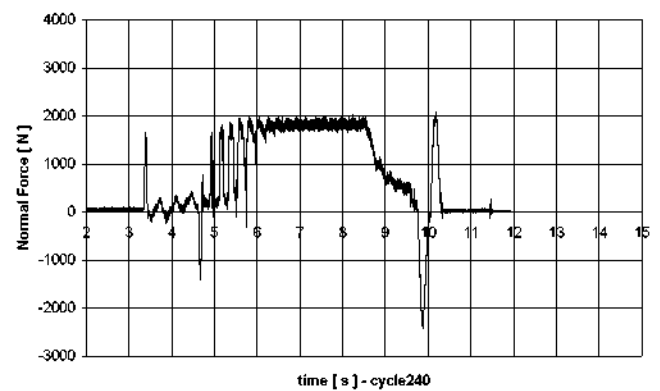


Specific Energy

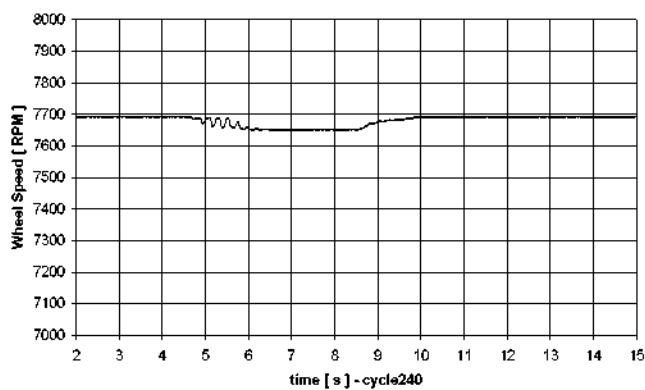
Landis Grinding Data Report for cycle240



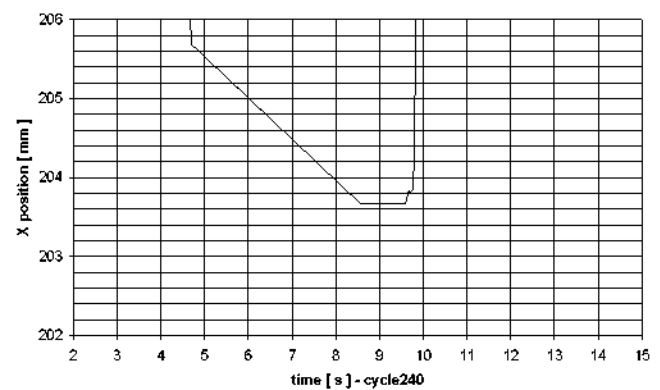
Power



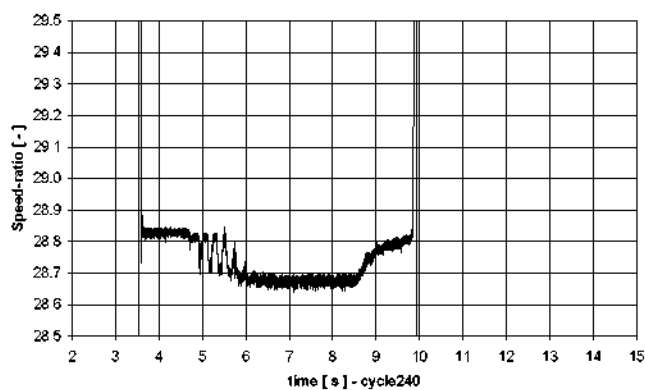
Normal Force



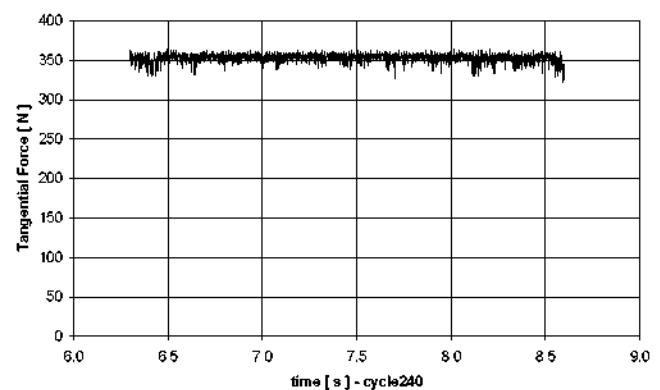
Wheel Speed



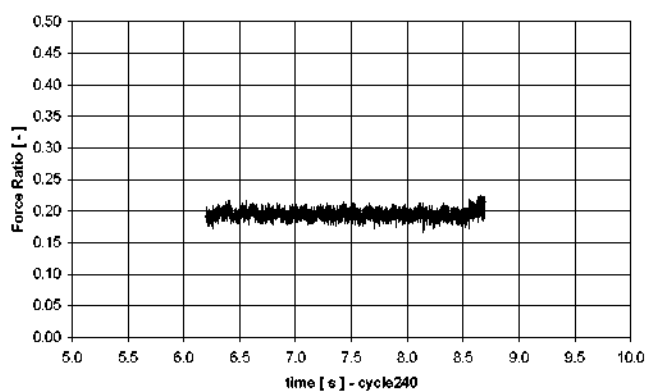
X Position



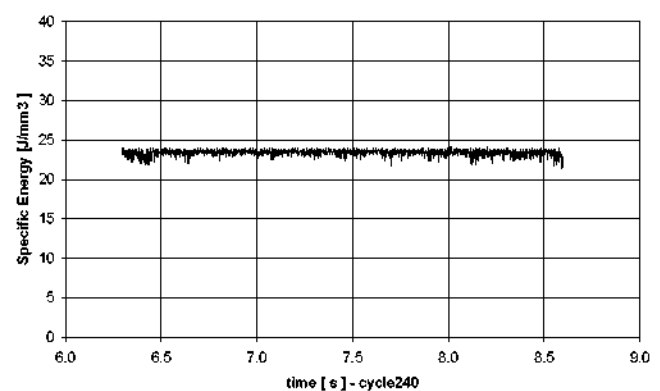
Speed Ratio



Tangential Force



Force Ratio



Specific Energy

PŘÍLOHA Č. 1: PROFILY OBROBKŮ BROUŠENÝCH NA UWE BRISTOL

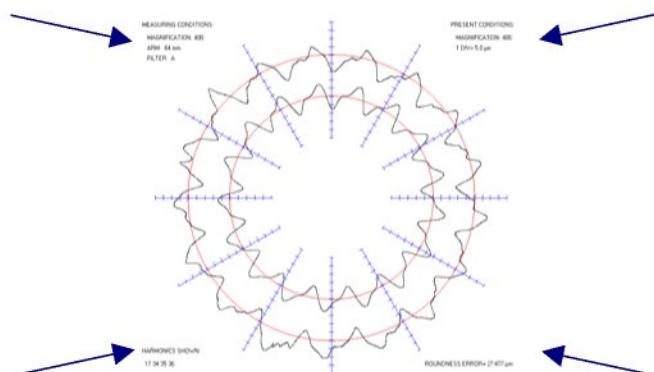
Vysvětlivky

Každý obrázek v této příloze obsahuje dva profilogramy. Vnější profilogram znázorňuje naměřené hodnoty z dotykového měření povrchu obrobku, vnitřní profilogram znázorňuje povrch vypočtený na základě harmonické analýzy naměřených dat – v tomto profilogramu jsou zobrazeny harmonické složky vybrané uživatelem vykreslovacího programu tak, aby byla ukázána souvislost mezi skutečným povrchem a jednotlivými harmonickými složkami zodpovědnými za výsledný povrch. Uživatelem vybrané harmonické složky jsou uvedeny vlevo dole na obrázku.

Legenda k obrázkům

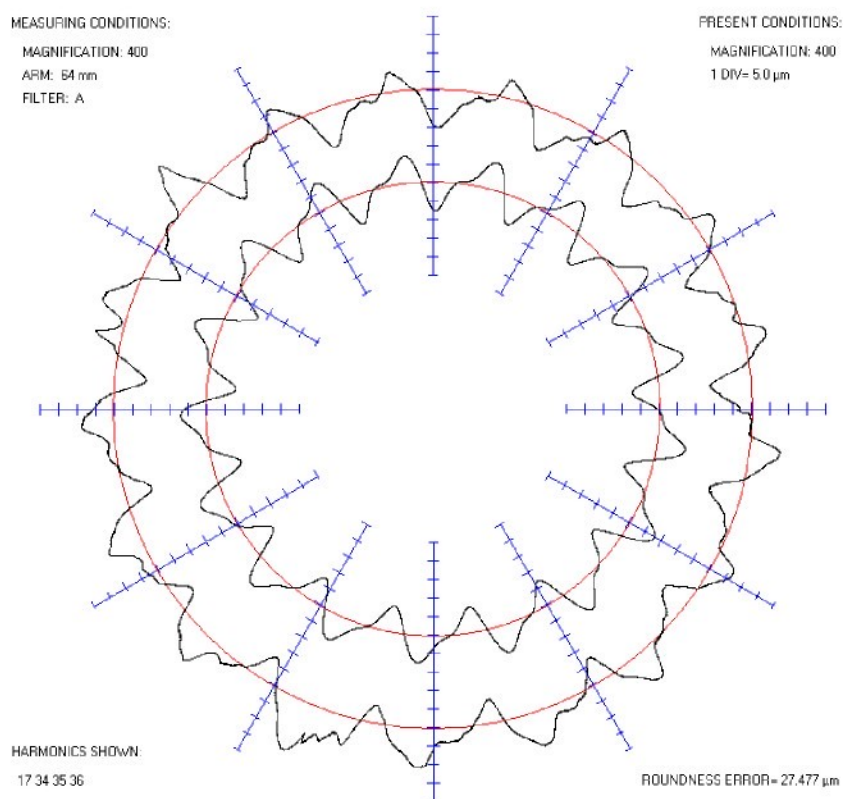
MEASURING CONDITIONS – podmínky při měření
MAGINIFICATION – zvětšení
ARM: 64 mm – délka vychylovací ručky přístroje
FILTER: A – typ filtru

PRESET CONDITIONS – podmínky při zobrazování
MAGINIFICATION – zvětšení
1 DIV = 5.0 μm – 1 dílek = 5.0 μm

