

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0892**

Moderné metódy, algoritmy a prostriedky pre modelovanie, simuláciu, riadenie, analýzu a syntézu procesov a riadiacích systémov

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ivo Petráš, DrSc.**

Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita v Košiciach - Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií
Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Schindler Elevator Corporation, Holland, OH, USA

University of Patras, Physics Department, Patras, Greece

University of Extremadura, School of Industrial Engineering, Badajoz, Spain

University of California, The MESA Lab (Mechatronics, Embedded Systems and Automation), School of Engineering, Merced, CA, USA

University of Illinois at Chicago, Department of Bioengineering, Chicago, IL, USA

University of Belgrade, Technical Faculty of Bor, Bor, Serbia

Montanuniversität Leoben, Chair of Automation, Leoben, Austria

Warsaw University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Warsaw, Poland

Oxford Brookes University, Department of Mechanical Engineering and Mathematical Sciences, Oxford, UK

Rzeszow University of Technology, Faculty of Mathematics and Applied Physics, Rzeszow, Poland

Jan Dlugosz University in Czestochowa, Faculty of Mathematical and Natural Sciences, Czestochowa, Poland

Shandong University, China

Ilmenau University of Technology, Institute of Mathematics, Ilmenau, Germany

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

V rámci výstupov projektu neboli plánované patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory.

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

Vedecké monografie:

PETRÁŠ, Ivo: Handbook of Fractional Calculus with Applications (Volume 6: Applications in Control) / - 1. vyd. - Berlín : De Gruyter - 2019. - 427 s. [online, print]. - ISBN 978-3-11-057090-8.

Spôsob prístupu: <https://www.degruyter.com/view/product/497034>

=====

Kapitoly v monografiách:

PETRÁŠ, Ivo: Modified versions of the fractional-order PID controller / - 2019. In: Handbook of Fractional Calculus with Applications. Volume 6: Applications in Control. - Berlín (Nemecko) : De Gruyter s. 57-72 [print, online]. - ISBN 978-3-11-057090-8

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/9783110571745-003>

TERPÁK, Ján: Fractional heat conduction models and their applications / - 2019. In: Handbook of Fractional Calculus with Applications. Volume 7: Applications in Engineering, Life and Social Sciences, Part A. - Berlín (Nemecko) : De Gruyter s. 225-246 [online, print]. - ISBN 978-3-11-057091-5

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/9783110571905-012>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - DESPOTOVIC, Vladimír: Signal prediction using fractional derivative models / - 2019. In: Handbook of Fractional Calculus with Applications. Volume 8: Applications in Engineering, Life and Social Sciences, Part B. - Berlín (Nemecko) : De Gruyter s. 179-206 [online, print]. - ISBN 978-3-11-057092-2

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/9783110571929-007>

=====

Články v CC časopisoch:

PETRÁŠ, Ivo - TERPÁK, Ján: Fractional Calculus as a Simple Tool for Modeling and Analysis of Long Memory Process in Industry / - 2019. In: Mathematics : MDPI Vol. 7, Issue 6 (2019), ID 511. - ISSN 2227-7390

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.3390/math7060511>

DATSKO, Bohdan - PODLUBNÝ, Igor - POVSTENKO, Yuriy: Time-Fractional Diffusion-Wave Equation with Mass Absorption in a Sphere under Harmonic Impact / - 2019. In: Mathematics : MDPI Vol. 7, Issue 5 (2019), ID 433. - ISSN 2227-7390

