



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-19-0406

Výskum a vývoj senzorov a aktuátorov vyrobených z polymérnych monofilov

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Justín Murín, DrSc.**

Príjemca

Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta elektrotechniky a informatiky

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav automobilovej mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

- 1) Institute for Mechanics of Materials and Structures. Vienna University of Technology. Austria
- 2) University of Applied Sciences Wiener Neustadt. Austria.

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

- 1) MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír - SEDLÁR, Tibor. Tlmič vibrácií s vinutými ťažnými pružinami z nylonu : Úžitkový vzor č. 9348, Dátum o zápise ÚV : 27. 9. 2021, Vestník ÚPV SR č. 19/2021. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 6 s.
- 2) GOGA, Vladimír - JUSTÍN, Murín - SEDLÁR, Tibor - MINÁR, Martin - ŠARKÁN, Ladislav. Zariadenie na výrobu nylonových pružín : Úžitkový vzor č. 9647, Dátum o zápise ÚV : 24. 11. 2022, Vestník ÚPV SR č. 22/2022.
- 3) GOGA, Vladimír - MURÍN, Justín - MINÁR, Martin - SEDLÁR, Tibor. Univerzálne zariadenie na navíjanie odporového drôtu na vinuté nylonové pružiny. : Úžitkový vzor č. 9786, Dátum o zápise ÚV : 28. 06. 2023, Vestník ÚPV SR č. 12/2023.
- 4) GOGA, Vladimír - BERTA, Šimon - MURÍN, Justín - ŠARKÁN, Ladislav. Univerzálne zariadenie pre meranie tuhosti nylonových ťažných pružín. registračné číslo: PUV 50042-2023, Podanie úžitkového vzoru: máj 2023.

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

- ADC 1) MURÍN, Justín - KUGLER, Stephan - HRABOVSKÝ, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - AMINBAGHAI, Mehdi. Influence of spatially varying material properties on the bimoment normal and shear stresses by warping torsion of FGM beams. In Composite Structures. Vol. 256, (2021), Art. no. 113043 [18] s. ISSN 0263-8223 (2019: 5.138 - IF, Q1 - JCR Best Q, 1.784 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85092413251 ; DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.113043.
- ADC 2) KUGLER, Stephan - FOTIU, Peter A. - MURÍN, Justín. A novel GBT-formulation for thinwalled FGM-beam-structures based on a reference beam problem. In Composite Structures. Vol. 257, (2021), Art. no. 113158 [10] s. ISSN 0263-8223 (2020: 5.407 - IF, Q1 - JCR Best Q, 1.630 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85096014351 ;

CC: 000604729600003 ; WOS: 000604729600003 ; DOI:

10.1016/j.compstruct.2020.113158.

ADC 3) MURÍN, Justín - KUGLER, Stephan - HRABOVSKÝ, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - AMINBAGHAI, Mehdi. Warping torsion of FGM beams with spatially varying material properties. In Composite Structures. Vol. 291, (2022), Art. no. 115592 [27] s. ISSN 0263-8223 (2021: 6.603 - IF, Q1 - JCR Best Q, 1.452 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.115592 ; WOS: 000797218600001 ; CC: 000797218600001 ; SCOPUS: 2-s2.0-8512905414.

ADC 4) MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír - PAULECH, Juraj - HRABOVSKÝ, Juraj - ŠARKÁN, Ladislav - KUTIŠ, Vladimír - AMINBAGHAI, Mehdi. Modelling and simulation of nonlinear thermo-elastostatics of the composite nylon springs with negative thermal extension. Int. J. Composite Structures: zaslané máj 2023.

AFC 1) MURÍN, Justín - AMINBAGHAI, Mehdi - KUGLER, Stephan - HRABOVSKÝ, Juraj - PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír. Elastostatic analysis of FGM beams with variable stiffness in three directions. In ICCS26: 26th International Conference on Composite Structures & MECHCOMP8 - 8th International Conference on Mechanics of Composites. Porto, Portugal, June 27-30, 2023.

AFC 2) GOGA, Vladimír - BERTA, Šimon - MURÍN, Justín - PAULECH, Juraj - ŠARKÁN, Ladislav. Device for measuring the stiffness of the tensile nylon springs. In Computational Mechanics 2022 : 37th Conference with international participation. Srní, Czech Republic, November 7-9, 2022. Pilsen : University of West Bohemia, 2022, S. 26-29. ISBN 978-80-261-1116-0.