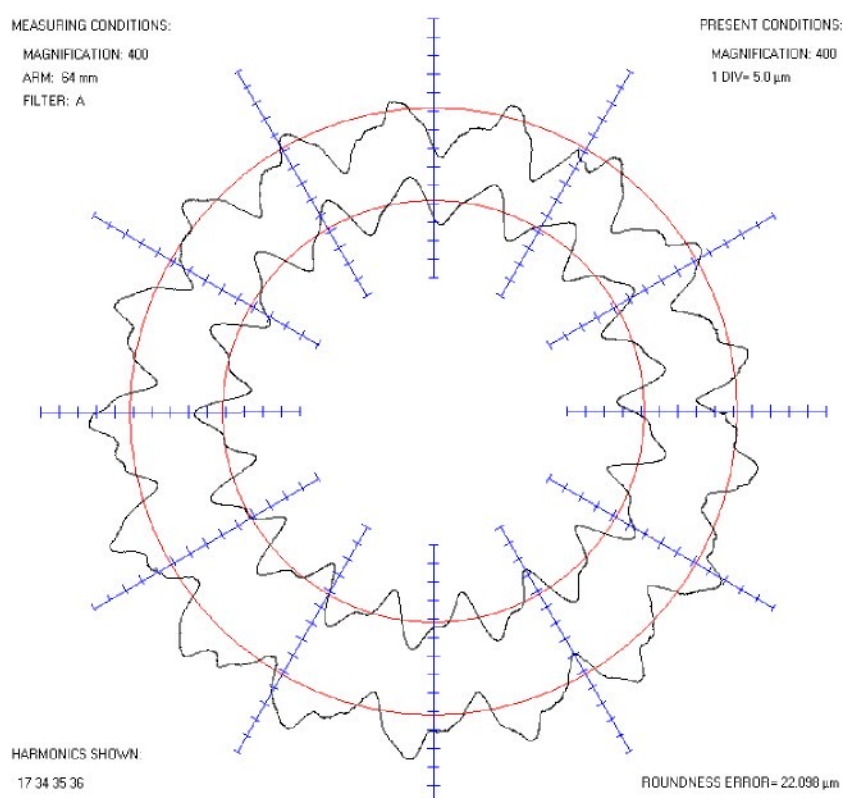


HARMONICS SHOWN – zobrazené harmonické složky

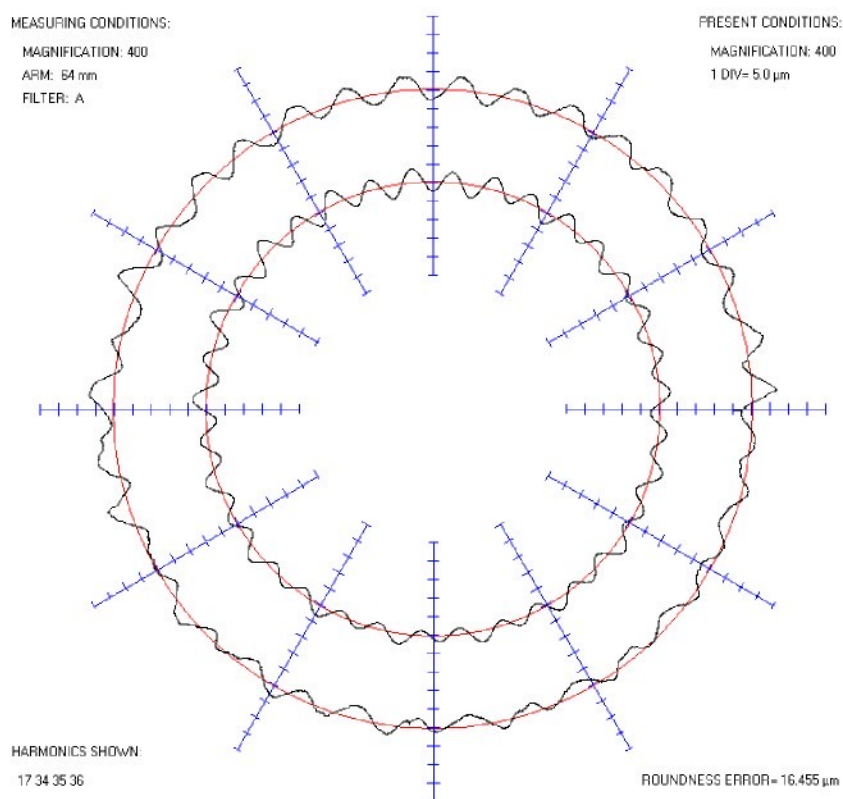
ROUNDNESS ERROR – chyba kruhovitosti



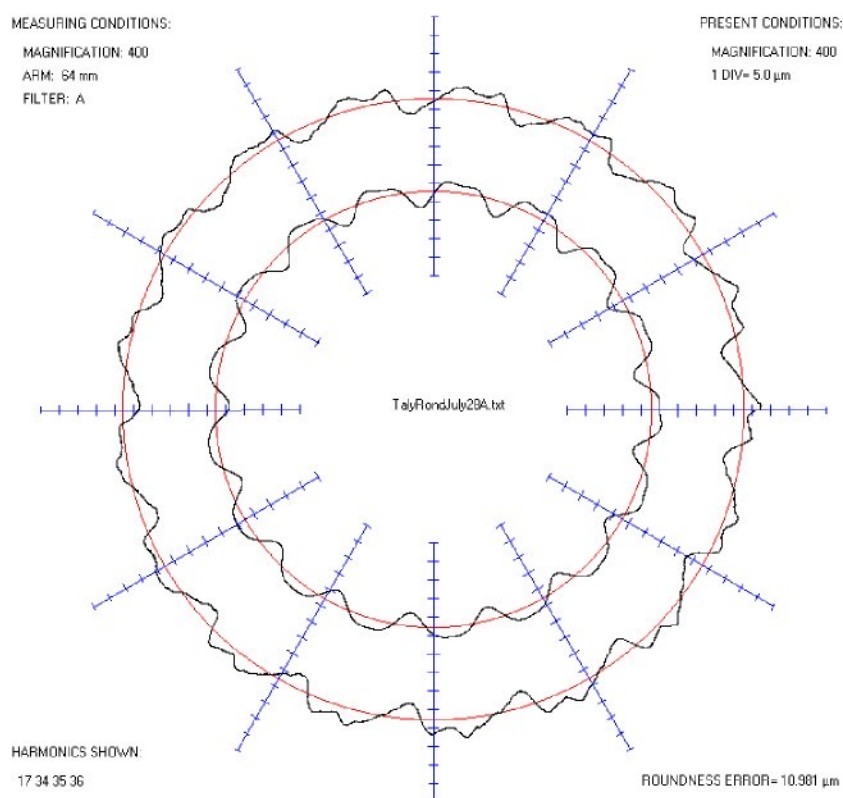
a) Bez vyváženého kotouče, otáčky kot. 2106 min^{-1} , bez vyjiskřování, chyba kruhovitosti: $27,5 \mu\text{m}$



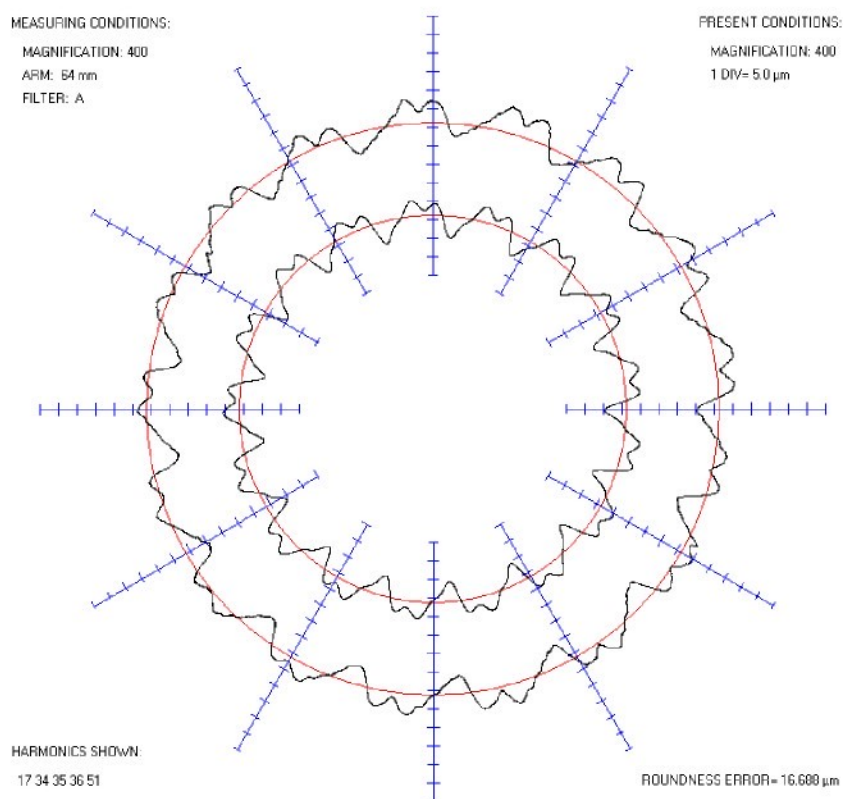
b) Bez vyváženého kotouče, otáčky kot. 2106 min^{-1} , $q = 17$, chyba kruhovitosti: $22,1 \mu\text{m}$



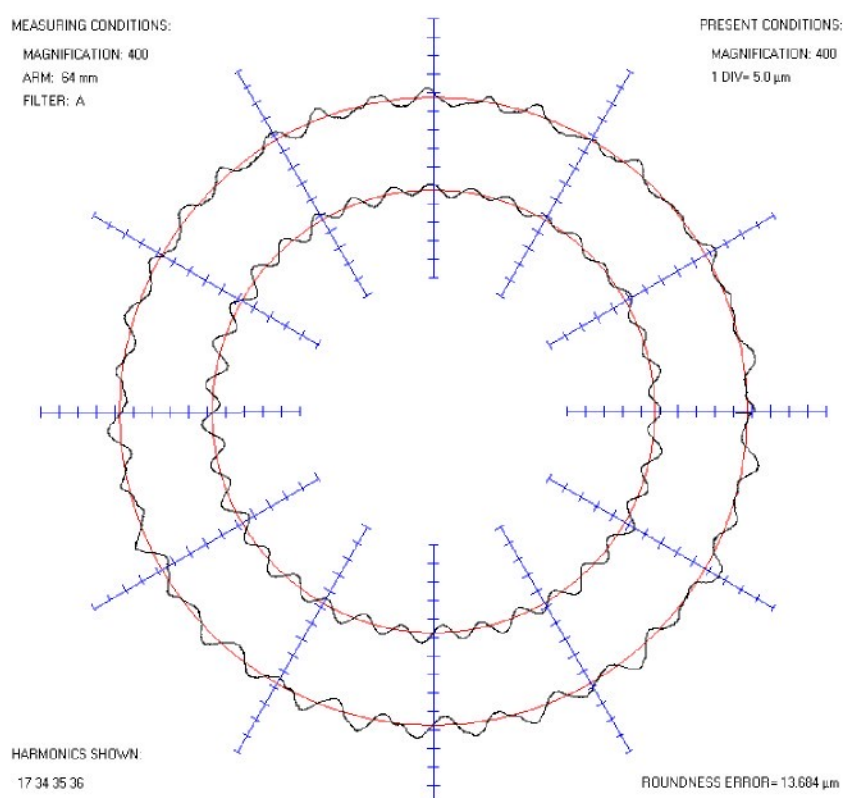
c) Bez vyváženého kotouče, otáčky kot. 2106 min^{-1} , $q = 17,5$, chyba kruhovitosti: 16,5 μm



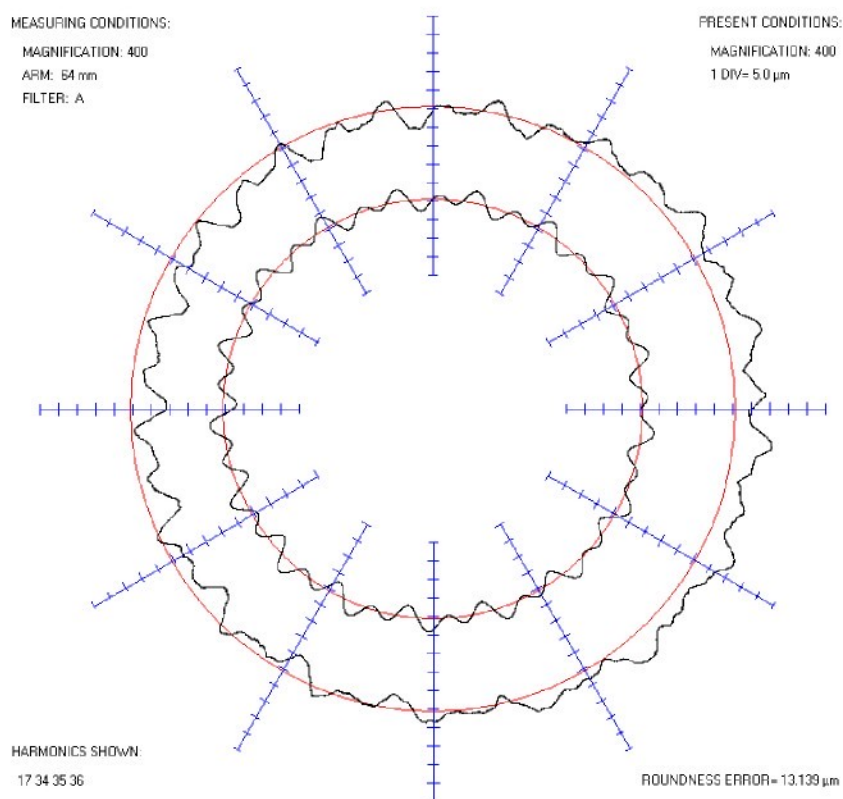
d) S vyvážením kotouče, otáčky kot. 2106 min^{-1} , bez vyjiskřování, chyba kruhovitosti: 11,0 μm



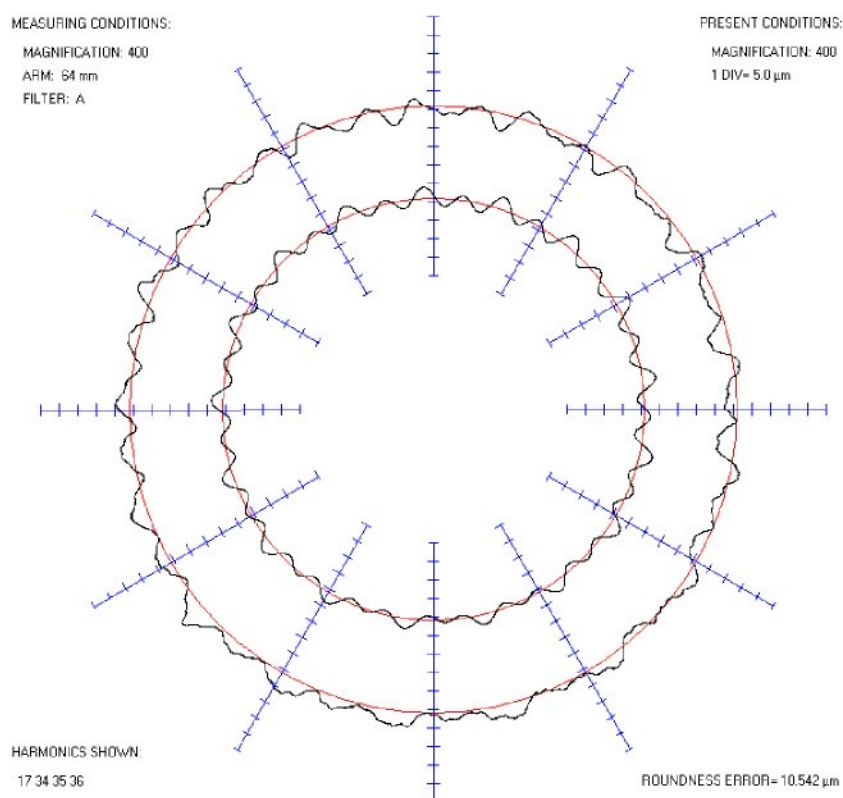
e) S vyvážením kotouče, otáčky kot. 2106 min^{-1} , $q = 17$, chyba kruhovitosti: $16,7 \mu\text{m}$



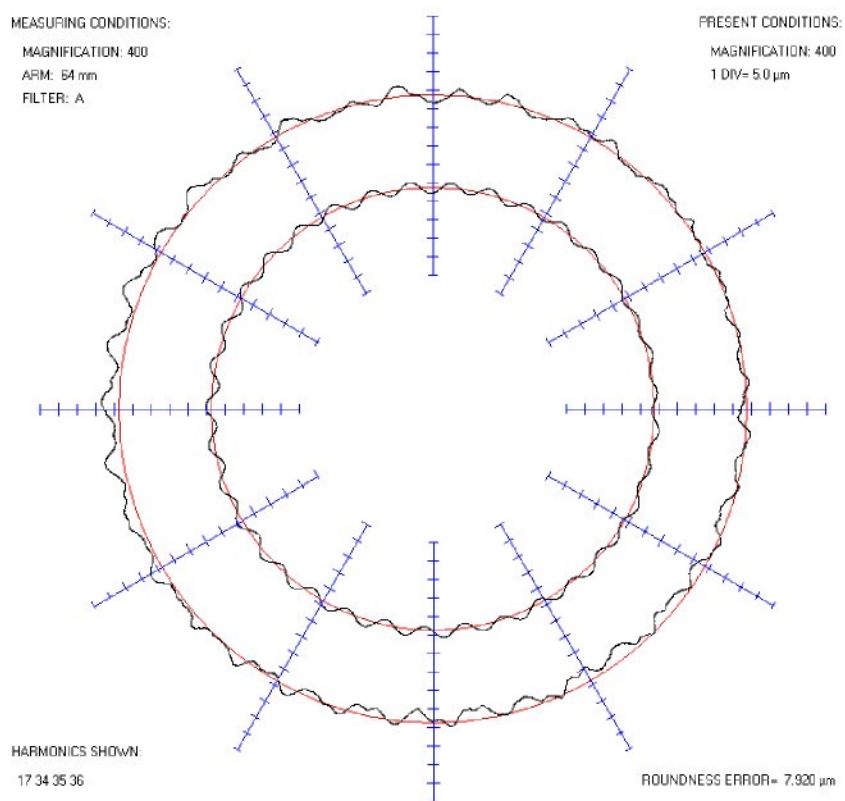
f) S vyvážením kotouče, otáčky kot. 2106 min^{-1} , $q = 17,5$, chyba kruhovitosti: $13,7 \mu\text{m}$



g) S vyvážením kotouče, maximální otáčky kot. 2730 min^{-1} , bez vyjiskřování, chyba kruhovitosti: 13,1 μm



h) S vyvážením kotouče, maximální otáčky kot. 2730 min^{-1} , $q = 17$, chyba kruhovitosti: 10,5 μm



i) S vyvážením kotouče, maximální otáčky kot. 2730 min^{-1} , $q = 17,5$, chyba kruhovitosti: $7,9 \mu\text{m}$