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.3390/math7050433>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - MACIAS, Michal - SIEROCIUK, Dominik - MALESZA, Wiktor - DZIELINSKI, Andrzej - PODLUBNÝ, Igor - PÓCSOVÁ, Jana - PETRÁŠ, Ivo: Anomalous diffusion modeling using ultracapacitors in domino ladder circuit / - 2019. In: *Microelectronics Journal*. Roč. 84 (2019), s. 136-141 [print]. - ISSN 0026-2692
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2019.01.005>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - DESPOTOVIC, Vladimír - PERIC, Zoran: Optimal fractional linear prediction with restricted memory / - 2019. In: *IEEE Signal Processing Letters : a Publication of the IEEE Signal Processing Society*. - New York (USA) : IEEE Signal Processing Society Roč. 26, č. 5 (2019), s. 760-764 [print]. - ISSN 1070-9908
Spôsob prístupu: <http://doi.org/10.1109/LSP.2019.2908278>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - DESPOTOVIC, Vladimír - PERIC, Zoran: Two-dimensional fractional linear prediction / - 2019. In: *Computers & Electrical Engineering : International Journal*. - Amsterdame (Holandsko) : Elsevier Roč. 77 (2019), s. 37-46 [online]. - ISSN 0045-7906
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.04.021>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - DESPOTOVIC, Vladimír: Audio Signal Processing using Fractional Linear Prediction / - 2019. In: *Mathematics : MDPI Vol. 7, Issue 7 (2019), ID 580*. - ISSN 2227-7390
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.3390/math7070580>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš: The Mittag-Leffler Fitting of the Phillips Curve / - 2019. In: *Mathematics : MDPI Vol. 7, Issue 7 (2019), ID 589*. - ISSN 2227-7390
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.3390/math7070589>

FLEGNER, Patrik - KAČUR, Ján - DURDÁN, Milan - LACIAK, Marek: Processing a measured vibroacoustic signal for rock type recognition in rotary drilling technology / - 2019. In: *Measurement : journal of the International Measurement Confederation*. - London (Veľká Británia) : Institute of Measurement and Control č. 134 (2019), s. 451-467 [print]. - ISSN 0263-2241
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.090>

FLEGNER, Patrik - KAČUR, Ján - DURDÁN, Milan - LACIAK, Marek: Evaluating Noise Sources in a Working Environment when Disintegrating Rocks by Rotary Drilling / - 2019. In: *Polish Journal of Environmental Studies* 28(5), (2019), s. 3711–3720. - ISSN 1230-1485
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.15244/pjoes/94848>

GONZALEZ, Emmanuel A. - PETRÁŠ, Ivo - ORTIGUEIRA, Manuel D.: Novel polarization index evaluation formula and fractional-order dynamics in electric motor insulation resistance / - 2018. In: *Fractional Calculus and Applied Analysis*. Vol. 21, no. 3 (2018), p. 613–627. - ISSN 1311-0454
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/fca-2018-0033>

PODLUBNÝ, Igor - VINAGRE, Blas - TAVAZOEI, Mohammad Saleh - XUE, Dingyu - CHEN, YangQuan - HAERI, Mohammad: A Special Issue in ISA Transactions: "Fractional Order Signals, Systems, and Controls: Theory and Application" / - 2018. In: *ISA Transactions*. Vol. 82 (2018), p. 1-232. - ISSN 0019-0578
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.11.007>

DESPOTOVIC, Vladimír - ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - PERIC, Zoran: One-parameter fractional linear prediction / - 2018. In: *Computers & Electrical Engineering : International Journal*. Vol. 69 (2018), p. 158-170 [online]. - ISSN 0045-7906
Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.05.020>

PETERIN, Iztok - SCHREYER, Jens - FECKOVÁ ŠKRABULÁKOVÁ, Erika - TARANENKO, Andrej: A note on the Thue chromatic number of lexicographic products of graphs / - 2018.

In: *Discussiones Mathematicae Graph Theory*. Vol. 38, no. 3 (2018), p. 635-643. - ISSN 1234-3099

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.7151/dmgt.2032>

DIMEAS, Ilias - PETRÁŠ, Ivo - PSYCHALINOS, Costas: New analog implementation technique for fractional-order controller: A DC motor control / - 2017. In: *AEU - International Journal of Electronics and Communications*. Vol. 78 (2017), p. 192-200. - ISSN 1434-8411

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2017.03.010>

PETRÁŠ, Ivo: Comments on "Coexistence of hidden chaotic attractors in a novel no-equilibrium system" (*Nonlinear Dyn*, doi:10.1007/s11071-016-3170-x) / - 2017. In: *Nonlinear Dynamics*. Vol. 90, no. 1 (2017), p. 749-754. - ISSN 0924-090X

