

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0149****Vyskum nových metód merania kondície strojov**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Miroslav Dovica, PhD.**Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Strojnícka fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita v košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra biomedicínskeho inžinierstav a merania, Katedra výrobnjej techniky a robotiky.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Na projekte nespupracovalo zahraničné pracovisko.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

AGJ Prenosné meracie zariadenie tuhosti strojov patentový spis 288619/ Tomáš Stejskal ...

[et al.] - Banská Bystrica : ÚPV SR - 2018. - 6 s.. Spôsob prístupu:

<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/Patent/Detail/104-2016...>

[STEJSKAL, Tomáš (35%) - SVETLÍK, Jozef (35%) - DEMEČ, Peter (15%) - DOVICA, Miroslav (15%)]

AGJ Merací prípravok na meranie dĺžkových rozmerov nehybných objektov pomocou

laserového interferometra úžitkový vzor 8753/ Tomáš Stejskal ... [et al.] - Banská Bystrica :

ÚPV SR - 2019. - 5 s.. Spôsob prístupu:

<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/50042-2019...>

[STEJSKAL, Tomáš (35%) - SVETLÍK, Jozef (25%) - DOVICA, Miroslav (20%) - DEMEČ, Peter (20%)]

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

ADN Information contents of a signal at repeated positioning measurements of the coordinate measuring machine (CMM) by laser interferometer / Tomáš Stejskal ... [et al.] - 2016. In:

Measurement Science Review. Vol. 16, no. 5 (2016), p. 273-279. - ISSN 1335-8871

[STEJSKAL, Tomáš (27%) - KELEMENOVÁ, Tatiana (27%) - DOVICA, Miroslav (20%) - DEMEČ, Peter (20%) - ŠTOFA, Miroslav (6%)]

AAB Kalibrácia meradiel / Tatiana Kelemenová, Miroslav Dovica - 1. vyd. - Košice : TU - 2016. - 233 s.. - ISBN 978-80-553-3069-3.

[KELEMENOVÁ, Tatiana (60%) - DOVICA, Miroslav (40%)]

ADM An algorithm of a freeform surfaces measurement adjustment using a specification of

the workpiece coordinate system location / Ján Buša ... [et al.] - 2017. In: Advances in Science and Technology : Research Journal. Vol. 11, no. 3 (2017), p. 223-232. - ISSN 2299-8624

[BUŠA, Ján (20%) - BUŠA JR., Ján (20%) - DOVICA, Miroslav (20%) - FABIAN, Michal (20%) - IŽOL, Peter (20%)]

ADM Elimination of thermal drift in measuring the positioning accuracy of a three axis milling machine / Tomáš Stejskal ... [et al.] - 2017. In: *Advances in Science and Technology-Research Journal*. Vol. 11, no. 4 (2017), p. 159-167. - ISSN 2299-8624
 [STEJSKAL, Tomáš (20%) - DOVICA, Miroslav (20%) - DEMEČ, Peter (20%) - SVETLÍK, Jozef (20%) - RAJŤUKOVÁ, Viktória (20%)]

ADC Measurement of static stiffness after motion on a three-axis CNC milling table / Tomáš Stejskal ... [et al.] - 2018. In: *Applied Sciences - Basel*. Vol. 8, no. 1 (2018), p. 1-17. - ISSN 2076-3417 Spôsob prístupu:
http://apps.webofknowledge.com/Search.do?product=WOS&SID=F6VYNdQzyNcudOvngWT&search_mode=GeneralSear...
 [STEJSKAL, Tomáš (20%) - SVETLÍK, Jozef (20%) - DOVICA, Miroslav (20%) - DEMEČ, Peter (20%) - KRÁL, Ján ml. (20%)]

ADC Analysis of defects in carcass of rubber-textile conveyor belts using metrotomography / Gabriel Fedorko ... [et al.] - 2018. In: *Journal of Industrial Textiles*. Vol. 47, no. 7 (2018), p. 1812-1829. - ISSN 1528-0837 Spôsob prístupu:
<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1528083717710712...>
 [FEDORKO, Gabriel (20%) - MOLNÁR, Vierošlav (20%) - DOVICA, Miroslav (20%) - TÓTH, Teodor (10%) - FABIANOVÁ, Jana (17%) - STROHMANDL, Jan (1%) - NERADILOVÁ, Hana (1%) - HEGEDŮŠ, Matúš (10%) - BELUŠKO, Matúš (1%)]

ADC Failure analysis of irreversible changes in the construction of car tyres / Gabriel Fedorko ... [et al.] - 2019. In: *Engineering Failure Analysis*. - Amsterdam (Nemecko) : Elsevier č. 104 (2019), s. 399-408 [print]. - ISSN 1350-6307 Spôsob prístupu:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630719303917...>
 [FEDORKO, Gabriel (20%) - MOLNÁR, Vierošlav (20%) - DOVICA, Miroslav (20%) - TÓTH, Teodor (15%) - ŠOOŠ, Ľubomír (10%) - FABIANOVÁ, Jana (10%) - PIŇOSOVÁ, Miriama (5%)]

