

Hodnocení změn geometrické přesnosti rotačních součástí v závislosti na čase s využitím korelačního výpočtu

Determination Geometrical Precision Changes of Rotary Parts in Dependence on Time by Use Correlation Calculus

Ing. Šárka Tichá, PhD., katedra obrábění a montáže, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu, Ostrava-Poruba, 708 33, sarka.ticha@vsb.cz

Ing. Jaromír Adamec, PhD., katedra obrábění a montáže, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu, Ostrava-Poruba, 708 33, jaromir.adamec@vsb.cz

Anotace

Geometrická struktura povrchu je soustavou geometrických prvků povrchu určena hlavně tvarem, rozměrem a jejich odchylkami. Tyto parametry jsou nejčastěji výsledkem parametrů obrábění nebo opotřebením. Velmi sledovaným parametrem rotačních součástí je kruhovitost. Příspěvek se zabývá problematikou využití korelačního výpočtu pro posouzení změn tvarové přesnosti rotačních součástí v závislosti na čase. V příspěvku je uveden ukázkový příklad využití této metody pro porovnávání profilů kruhovitosti broušených ocelových vzorků. Měření bylo realizováno ve třech časových údobích.

Geometrical surface structure is system of geometrical surface components which is mainly determined by shape, dimension and their deviations. These parameters are frequently resulting of working parameters or wear. Very study parameter of rotary component is roundness. The paper discusses the use of correlative calculus for the determination of time-dependent changes in roundness of rotary parts. In this paper is showed exemplary model to usage this method to the comparison of roundness profiles of ground steel components. Measuring was realized in three time periods.

Klíčová slova: kruhovitost, profil kruhovitosti, harmonická analýza, koeficient korelace, porovnávání profilů kruhovitosti.

Key words: roundness, shape roundness, harmonic analysis, correlative coefficient, shape roundness comparison

1. Úvod

Spolehlivost strojů je závislá na řadě konstrukčních, technologických a provozních faktorů. V různých provozních podmínkách nabývají mimořádný význam speciální vlastnosti strojů, jako je odolnost proti opotřebením, citlivost ke koncentraci napětí, odolnost proti poškození při statických, rázových a střídavých cyklických zatížení, odolnosti proti korozi atd.

Nositelům jmenovaných vlastností částí strojů je jejich povrch. Význam vhodného povrchu se projevuje hlavně tam, kde vzájemná vazba funkčních ploch významně ovlivňuje charakter určitého fyzikálního procesu. Vlastnosti povrchů strojních součástí je nutno hledat v příslušné technologii výroby, hlavně v třískovém obrábění.

Častým požadavkem průmyslové praxe je přesné dodržení geometrické stavby povrchů součástí, což zahrnuje soustavu geometrických prvků, které určují tvar, rozměr, tvarovou přesnost, rozměrovou přesnost, vzájemnou polohu, integritu povrchu atd. Tyto parametry jsou důsledkem vlastnosti materiálů, technologie a parametrů výroby, tepelného zpracování, parametrů výrobního zařízení atd. V neposlední řadě je třeba mít na paměti skutečnost, že u strojních součástí, které nejsou bezprostředně po výrobě využívány v provozu, ale jsou skladovány (náhradní díly), může dojít ke změně konečných parametrů jako funkce času. Rozsah těchto změn závisí na chemickém složení materiálu, druhu a podmínkách tepelného zpracování, průvodních jevech a parametrech procesu obrábění atd [6].

Jedním z nejpoužívanějších typů součástí, u nichž jsou kladeny vysoké požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost, jsou valivá ložiska. Zde významnou roli sehrává odchylka kruhovitosti vzhledem k jejímu vysokému vlivu na vibrace a dynamický stav spolupracujících součástí. Odchylka kruhovitosti ΔR (EFK) je jednou z nejsledovanějších geometrických odchylek u rotačních součástí [7].

Je řada metod pro stanovování odchylek kruhovitosti, které jsou více nebo méně používány v průmyslové praxi, např. metoda radiální (založena na sledování změny poloměru) nebo metody relativní (dvoubodová, třibodová, n-bodová metoda).

Jednou z oblastí, které nebyla dosud věnována dostatečná pozornost je oblast komplexního posouzení a porovnání profilů kruhovitosti. Toto porovnávání bylo dosud prováděno jen částečně, v podstatné míře jen vizuálně. Tento způsob neumožňuje objektivní porovnání těchto profilů a stanovení stupně shody mezi průběhy.

