

PRECIZINĖS KAMPO KALIBRAVIMO SISTEMOS DINAMIKOS TYRIMAI

Artūras KILIKEVIČIUS¹, Vytautas MAKARSKAS², Valdemar PROKOPOVIČ³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹arturas.kilikevicius@vgtu.lt; ²v.makarskas@gmail.com; ³v.prokopovic@gmail.com

Santrauka. Straipsnyje aprašyti precizinės kampo kalibravimo mechaninės sistemos dinamikos tyrimai. Tyrimo tikslas – nustatyti precizinės kampo kalibravimo mechaninės sistemos stabilumą. Atlikti precizinės kampo kalibravimo kariatelės teoriniai tyrimai *SolidWorks* aplinkoje, kurią pasitelkus atlikta tiriamos sistemos modalinė analizė.

Reikšminiai žodžiai: kampo kalibravimo sistema, virpesiai, dinaminės charakteristikos.

Įvadas

Pastaruoju metu puslaidininkių ir metalų darbų pramonės reikalauja didelio tikslumo, pažangaus pozicionavimo ir matavimų. Taigi, būtina užtikrinti aukštesnio tikslumo kalibravimo sistemas, kurios gali vertinti ir kalibruoti kampinius kodavimo įrenginius ir skales, kurios naudojamos pažangioje tikslumo pozicionavimo srityje ir sistemose. UAB „Precizika Metrology“ turi ilgalaikę patirtį gaminant ne tik tikslias tiesines skalės ir įvairių koordinatinių matavimo mašinas, bet vieno ar kelių ašių ilgio matavimo įvertinimo ir kalibravimo sistemas. Ji sukūrė naują kampinį komparatorių, skirtą kalibruoti aukšto tikslumo kampiniams kodavimo įrenginiams ir skalėms, kurios turėtų atitikti anksčiau minėtus reikalavimus.

Kampo matavimo nuokrypių komparatoriuje atsiranda dėl jį veikiančių išorinių trikdžių (vibracijos, temperatūros ir kt.), vidinės konstrukcijos ypatybių (atliekamo mechaninio darbo, perduodamų virpesių, temperatūros ir kt.) (Kilikevičius *et al.* 2013, 2010a; Vekteris, Kasparaitis 2012; Kasparaitis *et al.* 2007, 2008; Kilikevičius, Vekteris 2006). Viena iš daugiausiai įtakos turinti (galutiniam matavimo rezultatui) įrenginio komponentė – detektavimo sistema. Būtent šioje įrenginio dalyje yra svarbiausi tikslumą garantuojantys prietaisai – mikroskopas ir matavimo objekto staliukas. Bet kokie išoriniai ar vidiniai trikdžiai gali paveikti matavimo tikslumą (Kilikevičius *et al.* 2013, 2009, 2010b; Vekteris, Kasparaitis 2012; Augustinavičius, Čereška 2010; Prielaidas, Lazdinas 2011; Kausinis *et al.* 2009; Kasparaitis *et al.* 2012). Kad būtų nustatyta detektavimo sistemoje kylančių trikdžių (priklausančių nuo vidinių ir išorinių žadinimų) įtaka, buvo atlikti tyrimai esant įvairiems sistemos darbo režimams, t. y. įjungtos arba išjungtos pneumatinės sistemos (oro guoliai).