ADC Failure analysis of conveyor belt samples under tensile load / Gabriel Fedorko ... [et al.] - 2019. In: *Journal of Industrial Textiles = JIT*. - Thousand (USA) : SAGE Publications Roč. 48, č. 8 (2019), s. 1364-1383 [print]. - ISSN 1528-0837 Spôsob prístupu:
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1528083718763776?journalCode=jitc...>
 [FEDORKO, Gabriel (16%) - MOLNÁR, Vierošlav (16%) - MICHALIK, Peter (16%) - DOVICA, Miroslav (16%) - KELEMENOVÁ, Tatiana (20%) - TÓTH, Teodor (16%)]

ADM Experimental assessment of the static stiffness of machine parts and structures by changing the magnitude of the hysteresis as a function of loading / Tomáš Stejskal, Miroslav Dovica, Jozef Svetlík, Peter Demeč - 2019. In: *Open Engineering*. - Berlín (Nemecko) : De Gruyter Roč. 9, č. 1 (2019), s. 655-659 [online]. - ISSN 2391-5439 (online)
 [STEJSKAL, Tomáš (25%) - DOVICA, Miroslav (25%) - SVETLÍK, Jozef (25%) - DEMEČ, Peter (25%)]

AFC Direct measurement of stationary objects' dimensions with Michelson type incremental laser interferometer / T. Stejskal ... [et al.] - 2019. In: *Joint IMEKO TC1-TC7-TC13-TC18 Symposium*. - Bristol (Veľká Británia) : IOP Publishing s. 1-7 [print, online]. Spôsob prístupu:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1379/1/012065...>
 [STEJSKAL, Tomáš (45%) - DOVICA, Miroslav (30%) - ĎURIŠ, Stanislav (15%) - ĎURIŠOVÁ, Zuzana (5%) - PALENČÁR, Jakub (5%)]

AAB Bezdotykové metódy merania geometrických veličín / Miroslav Dovica, Tatiana Kelemenová, Jakub Palenčár - 1. vyd. - Košice : Technická univerzita v Košiciach - 2020. - 171 s. [print]. - ISBN 978-80-553-3380-9.
 [DOVICA, Miroslav (65%) - KELEMENOVÁ, Tatiana (30%) - PALENČÁR, Jakub (5%)]

ADC Specific Problems in Measurement of Coefficient of Friction Using Variable Incidence Tribometer/ Tatiana Kelemenová, Miroslav Dovica, Pavol Božek, Ivana Koláriková, Ondrej Benedik, Ivan Virgala, Erik Prada, Ľubica Miková, Tomas Kot, Michal Kelemen:In.: *Symetry* Volume 12, Issue 8 (August 2020) 1235 ISSN 2073-8994

ADC Establishing the Optimal Density of the Michell Truss Members / Tomáš Stejskal ... [et al.] - 2020. In: *Materials*. - Basel (Švajčiarsko) : Molecular Diversity Preservation International Roč. 13, č. 17 (2020), s. 1-16 [online]. - ISSN 1996-1944 (online) Spôsob prístupu:
<https://www.mdpi.com/1996-1944/13/17/3867/htm...>
 [STEJSKAL, Tomáš (30%) - DOVICA, Miroslav (20%) - SVETLÍK, Jozef (28%) - DEMEČ, Peter (20%) - HRIVNIAK, Lukáš (1%) - ŠAŠALA, Michal (1%)]

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu sa vzťahujú na vývoj nového typu prenosného diagnostického zariadenia, ktoré je schopné merať aj doteraz neznáme parametre viažuce sa k statickej tuhosti strojov. Táto koncepcia má za následok nasledovné uplatnenie v praxi:

1. Možnosť nového spôsobu diagnostiky výrobných strojov (spojené s ekonomickými prínosmi ktoré vyplývajú zo včasnej, spoľahlivej diagnostiky a lepšej ceny oproti iným metódam).
2. Vylepšenie postupu prototypových skúšok výrobných strojov.
3. Nová koncepcia konštrukcie výrobných strojov (tensegritný systém). Táto koncepcia rieši aj problematiku tepelnej deformácie strojov.
4. Rozšírenie portfólia meracích zariadení v priemysle.
5. Nové možnosti výskumu a vývoja výrobných strojov. (Napríklad skúmanie kvality výroby v súčinnosti so zmenou statickej tuhosti v pracovnom priestore).
6. Podporné meranie pre rôzne výskumné úlohy, ktoré parameter tuhosti používajú ako prostriedok na podporu vedeckých hypotéz.
7. Rozšírenie vedomostnej úrovne študentov študujúcich predmety viažuce sa pre daný vedný obor.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Základný výskum v projekte bol zameraný na vypracovanie metodiky určovania kondície strojov. V prvom rade sa na základe vopred stanovených cieľov projektu skúmala statická tuhosť strojov a jej možnosti vyhodnotenia a následného uplatnenia v praxi. Výsledky ktoré sa získali v tejto oblasti v plnej miere naplnili plánované ciele projektu.