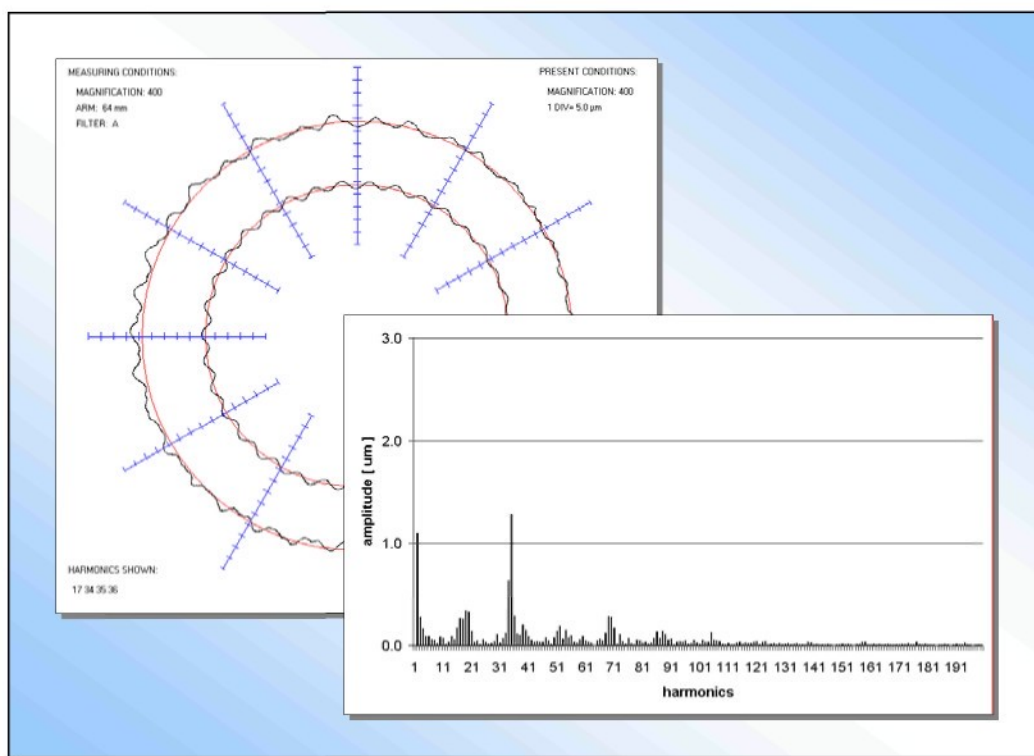
Měření kruhovitosti kotouče/obrubby CBN kotouče brusky Jones & Shipmann 1050

a

Měření vlnitosti obrobku pomocí přístroje TalyRond

—

Návod



Úvod

Měření kruhovitosti kotouče a vlnitosti obrobků obráběných na brusce J&S 1050 v laboratoři RAMP na UWE Bristol sestává ze dvou částí:

- 1) měření vlnitosti obrobků přístrojem TalyRond
- 2) měření kruhovitosti kotouče/obruba kotouče pomocí dotykového čidla LVDT nebo bezkontaktního kapacitního čidla

Tento manuál stručně popisuje, jak zaznamenat data z čidel a zpracovat je z podoby binárních souborů (.dat) na výstupu z programu DAQ (Data Acquisition) pro obě výše uvedené metody do podoby grafů v MS Excel nebo pomocí programu ERond do podoby radiálního profilografu.

Získávání dat

Vlnitost obrobků (TalyRond) – nastavení měření

1. Pro toto měření jsou použity dva vodiče:

Vodič označený jako:	Zapojit do:
Surface (Povrch)	A0
Revolution (Otáčka)	D0

2. Před měřením je potřeba načíst v programu DAQ nastavení uložené v souboru *TalyRond.set*. Běžně používané nastavení je toto: Rozsah: ± 10 V, frekvence vzorkování: 2 000 Hz, počet vzorků: 50 000.

Kruhovitost kotouče/obruba kotouče – nastavení měření

1. Pro toto měření jsou použity dva vodiče:

Vodič označený jako:	Zapojit do
Vodič z • čidla LVDT nebo z • kapacitního čidla	A0
Wheel marker (1 otáčka)	D0

2. Před měřením je potřeba načíst v programu DAQ nastavení uložené v souboru *Rim-runout.set*.

Zpracování dat

Následující kroky jsou nezbytné pro zpracování dat uložených v binárních souborech:

Vlnitost obrobku (TalyRond)

1. Převést binární soubor do textového souboru
2. Vykreslit radiální diagram vlnitosti v programu ERond
3. Provést Fourierovu analýzu dat a vykreslit graf harmonického spektra pomocí maker připravených v programu MS Excel

Kruhovitost kotouče/obrubby kotouče

1. Převést binární soubor do textového souboru
2. Provést průměrování, spočítat Fourierovu analýzu dat a vykreslit graf harmonického spektra pomocí maker připravených v programu MS Excel

Zde je postup pro každý z kroků:

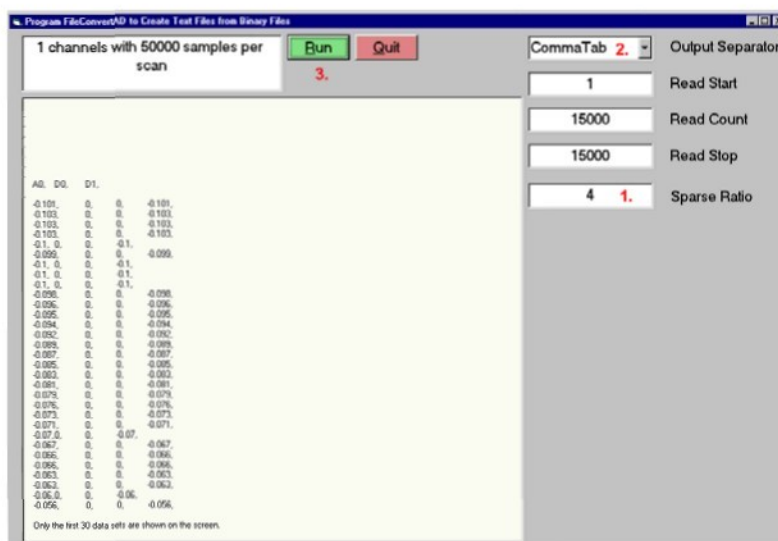
A) Jak převést binární soubor do textového souboru

Existují dva způsoby, jak převod provést:

- Použít konverzní nástroj programu DAQ – po skončení záznamu dat z měření zaškrtnout box *Cnv*. Objeví se sada vstupních polí, které mají tentýž význam jako pole v programu *BinaryToText*.
- Použít samostatný program *BinaryToText* – viz návod níže.

Program *BinaryToText*

- Zkopírujte všechny binární soubory (.dat) z měření do samostatného adresáře (příp. pro ně vytvořte nový adresář)
- Zkopírujte konverzní program (*BinaryToText.exe* + *Comdlg32.ocx*) ze svého původního umístění do téhož adresáře jako binární soubory.
- Spusťte konverzní program *BinaryToText*
- Filtrování* – nastavte **Sparse Ratio** na požadovanou hodnotu. (sparse ratio např. 4 vybere každou čtvrtou hodnotu v souboru atd.)
- Vyberte správný **výstupní typ souboru** – nastavte **Output Separator** na **CommaTab** pro zpracování v programu *TalyRond* nebo **Tab** pro zpracování dat z měření kruhovitosti *kotouče/obrubu kotouče*.
- Vyberte **soubor ke konverzi** – stiskněte tlačítko **Run** a vyberte soubor, který chcete převést. Převod začne ihned po potvrzení jména souboru.
- Převod je dokončen tehdy, když se ve žluté oblasti objeví poznámka "**Only the first 30 data sets are shown on the screen**". Řádky ve žluté oblasti mají tentýž formát jako řádky dat uložené v textovém souboru.
- Převeďte další binární soubor (stiskněte **Run** pro výběr souboru) nebo ukončete konverzní program stiskem tlačítka **Quit**.



Program pro převod binárních souborů na textové soubory

Poznámka o formátu datových souborů pro přístroj TalyRond

Formát textových souborů převedených programem *BinaryToText* je identický s formátem souborů na výstupu z programu Waveview, který je součástí starší verze získávání dat z měření na přístroji TalyRond. Znamená to, že: signál určující jednu otáčku (*Wheel marker*) je uložen ve 3. sloupci (digitální signál), hodnoty kruhovitosti/vlnitosti (*roundness value*) jsou uloženy ve 4. sloupci (analogový signál) a data začínají na 10. řádku v textovém souboru.

Výběr určité části binárního souboru

Pokud chcete vybrat pouze určitý úsek binárního souboru, zadejte do polí **Read Start**, **Read Stop** počáteční řádek a koncový řádek a proveďte znovu převod stiskem tlačítka **Run**. Původní textový soubor je přitom přepsán! Místo **Read Stop** můžete také použít pole **Read Count**.

Vlnitost obrobku (TalyRond)

B) Jak nakreslit radiální diagram vlnitosti v programu ERond

1. Spustíte program *ERond*.
2. *Otevřete* textový soubor (.txt) - menu *File/Open*.
3. Na počátku jsou hodnoty ve Voltech místo v μm . Nastavte hodnotu filtru (*Filter*), délku ramene (*Arm*) a zvětšení (*Magnification*), které jste použili pro měření vlnitosti. Hodnoty excentricity a vlnitosti budou poté přepočteny z Voltů na mikrometry.
4. Abyste se mohli rozhodnout, které z harmonických složek mají být zobrazeny ve vnitřním kruhu sestaveném z vypočtených harmonických složek Fourierovou analýzou, přepněte na diagram harmonického spektra – vyberte v menu *Edit/Harmonics Chart* nebo stiskněte klávesu *F4*. Čárové spektrum znázorňuje amplitudy harmonických složek vstupního signálu. Pro přepnutí zpět na radiální diagram stiskněte menu *Edit/Harmonics Chart* znovu (nebo *F4*). Vyberte požadované harmonické složky v menu *Select/ 1-100*.
5. Pro zobrazení popisek v radiálním diagramu vyberte z menu *Edit/Labels*.
6. Uložte diagram ve formátu souboru bitové mapy (.bmp) výběrem z menu *File/Save As* a zadejte název bitmapy.

Chcete-li otevřít další textový soubor, zavřete aktuální soubor z menu *File/Close* a otevřete požadovaný soubor. Pokračujte podle instrukcí výše.

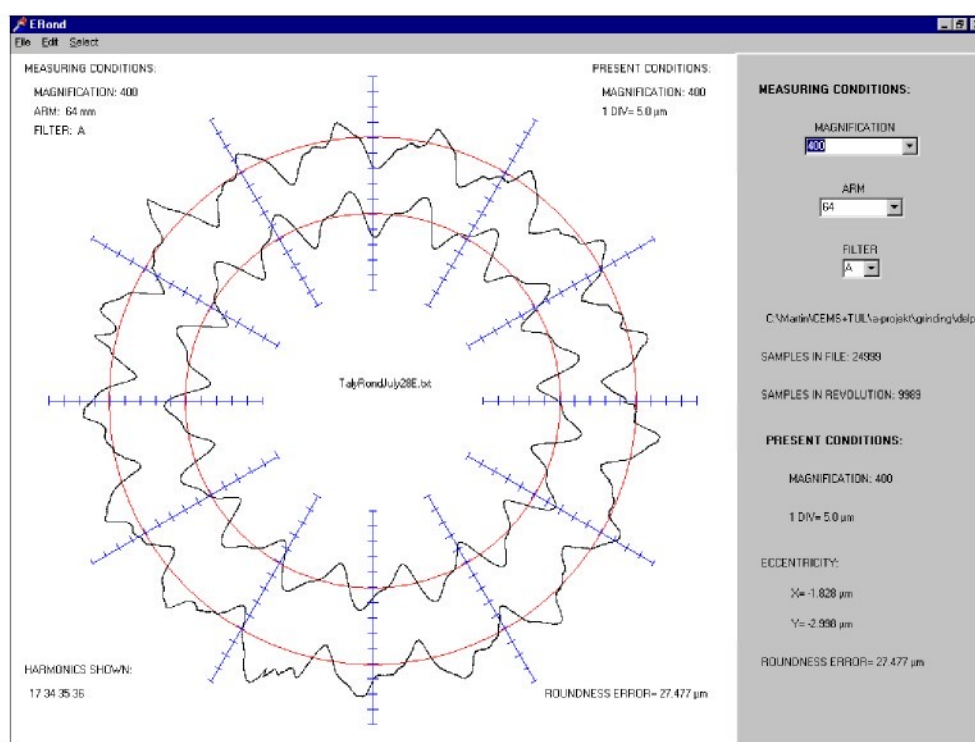


Diagram vlnitosti v programu ERond

Maximální velikost textového souboru při otevření v programu ERond:

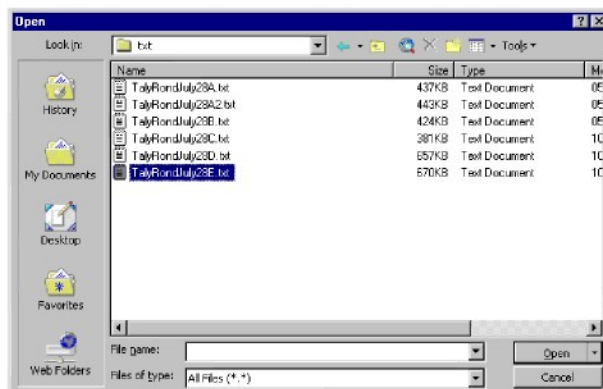
Maximální délka textového souboru, který bude úspěšně otevřen a zpracován v programu ERond, je **60 000 řádků**.