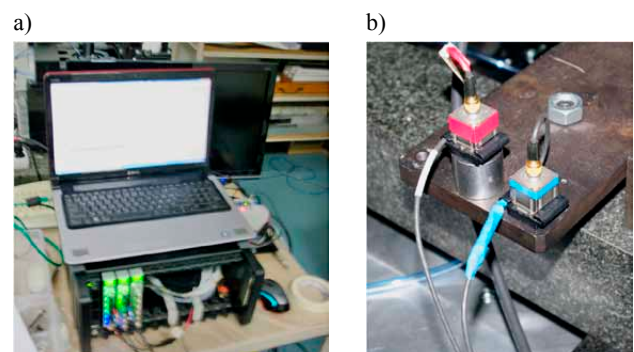
Pagrindinis straipsnyje nagrinėjamų tyrimų tikslas – ištirti detektavimo sistemos nestabilumą, kurį sukelia išorinis poveikis (iš aplinkos ateinantys virpesiai) bei detektavimo sistemos konstrukcijos komponentių virpesiai (nuo konstrukcijos priklausantys vidiniai virpesiai). Šie tyrimai yra aktualūs, nes kalibravimas atliekamas dinamiu režimu.

Matavimo įranga ir tiriamas objektas

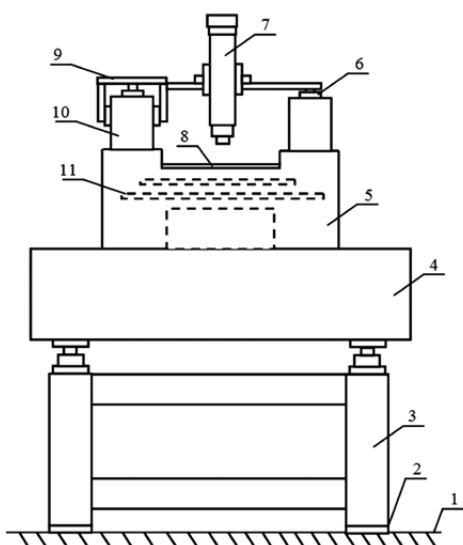
Atliekant bandymus buvo panaudota precizinė kampo kalibravimo sistema – kampo komparatorius.

Matavimo įranga (1 pav.) naudota tiriamos sistemos eksperimentiniams tyrimams atlikti: du trijų ašių akcelerometrai 4506 (1 pav., b); akcelerometrų tvirtinimo magnetai; kilnojama matavimo rezultatų apdorojimo įranga „3660-D“; kompiuteris (1 pav., a).

Precizinės kampo kalibravimo mechaninės sistemos schema pateikta 2 pav.



1 pav. Matavimo įranga
Fig. 1. Measurement equipment



2 pav. Kampo komparatoriaus stendas: 1 – pamatas, 2 – vibroizoliacija, 3 – stovas, 4 – granitinė plyta, 5 – granitinė atrama, 6 – oro guoliai, 7 – mikroskopas, 8 – sukamas staliukas, 9 – kariatėlė, 10 – granitiniai kreipikliai, 11 – sliėkratis

Fig. 2. Stand of the angle measurement comparator:
1 – foundation, 2 – vibration isolators, 3 – frame, 4 – granite plate, 5 – granite support, 6 – air bearings, 7 – microscope, 8 – indexing table, 9 – carriage, 10 – granite guides, 11 – worm wheel

Teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai

Buvo atlikti precizinės kampo kalibravimo mechaninės sistemos teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai.

Teoriniai tyrimai. Kampo matavimo komparatoriaus kariatėlės teoriniai tyrimai buvo atlikti *SolidWorks* aplinkoje, kurią taikant atlikta tiriamos sistemos modalinė analizė. Nustačius reikiamus įtvirtinimus bei taikant baigtinių elementų metodą gauti pavojingi dažniai (modos).

Modeliuojant naudojamų medžiagų savybės pateiktos 1 lentelėje. Modeliavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje. Joje pateikti du modeliavimo rezultatai, kai buvo pasirinkta skirtinga kariatėlės medžiaga (1 variantas – plienas 45 ir 2 variantas – legiruotasis plienas). Šių medžiagų savybės pateiktos 1 lentelėje.

2 lentelėje pateiktos precizinės kampo kalibravimo mechaninės sistemos dalies (kariatėlės) pirmos šešios modos, jų formos ir dažniai.