AFC 3) GÁLIK, Gabriel - GOGA, Vladimír - ULÍČNÝ, Michal Miloslav - MURÍN, Justín. Experimental analysis of the working activity of the coiled nylon spring actuator. In Applied mechanics 2022 : 23rd International conference : Book of Abstracts. Liblice, Czech Republic. April 4-6, 2022. Prague : Czech Technical University in Prague, 2022. ISBN 978-80-01-06974-5.

AFD 1) MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír - HRABOVSKÝ, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - ŠARKÁN, Ladislav. Structural analysis of mechanical and mechatronic systems made of nylon springs with negative thermal expansion. In Applied mechanics 2023 : 24th International conference : Book of Abstracts. Piešťany, Slovakia. April 19-21, 2023. 1. ed. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2023, S. 85-88. ISBN 978-80-227-5294-7.

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu je možné uplatniť tak v teoretickej rovine, kde je možné využiť novo-odvozené konečné prvky pre MKP analýzy systémov s nylonovými pružinami vykazujúcimi zápornú tepelnú rozťažnosť a dobré tlmiace účiny, ako aj v technickej praxi, kde na základe výsledkov projektu je možné navrhnúť a vyvinúť zariadenia s riadeným ohrevom a chladením týchto nylonových pružín a využiť tak benefity vo forme pružín z ľahkého a lacného materiálu, s relatívne veľkým silovým účinkom a akčným zásahom a s dobrými tlmiacimi účinkami. Uplatnenie takýchto systémov je v oblasti medicíny a robotiky v podobe umelých svalov, ale aj v oblasti mechaniky a mechatroniky, kde pomocou elektrického ohrevu týchto pružín je možné získať mechanický akčný zásah priamou konverziou riadiaceho výkonového elektrického vstupu do systému.

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

Bolo navrhnuté a vyrobené zariadenie na navíjanie pružín z nylonového vlákna s automatickým riadením otáčok elektromotorčeka, ktorým sa vlákno skrúcovalo do stavu od naskočenia prvého závitú až po úplné navinutie pružiny. Konštrukcia zariadenia bola schválená patentovým úradom ako úžitkový vzor. Zariadenie slúžilo na výrobu pružín požadovanej dĺžky z vlákien rôzneho priemeru, ktoré boli použité na meranie ich termomechanických, elastostatických a elastodynamických vlastností, ako aj ako súčasti senzorov, aktuátorov, ako aj ostatných pružinových systémov využívajúcich negatívnu tepelnú rozťažnosť. Bolo navrhnuté a vyrobené zariadenie na automatické navíjanie odporového drôtu na nylonové pružiny. Konštrukcia zariadenia bola schválená patentovým úradom ako úžitkový vzor. Bolo navrhnuté a vyrobené automatické zariadenie na meranie pružinovej charakteristiky a tlakového predpätia nylonových pružín. Bol spracovaný a podaný návrh úžitkového vzoru, ktorého schválenie je v pokračovacom konaní. Zariadenie

