

PAMATO STANDUMO ĮTAKA ROTORINĖS SISTEMOS STABILUMUI

J. Kaminskas¹, M. Vasylius², A. Tadžijevs³

Klaipėdos universitetas, Mechanikos inžinerijos katedra, Bijūnų g. 17, LT-91225, Klaipėda, el. paštas: kaminskas.justinas@gmail.com¹; mvasylius@yahoo.com²; tadjijevs@gmail.com³

Anotacija

Straipsnyje pateikti stendo, kurį sudaro rotorinė sistema ir pamatas, virpesių matavimai ir rezultatai. Pamatas bene vienas iš svarbiausių rotorinės sistemos dalių, užtikrinančių patikimą jos darbą. Dažnai projektuotojai padaro daug klaidų projektuodami pamatus, kurie visiškai netinka rotorinei sistemai, neįvertina pamato nuosavo virpesių dažnio, todėl pasitaiko tokių rotorinių sistemų, kurios dirba arti rezonanso reiškinio. Šiame straipsnyje yra tiriami kelių tipų pamatai. Pamatas ir rotorinė sistema analizuojami kartu taikant kombinuotą tyrimo metodą: skaitinį modeliavimą (BEM) ir virpesių signalų analizę. Remiantis gautais tyrimų rezultatais, siekiama nustatyti, kokią įtaką nepakankamas pamato standumas turi rotorinės sistemos dinaminiam stabilumui.

RAKTINIAI ŽODŽIAI: pamatas, rotorinė sistema, standumas, virpesiai.

Abstract

This paper presents the measurements and results about vibrations at the stand, which consists of rotary system and foundation. The foundation is one of the most important parts of the rotary system, which ensures reliable work. Designers often makes a lot of mistakes in designing the foundations, which are completely not suitable for the rotary system, misjudge the foundation's natural frequency of the vibrations, so there are such rotary systems, which functions close to resonance. This paper has investigated several types of foundations. The foundation is analysed together with the rotary system applying a method of combinative research: numerical modeling (BEM) and the analysis of vibrations' signals. Based on the research results, it tries to determine the impact of the lack of foundation rigidity to the rotary systems' dynamic and stability.

KEY WORDS: foundation, rotary system, stiffness, vibrations.

Įvadas

Rotorinės sistemos plačiai naudojamos įvairiose žmogaus veiklos srityse ir dažnai nulemia vienos ar kitos ūkio šakos pažangą. Rotorinių sistemų yra daug ir labai įvairių: turbinos, generatoriai, elektros mašinos, vidaus degimo varikliai, įvairūs technologiniai įrenginiai (metalo pjovimo staklės, siurbiai ir kt.), į kurių sudėtį įeina rotorinės sistemos. Nuo jų dinaminio tikslumo ir patikimumo priklauso įvairių tikslųjų prietaisų, technologinių įrenginių darbo kokybė.

Rotorinės sistemos – tai platus mechaninių sistemų poklasis, neatskiriama kiekvienos mašinos ir daugumos mechanizmų dalis. Dėl skirtingos paskirties ar funkcijų jų konstrukcijos labai įvairios, tačiau turi ir tipinių elementų. Didėjant greičiams, didėja rotorinių sistemų dinaminis apkrovimas. Vis didesni reikalavimai, keliami jų patikimumui ir ilgaamžiškumui, paveikė ir sistemų konstrukcinius elementus, tokius kaip pamatai, rėmai ir kt. [4].

Mašinų pamatai reikalauja ypatingo dėmesio, nes jie perduoda dinamines apkrovas į pagrindą, ant kurio yra sumontuoti. Dinaminė apkrova, eksploatuojant mašiną, paprastai nėra didelė palyginti su statiniu mašinos ir naudojamo pamato svoriu. Mašinos virpesių amplitudė jos veikimo dažniu yra svarbiausias parametras, kuris turi būti nustatytas, projektuojant mašinos pamatą. Todėl labai aktualu tirti pamatų dinamiką, įvertinant įvairius veiksnius. Dinamikos tyrimai padeda išstobulinti rotorinių sistemų konstrukciją, numatyti efektyvius darbo režimus, rasti optimalius sprendimus, kaip sumažinti jų vibracinį aktyvumą, padidinti patikimumą.