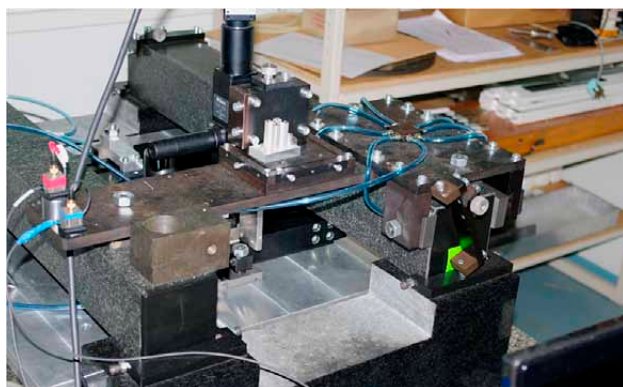
1 lentelė. Kampo komparatoriaus kariatėlės iš plieno 45 bei legiruotojo plieno pagrindinės charakteristikos *SolidWorks* aplinkoje Table 1. The main characteristics of the angle comparator carriage made of steel 45 and alloy steel in the *SolidWorks* environment

Savybės	Medžiaga	
	plienas 45 (AISI 1045 Steel, cold drawn)	legiruotasis plienas (Alloy Steel)
Takumo stiprumo riba	$5,3 \cdot e8 \text{ N/m}^2$	$6,20 \cdot e8 \text{ N/m}^2$
Tempimo stiprumo riba	$6,25 \cdot e8 \text{ N/m}^2$	$7,24 \cdot e8 \text{ N/m}^2$
Tankis	7850 kg/m^3	7700 kg/m^3
Tamprumo modulis	$2,05 \cdot e11 \text{ N/m}^2$	$2,1 \cdot e11 \text{ N/m}^2$
Puasono koeficientas	0,29	0,28

2 lentelė. Kampo komparatoriaus kariatėlės dviejų medžiagų palyginimas Table 2. Comparison of two materials of the angle comparator carriage

Medžiaga	Modos numeris ir reikšmė Hz		
	1	2	3
Plienas 45	424,66	590,88	1031,8
Legiruotasis plienas	434,06	603,39	1054,2
Modos forma			
	4	5	6
	Plienas 45	1058,7	1096,6
Legiruotasis plienas	1081,8	1120,7	1177,9
Modos forma			

Eksperimentiniai tyrimai. Kampo matavimo komparatoriaus kariatėlės (3 pav.) eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti naudojant prieš tai minėtą danų firmos *Bruel and Kjaer* matavimo įrangą bei programinį paketą *Pulse*, kurį taikant analizuojami gauti eksperimentiniai rezultatai ir atliekama sistemos modalinė analizė. Eksperimentinė modalinė analizė remiasi modalinių parametru nustatymu atliekant bandymus, skirtingai nuo analitinės modalinės analizės, kur modaliniai parametrai gaunami iš baigtinių elementų modelių. Išskiriami du eksperimentinės modalinės analizės tipai: klasikinė modalinė analizė ir modalinė analizė darbo režimu. Darbe taikoma modalinė analizė darbo režimu. Modalinė analizė darbo režimu remiasi konstrukcijos išėjimo signalų matavimu, priimant aplinkos triukšmus ir veikiančias jėgas kaip nematuojamą įeinantį signalą. Ji taikoma vietoj klasikinės modalinės analizės, siekiant tikslios analizės, kai konstrukcija veikia realiu darbo režimu ar situacijose, kai sunku arba neįmanoma kontroliuoti dirbtinio konstrukcijos žadinimo.



3 pav. Kampo komparatoriaus kariatėlės bendras vaizdas
Fig. 3. General view of the angle measurement carriage

Gauti teorinio ir eksperimentinio tyrimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Iš 3 lentelėje pateiktų gautų rezultatų matyti, kad teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatų neatitikimas yra dėl teorinio modelio supaprastinimo ir modeliuojant naudojamų parametru neatitikties realiems parametrus (medžiagos charakteristikų, ryšių nurodymo ir pan.).