Jednou z cest, které umožňují objektivnější posouzení geometrického tvaru rotační součástí, je použití metod a měřicích systémů umožňujících registraci průběhu profilu kruhovitosti ve formě měřicího signálu. Vyhodnocením tohoto signálu získáme vhodné parametry, které je možno využít k dalšímu zpracování [7].

2. Harmonická analýza profilu kruhovitosti

Profil kruhovitosti si můžeme představit v polárních souřadnicích jako závislost okamžité hodnoty poloměru na úhlu φ polohy tohoto poloměru [1]. Jde o periodickou funkci s periodou 2π . Tento periodický průběh lze vyjádřit jako součet konstantní složky (poloměru vztahné kružnice) a řady jednoduchých průběhů a poté rozvinout do Fourierovy řady.

Libovolný kruhový profil skládající se z k harmonických složek (neuvažujeme $n=1$ což představuje excentricitu) můžeme vyjádřit vztahem:

$$R(\varphi) = R_0 + \sum_{n=2}^k C_n \cos(n\varphi - \varphi_n)$$

Po úpravě:

$$R(\varphi) = R_0 + \sum_{n=2}^k A_n \cos n\varphi + \sum_{n=2}^k B_n \sin n\varphi$$

Platí: $A_n = C_n \cos \varphi_n$ a $B_n = C_n \sin \varphi_n$

Pro jednotlivé harmonické složky můžeme vypočítat amplitudu:

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad \text{a fázové posunutí:} \quad \varphi_n = \arctg \frac{B_n}{A_n}$$

kde

R_0 ... poloměr referenční kružnice,

C_n ... amplituda n -té harmonické složky profilu kruhovitosti,

φ_n ... fázové posunutí n -té harmonické složky profilu kruhovitosti,

A_n, B_n ... složky amplitudy n -té harmonické složky.

Harmonickou analýzou průběhu profilu kruhovitosti získáme hodnoty amplitud a fázových posunutí pro jednotlivé harmonické složky. Tyto hodnoty je možno použít k dalšímu zpracování, např. k porovnávání průběhů profilů kruhovitosti.

3. Využití korelačního výpočtu pro porovnávání profilů kruhovitosti

Jedním z možných způsobů porovnávání profilů kruhovitosti je využití vhodné statistické metody. Pro objektivní porovnávání profilů kruhovitosti součástí je vhodné využít korelační výpočet. Získané koeficienty korelace mohou být konkrétními koeficienty, na základě kterých bude možné určit (např. dle pravidel přijatých Guilfordem – **tab.1**) stupeň závislosti porovnávaných profilů a rovněž určení druhu závislosti mezi porovnávanými veličinami

Korelační koeficient	Korelace	Závislost
menší než 0,20	velmi slabá	skoro bezvýznamná
0,20 - 0,40	slabá	zřetelná, ale malá
0,40 - 0,70	mírná	podstatná
0,70 - 0,90	dobrá	značná
0,90 - 1,00	velmi dobrá	velmi silná

Tab. 1: Hodnocení korelace a závislosti mezi zkoumanými vlastnostmi dle Guilforda [1]

4 Příklad postupu při zpracování měřících signálů pro posouzení změn průběhu profilů kruhovitosti součástí v závislosti na čase

- v jednotlivých časových intervalech se provede proměření a zaznamenání průběhu profilů kruhovitosti pro stejný výběr součástí,
- pro každou součást výběru se provede analýza profilu kruhovitosti v rozsahu harmonických složek $n \in \langle 2; 15 \rangle$, tím vznikne 14 množin hodnot amplitud jednotlivých harmonických a 14 množin hodnot fázových posunutí profilů získaných měřením v jednotlivých časových údobích
- provede se statistická analýza porovnávaných profilů, spočívající ve stanovení korelačního koeficientu mezi hodnotami amplitud profilu pro jednotlivé harmonické složky a zároveň stanovení korelačních koeficientů mezi hodnotami fázových posunutí jednotlivých harmonických složek pro tytéž profily.

Pro výzkum korelace je možno využít postup stanovení korelačního koeficientu postupem dle Pearsona (lineární korelace), tak i méně známý výpočet korelačního koeficientu dle Spearmana (pořadová korelace). Na základě hodnot vypočtených koeficientů korelace se určí druh korelace a stupeň závislosti mezi analyzovanými profily [6].