Šio darbo tikslas – skaitinių ir praktinių eksperimentinių tyrimų pagrindu atlikti nagrinėjamos sistemos kelių tipų pamatų virpesių matavimus, užtikrinant kuo didesnę pamato standumą, skirtingais darbo režimais ir juos tarpusavyje palyginti.

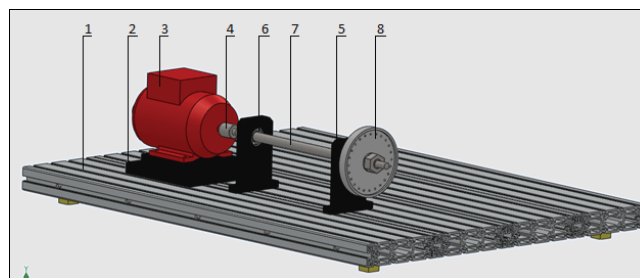
Tyrimo objekto aprašymas

Eksperimentinių tyrimų objektas – yra stendas PT500 (1 pav.). Stendą sudaro rotorinė sistema ir pamatas. Pamatas yra laikančioji dalis, užtikrinanti rotorinės sistemos pakankamą standumą. Rotorinė sistema yra sukamoji variklio arba darbo mašinos dalis, turinti detalių, kurios gauna energiją iš darbo kūnų. Tyrimo objektas, esantis Klaipėdos

universitete, Jūrų technikos fakulteto laboratorijoje, naudojamas kaip mokomoji priemonė atlikti įvairiems tyrimams, siekiant imituoti tam tikrų junginių žalą ir ištirti jos poveikį, rezultatus pateikiant tam tikru virpesių spektru. Taip pat naudojantis šiuo stendu galima atlikti rotorinių sistemų virpesių matavimo eksperimentus: virpesių poslinkio, virpesių pagreičio matavimus gaunamus laiko/dažnio diapazonu.

Stendui PT500, kaip ir kiekvienam technikos objektui, būdinga tam tikra konstrukcija, t.y. tam tikras sudedamųjų dalių išdėstymas konstrukcijos koordinačių sistemoje. Be to, beveik visada galima išskirti tokią konstrukcijos dalį, kuri lemia kitų dalių išdėstymą, pavyzdžiui, nagrinėjamo stendo pamatinė dalis. Mašinų ir mechanizmų tokia dalis yra laikančioji konstrukcijos dalis, nuo kurios techninės būklės labai priklauso viso objekto patikimumas ir ilgaamžiškumas. Kai kurių mašinų konstrukcija, ypač jos laikančioji dalis, tampa atsakingiausia grandimi, kuri turi būti patvari, kad mašina normaliai veiktų.

Stendo konstrukcija susideda iš tokių dalių: pamato (1 poz.), kurį sudaro keturios specialaus profilio aliuminio pagrindo plokštės, el. variklio laikiklio (poz. 2), asinchroninio el. variklio su dažnių keitikliu (poz. 3), lankstaus tipo movos (poz. 4), guolių atramų (poz. 5), kurios naudojamas tam, kad veleną įtvirtinti tam tikroje nustatytoje padėtyje, guolių (poz. 6), veleno (poz. 7) ir disko (poz. 8) ant kurio gali būti tvirtinama įvairi disbalanso masė.