Kalibrace $\mu\text{m}/\text{V}$:

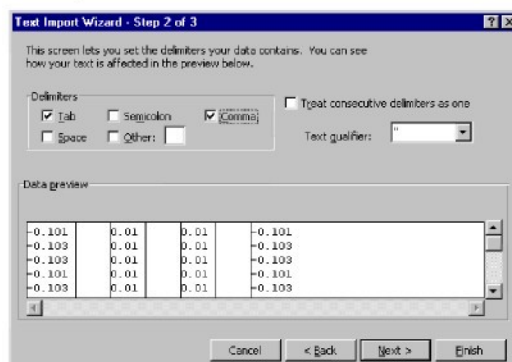
Kalibrační konstanta použitá v programu ERond program je **25.56 $\mu\text{m}/\text{V}$** . Podrobnosti kalibrace jsou uvedeny v kapitole **Kalibrace** na konci tohoto manuálu.

C) Jak spočít Fourierovu analýzu a vykreslit graf harmonického spektra v programu MS Excel

1. Spustíte MS Excel
2. Otevřete převedený textový soubor – menu **File/Open**, v dialogu Open vyberte **Typ souboru** (Files of type) **Všechny soubory** (All files) (*.*)).



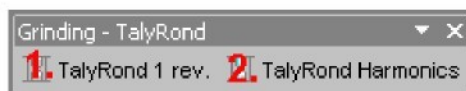
3. Ve druhém kroku průvodce importem zaškrtněte kromě Tabulátoru (**Tab**) také oddělovač **Čárka** (Comma). Formát sloupců by měl vypadat jako na následujícím obrázku. Dokončete import stiskem tlačítka **Dokončit** (Finish).



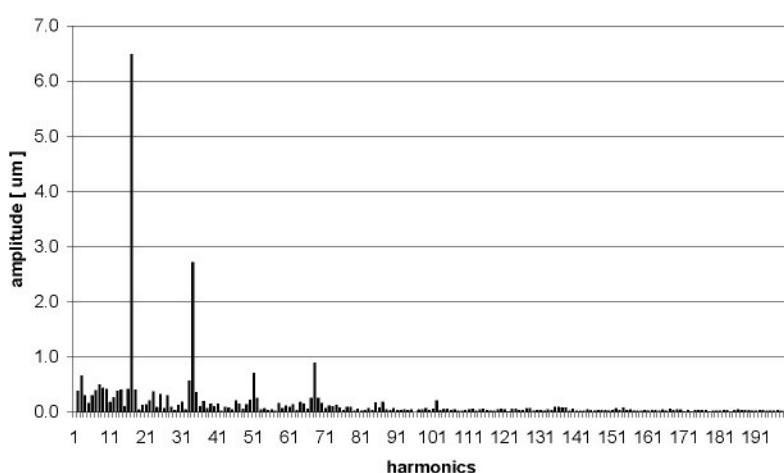
Začátek textového souboru načteného v MS Excel by měl vypadat přibližně takto:

(A1 Cell)						
.						
.						
.						
.						
.						
A0		D0		D1		
.						
-0.101		0.01		0.01		-0.101
-0.103		0.01		0.01		-0.103
-0.103		0.01		0.01		-0.103
...		...		...		...

4. Spustíte makro pro nalezení sekce dat odpovídajících 1 otáčce přístroje TalyRond – stisknete tlačítko **TalyRond 1 rev.** na panelu nástrojů **Grinding - TalyRond**.¹
POZNÁMKA: Jakmile makro skončí svou činnost, nepřepínejte v MS Excel do jiného sešitu před spuštěním druhého makra!!!



5. Spustíte makro pro výpočet Fourierovy analýzy dat jedné otáčky a vykreslete graf harmonických složek – stisknete tlačítko **TalyRond Harmonics** na panelu nástrojů **Grinding - TalyRond**.
6. Když makro skončí svou činnost, zkontrolujte meze y-ové osy grafu harmonického spektra a podle potřeby meze upravte.
7. Uložte soubor.



Graf harmonického spektra v MS Excel

Kalibrace $\mu\text{m}/\text{V}$:

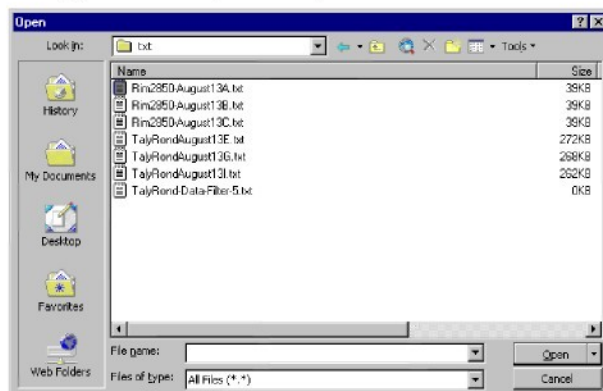
Makro v MS Excel je nastaveno na zpracování souborů zaznamenaných při zvětšení přístroje TalyRond s hodnotou 400 (magnification = 400). Kalibrační konstanta **63.9 $\mu\text{m}/\text{V}$** je uložena v makru *TalyRond_1rev* v první smyčce *Do...Until*. Používáte-li pro měření jiné zvětšení, je nutné tuto konstantu nahradit odpovídající novou kalibrační konstantou!!! Dalším předpokladem správnosti výpočtu je, že všechny hodnoty vstupujících do MS Excel jsou ve Voltech. Podrobnosti kalibrace jsou uvedeny v kapitole **Kalibrace** na konci tohoto manuálu.

¹ Pokud není panel nástrojů **Grinding - TalyRond** přítomen: zkontrolujte v menu **Zobrazit/Panely nástrojů (View/Toolbars)** v Excelu (nebo klikněte pravým tlačítkem myši na libovolný panel nástrojů) a hledejte v seznamu panelů panel **Grinding - TalyRond**. Tento panel a také všechna makra v jazyce Visual Basic jsou uložena v souboru *Personal.xls*, který je uložen v adresáři "Program Files\Microsoft Office\Office10\XLStart" na Vašem počítači. Bez tohoto souboru nemohou být makra spuštěna (nejsou-li importována a spuštěna ručně), a také panel nástrojů není přítomen.

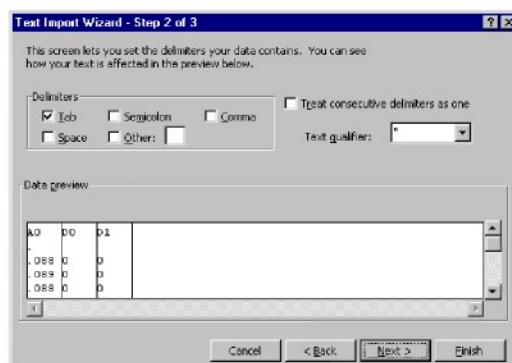
Kruhovitost kotouče

D) Jak spočít Fourierovu analýzu a vykreslit graf harmonického spektra v programu MS Excel

1. Spustíte MS Excel
2. Otevřete převedený textový soubor – menu **File/Open**, v dialogu Open vyberte **Typ souboru** (Files of type) **Všechny soubory** (All files) (*.*)).



3. Ve druhém kroku průvodce importem zaškrtněte oddělovač Tabulátor (**Tab**). Formát sloupců by měl vypadat jako na následujícím obrázku. Dokončete import stiskem tlačítka **Dokončit** (Finish).



Začátek textového souboru načteného v MS Excel by měl vypadat přibližně takto:

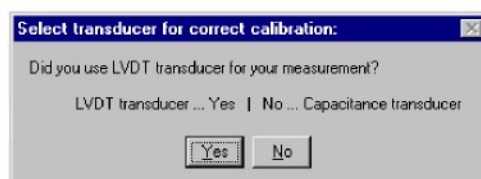
A0	D0	D1
0.088	0	0
0.089	0	0
0.088	0	0
...	...	...
0.085	0	0
0.088	1	0
0.092	1	0
0.099	0	0
...	...	...

A0 ... analogové hodnoty
D0 ... digitální signál pro označení 1 otáčky
D1 ... nepoužívá se

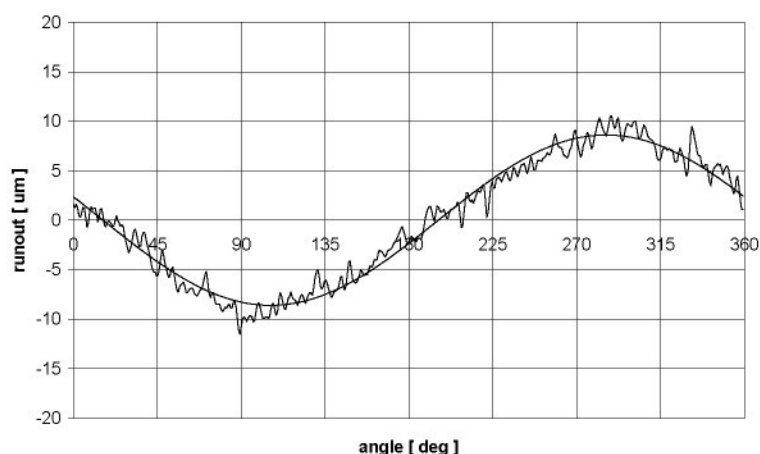
4. Spustíte makro, které přeuspořádá řádky a sloupce importovaných dat do formátu vhodného pro následující makro – stisknete tlačítko **Prepare Sheet** na panelu **Grinding - Wheel / Rim Roundness**².



5. Spustíte makro pro průměrování dat ze 4 otáček kotouče/ obruby – stisknete tlačítko **Average**.³ Vyberte, zda jste používali pro měření čidlo LVDT nebo bezdotykový kapacitní snímač. **POZNÁMKA:** Jakmile makro skončí svou činnost, nepřepínejte v MS Excel do jiného sešitu před spuštěním dalšího makra!!!



6. Spustíte makro pro výpočet Fourierovy analýzy dat průměrné jedné otáčky a vykreslete graf **první harmonické** složky – stisknete tlačítko **Fourier And Graphs**.
7. Stisknete tlačítko **Harmonics Chart** pro výpočet a vykreslení sloupcového grafu harmonických složek.
8. Když makro skončí svou činnost, zkontrolujte meze y-ové osy grafu harmonického spektra a grafu první harmonické složky a podle potřeby meze upravte.
9. Uložte soubor.



Graf první harmonické složky v MS Excel

² Pokud není panel nástrojů **Grinding - Wheel / Rim Roundness** přítomen: zkontrolujte v menu **Zobrazit/Panely nástrojů (View/Toolbars)** v Excelu (nebo klikněte pravým tlačítkem myši na libovolný panel nástrojů) a hledejte v seznamu panelů panel **Grinding - Wheel / Rim Roundness**. Tento panel a také všechna makra v jazyce Visual Basic jsou uložena v souboru **Personal.xls**, který je uložen v adresáři "Program Files\Microsoft Office\Office10\XLStart" na Vašem počítači. Bez tohoto souboru nemohou být makra spuštěna (nejsou-li importována a spuštěna ručně), a také panel nástrojů není přítomen.

³ **Num_avg** je jméno proměnné v makru **Runout_average_4revs_30um**, která udává počet otáček, které mají být zahrnuty do průměrování.

Kalibrace $\mu\text{m}/\text{V}$:

Makro *Runout_average_4revs_30um* obsahuje kalibrační konstanty pro čidlo LVDT a pro kapacitní čidlo.

'C_scale = 10.09 ' I[V] = 10.09 [um] range 30um ... LVDT čidlo

'C_scale = 222.22 ' I[V] = 222.22 [um] ... kapacitní čidlo

Podrobnosti kalibrace jsou uvedeny v kapitole **Kalibrace** na konci tohoto manuálu.

Úpravy v uživatelsky definovaných panelech nástrojů

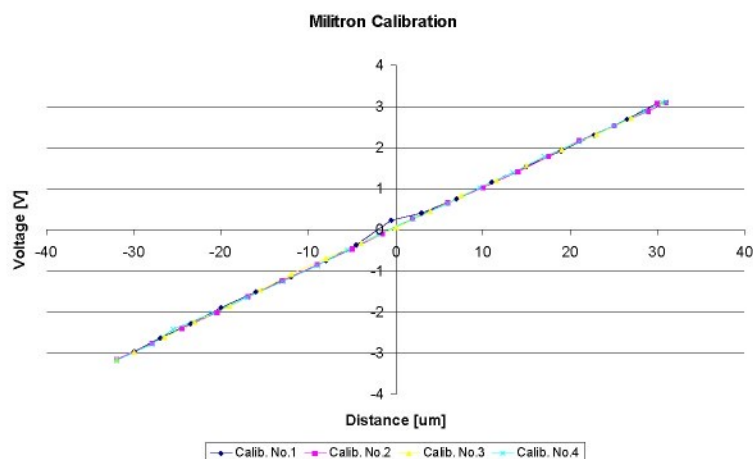
V případě, že potřebujete přiřadit tlačítkům panelů nástrojů jiné makro nebo chcete změnit jejich ikonu, postupujte následovně:

1. Klepněte pravým tlačítkem myši na jakýkoliv panel nástrojů v MS Excel a vyberte *Vlastní... (Customize ...)*.
2. Klepněte na tlačítku, které chcete změnit, a vyberte jej.
3. Klepněte pravým tlačítkem myši na totéž tlačítko a vyberte příkaz, který chcete provést (Přiřadit makro... (Assign Macro...), Změnit vzhled tlačítka... (Choose icon ...)).
4. Stiskněte Enter
5. Zavřete dialog *Vlastní ... (Customize ...)*.

Kalibrace

Čidlo LVDT připojené pomocí mikrometru Militron

Pro kalibraci čidla LVDT bylo naměřeno 74 měření ve čtyřech podobných sadách. Graf níže ukazuje, že v rozsahu (-30 mV, 30 mV) je poměr mezi napětím a vzdáleností lineární, a tak lze pro měření s tímto čidlem použít kalibrační konstantu.