5. Příklad využití korelačního výpočtu pro posouzení změn průběhu profilů kruhovitosti součástí v závislosti na časové prodlevě

použité vzorky:	ložiskové kroužky po kalení a dokončovacím broušení
základní materiál vzorků:	ČSN 14 109.3
počet vzorků :	50
použitý měřicí přístroj:	TALYROND 73 (otočné vřeteno)
označení profilů:	
– měření po obrábění	označení profilů: R_{ast} ,
– měření po 2 letech	označení profilů: $R_{ast_b}(\varphi)$,
– měření po 3 létech	označení profilů: $R_{ast73}(\varphi)$.

Koeficienty korelace jsou tabulkově zpracovány v **tab.2**, **tab.3**.

Znaménko „+“ u korelačních koeficientů značí, že porovnávané veličiny jsou korelované (existuje funkční závislost).

Hodnoty uvedené v tabulkách jsou zpracovány graficky: **obr.1a**, **obr.1b**, **obr.2a**, **obr.2b**.

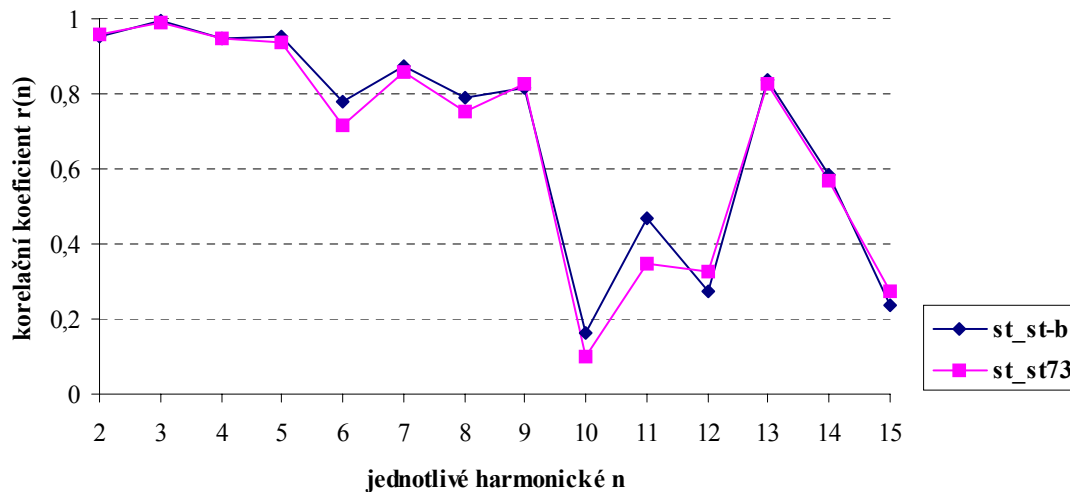
Tab. 2 Korelační koeficienty dle Pearsona mezi hodnotami amplitud a fázových posunutí harmonických složek porovnávaných profilů kruhovitosti z pohledu časového (přístroj TALYROND 73), broušený vzorek **st**

Amplitudy harmonických profilů Rast(φ)														
C _{Rast(2)}	C _{Rast(3)}	C _{Rast(4)}	C _{Rast(5)}	C _{Rast(6)}	C _{Rast(7)}	C _{Rast(8)}	C _{Rast(9)}	C _{Rast(10)}	C _{Rast(11)}	C _{Rast(12)}	C _{Rast(13)}	C _{Rast(14)}	C _{Rast(15)}	
0,955+	0,994+	0,949+	0,951+	0,781+	0,871+	0,789+	0,817+	0,165	0,468+	0,273	0,838+	0,582+	0,236	C _{Rast-b(n)}
0,956+	0,992+	0,949+	0,935+	0,716+	0,859+	0,753+	0,828+	0,099	0,346+	0,326+	0,825+	0,567+	0,276	C _{Rast73(n)}
Fázová posunutí harmonických profilů Rast(φ)														
Φ _{Rast-b(2)}	Φ _{Rast(3)}	Φ _{Rast(4)}	Φ _{Rast(5)}	Φ _{Rast(6)}	Φ _{Rast(7)}	Φ _{Rast(8)}	Φ _{Rast(9)}	Φ _{Rast(10)}	Φ _{Rast(11)}	Φ _{Rast(12)}	Φ _{Rast(13)}	Φ _{Rast(14)}	Φ _{Rast(15)}	
0,991+	0,995+	0,954+	0,939+	0,713+	0,735+	0,949+	0,442+	0,409+	0,479+	0,437+	0,345+	0,699+	0,291+	Φ _{Rast-b(n)}
0,858+	0,993+	0,999+	0,938+	0,703+	0,863+	0,841+	0,548+	0,417+	0,275+	0,456+	0,255	0,524+	0,533+	Φ _{Rast73(n)}