Nové poznatky základného výskumu týkajúce sa stanovených cieľov projektu sú nasledovné:

- Zistenie správania sa strojov z hľadiska zmeny statickej tuhosti pri ukončení pohybu súčastí stroja. Meranie sa vykonalo s mikrometrickou presnosťou.
- Zistenie správania sa strojov z hľadiska zmeny statickej tuhosti pri plynulej zmene pohybu a pri rôznych rýchlostiach zaťaženia strojových súčastí.
- Zistenie správania sa strojov z hľadiska zmeny statickej tuhosti a príbuzných parametrov pri zmene smeru pôsobenia záťažových síl.

Tieto nové poznatky vedú k nadväzným výskumným úlohám, ktoré boli spracované ako čiastkové úlohy projektu.

Experimentálne sa zistilo, že klasické meranie ojedinelých záznamov sily a odchýlky je nepostačujúce na komplexné posúdenie statickej tuhosti. Pribeh statickej charakteristiky sa stáva nelineárnym už pri relatívne nízkych rýchlostiach zaťaženia. Tento fakt je novým parametrom hodnotenia statickej tuhosti strojov. Významne môže ovplyvniť konštrukčné riešenie moderných obrábacích strojov.

Ďalšou úlohou výskumu bolo overenie statickej tuhosti polohovania krížového stola frézovačky počas zmeny polohy. Nová zistená skutočnosť hovorí o tom, že tuhosť v pracovnom priestore stroja závisí nielen od smeru a polohy zaťaženia, ale aj od smeru a veľkosti predchádzajúceho zaťaženia. Tento poznatok nie je zohľadnený pri klasických skúškach tuhosti stroja. Rozdiely v takto získaných hodnotách tuhosti sú troj až štvornásobne nižšie. Tento nový poznatok vedie k špeciálnym konštrukčným riešeniam obrábacích strojov.

Obojstranné meranie tuhosti je novým príspevkom k metodike určovania kondície strojov. Experimentálne výsledky poukazujú na zvýšenú citlivosť určenia nelinearity statickej charakteristiky zaťaženého objektu. Táto metodika poukazuje na spôsob zistenia správnych upínacích síl obrobkov pred obrábaním. Výsledky viedli k návrhu prenosného prístroja na meranie statickej tuhosti stroja a príslušných prídavných parametrov dobre charakterizujúcich kondíciu stroja.

Ako čiastková úloha bol vyriešený problém merania kruhovitosti objektov troma bezdotykovým sondami na základe použitia špeciálneho štatistického softvéru. Novosťou k prístupu merania bolo, že neurčitý pohyb v rovine vykonával iba objekt merania. Sondy boli k priestoru nehybné. Použitie metodiky merania má široké možnosti v meraní kondície strojov.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku

(max. 20 riadkov)

The basic research in the project was focused on the development of a methodology for determining the condition of machines. First of all, on the basis of the predetermined goals of the project, the static stiffness of the machines and its possibilities of evaluation and subsequent application in practice were examined. The results obtained in this area fully met the planned objectives of the project.

New findings of basic research related to the set goals of the project are the following:

- Determining the behavior of machines in terms of changes in static stiffness at the end of the movement of machine parts. The measurement was performed with micrometric accuracy.
- Determining the behavior of machines in terms of changes in static stiffness with a smooth change of movement and at different loading rates of machine parts.
- Determining the behavior of machines in terms of changes in static stiffness and related parameters when changing the direction of the loading forces.

This new knowledge leads to follow-up research tasks, which were processed as partial tasks of the project.

It has been found experimentally that the classical measurement of unique force and deflection records is insufficient for a comprehensive assessment of static stiffness. The course of the static characteristic becomes nonlinear even at relatively low load rates. This fact is a new parameter for evaluating the static stiffness of machines. It can significantly affect the design of modern machine tools.

Another task of the research was to verify the static stiffness of the positioning of the cross table of the milling machine during the change of position. The new fact is that the stiffness in the working space of the machine depends not only on the direction and position of the load, but also on the direction and magnitude of the previous load. This knowledge is not taken into account in classical machine stiffness tests. The differences in the stiffness values thus obtained are three to four times lower. This new knowledge leads to special design solutions for machine tools.

Bilateral stiffness measurement is a new contribution to the methodology of determining the condition of machines. Experimental results indicate an increased sensitivity of determining the nonlinearity of the static characteristics of a loaded object. This methodology points out how to determine the correct clamping forces of workpieces before machining. The results led to the design of a portable device for measuring the static stiffness of the machine and the relevant additional parameters that well characterize the condition of the machine.

As a partial task, the problem of measuring the circularity of objects with three non-contact probes was solved based on the use of special statistical software. The novelty of the measurement approach was that the indeterminate movement in the plane was performed only by the measurement object. The probes were motionless to space. The use of measurement methodology has wide possibilities in measuring the condition of machines.