



TRACKING ENVIRONMENTAL AND CONSERVATION-RELATED
CHANGES THROUGH HIGH-RESOLUTION AERIAL REMOTE SENSING

THESES OF THE DOCTORAL (PH.D.) DISSERTATION

Gábor Bakó

Gödöllő

2017

Name of doctoral school: Doctoral School of Biological Sciences

Discipline: Biological Sciences

Head of Ph.D. School: Dr. Zoltán Nagy
Head of Department,
Professor of Hungarian Academy of Sciences
Institute of Botany and Ecophysiology,
Szent Istvan University

Consultant: Dr. Tibor Szerdahelyi
Associate Professor, Deputy Director of Institute
Institute of Botany and Ecophysiology,
Szent Istvan University

Dr. Zoltán Nagy
Head of the PhD. School

Dr. Tibor Szerdahelyi
Consultant

1. Background and Objectives

Due to the accelerating decline of natural and semi-natural surfaces, the changing climate, and the changing role of environmental protectionism and wildlife Conservation, it is vital to have reasoning underpinned with scientific evidence supporting the importance of protecting land, areas covered with natural vegetation, and the buffer zones of such areas when assisting decision-makers. These scientific underpinnings help assess the economic value of ecosystem services, and make it possible to provide well-founded reasoning for preserving biodiversity and enacting sustainable land management policies. In the 20th century, it became clear that remote sensing is a quick and generally cost-effective method of data-gathering, with minimal or no impact on the area under inspection. Used together, remote sensing and GIS are suitable for exploring the connections and interactions between various objects and phenomena, and provide assistance with the analysis of complex spatial data. It becomes possible to provide optimal solutions for the environmental issues of inhabited areas as well, facilitating the relevant design tasks. High spatial resolution remote sensing is useful, and has even become indispensable, for planning the optimal management of natural areas and performing impact analysis on interventions.

Due to the above, I have mostly chosen to spend time on the evaluation of non-intrusive passive aerial remote sensing methods, and implementing effective procedures.

The main objectives of the research were:

- Understanding the range of user demands and the newest requirements for aerial remote sensing products.
- Finding solutions to meet the demands identified, through technical and methodological development.
- Radically improving the speed of photographic aerial remote sensing for vegetation-related and ecological studies and surveys, as well as for studies relating to the environment, conservation, or urban development, and thereby enabling a higher frequency of results for the areas under inspection and having photographic areas of overlap that were taken under homogenous lighting and weather conditions, as much as possible. Quick and unnoticed flyovers also allow for less impact to the area under inspection.

- Testing and confirming that higher spatial resolution ortho image mosaics result in lower rates of data reconciliation errors and increase the reliability of thematic maps.
- Finding or developing the technical prerequisites for enabling 200 km/h flight above terrain with a level of surveying detail that is significantly higher than normal (5-10 cm spatial resolution) and implementing such a procedure.
 - Analysis and evaluation of the subjective effects arising during visual interpretation.
 - Assisting with the rapid design of aerial surveys.
 - Analyzing flight precision, and based on the results, recommendations for performing aerial surveys.
- Designing complex measuring equipment which will allow for optimal management of information content and data storage capacity. In addition to high-resolution spectral ranges that can be modified to meet the requirements of the specific task, it must also be suitable for high-resolution 3-dimensional surface modeling and continuous-spectrum photometry, but the increased amount of information provided should not necessitate a drastic increase in the information storage capacity required.
- Testing the designed methods through practical tasks. Completing and evaluating the tests for municipal surveying, waterfowl population surveying, vegetation surveying and telecom surveying.

2. Materials and Methods

I recorded the data to be evaluated from Pa-32, Cessna 172, Cessna 182, Cessna 210, Antonov An 2, and PZL Gawron aircraft. The flights were followed by laboratory measurements. During testing, in addition to evaluating spectral sensitivity, dynamics and resolution of the equipment used, we analyzed the following important characteristics: processing speed, signal-to-noise ratio, image height/speed stability, and the distortions caused by the camera's internals or optics. To facilitate the photogrammetry work, I used geodetic ground control point and check point surveying, and GPS, then D-GPS-based direct orientation. Processing was done via single-block aerial triangulation (bundle block adjustment) method.

I performed aerial imagery for testing purposes over a hundred times. In addition to designing the tasks and managing operations, I was tasked with handling the surveying camera. My role in the photogrammetry work was 50% and I performed the evaluation myself for every case, before assigning others to also evaluate the results for consistency and comparison purposes.

I grew to understand the range of user demands for aerial remote sensing products while manufacturing the products and via the incoming user requirements. My work involved contact with most national parks, a large number of research institutions and hundreds of local municipalities and their urban development staff.