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1007/s11071-017-3671-2>

PODLUBNÝ, Igor - MAGIN, Richard - TRYMORUSH, Iryna: Niels Henrik Abel and the birth of fractional calculus / - 2017. In: *Fractional Calculus and Applied Analysis*. Vol. 20, no. 5 (2017), p. 1068-1075. - ISSN 1311-0454

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/fca-2017-0057>

LUCHKO, Yuri - PODLUBNÝ, Igor: Editorial / - 2017. In: *Fractional Calculus and Applied Analysis*. Vol. 20, no. 5 (2017), p. 1053-1067. - ISSN 1311-0454

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/fca-2017-0056>

ZAMAN, Sharif F. - BALEANU, Dumitru - PETRÁŠ, Ivo: Measurement of para-xylene diffusivity in zeolites and analyzing desorption curves using the Mittag-Leffler function / - 2016. In: *Fractional Calculus and Applied Analysis*. Vol. 19, no. 2 (2016), p. 551-560. - ISSN 1311-0454

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/fca-2016-0028>

GE, Fudong - CHEN, YangQuan - KOU, Chunhai - PODLUBNÝ, Igor: On the regional controllability of the sub-diffusion process with Caputo fractional derivative / - 2016. In: *Fractional Calculus and Applied Analysis*. Vol. 19, no. 5 (2016), p. 1262-1281. - ISSN 1311-0454

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1515/fca-2016-0065>

HOROVČÁK, Pavel - TERPÁK, Ján - LUKÁČ, Matej: Vybrané termochemické výpočty chemickej reakcie formou webovej služby / - 2016. In: *Chemické listy*. Vol. 110, no. 12 (2016), p. 874-884. - ISSN 0009-2770

Spôsob prístupu: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2016_12_874-884.pdf

FLEIGNER, Patrik - KAČUR, Ján - DURDÁN, Milan - LACIAK, Marek - STEHLÍKOVÁ, Beáta - PÁSTOR, Marcel: Significant damages of core diamond bits in the process of rocks drilling / - 2016. In: *Engineering Failure Analysis*. Vol. 59 (2016), p. 354-365. - ISSN 1350-6307

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.10.016>

LACIAK, Marek - KOSTÚR, Karol - DURDÁN, Milan - KAČUR, Ján - FLEIGNER, Patrik: The analysis of the underground coal gasification in experimental equipment / - 2016. In: *Energy*. Vol. 114 (2016), p. 332-343. - ISSN 0360-5442

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.004>

KARDOŠ, František - PÓCS, Jozef - PÓCSOVÁ, Jana: On concept reduction based on some graph properties / - 2016. In: *Knowledge-Based Systems*. Vol. 93 (2016), p. 67-74. - ISSN 0950-7051

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.11.003>

CZAP, Július - PRZYBYLO, Jakub - FECKOVÁ ŠKRABULÁKOVÁ, Erika: On an extremal problem in the class of bipartite 1-planar graphs / - 2016. In: *Discussiones Mathematicae Graph Theory*. Vol. 36, no. 1 (2016), p. 141-151. - ISSN 1234-3099

Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.7151/dmgt.1845>

=====

MATLAB toolboxy:

PETRÁŠ, Ivo: Non-Linear Fractional - Order PID Controller, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 09 Dec 2016.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51190>

PETRÁŠ, Ivo: Fractional Order Chaotic Systems, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 26 Mar 2016.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27336>

PETRÁŠ, Ivo: Orthogonal Linear Regression in 3D-space by using PCA, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 16 Oct 2018.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/12395>

PODLUBNÝ, Igor: Matrix approach to discretization of ODEs and PDEs of arbitrary real order, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 04 Mar 2016.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/22071>

PODLUBNÝ, Igor: Matrix Poker, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 28 Oct 2016.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/3168>

PODLUBNÝ, Igor: Require FEX package, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 28 Oct 2016.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31069>

TERPÁK, Ján: Time Fractional-Order Diffusion-Wave Equation Toolbox, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 17 Apr 2019.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66577>

ŠKOVŘÁNEK, Tomáš - DESPOTOVIC, Vladimír: Fractional Linear Prediction, MathWorks, Inc., Matlab Central File Exchange, Updated 29 Oct 2018.
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/67867>

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky, dosiahnuté v priebehu riešenia projektu, nachádzajú rozsiahly medzinárodný citačný ohlas a uplatnenie v celosvetovom meradle v množstve rôznych oblastí vedeckého výskumu a inžinierskych aplikácií.