slúžilo na meranie elastostatických a elasto-dynamických vlastností pružín tak v lineárnej ako aj nelineárnej oblasti zaťažovania. Bolo zostavené meracie zariadenie na meranie záporného teplotného koeficientu pružín, ktoré slúžilo na meranie teplotného koeficientu pružín zaťažených rôznymi zaťažovacími. Meraním bol potvrdený fenomenologický model zostavený na stanovenie závislosti záporného teplotného koeficientu na mechanickom počiatočnom predĺžení pružiny, resp. na veľkosti napínacej sily. Namerané parametre pružín boli aplikované v matematicko-fyzikálnych výpočtových modeloch navrhnutých senzorov, aktuátorov a ostatných modelovaných mechatronických systémov. Boli taktiež využité pri aplikácii nového, geometricky nelineárneho konečného prvku nylonovej pružiny, ktorý bol vyvinutý v rámci riešenia teoretických cieľov projektu. Tento originálny konečný prvok možno použiť na matematicko-počítačové modelovanie nylonových mechatronických systémov s veľkým mechanickými predĺženiami a tepelnými skráteniami pružín. Na výpočet Jouleového tepla vyvinutého vo výhrevnom vodiči bol vyvinutý multifyzikálny prútový konečný prvok. Boli skúmané spôsoby automatického ohrevu pružín Jouleovým teplom prostredníctvom navinutého odporového drôtu. Pre laboratórny výskum sa osvedčil ohrev v tepelnej komore s riadeným ohrevom. Ten bol aj využitý pre stanovenie záporného teplotného koeficientu pružín. Bol zostavený výpočtový model metódy konečných prvkov pre elektro-tepelo-mechanické analýzy nylonových pružín s vodivým elektrickým jadrom. Pomocou tohto modelu možno optimalizovať parametre takejto pružiny pre požadované tepelné skrátenie. V rámci riešenia bakalárskych, diplomových a doktorandských prác boli navrhnuté a vyrobené mechatronické prvky, systémy využívajúce zápornú teplotnú rozťažnosť nylonových pružín, ako je automatické ovládanie žalúzií, prototyp jedno a viac pružinového lineárneho aktuátora, von Misesovho aktuátora s usporiadaním pružín do tvaru V, aktuátora torzného momentu, a nylonového ťažného aktuátora na zmenu polohy ťažiska v malom mobilnom systéme. Pre tieto systémy boli zostavené matematické modely ktoré simulovali ich funkciu. Najvýznamnejšou aplikáciou bol návrh pasívneho a aktívneho tlmiča malých mobilných systémov. Tento tlmič je chránený ďalším úžitkovým vzorom. Na optimálny návrh a simuláciu funkčnosti tlmiča bol využitý nový geometricky nelineárny konečný prvok nylonovej pružiny. Výsledky simulácií boli vo veľmi dobrej zhode s výsledkami merania na reálne zhotovených tlmičoch. Výsledky nášho výskumu potvrdili vhodnosť aplikácie týchto lacných a ľahkých pružín aj na pružné uloženie malých stacionárnych i mobilných systémov.

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

A device for winding springs from nylon fiber with automatic control of the speed of the electric motor which was used to screw the fiber from the first thread into the state of the complete winding of the spring, was designed and manufactured. The design of the device was approved by the patent office as a utility model. The device was used to produce springs of the required length from fibers of different diameters, which were used to measure their thermomechanical, elastostatic and elastodynamic properties, as well as used as components of sensors, actuators, and other spring systems using negative thermal expansion. A device for automatic winding of resistance wire on nylon springs was designed and manufactured. The design of the device was approved by the patent office as a utility model. An automatic device for measuring spring characteristics and compression preload of nylon springs was designed and manufactured. An utility model proposal was processed and submitted, the approval of which is in the ongoing process. The device was used to measure the elastostatic and elasto-dynamic properties of springs in both linear and non-linear loading areas. A measuring device for measuring the negative temperature coefficient of springs was assembled, which was used to measure the temperature coefficient of springs loaded with different loads. The measurement confirmed the phenomenological model built to determine the dependence of the negative temperature coefficient on the mechanical initial extension of the spring, or on the value of the tension force. The measured parameters of the springs were applied in the mathematical-physical calculation models of the designed sensors, actuators and other modeled mechatronic systems. They were also used in the application of a new, geometrically non-linear finite element of a nylon spring, which was developed within the framework of solving the theoretical goals of the project. This original finite element can be used for mathematical computer modeling of nylon mechatronic systems with large mechanical extensions and thermal shortenings of

springs. A multiphysics rod finite element was developed to calculate the Joule heat developed in the heating conductor. Methods of automatic heating of springs by Joule heat through a coiled resistance wire were investigated. For laboratory research, heating in a thermal chamber with controlled heating has proven. It was also used to determine the negative temperature coefficient of springs. A computational model of the finite element method for electro-thermal-mechanical analyzes of nylon springs with a conductive electric core was developed. Using this model, the parameters of nylon spring can be optimized for the required thermal shortening. As part of the bachelor, diploma and doctoral theses, mechatronic elements were designed and manufactured, systems using the negative temperature expansion of nylon springs, such as automatic control of louver, a prototype of one and more spring linear actuators, a von Mises actuator with a V-shaped arrangement of springs, a torsional-moment actuator, and a nylon traction actuator to change the position of the center of gravity in a small mobile system. Mathematical models were built for these systems that simulated their function. The most significant application was the design of a passive and active damper for small mobile systems. This damper is protected by another utility model. A new geometrically non-linear nylon spring finite element was used for optimal design and simulation of the damper's functionality. The results of the simulations were in very good agreement with the results of measurements on real damper. The results of our research confirmed the suitability of the application of these cheap and light springs also for flexible foundation of small stationary and mobile systems.