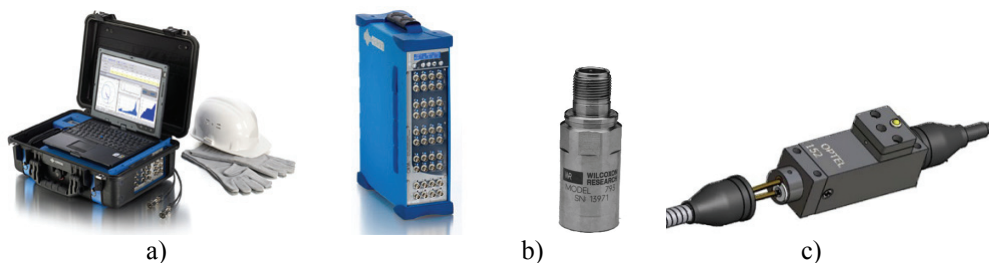


1 pav. Tyrimo objektas – stendas PT500

Tyrimo įranga

Per pastaruosius 25 metus visiškai pasikeitė mašinų dinamikos tyrimo metodai ir priemonės – paplito kompiuterizuoti virpesių tyrimo metodai ir techninės priemonės. Tiriant virpesių poveikio mašinai, prietaisui ir jų elementams intensyvumą, matuojami mechaninių virpesių parametrai, sudaromi virpesių matavimo duomenų formatai ir kartu su technologinio proceso parametrais įvertinama techninė mašinos būklė, nustatomi defektai ir sekamas jų vystymasis iki gedimo [2, 3].

Ekperimentiniams tyrimams atlikti naudojama įranga (2 pav.): daugiakanalis virpesių analizatorius OROS Mobi Pack OR36 (Prancūzija), pagreičio jutiklis Wilcoxon 793 (JAV), optinis fazės jutiklis Optel – Thevon 152 G7 (Prancūzija), bei programinė įranga Ansys. Virpesių signalams analizuoti naudota kompiuterinė programinė įranga NVGate ir ORBIGate leidžianti gauti įvairius virpesių tyrimams skirtus duomenų formatus [7].



2 pav. Virpesių tyrimo įranga: virpesių analizatorius OROS Mobipack OR36 (a), virpesių pagreičio keitiklis Wilcoxon 793 (b), Optinis fazės jutiklis Optel – Thevon 152 G7 (c)

Pagreičio keitiklio veikimo principas pagrįstas masės judėjimu matuojamąja kryptimi. Pramoninio taikymo akselerometrai yra masės poslinkio tipo arba nuliniai akselerometrai. Matuojant mechaninius virpesius ir smūgius taikomi masės poslinkio tipo akselerometrai [1, 2]. Naudojamas pagreičio keitiklis Wilcoxon 793 (2b pav.) pasižymi šiomis savybėmis: atsparus korozijai, tvirtas, sandarus, apsauga jungiamiesiems laidams apsauga nuo viršsrovių.

Optiniai jutikliai geba jausti objektų padėtį optinėmis ir elektroninėmis priemonėmis. Šiam tikslui naudojamas matomos raudonos šviesos diodas. Veleno greičiui ir virpesių fazei nustatyti naudojamas optinis fazės jutiklis Optel – Thevon 152 G7 (2c pav.) pasižymi šiomis savybėmis: gali apskaičiuoti iki 500 000 impulsų per sekundę, veikia nuo 0 iki 0,5 MHz.

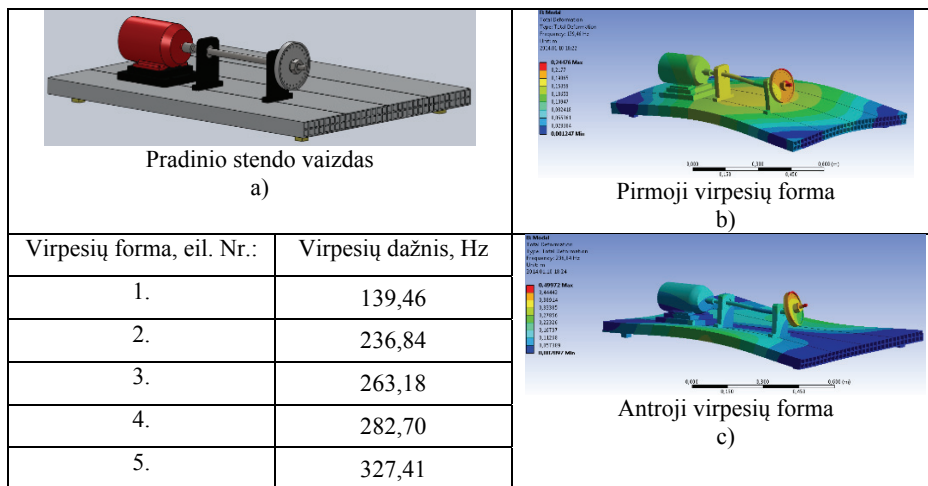
Skaitinio modelio tyrimams atlikti naudojama programinė įranga ANSYS. ANSYS – tai daugiavandenis baigtinių elementų programinis paketas, skirtas mechanikos, elektrotechnikos, skysčių dinamikos bei kitų inžinerinių – fizikinių uždavinių sprendimui ir analizei. Paketo pagalba galima spręsti tiek mokslinės, tiek ir inžinerinės pakraipos problemas.