Bol výrazne rozpracovaný výskumu metód pre numerické riešenie lineárnych a nelineárnych obyčajných a parciálnych diferenciálnych rovníc neceločíselného rádu. Difúžno-vlnová rovnica s deriváciou neceločíselného rádu podľa času, ktorou sa dajú popísať procesy anomálnej difúzie ako napr. proces vedenia tepla či difúzia tekutiny homogénnym alebo nehomogénnym materiálom bola implementovaná vo viacerých formách, ako napr. analógový-elektrický obvod, softvérové produkty (MATLAB toolbox, webová služba) a bola aplikovaná na reálne technologické procesy. Zároveň bola navrhnutá aj unikátna metóda riešenia difúžno-vlnovej rovnice neceločíselného rádu pre absorpciu hmoty. Naďalej boli vyvíjané metódy identifikácie štruktúry a parametrov reálnych dynamických sústav neceločíselného rádu s aplikáciou na rôzne technologické procesy ale aj ekonomické systémy.

V rámci výskumu metód pre návrh a realizáciu regulátorov neceločíselného rádu a možností návrhu a implementácie regulátorov nových typov založených na deriváciách a integráloch neceločíselného rádu, premenlivého rádu a rozloženého rádu bol po prvý krát navrhnutý extrémny regulátor neceločíselného rádu s aplikáciou na reguláciu teploty a bola vyvinutá nová metóda pre návrh parametrov nelineárneho regulátora neceločíselného

rádu, ktorá je založená na optimalizácii (minimalizácii) novej účelovej funkcie. V rámci vývoja analógových a číslicových regulátorov neceločíselného rádu boli navrhnuté nové typy analógových regulátorov neceločíselného rádu, založené na báze CMOS technológie, ktoré boli experimentálne overené na riadení otáčok DC motora. Okrem toho boli vyvíjané a rozpracované metódy pre návrh a realizáciu lineárnych a nelineárnych číslicových regulátorov neceločíselného rádu, ktoré boli implementované na PLC automatoch ale aj v prostredí MATLAB a aplikované na riadenie laboratórnych objektov. Zároveň bol formou kapitoly v zahraničnej monografii publikovaný prehľad rôznych modifikácií PID regulátorov neceločíselného rádu a metód pre ich praktickú realizáciu s uvedením príkladov použitej implementácie.

Experimentálne a teoretické práce zaoberajúce sa metódami pre tvorbu modelov zložitých technologických objektov a procesov s využitím vlastných rozpracovaných metód celočíselného a neceločíselného rádu boli zamerané hlavne na skúmanie, popis a riadenie tepelných procesov, ako napríklad skujňovanie ocele, predikcia teploty taveniny a koncentrácie uhlíka v LD konvertore, prestup tepla v oceliarských zvitkoch, riadenie tepelného procesu výpalu žiaruvzdorných materiálov v tunelovej peci, modelovanie a riadenie procesu UCG - podzemného splyňovania uhlia. V rámci tejto oblasti bola publikovaná kapitola v zahraničnej monografii na tému popisu neceločíselných modelov pre vedenie tepla s praktickými aplikáciami. Navyše bol rozpracovaný unikátny výskum v oblasti modelovania, monitorovania a riadenia technologických procesov v prostredí virtuálnej reality.

