



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0066

Vývoj inovatívnych metód pre primárnu metrológiu momentu sily aplikáciou silových účinkov konvenčnej etalonáže

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ľuboš Kučera, PhD.**

Príjemca **Slovenská legálna metrológia, n.o.**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Slovenská legálna metrológia n.o.,

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Český metrologický inštitút, Česká republika.

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

Patentová prihláška č. 63-2021, názov: "Spôsob statickej kalibrácie snímačov momentu sily a zariadenie na vykonávanie spôsobu"

Zapísaný úžitkový vzor č. 9675, názov: "Spôsob statickej kalibrácie snímačov momentu sily a zariadenie na jeho vykonávanie"

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

1. Rudolf Palenčár, Stanislav Ďuris, Jakub Palenčár, Martin Halaj, Ľubomír Šooš, Matrix Presentation of Uncertainties Propagation in the Realization of ITS-90 Temperature Scale using Standard Platinum Resistance Thermometers, MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, 20, (2020), No. 2, 73-79, ISSN-1335-8871

2. Peter Pavlásek, Jan Rybár, Stanislav Ďuriš, Branislav Hučko, Miroslav Chytil, Alena Furdova, Sylvia Lea Ferkova, Juraj Sekáč, Vítězslav Suchý, Patrik Grosinger, Developments and Progress in Non-contact Eye Tonometer Calibration, MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, 20, (2020), No. 4, 171-177, ISSN-1335-8871

3. Ľuboš Kučera, Branislav Patin, Tomáš Gajdošík, Rudolf Palenčár, Jakub Palenčár, Miloš Ujlaky, Application of Metrological Approaches in the Design of Calibration Equipment for Verification of Float Level Gauges, MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, 20, (2020), No. 5, 230- 235, , ISSN-1335-8871

4. Miloš Ujlaky, Anton Frič, Daniel Kysler, Meranie a metrologická kontrola momentového náradia, Metrológia a skúšobníctvo, ÚNMS SR, ISSN, 1335-2768, v tlači, do tlače odovzdané 10.2020.

METROLOGICAL EQUIPMENT FOR VERIFICATION AND CALIBRATION OF NON-AUTOMATIC WEIGHING INSTRUMENTS – AXLE AND CRANE WEIGHTING INSTRUMENT, Metrology and Measurement Systems Volume 28, Issue 2, 2021, Pages 397 – 407 2021, ISSN 08608229, Tomas Gajdosik, Lubos Kucera, Igor Gajdac, Anton Fric,

Jaromir Markovic

5. STEJSKAL, Tomáš - DOVICA, Miroslav - SVETLÍK, Jozef - ĎURIŠ, Stanislav - KELEMENOVÁ, Tatiana - PALENČÁR, Jakub: ASSESSMENT OF THE CAUSALITY OF THE MEASURED VALUES BASED ON EXTERNAL FEATURES. In Measurement: Sensors. Vol. 18, (2021), s. 100068. ISSN 2665-9174.
6. GROSINGER, Patrik - RYBÁŘ, Jan - DUNAJ, Štefan - ĎURIŠ, Stanislav - HUČKO, Branislav: A NEW PAYLOAD SWING ANGLE SENSING DEVICE AND ITS ACCURACY. In Sensors. Vol. 21, Iss. 19 (2021), s. 6612. ISSN 1424-8220 (3.576 - 2020). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85116227354.
7. POPOVIĆ, B.V. - MIJANOVIĆ, A. - WITKOVSKÝ, V.: COMPUTING THE EXACT DISTRIBUTION OF A LINEAR COMBINATION OF GENERALIZED LOGISTIC RANDOM VARIABLES AND ITS APPLICATIONS. Journal of Statistical Computation and Simulation First on-line, 2021, DOI:10.1080/00949655.2021.1982942.
8. WIMMER, G. - WITKOVSKÝ, V.: DETERMINATION OF THE EXACT CONFIDENCE INTERVALS FOR PARAMETERS IN A MODEL OF DIRECT MEASUREMENTS WITH INDEPENDENT RANDOM ERRORS. In: Dvurečenskij, A., Maňka, J., Švehlíková, J., Witkovský, V., editors, MEASUREMENT 2021, Proceedings of the 13th International Conference on Measurement. On-line Conference, Smolenice, Slovakia, May 17-19, 2021, 97-100. ISBN 978-80-972629-4-5. Q4 IEEE & Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
9. WITKOVSKÝ, V. - WIMMER, G.: EXACT CONFIDENCE INTERVALS FOR PARAMETERS IN LINEAR MODELS WITH PARAMETER CONSTRAINTS. In: Dvurečenskij, A., Maňka, J., Švehlíková, J., Witkovský, V., editors, MEASUREMENT 2021, Proceedings of the 13th International Conference on Measurement. On-line Conference, Smolenice, Slovakia, May 17-19, 2021, 22-25. ISBN 978-80-972629-4-5. Q4 IEEE & Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
10. POPOVIĆ, B.V. - MIJANOVIĆ, A. - WITKOVSKÝ, V.: Computing the exact distribution of a linear combination of generalized logistic random variables and its applications. Journal of Statistical Computation and Simulation 92(5), 2022, 1015-1033, DOI:10.1080/00949655.2021.1982942.
11. WITKOVSKÝ, V.: Implementation of the characteristic functions approach to measurement uncertainty evaluation. Ukrainian Metrological Journal 2022(1), 2022, 38-43. UDC 001.4:389.14:621.317. DOI. 10.24027/2306-7039.1.2022.258818.
12. WITKOVSKÝ, Viktor – WIMMER, G. PolyCal – Matlab algorithm for comparative polynomial calibration and its applications. In Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing XII: Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences – Vol. 90. Editors: F. Pavese, A.B. Forbes, N.F. Zhang, A.G. Chunovkina. – World Scientific, 2022, p. 501-512. ISBN 978-981-124-237-3.