Stendo PT500 virpesių tyrimas

Stendo virpesių tyrimas atliekamas dviem etapais. Pirmasis etapas yra stendo skaitinio modelio sudarymas ir tyrimas naudojant programinę įrangą ANSYS. Antrasis eksperimentinio tyrimo etapas yra stendo virpesių tyrimas, naudojant anksčiau minėtą tyrimo įrangą.

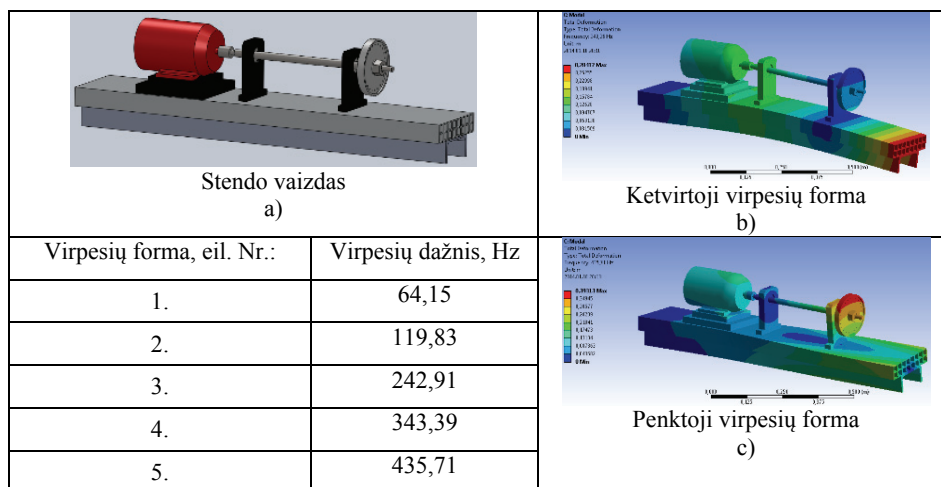
Stendo skaitinio modelio tyrimo metu pirmiausia sudaromas stendo dinaminis modelis, kuriuo aprašomi gamtos fizikiniai dėsniai matematine simbolika. Šiuo atveju – virpamosios sistemos virpesių diferencialinės lygtys, kurios sprendžiamos kompiuteriais. Stendo PT500 geometrija skaidoma baigtiniais elementais, atliekama modalinė – savųjų dažnių analizė.

Modalinės analizės metu gauti tokie pradinio stendo rezultatai (3 pav.):



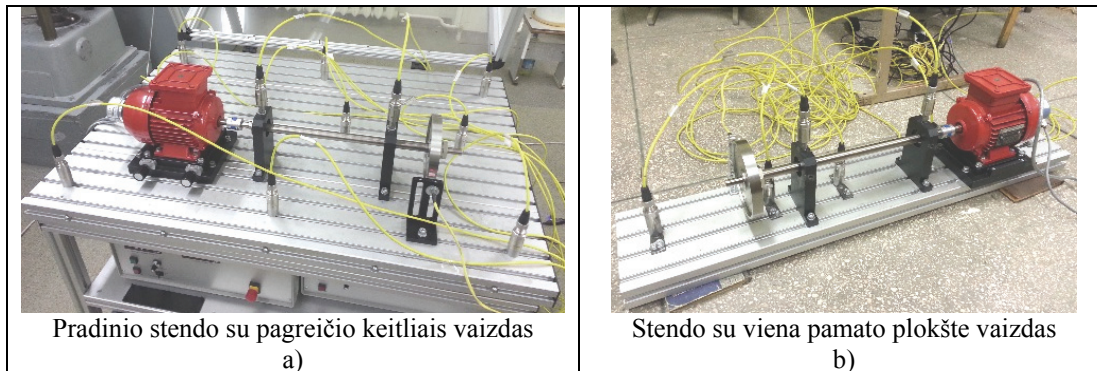
3 pav. Pradinio stendo skaitinio modelio tyrimo metu gauti rezultatai