V oblasti výskumu využívania derivácií neceločíselného rádu pre digitálne spracovanie obrazov a zvukov bola publikovaná séria prác zaoberajúcich sa popisom nových metód pre neceločíselnú lineárnu predikciu. Okrem novej metódy využívajúcej neceločíselnú lineárnu predikciu s plnou pamäťou ("full memory"), ktorá bola aplikovaná na predikciu testovacích aj reálnych signálov a publikovaná vo forme kapitoly v zahraničnej monografii, bola navrhnutá aj nová metóda optimálnej neceločíselnej lineárnej predikcie s ohraničenou pamäťou ("restricted memory"), využívajúc modifikovanú Grünwaldovu-Letnikovovu definíciu derivácie neceločíselného rádu. Navyše, pre predikciu dvojrozmerného digitálneho signálu bola vyvinutá nová jedinečná metóda 2D neceločíselnej lineárnej predikcie. Všetky navrhnuté metódy boli implementované vo forme MATLAB toolboxu a využité na predikciu reálnych jednorozmerných signálov (rečový signál, audio signál, biosignály - EEG, ECG) a dvojrozmerných signálov (grayscale images).

Výsledky výskumu v rámci tohto projektu boli implementované vo forme 8 MATLAB toolboxov, ktoré boli zverejnené na portáli MATLAB Central File Exchange ale aj v iných formách softvérových produktov vytvorených v programových prostrediach ako napr. B&R Automation Studio, C, Delphi, Blender, ale aj vo forme webových služieb.

V priebehu riešenia projektu bola publikovaná 1 monografia a 3 kapitoly v monografiách vydaných v zahraničnom vydavateľstve (vydavateľstvo deGruyter), 24 článkov v zahraničných časopisoch indexovaných v Current Contents, 17 článkov v iných indexovaných časopisoch v zahraničí, 9 článkov v domácich indexovaných časopisoch, 54 príspevkov v zborníkoch medzinárodných konferencií, 47 príspevkov v zborníkoch domácich konferencií. V rámci projektu bolo 7 článkov indexovaných v databáze Current Contents sprístupnených formou Open Access, čo umožnilo ich dostupnosť širokej vedeckej komunite.

Riešiteľmi projektu bolo publikovaných celkovo 13 učebníc, ktoré zohľadňujú najnovšie výsledky v oblastiach modelovania, identifikácie a riadenia technologických a iných procesov.

Na výsledky riešenia tohto projektu nadväzujú 3 získané domáce projekty a 4 bilaterálne vedecko-výskumné projekty, ako aj 2 medzinárodné projekty (EU - COST, USA - ARO). O medzinárodnom uplatnení výsledkov riešenia tohto projektu svedčia aj dlhodobé umiestnenia viacerých článkov v databáze Web of Science - "Highly cited paper", vysoká stahovateľnosť MATLAB toolboxov, a aktuálne 58 citácií v karentovaných časopisoch podľa SCI v zahraničí na publikácie v rámci projektu.

Výsledky riešenia projektu sa odrazili aj v kvalifikačnom raste riešiteľov projektu; boli obhájené 3 PhD. práce (Ing. Miroslav Köver-Dorčo, PhD., Ing. Matej Lukáč, PhD., Ing. Diana Ráškyová, PhD.) a 4 habilitačné konania (doc. Ing. Ján Kačur, PhD., doc. Ing. Patrik Flegner, PhD., doc. RNDr. Jana Pócssová, PhD., doc. Ing. Milan Durdán, PhD.).

Riešitelia projektu získali v priebehu riešenia projektu viacero ocenení: ocenenie Zväzu

slovenských vedeckotechnických spoločností v roku 2016 získali prof. Petráš a doc. Laciak, v roku 2017 prof. Terpák, doc. Kačur a doc. Flegner, a v roku 2018 Ing. Škovránek a doc. Pócsová; Prémium za výnimočný vedecký ohlas na jedno dielo v kategórii technické vedy a geovedy získal v roku 2016 prof. Podlubný; Prémium Literárneho fondu SR za trojročný vedecký ohlas v kategórii technické vedy a geovedy a Prémium za výnimočný vedecký ohlas na jedno dielo v kategórii technické vedy a geovedy získal v roku 2017 prof. Petráš; cenu Vedec TUKE za rok 2016 získal prof. Podlubný, a za rok 2017 prof. Petráš. V rámci celosvetovej organizácie "Institute of Electrical and Electronics Engineers" sa v roku 2016 - prof. Petráš a v roku 2017 - prof. Podlubný stali "IEEE Senior Member"; v roku 2017 sa prof. Podlubný stal jedným z nových členov Učenej spoločnosti. Na základe výsledkov hodnotenia Akreditačnej komisie SR: Identifikácia špičkových vedeckých tímov vysokých škôl na Slovensku, jedným z iba štyroch špičkových tímov v Oblasti Výskumu 24. (matematika a štatistika) bol identifikovaný špičkový tím "Fractional-order systems and fractional-order controllers" na Technickej univerzite v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií v zložení prof. RNDr. Igor Podlubný, DrSc. (vedúci tímu), prof. Ing. Ivo Petráš, DrSc., prof. Ing. Ján Terpák, CSc., Ing. Tomáš Škovránek, PhD.