Uplatnenie výsledkov projektu

Uplatnenie výsledkov projektu je v jeho prínose a to dobudovaní nového metrologického pracoviska na Slovensku. Zo súhrnu výsledkov riešenia je zrejmé, že dôjde po ukončení projektu ku vytvoreniu nového komplexného meracieho pracoviska a následne toto bude využívané pri zabezpečovaní metrologických výkonov žiadateľskej organizácie.

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

V roku 2019 bola podľa harmonogramu projektu urobená „Analýza súčasného stavu a preskúmanie možností riešenia technického zadania“. Bol spracovaný návrh princípu a novej metodiky merania v závislosti od legislatívnych požiadaviek. Boli stanovené meracie rozsahy pre rôzne typy snímačov krútiaceho momentu. Na základe stanovených cieľov boli rozpracované možné koncepty pre zohľadnenie fyzikálnych parametrov navrhovaného zariadenia so stanovením princípov generovania momentu sily. V roku 2020 V rámci jednotlivých etáp za rok 2020 boli analyzované vplyvy použitých materiálov konštrukcie na očakávané metrologické vlastnosti. Boli stanovené kritériá pre technické návrhy rôznych alternatív pre vyvodenie krútiaceho momentu. Pre systém merania využívajúci zmenu ramena zmenou jeho uhlu bol vytvorený model merania pre určenie neistôt merania. Z matematického popisu modelu merania boli stanovené priority pre výsledný konštrukčný návrh. V rámci riešenia bolo vytvorených niekoľko technických návrhov pre rôzne princípy

merania, boli urobené analýzy jednotlivých variant a bol vytvorený 3D model časti zariadenia pre vybraný spôsob merania. Aby bolo možné konštrukčný návrh rozvíjať do konečnej podoby komplexného meracieho systému, boli navrhnuté spôsoby pre automatickú činnosť zariadenia využívajúcu elektromechanický pohon snímače neelektrických veličín. Bola spracovaná časť dokumentácie pre výrobu špeciálneho meracieho ramena (pre zavesenie závaží) z uhlíkových vlákien. Bola urobená analýza vyrobiteľnosti takéhoto meracieho ramena u konkrétneho možného budúceho výrobcu. Boli vybrané dôležité uzly zariadenia, teda nosné vzduchové bezodporové ložisko, prevodovka pre naklápanie ramena, elektropohon pre naklápanie ramena s mechanickou brzdou a snímacia technika pre meranie uhlu a polohy meracieho ramena. Boli stanovené požiadavky na tuhosť konštrukcie, nastaviteľnosť vzájomne súvisiacich pohyblivých častí a na základe požiadaviek na vyvíjané zariadenie bol spracovaný odhad nákladov na výrobu častí zariadenia. V rámci SW riešení v roku 2021 boli vytvorené dve SW aplikácie. Prvá slúži na meranie momentu sily zo snímača momentu sily, zadania dát z meraného snímača momentu sily, porovnanie vzájomných dát a ich spracovanie a vyhodnotenie nazvaný ISAAC. Bol vypracovaný SW pre stanovenie neistoty merania pre všeobecné použitie a tiež aplikácia pre určenie splnenia podmienky pre požadovanú neistotu merania pre rôzne uhly naklonenia meracieho ramena a použitých prístrojov pre meranie vrátane neistoty určenia hmotnosti závaží navrhovaného zariadenia. Počas roku 2021 bol vytvorený kompletný 3D model meracieho zariadenia. Model bol niekoľko krát modifikovaný až pokiaľ nevznikla posledná alternatíva, ktorá bola rozpracovaná do výkresovej podoby pre výrobu a nákup jednotlivých dielov zariadenia. Počas tvorby 3D modelu boli vytvárané FEM analýzy jednotlivých komponentov (najmä rámu pre ložisko s meracím ramenom a meracie rameno z kompozitných materiálov). Po dokončení 3D modelu meracieho zariadenia bola vyhotovená konštrukčná dokumentácia pre výrobu jednotlivých komponentov. Na jeseň r. 2021 sa začalo s výrobou meracieho karbónového ramena a ostatných komponentov meracej časti zariadenia. Bolo skompletizované meracie rameno a boli urobené skúšky priehybu pre nominálne zaťaženie. V roku 2022 bola modifikovaná hlavná zostava v rámci komplexného 3D modelu, bol nakupovaný materiál pre stavbu celého zariadenia a začalo sa s výrobou ostávajúcich komponentov meracieho zariadenia. Niektoré uzly boli skompletizované a podrobené testom, najmä topológii povrchu a tvaru vyrábaných komponentov. Po ukončení projektu sa predpokladá montáž celého zariadenia v priestoroch pracoviska SLM v Bratislave.