Modalinės analizės metu gauti rezultatai (4 pav.), esant vienai pamato plokštei ir naudojant lovinę siją:



4 pav. Stendo su viena pamato plokšte skaitinio modelio tyrimo metu gauti rezultatai

Praktinio eksperimentinio tyrimo metu tiriami pamato, kai pagreičio keitliai išdėlioti ant pamato visame plote, ir guolių atramų virpesiai matuojami vertikalia Y kryptimi. Matavimai atliekami, naudojant 12 (5 pav. a) ir 7 (5 pav. b) pagreičio keitlius. Atliekamų matavimų ir keitlių išdėstymo vietų vaizdai pateikti 7 pav.



5 pav. Atliekamų matavimų virpesių matavimo taškų vaizdas

Atlikus praktinį eksperimentinį tyrimą su pradiniu stendu, pateikiami penkių pagreičio jutiklių, esančių arčiausiai rotorinės sistemos, rezultatai. Taip pat išskiriamas 2700 aps/min greitis, kurio metu įvyksta sistemos rezonansas.

1 lentelė. Pradinio stendo praktinio tyrimo metu gauti rezultatai

Jutiklio Nr.:	Virpesių intensyvumas, mm/s	2700, aps/min
1		1,7
2		1,8
3		1,6
4		2,1
5		2,0
6		2,3
7		1,2
8		1,9
9		2,5
10		2,0
11		2,3
12		2,2

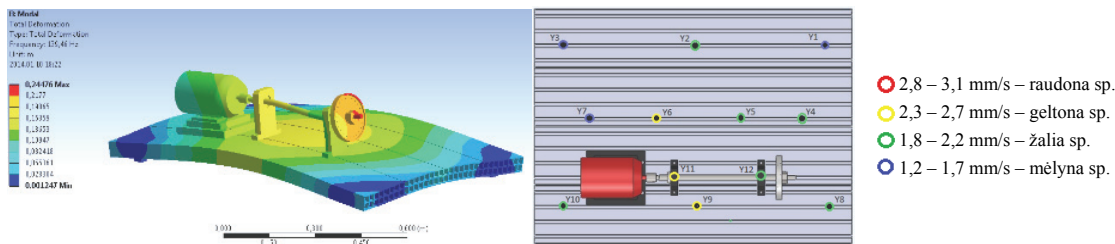
2 lentelė. Stendo su viena plokšte praktinio tyrimo metu gauti rezultatai

Jutiklio Nr.:	Virpesių intensyvumas, mm/s	2700, aps/min
1		1,9
2		1,8
3		1,7
4		1,7
5		1,7
6		1,8
7		1,6

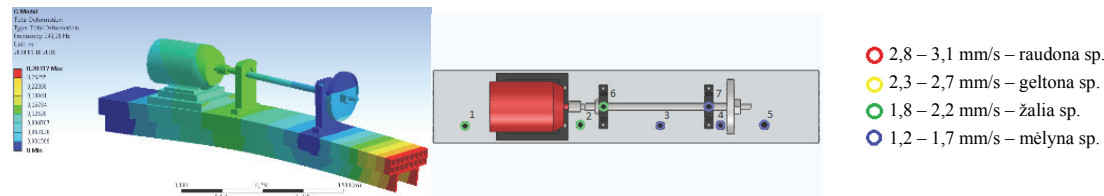
Stendo PT500 virpesių tyrimo rezultatų palyginimas