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

K najvýznamnejším výsledkom projektu patria hlavne: zdokonalené metódy pre numerické riešenie diferenciálnych rovníc neceločíselného rádu; návrh a realizácia regulátorov neceločíselného rádu: unikátny extrémny regulátor neceločíselného rádu, nová metóda pre návrh parametrov nelineárneho regulátora neceločíselného rádu, nové typy analógových regulátorov neceločíselného rádu, návrh a realizácia lineárnych a nelineárnych číslicových regulátorov neceločíselného rádu; metódy pre tvorbu modelov zložitých technologických objektov a procesov so zameraním na skúmanie, popis a riadenie tepelných procesov, zadefinovanie nového typu polarizačného indexu motora, rozpracovanie unikátneho výskumu v oblasti modelovania, monitorovania a riadenia technologických procesov v prostredí virtuálnej reality; nová metóda pre neceločíselnú lineárnu predikciu (FLP) s "plnou pamäťou", nová metóda optimálnej FLP s "ohraničenou pamäťou" a nová jedinečná metóda 2D FLP, aplikované na predikciu jednorozmerných a dvojrozmerných signálov. V rámci výstupov projektu bolo vytvorených a zverejnených 8 MATLAB toolboxov, bola publikovaná 1 monografia a 3 kapitoly v monografiách vydaných v zahraničnom vydavateľstve (deGruyter), 24 článkov v zahraničných časopisoch indexovaných v Current Contents, 17 článkov v zahraničných a 9 článkov v domácich indexovaných časopisoch, 54 príspevkov v zborníkoch medzinárodných konferencií, 47 príspevkov v zborníkoch domácich konferencií. Medzi oceneniami sú: Prémie Literárneho fondu SR; ocenenia ZSVTS SR; ceny Vedec TUKE; prof. Podlubný sa stal členom Učenej spoločnosti; 4 riešitelia projektu sú členmi špičkového vedeckého tímu vysokých škôl na Slovensku podľa Akreditačnej komisie SR. Plánované ciele projektu boli splnené v plnom rozsahu.

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

To the most important results of this project belong mainly: improved methods for numerical solution of fractional-order differential equations; development of fractional-order controllers: unique extremal fractional-order controller, novel method for parameters design of non-linear fractional-order controller, new types of analogue fractional-order controllers, synthesis and implementation of linear and non-linear digital fractional-order controllers; methods for design of models of complex technological objects and processes aimed on study, description and control of heat processes, definition of novel type of motor polarisation index, development of a unique research on modelling, monitoring and control of technological processes in virtual reality; novel method of fractional linear prediction (FLP) with "full memory", novel method of optimal FLP with "restricted memory" and a novel unique method of 2D FLP, all applied to prediction of one-dimensional and two-dimensional signals. Within the framework of the project there were the following outputs: creation and publishing of 8 MATLAB toolboxes, publishing of 1 monograph and 3 chapters in scientific monographs by international publisher (deGruyter), 24 articles in international journals indexed in Current Contents, 17 articles in other international indexed journals and 9 articles

in national indexed journals, 54 papers in proceedings of international conferences, 47 papers in proceedings of national conferences. Among the awards are: awards of the Literary Fund of SR; awards from ZSVTS SR; awards Researcher of TUKE; prof. Podlubný has been elected a member of the Learned Society of SR; 4 project team members are members of the Top Scientific Team in Slovakia as identified by the Accreditation Commission of the SR. The planned objectives of the project were fulfilled to full extent.