Tab. 3 Korelační koeficienty dle Spearmana mezi hodnotami amplitud a fázových posunutí harmonických složek porovnávaných profilů kruhovitosti z pohledu časového (přístroj TALYROND 73), broušený vzorek **st**

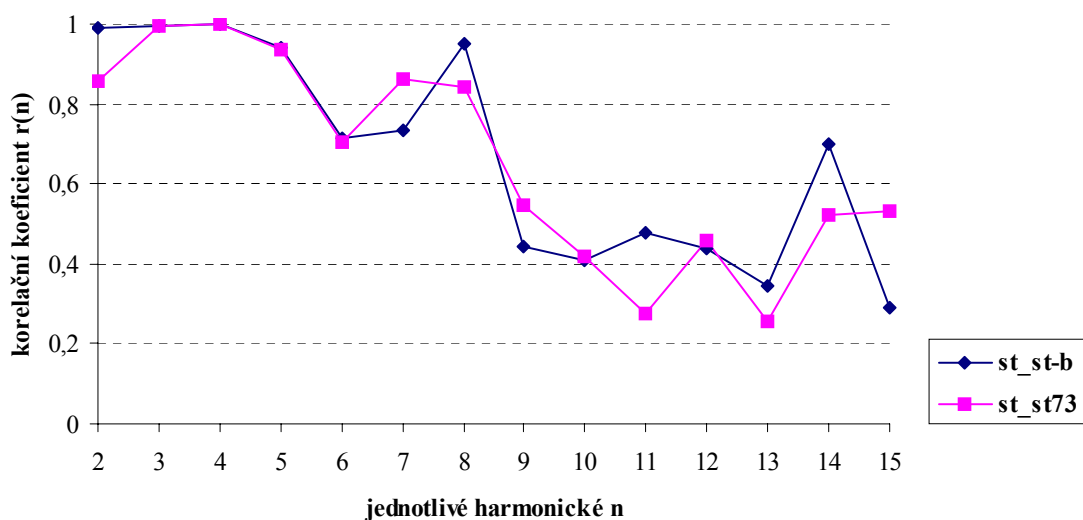
Amplitudy harmonických profilů Rast(φ)														
C _{Rast(2)}	C _{Rast(3)}	C _{Rast(4)}	C _{Rast(5)}	C _{Rast(6)}	C _{Rast(7)}	C _{Rast(8)}	C _{Rast(9)}	C _{Rast(10)}	C _{Rast(11)}	C _{Rast(12)}	C _{Rast(13)}	C _{Rast(14)}	C _{Rast(15)}	
0,950+	0,989+	0,946+	0,937+	0,810+	0,846+	0,773+	0,621+	0,228	0,455+	0,306	0,786+	0,578+	0,199	C _{Rast-b(n)}
0,950+	0,985+	0,943+	0,912+	0,704+	0,852+	0,7141+	0,672+	0,067	0,296+	0,296	0,740+	0,535+	0,141	C _{Rast73(n)}
Fázová posunutí harmonických profilů Rast(φ)														
Φ _{Rast(2)}	Φ _{Rast(3)}	Φ _{Rast(4)}	Φ _{Rast(5)}	Φ _{Rast(6)}	Φ _{Rast(7)}	Φ _{Rast(8)}	Φ _{Rast(9)}	Φ _{Rast(10)}	Φ _{Rast(11)}	Φ _{Rast(12)}	Φ _{Rast(13)}	Φ _{Rast(14)}	Φ _{Rast(15)}	
0,986+	0,993+	0,997+	0,916+	0,726+	0,708+	0,937+	0,454+	0,424+	0,498+	0,438+	0,262+	0,688+	0,281+	Φ _{Rast-b(n)}
0,851+	0,991+	0,997+	0,916+	0,692+	0,845+	0,824+	0,565+	0,429+	0,285+	0,462+	0,216	0,529+	0,510+	Φ _{Rast73(n)}