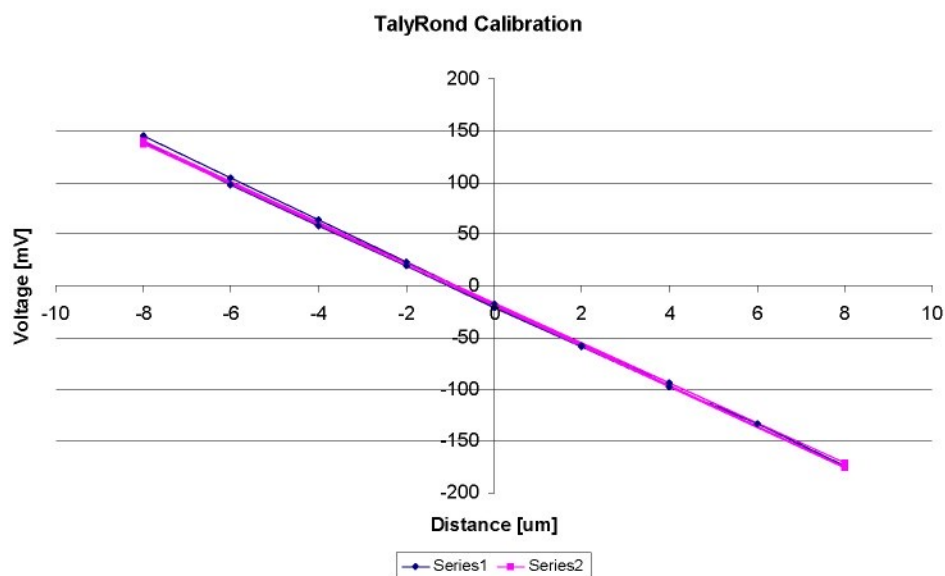
Calibration No.1,2						Calibration No.3,4					
um	V	um/V	um	V	um/V	um	mV	um/mV	um	mV	um/mV
-30	-2.960	10.135	-32	-3.148	10.165	-32	-3.154	10.146	-32	-3.165	10.111
-27	-2.634	10.251	-28	-2.771	10.105	-32	-3.163	10.117	-28	-2.785	10.054
-23.5	-2.272	10.343	-24.5	-2.394	10.234	-30	-2.976	10.081	-25.5	-2.409	10.585
-20	-1.900	10.526	-20.5	-2.009	10.204	-26.5	-2.611	10.149	-21	-2.024	10.375
-16	-1.514	10.568	-16.9	-1.625	10.400	-23	-2.241	10.263	-17	-1.641	10.360
-12	-1.142	10.508	-13	-1.242	10.467	-19	-1.858	10.226	-13	-1.251	10.392
-8	-0.761	10.512	-9	-0.854	10.539	-15.5	-1.478	10.487	-9	-0.868	10.369
-4.5	-0.369		-5	-0.469	10.661	-12	-1.088	11.029	-5.5	-0.480	11.458
-0.5	0.239		-1.5	-0.095		-8	-0.705	11.348	-2	-0.108	
3	0.401		2	0.276		-4	-0.321	12.461	2	0.263	7.605
7	0.744	9.409	6	0.653	9.188	0	0.063		6	0.642	9.346
11	1.165	9.442	10	1.028	9.728	4	0.443	9.029	9.6	1.015	9.458
15	1.537	9.759	14	1.405	9.964	7.5	0.822	9.124	13.5	1.398	9.657
18.9	1.916	9.864	17.5	1.781	9.826	11.5	1.196	9.615	17	1.778	9.561
22.8	2.300	9.913	21	2.156	9.740	15	1.570	9.554	21	2.153	9.754
26.5	2.689	9.855	25	2.528	9.889	19	1.947	9.759	25	2.528	9.889
30	3.072	9.766	29	2.888	10.042	23	2.326	9.888	28.5	2.888	9.868
Std. Deviation:	0.3862		31	3.100	10.000	27	2.708	9.970	31	3.105	9.984
Average 1:	10.061		30	3.081	9.737	30.5	3.085	9.887	30.5	3.088	9.877
			Std. Deviation:	0.3522		Std. Deviation:	0.7799		Std. Deviation:	0.7388	
Average All:	10.053		Average 2:	10.052		Average 3:	10.174		Average 4:	9.928	
Range of Scale: 30			1 V =	10.05 um							

Průměrná hodnota 10.053 $\mu\text{m/V}$ získaná touto kalibrací byla porovnána s předchozími kalibračními měřeními a po průměrování byla pro kalibraci použita konstanta 10.09 $\mu\text{m/V}$.

Přístroj TalyRond

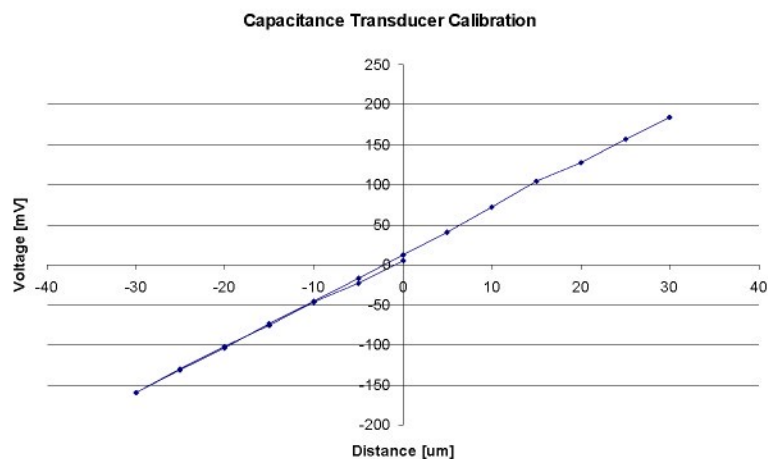
Pro kalibraci přístroje TalyRond bylo provedeno 23 měření. Graf níže ukazuje, že v rozsahu (-10 mV, 10 mV) je poměr mezi napětím a vzdáleností zcela lineární, a pro měření tímto přístrojem proto může být použita kalibrační konstanta.

Zvětšení 400: Kalibrační konstanta: 63.9 $\mu\text{m}/\text{V}$



Kapacitní čidlo

Pro kalibraci tohoto čidla bylo provedena sada 19 měření. Graf níže ukazuje, že v rozsahu (-30 mV, 30 mV) je poměr mezi napětím a vzdáleností lineární, a tak lze pro měření s tímto čidlem použít kalibrační konstantu.



um	mV	um/mV			
0	5.5				
-5	-22.8	0.2193		Range of Scale: 30	
-10	-46.5	0.2151			
-15	-75.6	0.1984			
-20	-102.4	0.1953			
-25	-130.6	0.1914			
-30	-159.2	0.1884			
-25	-131.3	0.1904			
-20	-103.8	0.1927			
-15	-73.8	0.2033			
-10	-45.2	0.2212			
-5	-16.5	0.3030			
0	12.8				
5	41.0	0.1220			
10	71.7	0.1395			
15	104.1	0.1441			
20	127.4	0.1570			
25	156.8	0.1594			
30	184.5	0.1626			
Std. Deviation:		0.0403			
Average:		0.188417	1 V =	188.42 um	

Po porovnání s předchozími kalibracemi tohoto čidla bylo zjištěno, že je velmi obtížné nakalibrovat toto kapacitní čidlo. Důvodem je fakt, že pro různá umístění čidla na brusce může nastat jiný překryv mezi povrchem kotouče a povrchem čidla, a tím se může změnit velikost pracovní plochy. Tento fakt byl vzat v úvahu a po průměrování s předchozími kalibracemi byl pro měření použit poměr $1 \text{ V} = 222.22 \text{ } \mu\text{m}$.

PŘÍLOHA Č. 4: FOTODOKUMENTACE Z PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ

UWE Bristol – laboratoř RAMP



Bruska Jones & Shipman 1050 a monitorovací stanice



Monitorovací stanice (PC vlevo) a řídicí stanice (PC vpravo)

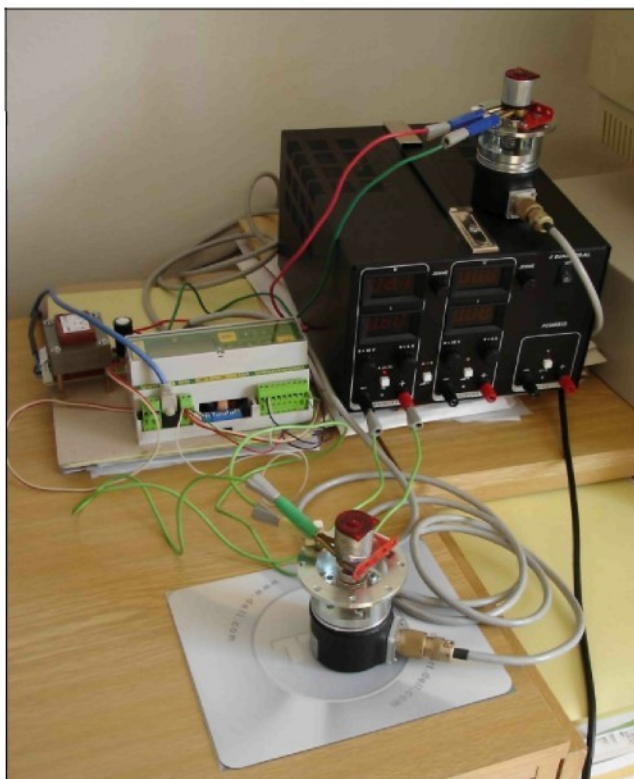


Průběh broušení na kulato s chlazením kapalinou na brusce Jones & Shipman 1050



Detail super-tvrdeho kotouče s povrchem z kubického nitridu bóru (CBN)

TU Liberec – testovací pracoviště – laboratoř KKY



Testovací zapojení pro odladování programu v PLC



*Pohled zepředu na testovací zapojení s elektromotorem místo pohonu obrobku
(jednoosý posuv vzadu je součástí jiného experimentu)*

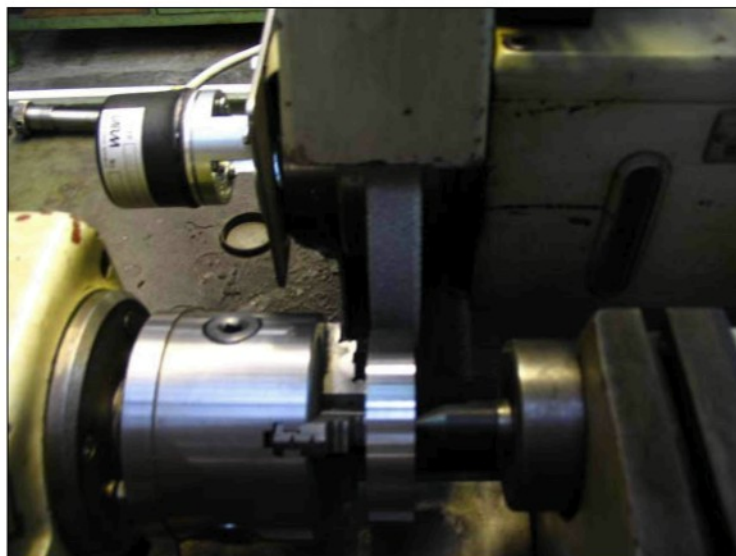
TU Liberec – laboratoř KOM



Celkový pohled na brusku BU16 s řidicím PLC ve výšce očí obsluhy



Pohled zezadu na brusku BU16 s frekvenčním měničem a brzdicím členem



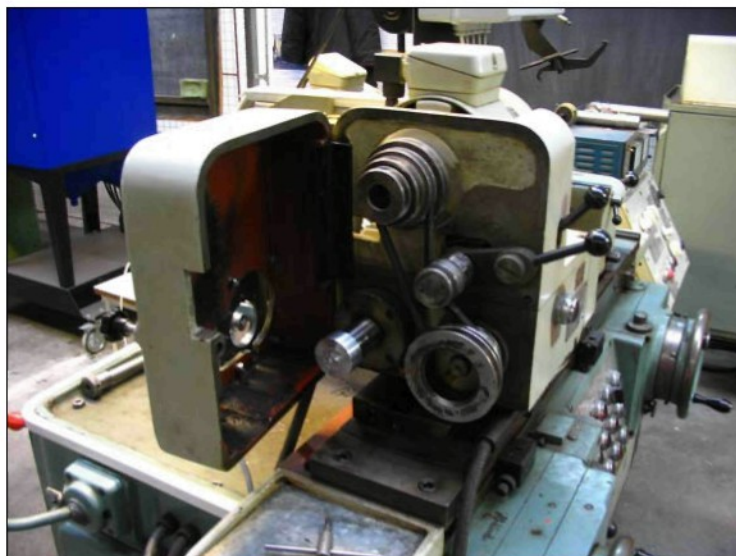
Detail uchycení obrobku



Uchycení snímače otáček kotouče



Uchycení snímače otáček obrobku



Řemenový pohon pomocné hřídele a detail mezikusu pro pohon snimače otáček obrobku



Řemenový pohon kotouče

PŘÍLOHA Č. 5:

ZDROJOVÝ KÓD SIMULAČNÍHO PROGRAMU BROUŠENÍ

```
{Program pro simulaci broušení na kulato na pocitaci}
{Martin Stianko, 4.3.2005-6.8.2006}

{parametry:

R ... polomer kotouce [m]
rw ... polomer obrobku [m]
ns ... frekvence kotouce v ot/min
fs ... frekvence kotouce v ot/s
nw ... frekvence obrobku v ot/min
fw ... frekvence obrobku v ot/s

vx ... rychlost prisuvu kotouce (resp. obrobku) [m/s]
rt ... run-out, hazivost kotouce [m]
t ... cas [s]
dt ... krok casu [s] = doba otoceni o 1 dilek = 1/5000 otacky
fi ... uhel na kotouci

x,y ... souradnice bodu na konci polomeru kotouce
m,n ... souradnice stredu kotouce

program simulace_obrabeni;}
uses Crt,Graph;
const max=10000; {pocet vrcholu v n-uhelniku obrobku}
var
m,x,y,max2:real;
R,rw,ns,fs,nw,fw,fw_out,vx,rt,q,q_out,t,dt,fi,psi:real;
v:array[1..max] of real; {pole vrcholu n-uhelniku obrobku}
i:integer; {index pro cykly}
rw_last_scr,rw_scr:integer;
R_last_scr,R_scr:integer;
m_ori,m_prev,m_rt,m_wp,m_wp_prev:real;
xc,yc,zoom:integer; {celocis. souradnice pro vykreslovani profilogramu}

gd,gm:integer;
path:string;
strng,strng2:string;
dotek:boolean;
en:boolean;
eng:integer;

minim, maxim, delka, round_error:real; {pro vypocet chyby kruhovitosti}

F:text; {pro testovani vypoctu chyby kruhovitosti}
Tab:string;
pom:real;

procedure PolarToCart(R,fi:real; var x,y:real);
begin
x:=R*cos(fi);
y:=R*sin(fi);
end;

{----- zacatek programu -----}
```

```
begin
{inicializace promennych}
R:=0.125;      {polomer kotouce}
rw:=0.025;     {polomer obrobku}
fs:=35.1;      {otacky kotouce}
q:=17.0;       {pomer otacek brouseni}
q_out:=17.65;  {pomer otacek - vyjiskrovani}
fw:=fs/q;
fw_out:=fs/q_out;
vx:=0.00025;   {rychlost prisuvu}
rt:=0.0000085; {runout}
m:=0.160;      {pocatecni poloha kotouce v m}

R_scr:=round(R*1000);
rw_scr:=round(rw*1000);
rw_last_scr:=rw_scr;
m_ori:=m;
m_prev:=m;

for i:=1 to max do v[i]:=rw; {naplneni pole delek vrcholu n-uhelniku}

{volba jazyka = choosing language}
eng:=0;
if eng=1 then en:=true else en:=false;

{0 vykresleni schema situace = drawing scheme}
clrscr;
{inicializace modulu kresleni = initiating drawing unit}
gd:=Vga;
gm:=VgaHi;
path:=('c:\temp\bgi');
{Gd:=Detect;}
InitGraph(gd,gm,path);
SetBkColor(white);

{vykresleni schematu = drawing the scheme}
SetColor(blue);
Rectangle(10,30,440,460);
Line(10,240,440,240);
SetColor(blue);
Circle(100,240,rw_scr);
Circle(100+round(m*1000),240,r_scr);

{vypis parametru obrabeni = listing grinding parametres}
SetColor(blue);
if en=false then strng:='PROGRAM PRO SIMULACI VZNIKU VLNITOSTI OBROBKU PRI
BROUSENI NA KULATO'
      else strng:='PROGRAMME FOR SIMULATION OF WAVINESS DEVELOPMENT IN
CYLINDRICAL GRINDING';
OutTextXY(46,10,strng);
SetColor(green);
if en=false then strng:='1) PRUBEH BROUSENI'
      else strng:='1) GRINDING IN PROGRESS';
OutTextXY(146,50,strng);
if en=false then strng:='Rychlost prisuvu (mm/s)'
      else strng:='Feeding Speed (mm/s)';
OutTextXY(446,30,strng);
Str(vx*1000:2:2,strng);
OutTextXY(450,45,'f_x = '+strng);
Line(444,60,640,60);
SetColor(red);
if en=false then strng:='Frekvence ot.kot.(min-1)'
```

```

        else strng:='Wheel Speed (rev/min)';
    OutTextXY(446,65,strng);
    Str(fs*60:2:2,strng);
    OutTextXY(450,80,'n_s = '+strng);
    if en=false then strng:='Frekvence ot.obr.(min-1)'
        else strng:='Work Speed (rev/min)';
    OutTextXY(446,100,strng);
    Str(fw*60:2:2,strng);
    OutTextXY(450,115,'n_w = '+strng);
    if en=false then strng:='Frek.ot.obr.-vyj.(min-1)'
        else strng:='Work Speed-sparking out (rev/min)';
    OutTextXY(446,135,strng);
    Str(fw_out*60:2:2,strng);
    OutTextXY(450,150,'n_w = '+strng);
    SetColor(red);
    if en=false then strng:='Pomer otacek'
        else strng:='Wheel Ratio';
    OutTextXY(446,170,strng);
    Str(q:2:2,strng);
    OutTextXY(450,185,'q_n = '+strng);
    if en=false then strng:='Pomer otacek-vyjiskr.'
        else strng:='Wheel Ratio-sparking out';
    OutTextXY(446,205,strng);
    Str(q_out:2:2,strng);
    OutTextXY(450,220,'q_n = '+strng);

    SetColor(green);
    Line(444,232,640,232);
    if en=false then strng:='Hazivost kotouce (mm)'
        else strng:='Run-out (mm)';
    OutTextXY(446,240,strng);
    Str(rt*1000:4:4,strng);
    OutTextXY(450,255,strng);

    strng:='R(mm)=';
    OutTextXY(446,275,strng);
    Str(R*1000:4:0,strng);
    OutTextXY(490,275,strng);
    strng:='r_w(mm)=';
    OutTextXY(546,275,strng);
    Str(rw*1000:4:0,strng);
    OutTextXY(598,275,strng);

    Line(444,290,640,290);

    {1} obrabeni = grinding
    i:=1;t:=0;

    repeat
    {begin}
        if i>max then i:=1;
        dt:=1/(max*fw);
        t:=t+dt;
        m:=m-vx*dt; {posunuti stredu kotouce = moving wheel center}
        m_wp:=m; {pro zobrazovani obrobku}
        {m_wp_prev:=m_wp; {pro zobrazovani obrobku}

    if rt<>0 then
        begin
            m_rt:=rt*sin(2*pi*fs*t); {vypocet runoutu kotouce }
            m:=m+m_rt; {adding runout influence to the wheel centre}

```

```

        end;

{kontrola doteku/pruniku - contact}
if m < (v[i]+R) then
begin
    v[i]:=m-R;
    if dotek=false then
    begin
        SetColor(red);
        if en=false then strng:='a)Dotek'
            else strng:='a)Contact';
        OutTextXY(446,300,strng);
        dotek:=true;
    end;
end;

{end;}

{1b) vykreslení nového obrobku = drawing new workpiece}

if i=1 then
begin
    R_last_scr:=R_scr;
    rw_last_scr:=rw_scr;
    rw_scr:=round(v[1]*1000);
    SetColor(white);
    Circle(100+round((m_ori-m_wp_prev)*1000),240,rw_last_scr);
    SetColor(blue);
    Circle(100+round((m_ori-m_wp)*1000),240,rw_scr);
    Line(10,240,440,240);
    m_prev:=m; {zapamatování pro vykreslování = record of m for drawing}
    m_wp_prev:=m_wp;
end;
i:=i+1;

{end;}
until (v[1]<(rw-0.005));

SetColor(red);
if en=false then strng:='b)Stop prisunu-vyjiskrovani'
    else strng:='b)Stopped feeding in-sparking out';
OutTextXY(446,325,strng);
SetColor(blue);

{2) vyjiskrování = sparking out}

repeat
{begin}
i:=i+1;
if i>max then i:=1;
dt:=1/(max*fw_out);
t:=t+dt;
m:=m; {realné vyjiskrování }
{m:=m-vx*dt; střed kotouče se stále pohybuje }
m_wp:=m; {pro zobrazování obrobku}
if rt<>0 then
begin
    m_rt:=rt*sin(2*pi*fs*t); {výpočet runoutu kotouče }
    m:=m+m_rt; {adding runout influence to the wheel centre}
end;

{kontrola pruniku}

```



```
if m < (v[i]+R) then
  begin
    v[i]:=m-R;
  end;

{end;}

{2b) vykreslení nového kotouce}

if i=1 then
  begin
    R_last_scr:=R_scr;
    rw_last_scr:=rw_scr;
    rw_scr:=round(v[1]*1000);
    SetColor(white);
    Circle(100+round((m_ori-m_wp_prev)*1000),240,rw_last_scr);
    SetColor(blue);
    Circle(100+round((m_ori-m_wp)*1000),240,rw_scr);
    Line(10,240,440,240);
    m_prev:=m; {zapamatování pro vykreslování = record of m for drawing}
    m_wp_prev:=m_wp;
  end;

{end;}
until (keypressed or (v[1]<(rw-0.009)));

SetColor(red);
if en=false then strng:='c)Konec vyjiskrování'
  else strng:='c)Sparking Out Finished';
OutTextXY(446,345,strng);
SetColor(blue);
if en=false then strng:='Pro pokračování stiskni'
  else strng:='Press any key';
OutTextXY(446,380,strng);
if en=false then strng:='libovolnou klávesu.'
  else strng:='to continue.';
OutTextXY(446,395,strng);
strng:=ReadKey;

{3) vykreslení výsledného profilu = display of the resulting surface}
{for i:=1 to max do}
{writeln(v[i]);}

{pro výpočet chyby kruhovitosti - for roundness error}
maxim:=v[1];
minim:=v[1];

Tab:=Chr(13);
pom:=max;
Str(pom:4:0,strng2);
strng:='ob_'+strng2+'.txt';
assign(F,strng);
rewrite(F);

SetColor(white);
for i:=31 to 459 do Line(11,i,439,i); {smazání obr.1}
SetColor(blue);
SetColor(green);
if en=false then strng:='2) PROFIL OBROBKU'
  else strng:='2) WORK SURFACE';
OutTextXY(146,440,strng);
```

```
SetColor(blue);
zoom:=5000;
for i:=1 to max do
begin
  fi:=(i/max)*2*pi;
  PolarToCart(v[i],fi,x,y);
  xc:=round((x*zoom)+210+rw*2500*cos(fi));
  yc:=round((y*zoom)+240+rw*2500*sin(fi));
  GoToXY(xc,yc);
  Line(xc,yc,xc,yc+1);
  if v[i] > maxim then maxim:=v[i];
  if v[i] < minim then minim:=v[i];
  write(F,v[i],Chr(13),Chr(10));

end;
round_error:=maxim-minim;
round_error:=round_error*1000000; {prepocet na mikrometry}
maxim:=maxim*1000000; {prepocet na mikrometry}
minim:=minim*1000000; {prepocet na mikrometry}
Close(F);

SetColor(blue);

if en=false then strng:='Chyba kruhovitosti (um) '
  else strng:='Roundness error (um)';

OutTextXY(446,420,strng);
Str(round_error:10:2,strng);
OutTextXY(446,435,strng);

Str(maxim:10:2,strng);
OutTextXY(546,435,strng);
Str(minim:10:2,strng);
OutTextXY(546,455,strng);

SetColor(blue);
max2:=max;
Str(max2:4:0,strng);
strng:='n='+strng;
OutTextXY(446,455,strng);

strng:='-';
OutTextXY(586,445,strng);

SetColor(green);

if en=false then strng:='Pro pokračování stiskni'
  else strng:='Press any key';
OutTextXY(446,380,strng);
if en=false then strng:='libovolnou klávesu.'
  else strng:='to continue.';
OutTextXY(446,395,strng);
strng:=ReadKey;
CloseGraph;
end.
```

PŘÍLOHA Č. 8:

ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU V PLC AMINI2D

```

ÚAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
Äz
l Copyright (c) 2006, Martin Stianko, KKY, FS, TU Liberec
l
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
Ä'
l
l
l Projekt : Rizeni pomeru otacek brusky na kulato
l Verze : V01.00
l Stanice : PS01 - KOM TUL
l Verze : V01.00
l Id1 : KOM TU Liberec l
l Id2 : *** l
l l
l Soubor : KOM.TXT l
l Autor : Martin Stianko l
l l
l Datum : 27.11.'06 (generováno editorem procesní stanice PSE) l
l l
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
Ä'
l l
l Volby : Pasivně, bez mapování WIDů l
l Hardware: AMINI2D l
l l
RAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAÜ

iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
iiiiii
Poznámky k procesní stanici
iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
iiiiii

Stanice je určena k řízení a regulaci frekvence otacek vřetene (obrobku)
brusky na Katedře obrábění a montáže TU Liberec.

Verze:20.10.2006
Poznámky: včetně archivace

iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
iiiiii
Výpis konfigurace procesních vstupů a výstupů
iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii

Typ Log.kanál Komentář
AAA AAAAAAAA AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
DI0 0 vstupy IRC cidla a tlačítek START/STOP
DI.00 irc_k vstup A z IRC cidla kotouče
DI.01 irc_k_smer vstup B z IRC cidla kotouče - smer
DI.02 irc_o vstup A z IRC cidla obrobku
DI.03 irc_o_smer vstup B z IRC cidla obrobku - smer
DI.04 irc_k_otacka vstup z IRC cidla kotouče - 1 otacka
DI.05 irc_o_otacka vstup z IRC cidla obrobku - 1 otacka
DI.06 start_stroje stisk tlačítka START na brusce

```



```

ÚAAAAAAAAAAz
l l 0l
AAAAIAAAAAA'
l 0l 600.00l
RAAAAAAAAAAU

15 irc_o_predch 01016 F i.t 1 pocet impulsu v case n-1
ÚAAAAAAAAAz
l l 0l
AAAAIAAAAAA'
l 0l 600.00l
RAAAAAAAAAAU

16 meze 01037 MF[ 4, 2] i.t 1
rychlost,pomer,fyz.meze,el.meze
ÚAAAAAAAAAAz
l l 0l 1l
AAAAIAAAAAIAAAAAA'
l 0l 0.000l 500.00l
AAAAIAAAAAIAAAAAA'
l 1l 2.000l 40.000l
AAAAIAAAAAIAAAAAA'
l 2l 0.000l 540.00l
AAAAIAAAAAIAAAAAA'
l 3l 0.000l 10.000l
RAAAAAAAAAAU

17 meze_filtr 01040 F i.t 1 meze filtru - vypocet
rychlosti kotouce
ÚAAAAAAAAAz
l l 0l
AAAAIAAAAA'
l 0l 1.50l
RAAAAAAAAAAU

18 meze_index 01038 I ..t 1 index pro chod v tabulce
19 nula_Hz 01020 F ..t 1 promenna pro nastaveni 0
Hz na menici
20 otacka_k 01014 I i.t 1 1 otacka kotouce
ÚAAAAAAAz
l l 0l
AAAAIAAA'
l 0l 600l
RAAAAAAAU

21 otacka_o 01015 I ..t 1 1 otacka obrobku
22 PDD 01901 MI[ 1, 408] 1 PDD - pro archivaci
23 PDI 01900 I 1 PDI - pro archivaci
24 perioda 01030 I i.t 1 delka periody HI00
procesu v ms
ÚAAAAAAAAAz
l l 0l
AAAAIAAA'
l 0l 150l
RAAAAAAAU

```

UAAÄÄÄÄÄz
1 101

1 101

1 0111
55555555

```
31 rychkotoucF 01039 F ..t 1 rychlost kotouce
```

```
32  rych_obrobek  01002  F          ..t  1  rychlost obrobku
```

```
displayem (min-1!)
      ~~~~~^~~~~~
```