I tested the increased spatial resolution's effect on the level of detail and the improved accuracy in the data, as well as the subjective effects on evaluation, by presenting orthophoto mosaics that I had already interpreted to independent evaluators, who mapped the inspected surface cover categories onto a thematic map. I had previously reduced the resolution of the high spatial resolution ortho image mosaic. Thus, ensuring "constant conditions" (the same camera system, the same atmospheric conditions, temperature, recording positions, etc.) was made possible by re-sampling the high-resolution photo mosaics with smaller (discrete) resolution values (using cubic convolution). As a result, the analysis showed the limits of spatial resolution at which the evaluation results (resulting map) definitely failed to meet the expected quality requirements. The evaluators were not shown the various resolution maps in advance, and always had to begin by analyzing the lowest-resolution recordings first. Once their evaluation of a recording with a given resolution was complete, they were provided with the next recording, with one level of improvement in

resolution. This method avoided the possibility of the evaluators using information from higher resolution recordings to make decisions that they would have been unable to make by evaluating the lower resolution recordings.

The areas undergoing analysis were municipal, conservation (e.g. waterfowl populations), agricultural and water management-related, as well as flooding and other technical aspects (e.g. landscape design for telecommunication towers).

During the field inspection of vegetation, I performed transect field survey and species assessment, with the assistance of the staff from the Duna Ipoly National Park, from Mecsekerdő Zrt. (Mecsek Forestry Plc.) and from the Institute of Botany and Ecophysiology.

3. Results

3.1 A summary of common user requirements

A brief summary of the most common issues and requests: better detection of the bases of objects; precise, orthogonal projection of objects positioned above terrain, such as eaves; better recognition of traffic signs, public property and fire hydrants; a more accurate structural analysis of vegetation; more accurate geometric determination of surface cover; and a storage format for spectral data that can be easily interpreted and opened. The development of the measuring camera, which began in 2009, was a response to these practical issues and to the special requirements of conservation data collection. I attempted to find technical and methodological solutions for the above that would allow for productive, cost-effective surveying.

3.2 Verifying the correlations between spatial resolution and evaluation accuracy

I analyzed the correlations between spatial resolution and evaluation accuracy, using areas and themes matching surface cover categories that are commonly studied in Hungary. In particular, I studied the following surface cover categories: Water surfaces, sandbanks, willow groves, poplar forest, meadows, contiguous locust-tree groves, dirt roads, turf wounds, asphalt pavements, constructed objects, waste heaps, balks, areas infested with various invasive plant species.

3.3 Development of high-speed aerial recording method

My findings have shown that when the aerial data gathering for a given survey area can be completed in a shorter amount of time, the reliability of thematic analysis increases. Accordingly, I increased the speed of the measurement cameras used for high-speed aerial remote sensing with the result that the necessary overlaps were still present and the picture remained stable despite the low, fast flight. In addition to designing the recording equipment, I developed a methodology for carrying out such surveys. When modeling environmental problems, I tested the economical method a number of times for GIS tasks, for telecommunication tower placement optimization for achieving maximum mobile network coverage, as well as for flood forecasting and drainage water risk maps.

3.4 A novel, extremely high-resolution remote sensing method

I ensured that the area would remain undisturbed through developments that made increasing the object distance (relative altitude) and increasing the overland flight speed possible. The procedure for achieving high surface resolution (0.5 - 3 cm GSD, 220 km/h - 800 km/h) provides much more accurate, detailed, and higher content data compared to traditional (5 to 10 cm GSD) orthophotos, thus allowing for a wider range of users. The process makes it easier to achieve a finer level of identification for colony fragments. I tested this method on waterfowl population estimates, upper canopy vegetation mapping and dense 3-dimensional point cloud analysis of woody vegetation.

3.5 Alternative method of surveying waterfowl populations

After having successfully developed appropriate instruments for the high spatial resolution procedure, I attempted to use it to survey the waterfowl populations nesting on Lake Venice. The high-resolution (0.5-3 cm spatial resolution) orthophoto image maps of important nesting and feeding sites can also be used for purposes other than population surveying. The appearance or disappearance of animals from a given area can by no means be considered a coincidence. I published the results and I submitted a recommendation to use the procedure for conservation status indicator purposes.

3.6 New mathematical foundations for aerial survey planning software

The software allows for faster and safer flight planning and documentation, because in addition to the camera data, it also includes aeronautical maps and a 3-dimensional model of the terrain. In addition, by entering the obstacles into its database, the software can then also include those in its calculations in the planning phase. Thus, it facilitates a procedure that is able to follow the terrain contours, while providing the required level of resolution everywhere.

