

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0719****Fyzikálne nedeštruktívne metódy pre komplexné testovanie a analýzu artefaktov kultúrneho dedičstva.**Zodpovedný riešiteľ **RNDr. Miroslav Hain, PhD.**Príjemca **Ústav merania SAV****Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený**

Ústav merania, Slovenská Akadémia Vied (riešiteľ)

Vysoká škola výtvarných umení (spoluriešiteľ)

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení**Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu****Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače**HAIN, M. - BARTL, J. Fyzikálny prieskum oltárnej skrine a tabuľových malieb v chráme sv. Jakuba v Levoči. In *Metrológia a skúšobníctvo*, 2015, roč. 20, č. 1, s. 6-19.BARTL, J.: Prieskum umeleckých diel RTG lúčmi. *Metrológia a skúšobníctvo*, 21, 2016, č.1, s. 4-12BARTL, J.- JACKO, V.: Meranie vlhkosti vzduchu absorpciou infračerveného žiarenia. *Metrológia a skúšobníctvo*, 21, č.2/ 2016, s. 3-8HAIN, M. - BARTL, J.- JACKO, V.: Physical - optical methods for non-destructive analysis and testing of cultural heritage. In: *20th Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics. (Book of Abstracts)* . Hotel Grand Jasná 5-9.9.2016. Editor: Institute of Aurel Stodola UNIZA Žilina, 2016, s. 51. ISBN 978-80-554-1238-2STOJKOVIČOVÁ, D. - BARTL, J. - HAIN, M. Poznatky z fyzikálneho prieskumu oltárnych malieb baziliky povýšenia Sv. Kríža v Kežmarku. In *Jemná mechanika a optika*, 2017, roč. 62, č. 8-9, s. 223-230.BARTL, J. Výber materiálov pre infračervenú oblasť. In *Jemná mechanika a optika*, 2017, roč. 62, č.4, s.114 -118HAIN, M. - BARTL, J. – JACKO, V. Use of X-ray microtomography and radiography in cultural heritage testing. In *MEASUREMENT 2017 : Proceedings of the 11th International Conference on Measurement*. Bratislava, Institute of Measurement Science, SAS, 2017, p. 119-122.HABEROVÁ, K. - REHÁKOVÁ, M. - STOJKOVIČOVÁ, D. – JANČOVIČOVÁ, V. The study of the solubility of aged and unaged paint glazes :In *Acta Artis Academica : Painting as a*

Story : Proceedings of the 6th Interdisciplinary ALMA Conference, 1st - 3rd June 2017, Brno, Česko Akademie výtvarných umění v Praze, 2017, s. 39-51. ISBN 978-80-87108-75-8

BARTL, J. - HAIN, M. - JACKO, V. Physical - optical methods for non-destructive analysis and testing of cultural heritage. In *Metrológia a skúšobníctvo*, 2017, roč. 22, č. 1, s. 4-10.

BARTL, J. – HAIN, M. Fyzikálny prieskum oltárnej skrine a tabuľových malieb v chráme sv. Jakuba v Levoči. In *Technický týdeník*, 2018, roč. LXVI, č. 24, s. 20-21.

BARTL, J. – HAIN, M. Röntgenová mikrotomografia pri nedeštruktívnom vyšetovaní. In *Metrológia a skúšobníctvo*, 2018, roč. 23, č. 4

HAIN, M. - BARTL, J. - JACKO, V. Fyzikálne metódy komplexného testovania artefaktov hmotného kultúrneho dedičstva. Technical Report. Bratislava, ÚM SAV, 2019.

Klembara, J. - Hain, M. – Ruta, M. – Berman, D. S. – Pierce, S. E. – Henrici, A. C. Inner ear morphology of diadectomorphs and seymouriamorphs (tetrapoda) uncovered by high-resolution x-ray microcomputed tomography, and the origin of the amniote crown-group. In *Palaeontology*, 2019 (CCC, v tlači)