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

In 2019, according to the project schedule, an "Analysis of the current state and examination of the options for solving the technical assignment" was made. A draft of the principle and possible measurement methodology was elaborated depending on the legislative requirements. Measuring ranges for different types of torque sensors have been established. On the basis of the established goals, possible concepts were developed for taking into account the physical parameters of the proposed device, with the determination of the principles of moment of force generation. Within the individual stages for the year 2020, the effects of the construction materials used on the expected metrological properties were analyzed. Criteria have been established for the technical designs of various alternatives for torque derivation. For the measurement system using the change of the arm by changing its angle, a measurement model was created to determine the measurement uncertainties. From the mathematical description of the measurement model, the priorities for the resulting structural design were determined. As part of the solution, several technical proposals were created for different measurement principles, analyzes of individual variants were made, and a 3D model of a part of the device was created for the selected measurement method. In order to be able to develop the structural design into the final form of a complex measuring system, methods were proposed for the automatic operation of the device using an electromechanical drive and a sensor of non-electric quantities. Part of the documentation for the production of a special measuring arm (for hanging weights) from carbon fibers was processed. An analysis was made of the manufacturability of such a measuring arm at a specific possible future manufacturer. The important nodes of the device were selected, i.e. the supporting air bearing without resistance, the gearbox for tilting the arm, the electric drive for tilting the arm with a mechanical brake and the sensing technique

for measuring the angle and position of the measuring arm. The requirements for the rigidity of the structure, the adjustability of the interrelated moving parts were determined, and based on the requirements for the developed equipment, an estimate of the costs for the production of the equipment parts was processed. As part of SW solutions in 2021, two SW applications were created. The first is used to measure the moment of force from the moment of force sensor, input data from the measured moment of force sensor, compare mutual data and process and evaluate them called ISAAC. SW was developed for determining the measurement uncertainty for general use and also an application for determining the fulfillment of the condition for the required measurement uncertainty for different angles of inclination of the measuring arm and used measuring devices, including the uncertainty of determining the weight of the weights of the proposed device. During 2021, a complete 3D model of the measuring device was created. The model was modified several times until the last alternative was created, which was developed into a drawing for the production and purchase of individual parts of the device. During the creation of the 3D model, FEM analyzes of individual components were created (especially the frame for the bearing with the measuring arm and the measuring arm made of composite materials). After the completion of the 3D model of the measuring device, the construction documentation for the production of individual components was drawn up. In the fall of In 2021, the production of the measuring carbon arm and other components of the measuring part of the device began. In 2021, a utility model was filed, which was registered in 2023, and a patent was also filed for the mentioned device. The measuring arm was completed and deflection tests were performed for the nominal load. In 2022, the main assembly was modified as part of a complex 3D model, material for the construction of the entire device was purchased, and the production of the remaining components of the measuring device began. Some nodes were completed and subjected to tests, especially the topology of the surface and the shape of the manufactured components. After the completion of the project, it is assumed that the entire equipment will be assembled at the premises of the SLM workplace in Bratislava.