(Hz)

```
36 stav_pomocn 01043 I          ..t 1 negace prom.
```

37	Suma	011118	I	1	pro archivaci
38	Suma	010000	I	1	pro archivaci

39	uspech2	01004	T		1	pomocna promenna pro IRC
----	---------	-------	---	--	---	--------------------------

```
40  Vzorek L      01025  ML[  1,  1]      1  Vzorek dat pro ulozeni do
```

41 zadani_pomer 01027 I ..t 1 pro potvrzeni pri

```
42  zadani_rychl  01045  I          ..t  1  pro potvrzeni pri
```

Poř.	Alias	Jm,no	Komentář
AAA	AAAAAAAAAAAA	AAAAAAAAAAAA	
1	@chod	chod.0	menic i stroj bezi
2	@menic_napet	DAI0.6	menic pod napetím
3	@regulace	stav.3	stav regulace pomeru rychlosti
4	@rizeni	stav.2	stav rizeni rychlosti obrobku
5	@start_stroj	DI0.6	tlacitko START=1, tlacitko STOP=0
6	@stop_stroj	DI0.7	tlacitko STOP
7	@SyncArc	Bool0.0	Syncro znacka pro archivaci

fffffff
 Výpis tabulky procesů
 fffffff

Proces	Typ	Perioda	Ofset/Hrana	Modul-	Komentář
AAAAAAA	AA	AAAAAAA	AAAAAAA	AAAAA	
Proc07		1.0 s		5	Archivace
ProcIDLE				1	Obnova displeje
ProcHI00		500 ms		36	Hlavni proces - hlidani napeti
menice					
ProcHI01		150 ms		31	Nacitani z IRC cidel a regulace
otacek					
ProcINIT				5	Inicializace po zapnuti PLC

fffffff
 Proc07 1.0 s 5 Archivace
 fffffff
 1 REM "Archivace"
 2 If Archivovat.0, :NONE
 3 SyncMark Vte@ina, 1, 0, 0, 1, @SyncArc, NONE
 4 SyncArch pomer_rych[0,*], 1, Arc_FData[0,*],
 Arc_Cas, @SyncArc, @SYncArc, 3, Arc_Index,
 0x0001
 5 EndIf

fffffff
 ProcIDLE 1 Obnova displeje
 fffffff
 1 LCDAMIN2D

fffffff
 ProcHI00 500 ms 36 Hlavni proces - hlidani napeti
 menice
 fffffff
 1 REM "menic ma napeti?"
 2 DigIn #2, DAI0, 0x0000
 3 DigIn #0, DI0, 0x0000
 4 If @menic_napet, :NONE
 5 Let stav.0=1 menic ma
 napeti, stav=liche cislo
 6 Let stav_pomocn.0=0
 vynulovani promenne, aby neblikal LCD
 7 REM "tlacitko START stisknute?"
 8 If @start_stroj, :NONE tl.
 START, stroj ceká na zadani otacek

9	Let	stav.1=1	po
stisku tl. START			
10	Let	DO0.0=1	nahozeni
bitu			
11	Let	stav_pomocn.1=0	
vynulovani promenne, aby neblikal LCD			
12	DigOut	DO0, #0, 0x0000	zapnuti
rezimu RUN menice			
13	REM	"zadani rychlosti stroje"	
14	If	zadani_rychl.0, :NONE	ceka,
zda bylo zadavani potvrzeno			
15	Let	zadani_rychl.0=0	negace
zadavani			
16	Let	rych_obrob_z=rych_obrob_p	
prirazeni hodnoty z displeje			
17	AnOut	#menic, rych_obrob_z, 10V, meze[3,0], meze[3,1], meze[2,0], meze[2,1]	zapis na
menic			
18	Let	stav=7	obrobek
ma nastaveny otacky, je chod			
19	EndIf		
20	Else	:NONE	
21	REM	"neni START, je STOP nebo tlacitko TOTAL S TOP"	
22	Let	stav=1	
23	Let	stav_pomocn.1=!stav.1	pro
prepnuti obrazovky na stav=0			
24	AnOut	#menic, nula_Hz, 10V, 0V/0mA, 10V, meze[2,0], meze[2,1]	zapis na
menic			
25	Let	DO0.0=0	shozeni
bitu			
26	DigOut	DO0, #0, 0x0000	zapnuti
rezimu STOP menice			
27	EndIf		
28	Else	:NONE	
29	REM	"menic nema napeti"	
30	Let	stav=0	
31	Let	stav_pomocn.0=!stav.0	pro
prepnuti obrazovky na stav=0			
32	AnOut	#menic, nula_Hz, 10V, 0V/0mA, 10V, meze[2,0], meze[2,1]	zapis na
menic			
33	Let	DO0.0=0	shozeni
bitu			
34	DigOut	DO0, #0, 0x0000	zapnuti
rezimu STOP menice			
35	EndIf		
36	Let	@chod=@start_stroj and @menic_napet	alias
@chod pro spinani procesu PROC02			

```

ProcHI01          150 ms          31   Nacitani z IRC cidel a regulace
otacek
1             If             @chod, :NONE             chod pro
simul., start_stroje pro real
2             If             pom_start.0, :NONE
1.cyklus..false, true..dalsi cykly
3             Stopwatch 2, 0x0002, CasProc             konec

```

```

ProcINIT
5      Inicializace po zapnutí PLC
1      Let      stav=0
inicializace promenne
2      IRCMode   0, IRC F1-F2, Obě hrany, 0.0, 0.250,
                uspech1.0
3      IRCSet    0, irc_k
4      IRCMode   1, IRC F1-F2, Obě hrany, 0.0, 0.250,
                uspech2.0
5      IRCSet    1, irc o

```

```

ÚAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAz
1 Copyright (c) 1998, AMiT, spol. s r.o., Aplikace Mikroprocesorové
Techniky1
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA1
1 Projekt : Řízení poměru otacek brusky na kulato 1
1 Verze : V01.00 1
1 Stanice : PS00 - displej 1
1 Verze : V00.01 1
1 1
1 Soubor : KOM_LCD.TXT 1
1 Autor : Martin Stianko 1
1 1
1 Datum : 27.11.'06 (generováno editorem LCD SHELLU ) 1
1 1
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
1 1
1 Displej : Unknown 1
1 1
1 Uživ.1 : Jméno = 0 1
1 Heslo = 0 1
1 Práva = Obsluha 1
1 1
1 Uživ.2 : Jméno = 0 1
1 Heslo = 0 1
1 Práva = Technolog 1
1 1
1 Uživ.3 : Jméno = 10000 1
1 Heslo = 10000 1
1 Práva = Programátor 1
1 1
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAŮ

```

```

iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
Výpis tabulky procesů
iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
Obrázovka      Prvků      Komentář
AAAAAAAAAAAAAA  AAAAAAAA  AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
Obr0000          7      Menic není pod napetím
Obr0001          9      Stroj připraven
Obr0003         16      Zadávání rychlosti obrobku
Obr0007         16      Aktuální otacky
Obr0011         18      Zadávání požadovaného poměru rychlosti
Obr0015          4      pomocna obrazovka s prepínací
Obr0020         12      Zadávání fyzikálních mezí
Obr0021         11      Zadávání elektrických mezí
Obr0022         11      Zadávání mezí otacek obrobku
Obr0024          8      Zadávání velikosti filtru
Obr0023         11      Zadávání mezí poměru otacek
Obr0025         10      Zapínání/vypínání archivace

```

```

iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
Obr0000          7      Menic není pod napetím
iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
1 ClrScr      0x0001, 0, 0, 0
2 Text        1, 0, "M`ni# nen` "
3 Text        2, 0, "pod napětím!!"
4 CaseLCD     0x0003, <>, stav.0, stav[0,0]      Přepnutí
obrazovky dle proměnné stav
5 KeyLCD      <Right>, 1

```

[illegible]


```

1  ClrScr      0x0001, 0, 0, 0
2  Text        1, 0, "Fyz.mez menic d.:"
3  Text        2, 0, "Fyz.mez menic h.:"
4  DbValue     1, 17, 0x0001, 3, 0, meze[2,0], 0.0, 1000.0, 0.0,
               0.0
5  DbValue     2, 17, 0x0001, 3, 0, meze[2,1], 0.0, 1000.0, 0.0,
               0.0
6  AddKey      0x0000, meze[2,1], <+>, <->, NONE[0,0], 10.0,
               NONE[0,0], 10.0, NONE[0,0], 0.0, NONE[0,0],
               1000.0
7  AddKey      0x0000, meze[2,1], <Up>, <Down>, NONE[0,0], 1.0,
               NONE[0,0], 1.0, NONE[0,0], 0.0, NONE[0,0], 990.0
8  CaseLCD     0x0003, <>, stav_pomocn.0, stav[0,0]      Přepnutí
obrazovky do stavu 0
9  CaseLCD     0x0003, <>, @stop_stroj, stav[0,0]        Přepnutí
obrazovky do stavu 1
10 KeyLCD      <Right>, 21
11 KeyLCD      <Left>, 11
12 Text        3, 0, "<- ©~zen~      meze ->"

```

FS-KKY 2007	11	Mgr. Martin Stianko
-------------	----	---------------------


```

iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
Obr0025          10   Zapinani/vypinani archivace
iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii
 1  ClrScr      0x0001, 0, 0, 0
 2  Text        1, 0, "Archivovat?"
 3  DbValue     1, 17, 0x0001, 1, 0, Archivovat[0,0], 0.0, 1.0,
                0.0, 0.0
 4  Text        2, 0, "(Sipky nahoru dolu)"
 5  AddKey      0x0000, Archivovat[0,0], <Up>, <Down>, NONE[0,0],
                1.0, NONE[0,0], 1.0, NONE[0,0], 0.0, NONE[0,0],
                990.0
 6  CaseLCD     0x0003, <>, stav_pomocn.0, stav[0,0]           Přepnutí
obrazovky do stavu 0
 7  CaseLCD     0x0003, <>, @stop_stroj, stav[0,0]            Přepnutí
obrazovky do stavu 1
 8  KeyLCD      <Right>, 20
 9  KeyLCD      <Left>, 11
10  Text        3, 0, "<- ©~zen~    meze ->"

```

NÁVOD K OBSLUZE ŘÍZENÍ BRUSKY V LABORATOŘI KOM, TUL

Bruska BU 16A v laboratoři KOM byla v rámci výzkumného záměru vybavena řízením otáček obrobku pomocí programovatelného automatu (tzv. PLC) firmy AMiT. V současném zapojení je možné řídit frekvenci otáček obrobku ve dvou režimech:

- režim *řízení* – nastavuje se frekvence otáček obrobku pomocí displeje PLC
- režim *regulace* – nastavuje se poměr otáček kotouče a obrobku a frekvence otáček obrobku je pak dopočítána podle vztahu: otáčky obrobku = otáčky kotouče / poměr otáček

Ovládání brusky a programovatelného automatu

Úkon na brusce nebo PLC	LCD displej
1) Zapnout hlavní vypínač brusky (červený) Stav: 1 2) Přihlásit se na úvodní obrazovce PLC (3x Enter) PLC dále čeká na stisk tlačítka START kotouče na brusce. (stav = číslo vpravo dole na displeji)	Přihlašovací obrazovka – stisknout 3x ENTER. Displej: „Stroj připraven, zapni stiskem START.“
3) Zapnout hydrauliku ... (hydraulika se spustí) 4) Zapnout pohon kotouče ... (kotouč se roztočí) 5) Zapnout pohon obrobku ... (obrobek zůstává stát !) Po zapnutí pohonu kotouče: Stav: 3 PLC začne načítat impulsy *. Bruska roztáčí kotouč, displej zobrazuje otáčky kotouče, obrobek stojí. Program čeká na zadání požadované frekvence otáček obrobku klávesami: ↑ a ↓ ... +/- 10 ot./min⁻¹ + a - ... +/- 1 ot./min⁻¹ Enter ... potvrzení zadání * Rozsah čítače impulsů z IRC čidel se dle manuálu k PLC naplní po 32 h provozu při frekvenci otáček kotouče 2200 min ⁻¹ .	Displej: „Zadej otáčky obrobku“
Řízení: Po zadání frekvence otáček obrobku: 7 Proměnná <i>stav</i> je nastavena na 7, tj. <i>režim řízení</i> . Obsluha může měnit zadanou frekvenci obrobku v rozsahu mezi (0-500 ot./min ⁻¹). Důležité: Teprve po potvrzení klávesou Enter se obrobek roztočí zadanou frekvencí.	