Grafy st_st-b, st_st73 (amplitudy - Pearson)



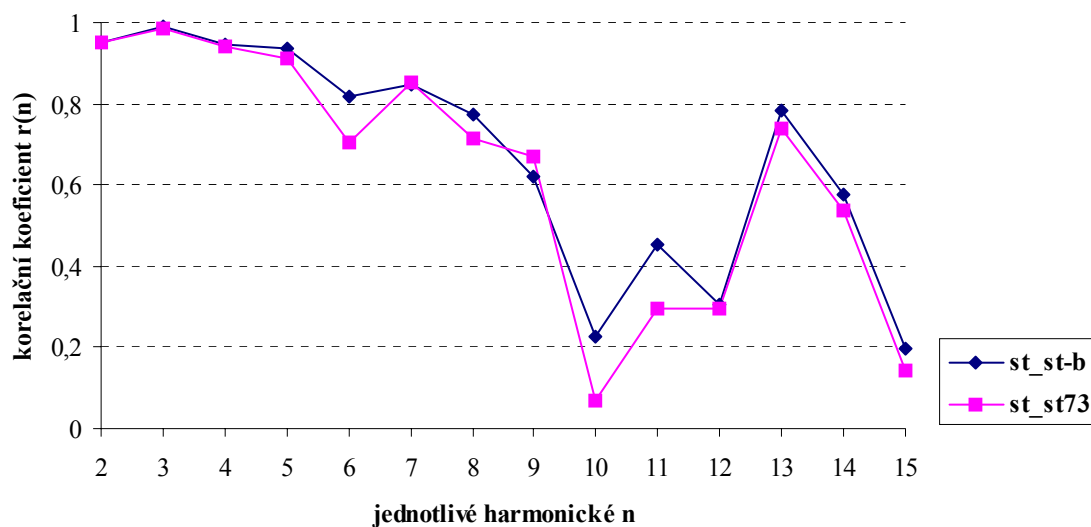
Obr. 1a Závislost hodnot korelačních koeficientů dle Pearsona mezi hodnotami amplitud harmonických složek, broušené vzorky st

Grafy st_st-b, st_st73 (fázová posunutí - Pearson)



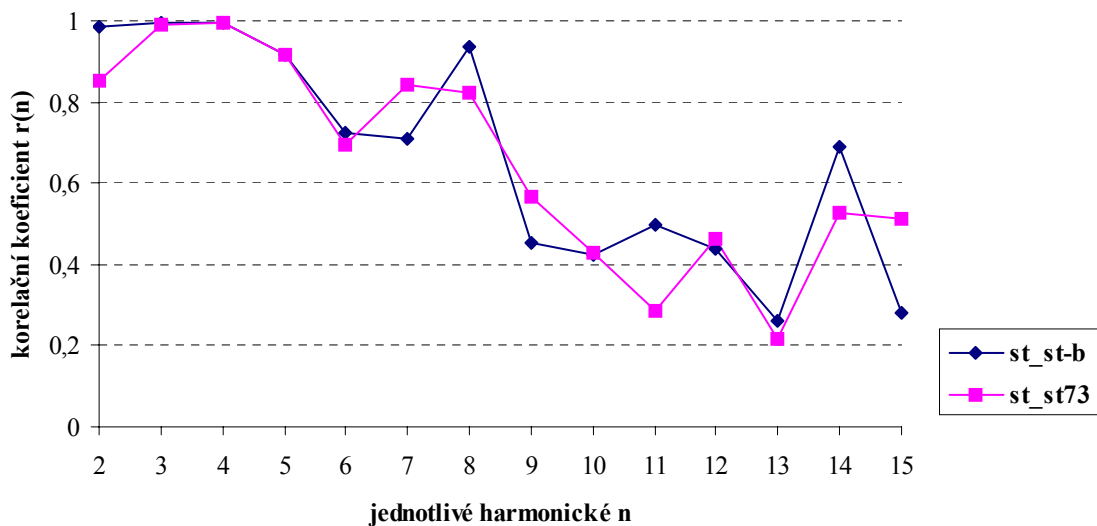
Obr. 1b Závislost hodnot korelačních koeficientů dle Pearsona mezi hodnotami fázových posunutí harmonických složek, broušené vzorky st