Uplatnenie výsledkov projektu

Už počas doby trvania projektu sa výsledky jeho riešenia úspešne uplatnili v praxi, najmä v oblastiach reštaurovania kultúrneho dedičstva, kunsthistórie, archeológie a paleontológie. V spolupráci s reštaurátormi Pamiatkového úradu - Oblastného reštaurátorského ateliéru v Levoči, Katedrou reštaurovania Vysokiej školy výtvarných umení, Komorou reštaurátorov, Slovenskou národnou galériou a Slovenským národným múzeom boli poznatky a výsledky získané riešením projektu aplikované pri nedeštruktívnom laboratórnom a in situ testovaní vzácných artefaktov slovenského kultúrneho dedičstva. Príkladom sú nedeštruktívne in situ testovania ôsmich gotických tabuľových malieb na oltárnych krídlach Oltára štyroch sv. Jánov rímskokatolíckeho kostola sv. Jakuba v Levoči, na dvanástich gotických oltárnych tabuľových maľbách hlavného oltára kostola sv. Juraja v Spišskej Sobote a dvanástich gotických oltárnych tabuľových maľbách bočného oltára Smrti panny Márie diecéznej katedrály sv. Martina v Spišskej Kapitule. Výsledky projektu sa ďalej uplatnili pri testovaní viac ako päťdesiatich závesných obrazov a tabuľových malieb významných, prevažne slovenských, českých a stredoeurópskych maliarov 19-teho a 20-teho storočia (Alexy, Bazovský, Benka, Fulla, Galanda, Hložník, Jasusch, Mednyanszky, Mudroch, Skutezky, Mousson, Weiner, Lada, Hala, Reichentahl, Simerova, Guderna). Výsledkami aplikácie vyvíjaných nedeštruktívnych metód sú cenné a užitočné informácie pre reštaurátorov umeleckých historických artefaktov – obrazov a tabuľových malieb, najmä zviditeľnenie podkresieb, skrytých, premaľovaných podpisov a nápisov, identifikácia a zviditeľnenie sekundárnych zásahov do diel, najčastejšie premalieb a retuší, ktoré vznikli pri dávnejšom reštaurovaní diel.

Nové metodiky mikrotomografického (mikroCT) merania a výsledky použitia elektrónovej skenovacej mikroskopie (ESM) a chemickej prvkovej analýzy pri použití energo-disperznej spektrometrie (EDS) rozvíjané v projekte boli aplikované aj v rámci medzinárodného európskeho projektu COST TD 1201 „Colour and Space in Cultural Heritage“. Výsledky tu boli použité pri analýze vnútornej štruktúry, detekcii trhlín, vnútornej korózie, povrchovej mikroštruktúry a chemického prvkového zloženia strieborných mincí z čias antického Ríma. V spolupráci s vedcami z UK, Nemecka, Belgicka, Česka, Poľska, Portugalska a ďalších krajín boli výsledky mikrotomografickej analýzy prepojené s inými analýzami týchto mincí - výsledkami laserového skenovania, RTG fluorescenčnou analýzou, energo-disperznou spektrálnou analýzou, čím vznikol komplexný zdroj dát umožňujúci v spolupráci s odborníkmi na numizmatiku z UK potencionálne posúdiť aj pôvod a pravosť mincí.

Mikrotomografické metódy nedeštruktívnej vizualizácie vnútornej štruktúry a 3D dokumentovania artefaktov boli aplikované v spolupráci s Archeologickým ústavom SAV a Slovenským národným múzeom na desiatkach archeologických nálezov z Beladíc, Bíne, Nitry, Banskej Štiavnice a iných nálezísk na Slovensku.

Metodika mikrotomografickej analýzy a vizualizácie archeologických objektov rozpracovaná v projekte bola aplikovaná aj na unikátne paleontologické nálezy staré milióny rokov, výsledky boli prijaté na publikovanie v prestížnom CCC časopise *Palaeontology* (časopis v kvartile Q1).

V projekte spracovaná metodika komplexného testovania objektov hmotného kultúrneho dedičstva s využitím najnovších nedeštruktívnych fyzikálnych metód a zariadení,

zahŕňajúcich metódy röntgenovej mikrotomografie, RTG mikroskopie, elektrónovej skenovacej mikroskopie, ergo-disperznej RTG spektrometrie, ultrafialovej fluorescencie, infračervenej reflektografie, aktívnej infračervenej termografie, FTIR spektrometrie a UV, VIS, NIR spektrometrie sa dá efektívne využiť aj pri skúmaní autentickosti nielen historických a kultúrnych artefaktov, ale aj iných podobných objektov, napr. listín. Preto výsledky projektu bolo možné použiť aj v medzinárodnom EU COST projekte CA16101 Multi-modálne zobrazovanie dôkazov forenznej vedy - nástroje pre foreznú vedy (MULTI-FORESEE), kde výsledky projektu boli úspešne použité pri skúmaní pravosti a odhaľovaní falšovania listinných dôkazov.