Atlikus skaitinio modelio ir praktinį eksperimentinius tyrimus su pradiniu stendu PT500 ir stendu su viena pamato plokšte buvo gauti atitinkami rezultatai, kuriais remiantis sudarytos palyginamosios schemos (8 pav.). Kairėje paveikslo pusėje pateikta viena iš modalinės analizės metu gautų virpesių formų. Dešinėje paveikslo pusėje sudaryta schema pagal gautus praktinio tyrimo rezultatus. Naudojama spalvinė gama pagal rezultatų intervalą: mėlyna spalva 1,2 – 1,7 mm/s; žalia spalva 1,8 – 2,2 mm/s; geltona spalva 2,3 – 2,7 mm/s; raudona spalva 2,8 – 3,1 mm/s.

Taip pat sudaryta analogiška schema pagal rezultatus, gautus skaitinį ir praktinį eksperimentinį tyrimą atliekant su viena pamato plokšte.



8 pav. Pradinio stendo vaizdas



9 pav. Stendo su viena pamato plokšte vaizdas

Iš sudarytų palyginamųjų schemų (8, 9 pav.), kada tyrimas atliekamas su pradiniu stendu PT500 ir su stendu, esant vienai pamato plokštei, matomas akivaizdus panašumas tarp skaitinio ir praktinio tyrimų rezultatų. Spalvinė gama pasiskirsto gana tolygiai.

Palyginus pradinio stendo skaitinio tyrimo metu gautus virpesių dažnius (5 pav.) su virpesių dažniais, gautais skaitinio tyrimo metu su viena pamato plokšte, matomas akivaizdus virpesių dažnių padidėjimas. Pavyzdžiui, pradinio stendo penktoje virpesių formoje gautas virpesių dažnis lygus 327,41 Hz, o stendo su viena pamato plokšte gautas virpesių dažnis lygus 435,71 Hz. Taigi sumažinus pradinio stendo pamato plokščių skaičių iki vienos ir sumontavus lovinę siją, stendo standumas padidėja 25%.

Išvados

Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad atlikus skaitinio modelio ir praktinį eksperimentinius tyrimus su pradiniu stendu ir stendu, esant vienai pamato plokštei, bei palyginus gautus rezultatus rotoriumi besisukant atitinkamai 2700 aps/min ir 1700 aps/min greičiu, naudojant spalvinę rezultatų išraišką pagal gautų rezultatų intervalus, matomas akivaizdus panašumas tarp skaitinio ir praktinio tyrimų rezultatų. Spalvinė rezultatų išraiška pasiskirsto tolygiai.

Palyginus pradinio stendo skaitinio tyrimo metu gautus virpesių dažnius su virpesių dažniais, gautais skaitinio modelio tyrimo metu, naudojant vieną pamato plokštę, savųjų virpesių dažniai padidėja. Pradinio stendo penktoje savųjų dažnių virpesių formoje gautas virpesių dažnis lygus 327,41 Hz, o stendo su viena pamato plokšte gautas savųjų virpesių dažnis lygus 435,71 Hz. Sumažinus pradinio stendo pamato plokščių skaičių iki vienos ir sumontavus lovinę siją ant stendo, standumas padidėja 25%.

Literatūra

1. Augustaitis, K. V. 2000. Mechaninių virpesių pagrindai. Vilnius: Žiburio leidykla.
2. Barzdaitis, V. 2008. Mechatroninės sistemos: tyrimai ir diagnostika. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla.
3. Barzdaitis, V., Činikas, G. 1998. Rotorinių mašinų monitoringas ir diagnostika. Kaunas: Technologija.
4. Jonušas, R., Jurkauskas, A. ir kt. 2001. Rotorinių sistemų dinamika ir diagnostika. Kaunas: Technologija.
5. Žiliukas, P., Barkauskas, R. 1997. Mechaniniai virpesiai. Kaunas: Technologija.
6. Bently, D. E. 2002. Fundamentals of rotating machinery diagnostics. Canada.
7. <<http://www.oros.com/3974-mobi-pack-4-to-16-channels-reinforced.htm>>