Grafy st_st-b, st_st73 (amplitudy-Spearman)



Obr. 2a Závislost hodnot korelačních koeficientů dle Spearmana mezi hodnotami amplitud harmonických složek, broušené vzorky st

Grafy st_st-b, st_st73 (fázová posunutí-Spearman)



Obr. 2b Závislost hodnot korelačních koeficientů dle Spearmana mezi hodnotami fázových posunutí harmonických složek, broušené vzorky st



5.1 Vyhodnocení získaných výsledků

Analýza koeficientů korelace jak mezi hodnotami amplitud jednotlivých harmonických složek tak i mezi jejich fázovými posunutími vypočtenými oběma metodami pro časové posunutí 2 let od výroby (obr.1a, 1b, 2a, 2b, závislost st_st-b) prokázala, že korelace u nižších harmonických složek je velmi dobrá, závislost velmi silná. Vyšší harmonické složky vykazují pokles hodnot koeficientů korelace, tj. pokles shody mezi porovnávanými průběhy profilů kruhovitosti.

Analýza koeficientů korelace pro časové posunutí o další 1 rok, tj. 3 roky od obrobení (obr.1a, 1b, 2a, 2b, závislost st_st73) ukázala, že časové hledisko se již projevilo velmi nepatrně. Hodnoty korelačních koeficientů se výrazně nezměnily, tj. průběhy profilů kruhovitosti s dalším časovým odstupem se výrazně nezměnily a to hlavně v rozsahu harmonických složek zásadně ovlivňujících základní tvar profilu kruhovitosti. Pro některé vyšší harmonické složky je možno z grafů vyzorovat patrnější rozdíly.

Na základě vyhodnocení experimentů a analýzy výsledků je možné konstatovat, že časové hledisko nemá podstatný vliv na změnu základního tvaru profilu kruhovitosti. Výrazněji se tento vliv projevil až u vyšších harmonických složek, byl zaznamenán pokles stupně shody mezi porovnávanými profily. Tento pokles shody může být způsoben jednak strukturálními změnami materiálu součástí v důsledku stárnutí (rozpad zbytkového austenitu za vzniku nové struktury, popř. v důsledku odstranění průvodních jevů po tepelném zpracování, po procesu obrábění) tak i výraznějším působením náhodných chyb, jejichž vliv s číslem harmonických složek roste (roste poměr hodnoty náhodné chyby a hodnoty amplitudy příslušné harmonické složky). Pro technickou analýzu je možno využít rovnocenně metod výpočtu korelačních koeficientů jak metodou dle Pearsona tak i dle Spearmana.

6. Závěr

U součástí, které nejsou bezprostředně po výrobě využívány, ale jsou skladovány (náhradní díly), může dojít ke změně konečných parametrů vlivem času, což může mít vliv na funkčnost a dynamický stav celého zařízení. S touto skutečností je třeba počítat zvláště u složitých montážních celků a přesných zařízení. Časové hledisko nemá zásadní vliv na dominující tvar profilu kruhovitosti, výrazněji se toto může projevit u vyšších harmonických složek poklesem shody porovnávaných profilů. Metoda využití koeficientů korelace k posouzení změn profilů kruhovitosti rotačních součástí v závislosti na čase je velmi vhodnou metodou. Její použití však není možné bez výkonné výpočetní techniky, neboť tato metoda vyžaduje zpracování velkého počtu dat.

LITERATURA

- [1] ADAMCZAK, Stanisław. *Možnosti vývoja relativních metod merania odchylok kruhovitosti*. Doktorská dizertačná práca. Žilina: 1993. 215 s.
- [2] ČÍŽEK, Václav. *Diskrétní Fourierova transformace a její použití*. Praha: SNTL Praha, 1981. 160 s.
- [3] PRCHAL, Josef. *Signály a soustavy*. Praha: České vysoké učení technické Praha, 1992. 315 s. ISBN 80-01-00831-2
- [4] REISENAUER, Roman. *Metody matematické statistiky a jejich aplikace*. Praha : SNTL - Praha, 1970. 239 s.
- [5] PLUHAŘ, Jaroslav a kol. *Nauka o materiálech*. Praha: SNTL Praha, 1989. s. 303-305
- [6] TICHÁ, Šárka. *Využití korelačního výpočtu k porovnávání profilů kruhovitosti*. Doktorská disertační práce. Ostrava: 1999. 123 s.