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

Projekt mal charakter aplikovaného výskumu a zaoberal sa rozvojom a využitím najnovších nedeštruktívnych fyzikálnych metód a zariadení na analýzu a testovanie objektov hmotného kultúrneho dedičstva. Ciele projektu boli naplnené. V projekte boli rozvinuté parciálne metodiky využitia vybraných fyzikálnych nedeštruktívnych metód v tejto oblasti, zahŕňajúce metódy röntgenovej mikrotomografie, RTG mikroskopie, elektrónovej skenovacej mikroskopie, ergo-disperznej RTG spektrometrie, ultrafialovej fluorescencie, infračervenej reflektografie, aktívnej infračervenej termografie, FTIR spektrometrie a UV, VIS, NIR spektrometrie. Bol naplnený aj kľúčový zámer projektu, a to dosiahnutie synergického efektu prostredníctvom vypracovania metodiky, kedy informácie o artefakte kultúrneho dedičstva získané z viacerých fyzikálnych meracích a testovacích metód boli následne spolu korelované spracované a po vyhodnotení poskytli kvalitatívne novú komplexnú informáciu o skúmanom artefakte kultúrneho dedičstva, jeho stave, pôvode, pravosti a prípadných reštaurátorských zásahoch v minulosti.

Rozpracovanie metódy infračervenej reflektografie viedlo k skvalitneniu možnosti zviditeľnenia uhlíkových podkresieb a prípadných skrytých signatúr pod vrchnými vrstvami obrazov. K nej komplementárna metóda röntgenovej rádiografie umožnila zobrazovanie podmalieb, tmelenia a nehomogenít v podkladových vrstvách. Rozvoj metódy ultrafialovej fluorescencie pomohol skvalitniť zobrazovanie a identifikáciu sekundárnych zásahov a retuší v obrazoch a tabuľových maľbách. Rozpracovanie metodík mikrotomografického (mikroCT) zobrazovania v projekte umožnilo analýzu vnútorných štruktúr historických artefaktov a dokumentovanie ich 3D tvaru, napr. antických mincí, sošiek a rôznych archeologických nálezov. Rozvoj spektroskopických metód EDS spolu s elektrónovou mikroskopiou SEM, FTIR a UV, VIS, NIR spektrometrie umožnili analýzu vlastností a charakterizáciu materiálov použitých v artefaktoch kultúrneho dedičstva. Výsledky boli publikované v odborných a vedeckých časopisoch, prezentované na konferenciách a workshopoch. Výstupy projektu boli tiež rozširované a popularizované medzi odbornou reštaurátorskou komunitou, študentami vysokých a stredných škôl a verejnosťou. Výsledky riešenia projektu sa úspešne uplatnili v praxi v spolupráci s reštaurátormi Pamiatkového úradu - Oblastného reštaurátorského ateliéru v Levoči, Katedrou reštaurovania Vysokej školy výtvarných umení, Komorou reštaurátorov, Slovenskou národnou galériou a Slovenským národným múzeom pri nedeštruktívnom testovaní vzácných artefaktov slovenského kultúrneho dedičstva.

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

The project had the character of applied research and was concerned with the development and use of the latest non-destructive physical methods and devices for the analysis and testing of objects of tangible cultural heritage. The project objectives were fulfilled. Partial methodologies for the use of selected physical non-destructive methods in this area have been developed in the project, including X-ray microtomography, X-ray microscopy, electron scanning microscopy, energy-dispersive X-ray spectrometry, ultraviolet fluorescence, infrared reflectography, active infrared thermography, FTIR spectrometry and UV, VIS, NIR spectrometry. The key objective of the project was also fulfilled, namely achieving the synergy effect through the development of methodology, when information on cultural heritage artefact obtained from several physical measurement methods were subsequently correlated processed and, after evaluation, provided qualitatively new comprehensive information about the artefact under investigation, its condition, origin, authenticity and

possible restoration interventions in the past.

Development of methods of infrared reflectography led to improvement of opportunities of visualisation of carbon underdrawings and hidden signatures under the top layers of images. The complementary method of X-ray radiography made it possible to display underpaintings, cementing and non-uniformities in the underlying layers. The development of the ultraviolet fluorescence method has helped to improve the imaging and identification of secondary interventions and retouching in paintings and panel paintings. Development of the microtomographic (microCT) imaging methodologies in the project allowed the analysis of the internal structures of historical artefacts and the documentation of their 3D shape, e.g. ancient coins, statues and various archaeological findings. The development of EDS spectroscopic methods together with electron microscopy SEM, FTIR and UV, VIS, NIR spectrometry enabled the analysis of properties and characterization of materials used in cultural heritage artefacts.

The project results were published in professional and scientific journals, presented at conferences and workshops. The project outputs were also disseminated and popularized among the professional restoration community, college and high school students, and the public. The results of the project were successfully applied in cooperation with restorers of the Monuments Board - Regional Restoration Studio in Levoča, Department of Restoration of the Academy of Fine Arts, Chamber of Restorers, Slovak National Gallery and Slovak National Museum at the non-destructive testing of unique artefacts of cultural heritage in Slovakia.