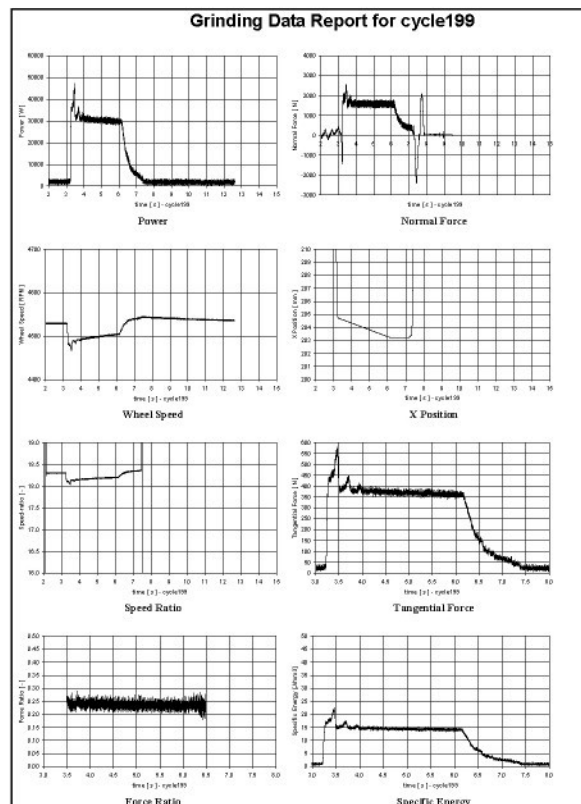
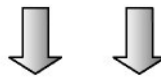
Úkon na brusce nebo PLC	LCD displej
Monitorování otáček: Stav: 7/11 Pro sledování aktuálních otáček kotouče i obrobku slouží obrazovka „Aktuální otáčky“. K přepínání mezi obrazovkami slouží klávesy ← a → dle schématu: Zadání otáček obrobku ↔ Aktuální otáčky ↔ Zadání poměru otáček	Displej: „Aktuální otáčky: kotouč: min^{-1} obrobek: min^{-1}“
Regulace: Zadání poměru otáček: Stav: 11 Zadání požadované frekvence otáček obrobku klávesami: $\uparrow a \downarrow \dots \pm 0,1 \text{ ot./min}^{-1}$ $+ a - \dots \pm 1 \text{ ot./min}^{-1}$ Enter ... potvrzení zadání Důležité: Teprve po potvrzení klávesou Enter se obrobek roztočí podle zadaného poměru frekvencí kotouče a obrobku. Program přejde do stavu 11.	Displej: „Zadej požadovaný poměr otáček“
Po stisku tlačítka STOP obrobku na brusce... Stav: 7/11 ... program zůstává v tomtéž stavu. Po opětovném stisku tlačítka START obrobku program pokračuje podle zvoleného režimu – řízení nebo regulace.	
Po stisku tlačítka STOP kotouče na brusce... Stav: 1 ... program přejde do stavu 1 - Stroj připraven. Na analogový výstup AO.0 je přivedeno napětí 0 V odpovídající požadované frekvenci 0 min^{-1} obrobku. Kotouč se dotáčí nezávisle na PLC.	Displej: „Stroj připraven, zapni stiskem START.“
Při přerušení dodávky proudu do měniče... Stav: 0 ... program přejde do stavu 0 – Měnič není pod napětím. Na analogový výstup AO.0 je přivedeno napětí odpovídající požadované frekvenci 0 min^{-1} obrobku. Kotouč se dotáčí nezávisle na PLC. Poznámka: Vzhledem k tomu, že 220 V pro napájení PLC je přivedeno z 380 V napájení měniče, dojde vždy při vypnutí měniče k vypnutí PLC.	Displej: „Měnič není pod napětím“
Vypínání Při vypínání se doporučuje snížit frekvenci otáček obrobku na minimum (aby nedocházelo ke zbytečnému přetěžování měniče a jeho následnému resetu) a poté postupně vypnout obrobek, kotouč a hydrauliku brusky. Vypnout hlavní vypínač.	

Grind Test Number	Component Part Number	Component Diameter Ref.	Landis Log Number	Spindle Velocity		Chatter Frequency Harmonics									Notes
				m/s	RPM	Diamond Roller Speed (RPM)	Work Speed (RPM)	Wheel to Work Ratio	Frequency Point 1	Point 1 Amplitude (µm)	Frequency Point 2	Point Amplitude (µm)	Frequency Point 3	Point 3 Amplitude (µm)	
1	13	1	183	82,46	4500	8000	250	18,000	18	0,65	37	0,25	146	0,15	
2	10	1	184	82,46	4500	8000	246	18,293	18	0,80	37	0,30	55	0,15	
3	1	1	185	82,46	4500	8000	254	17,717	18	2,50	53	0,10	89	0,20	
4	2	1	186	82,46	4500	8000	251	17,928	18	1,80	36	0,25	125	0,20	
5	30	1	187	82,46	4500	8000	252	17,857	18	1,70	37	0,10	125	0,25	
6	28	1	188	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,55	36	0,25	124	0,10	
7	27	1	189	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,35	36	0,25	107	0,15	
8	34	1	190	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,20	36	0,25	107	0,20	
9	31	1	191	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,60	36	0,15	89	0,20	
10	32	1	192	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,35	36	0,40	89	0,20	
11	33	1	193	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,65	36	0,35	53	0,15	
12	29	1	194	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,10	36	0,25	72	0,15	
13	20	1	195	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,85	36	0,25	72	0,15	
14	24	1	196	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,75	36	0,25	72	0,10	
15	0	1	197	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,75	36	0,25	107	0,15	
16	22	1	198	82,46	4500	8000	249	18,072	18	0,65	37	0,25	55	0,25	
17	25	1	199	82,46	4500	8000	249	18,072	18	0,50	37	0,30	55	0,25	
18	28	2	201	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,70	36	0,20	71	0,15	
19	27	2	202	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,40	36	0,40	53	0,25	
20	34	2	203	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,05	36	0,10	54	0,20	
21	31	2	204	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,15	37	0,15	107	0,25	
22	32	2	205	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,95	36	0,15	54	0,20	
23	33	2	206	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,05	36	0,10	53	0,20	
24	29	2	207	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,85	36	0,40	54	0,20	
25	20	2	208	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,85	36	0,20	55	0,15	
26	24	2	209	82,46	4500	8000	253	17,787	18	1,85	36	0,10	54	0,15	
27	0	2	210	82,46	4500	8000	253	17,787	18	2,15	36	0,20	53	0,10	
28	22	2	211	82,46	4500	8000	249	18,072	18	0,75	37	0,35	55	0,20	
29	25	2	212	82,46	4500	8000	249	18,072	18	0,65	37	0,45	54	0,10	
30	65	1	220	160	8768	8000	300	29,227	29	0,75	58	0,15	88	0,85	
31	65	2	221	160	8768	8000	296	29,622	30	0,95	58	0,10	89	0,90	
32	V	1	222	160	8768	8000	297	29,522	30	1,00	60	0,15	89	0,50	
33	V	2	223	160	8768	8000	298	29,423	29	0,40	59	0,25	88	0,85	
34	6	1	224	160	8768	8000	299	29,324	29	0,55	88	0,45	264	0,10	
35	6	2	225	160	8768	8000	301	29,130	29	0,70	58	0,05	88	0,60	
36	3	1	226	160	8768	8000	302	29,033	29	0,40	59	0,15	88	0,35	
37	3	2	227	160	8768	8000	303	28,937	29	0,55	58	0,15	88	0,60	
38	7	2	228	160	8768	8000	304	28,842	29	0,60	59	0,20	88	0,65	
39	9	1	232	140	7673	8000	262,5	29,230	29	0,70	88	0,20	117	0,10	
40	9	2	233	140	7673	8000	258	29,740	30	1,65	59	0,10	90	0,20	
41	13	1	234	140	7673	8000	259	29,625	30	1,65	60	0,10	89	0,15	
42	13	2	235	140	7673	8000	260	29,512	30	1,20	59	0,10	89	0,10	
43	12	1	236	140	7673	8000	261	29,398	29	0,90	58	0,10	88	0,15	
44	12	2	237	140	7673	8000	263	29,175	29	0,65	60	0,05	117	0,15	
45	11	1	238	140	7673	8000	264	29,064	29	1,15	58	0,10	88	0,20	
46	11	2	239	140	7673	8000	265	28,955	29	1,55	59	0,05	115	0,15	
47	1	2	240	140	7673	8000	266	28,846	29	1,40	58	0,15	144	0,15	

Monitorování brusky fy Landis Lund

Návod pro generování “Grinding Data Reports”

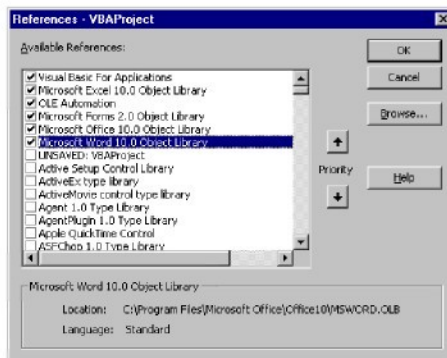
	X Pos Dm	X Position	X Velocity	X Torque	C Pos Dm	C Position	C Velocity	C Torque	Z Pos Dm	Z Position	Z Velocity	Z Torque	D Pos Dm	D Position
	(mm)	(mm)	(mm/s)	(Nm)	(deg)	(deg)	(deg/s)	(Nm)	(mm)	(mm)	(mm/s)	(Nm)	(mm)	(mm)
12	>													
13														
14														
15	333.4966	333.4967	0	3.0879	91.0193	91.01966	0.61	-1.2373	399.9999	400	-0.027	40.14195	0	0
16	333.4966	333.4966	-0.009	0	91.0193	91.01906	-0.69	0.65121	399.9999	400	0.007	52.49332	0	0
17	333.4967	333.4966	-0.009	0	91.0193	91.01952	0.56	-0.65121	399.9999	400	-0.027	55.53117	0	0
18	333.4967	333.4966	0.009	-3.0879	91.0193	91.01933	-0.19	-0.84657	399.9999	399.9999	-0.04	61.75665	0	0
19	333.4966	333.4966	0.002	0	91.0193	91.01906	-0.25	0.976816	399.9999	399.9999	0.033	55.53117	0	0
20	333.4966	333.4967	0.002	0	91.0193	91.0197	0.62	-1.62803	399.9999	399.9999	-0.006	40.14195	0	0



Počáteční nastavení

Před spuštěním makra v programu MS Excel pro generování reportů v programu MS Word je **nezbytné** provést následující nastavení nutné pro správnou komunikaci mezi MS Excel a MS Word:

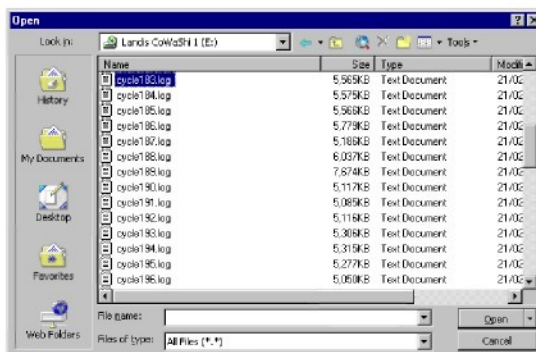
1. Spustíte MS Excel.
2. Zvolíte **Tools/Macro/Visual Basic Editor** nebo **Alt+F11** a otevřete Microsoft Visual Basic Editor.
3. V editoru jazyka Visual Basic vyberte z menu **Tools/References**, v seznamu najdete **Microsoft Word Object Library** a zaškrtněte zaškrtnávkou před jmenovkou.



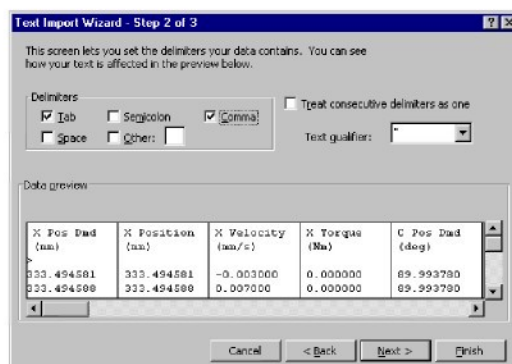
Zpracování dat

Jak zpracovat data z broušícího procesu a vytvořit “Grinding Data Report”?

1. Spustíte MS Excel
2. Otevřete LOG soubor vygenerovaný během požadovaného obráběcího cyklu. Vyberte z menu **File/Open** v MS Excel, v dialogu Open vyberte **Soubory typu (Files of type) – Všechny soubory (All files) (*.*)** a najdete hledaný soubor.



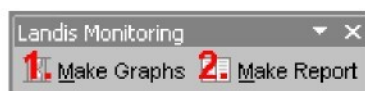
3. Ve druhém kroku průvodce importem zaškrtněte oddělovač **Čárka (Comma)**. Formát sloupců by měl vypadat jako na následujícím obrázku. Dokončete import textového souboru stiskem tlačítka **Dokončit (Finish)**.



Načtený textový soubor v MS Excel by měl vypadat takto:

(A11 Cell)						
X Pos Dmd	X Position	X Velocity	X Torque	C Pos Dmd	C Position	...
(mm)	(mm)	(mm/s)	(Nm)	(deg)	(deg)	...
>						...
333.494581	333.494581	-0.003	0	89.99378	89.99382	...
333.494588	333.494588	0.007	0	89.99378	89.99388	...
...	...	...	...	...	...	...

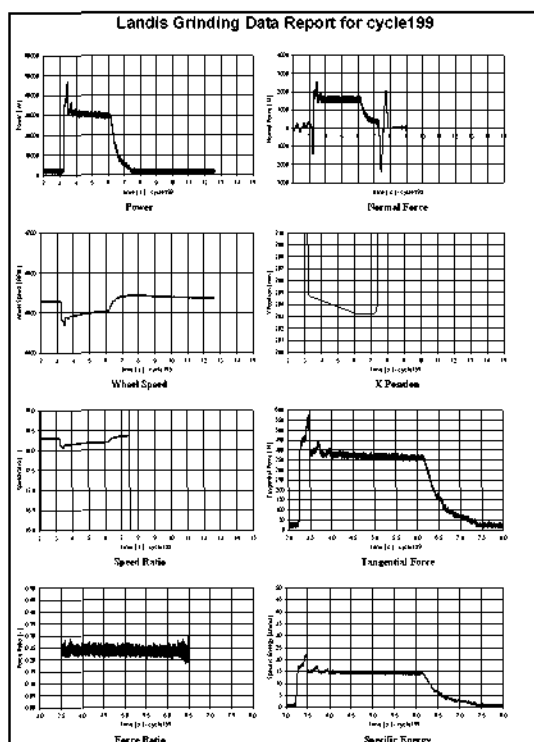
- Spustíte makro pro další zpracování dat z obrábění – stisknete tlačítko **Make Graphs** na panelu nástrojů **Landis Monitoring**¹.



Panel nástrojů „Landis Monitoring“ v MS Excel

- Po skončení práce makra zkontrolujte meze x-ové a y-ové osy u vygenerovaných grafů a podle potřeby je změňte.
- Uložte** soubor v MS Excel.
- Spustíte makro v MS Excel, kterým vytvoříte tzv. Grinding Data Report v programu MS Word – stisknete tlačítko **Make Report** na panelu nástrojů **Landis Monitoring**.
- Uložte** a/nebo vytiskněte protokol z programu MS Word.

¹ V případě, že panel nástrojů *Landis - Monitoring* není vidět: zkontrolujte v menu **Zobrazit/Panely nástrojů (View/Toolbars)** v MS Excel (nebo klikněte pravým tlačítkem myši na jakýkoliv panel nástrojů) a hledejte název *Landis - Monitoring* v seznamu panelů. Tento panel nástrojů a makra v jazyce Visual Basic jsou uložena v souboru *Personal.xls*, který by měl být uložen v adresáři "Program Files\Microsoft Office\Office10\XLStart" Vašeho počítače. Bez tohoto souboru nebudou makra fungovat (pokud nejsou načtena individuálně) a také panel nástrojů nebude zobrazen.



Grinding Data Report v programu MS Word