3 lentelė. Teorinio ir eksperimentinio tyrimų rezultatai
Table 3. Theoretical and experimental results

Tyrimo apibūdinimas	Modos numeris				
	1	2	3	4	5
Teorinis tyrimas	425	591	1032	1059	1097
Eksperimentinis tyrimas	501	714	–	1344	1371
Neatitikimas %	18	21	–	27	25

Išvados

Atlikus teorinius ir eksperimentinius kampo matavimo komparatoriaus kariatėlės tyrimus nustatyti sistemos dinaminiai parametrai.

Gauti eksperimentiniai sistemos rezonansiniai dažniai 425, 591, 1344 ir 1371 Hz.

Gauta, kad teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatų nesutapimas svyruoja nuo 18 % (1 moda) iki 27 % (4 moda).

Literatūra

- Augustinavičius, G.; Čereška, A. 2010. Kampų matavimo įrangos apžvalga ir plėtros perspektyvos, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 2(4): 46–49. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2010.068>
- Kasparaitis, A.; Kilikevičius, A.; Barakauskas, A.; Mokšin, V. 2012. Experimental research of vibrations of angle measurement comparator, *Journal of Vibroengineering* 14(4): 1760–1765. ISSN 1392–8716.
- Kasparaitis, A.; Vekteris, V.; Kilikevičius, A. 2007. Investigation of vibrations acting on mechatronic comparator, *Ultragarsas* 1(62): 38–41. ISSN 1392–2114.
- Kasparaitis, A.; Vekteris, V.; Kilikevičius, A. 2008. Line scale Comparator Carriage vibrations during dynamic calibration, *Journal of Vibroengineering* 10(3): 347–354. ISSN 1392–8716.
- Kausinis, S.; Kasparaitis, A.; Barakauskas, A.; Barauskas, R.; Jakstas, A.; Kilikevičius, A. 2009. Line scale calibration in non-ideal measurement situation, *Solid State Phenomena* 147–149: 682–685. ISSN 1012–0394. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.147-149.682>
- Kilikevičius, A.; Petraška, A.; Juraitis, S. 2010a. Measurement errors of Comparator on Carriage vibrations, *Journal of Vibroengineering* 11(1): 347–354. ISSN 1392–8716.
- Kilikevičius, A.; Prokopovič, V.; Makarskas, V. 2013. Kampo matavimo komparatoriaus dinaminė charakteristikų tyrimai, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 5(6): 625–628. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2013.102>
- Kilikevičius, A.; Vekteris, V. 2006. Diagnostic testing of the comparator carriage vibrations, *Ultragarsas* 2(59): 26–30. ISSN 1392–2114.
- Kilikevičius, A.; Vekteris, V.; Slivinskas, K.; Kasparaitis, A. 2009. Investigation of dynamics of the mechatronic comparator, *Ultragarsas* 2(64): 17–23. ISSN 1392–2114.
- Kilikevičius, A.; Vekteris, V.; Slivinskas, K.; Kasparaitis, A.; Juraitis, S. 2010b. Research of the influence of vibrations to the line scale gage calibration quality, *Solid State Phenomena* 164: 47–55. ISSN 1012–0394. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.164.47>
- Prielaidas, A.; Lazdinis, R. 2011. Kampų matavimo tikslumo tyrimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 3(6): 15–18. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2011.103>
- Vekteris, V.; Kasparaitis, A. 2012. *Matavimų teorija ir praktika: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 248 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1318-S>

**RESEARCH ON THE DYNAMICS OF THE PRECISION
ANGLE CALIBRATION SYSTEM**

A. Kilikevičius, V. Makarskas, V. Prokopovič

Abstract

The aim of the conducted research was to determine the mechanical stability of angle measurement comparator system. Vibrations have been measured at the significant points of the system and dynamic characteristics of the system have been established.

Keywords: angle measurements, comparator, calibration, dynamic characteristics.