3.7 Statistical evaluation of piloted precision flight

In order to develop the aforementioned methods, I prepared a statistical evaluation of all piloted precision flights that I had been on in the last six years. This was made possible by the onboard GPS and navigation data, as well as the analysis of the orientation data from several thousand orthophoto. Based on the results, I submitted a recommendation to reconsider the proposals and recommendations for precision flights.

3.8 Assessing the effects of subjectivity on visual interpretation

Having examined the effects of subjectivity with regards to orthophotographic information, I concluded that the work of experts from a wide range of different specialties is more reliable than the work of experts purely specializing in remote sensing. As the accuracy of the analyses can differ for various surface coverings, I highlighted the possible reasons for the discrepancies, and proposed further refining the methods by selecting the survey parameters according to the surface cover category to be studied. I compared the efficiency of semi-automated classification with that of visual interpretation. For the semi-automated classification, I highlighted both its evident lack of accuracy and its advantages. I developed a pre-classification method for the quick isolation and mapping of surface cover categories and vegetation patches from a high spatial resolution (0.5 - 10 cm) ortho image mosaic.

3.9 Designing complex measuring equipment

After having created the necessary equipment, I designed a device to address the tasks listed in item 3.1. It was designed to provide the high spectral, spatial and radiometric resolutions necessary for the analysis of ecological and vegetation parameters, but is also capable of providing material for 3-dimensional analyses. It provides high-resolution (50 megapixels) multispectral and single-diode continuous spectrum recordings with high spectral resolution, while not requiring an increase in storage capacity commensurate with the increase in information content.

3.10 New scientific results

- 1 I highlighted the correlations between spatial resolution and evaluation accuracy for a few categories that are high priority in Hungary, or that involve common surface cover categories and prepared a reference for selecting an economical spatial resolution when planning aerial surveys for these categories.
- 2 I designed a rapid assessment process, designed equipment to facilitate this process and tested the usability of said equipment in the evaluation test.
- 3 I designed an extremely high-resolution remote sensing method to facilitate the more accurate identification of colony fragments. I designed a high-quality aircraft-based vegetation mapping method, based on the aforementioned procedure.

- 4 I designed a novel method specifically to assess waterfowl populations. In addition, we were able to successfully develop appropriate instruments for procedure, which I successfully tested and published. I submitted a recommendation to use the procedure for conservation status indicator purposes.
- 5 I developed the mathematical foundations for aerial survey planning software. The software facilitates faster and safer flight planning and documentation. Since June 2015, we have been using it in our work in practice as well.
- 6 I have done a statistical evaluation of precision flying performed by manned aircraft and evaluated the orientation data of several thousand orthophotos. Based on the results of these studies, I have prepared recommendations for rethinking the requirements for precision flying.
- 7 I tested the distortions occurring due to the subjectivity of visual interpretation and provided recommendations for further refining the method. I compared the efficiency of semi-automated classification with that of visual interpretation. For the semi-automated classification, I highlighted both its evident lack of accuracy and its advantages. I developed a pre-classification method for the quick isolation and mapping of surface cover categories and vegetation patches from a high spatial resolution (0.5 - 10 cm) orthophoto mosaic.
- 8 I designed a complex measuring equipment which is able to provide the high spectral, spatial and radiometric resolutions necessary for the analysis of ecological and vegetation parameters, but is also capable of providing material for 3-dimensional analyses. I tested and analyzed the applicability of the new equipment and processes to the fields of conservation, environmental protection, public services, flood and drainage modeling, and telecommunications.

4. Conclusions and Recommendations

Construction and completion of the complex aerial remote sensing equipment would provide an efficient and economical tool to use for supporting the conservation and administrative analyses, as well as monitoring activities. The new device can be adapted for installation under the wing of any fixed-wing platform, and as such, could be used in more circumstances than the measuring cameras currently available.

I see merit in designing visual evaluation software, which would show the effects of changing various parameters (particularly sliders) on the desired image in real time. A user-friendly program that is able to visualize and use the tools of the evaluation and analysis applications could make semi-automated data extraction more widely used and available, and would promote interdisciplinary research.

For surveying waterfowl populations nesting in open areas and in the upper canopies, it would be helpful to implement the reduced-impact aircraft method, instead of the glider-based, helicopter-based or other currently used methods. It would also be worthwhile to test the method for estimating the populations of small mammals (e.g. prairie dogs) and for large animals in open areas, as well as for studying gradation. The method could also facilitate an improved understanding epidemiological vectors, also helpful, especially with regards to vegetation. It would be worthwhile to use it to assess storm damage, inundation or flooding, as well as for terrain and surface modeling, which serve as one of the important inputs for hydrodynamic models, where this is made possible by the total or relative lack of vegetation. It would be worthwhile to prepare a highly detailed surface model which could be used to find the optimal placement of telecom towers and base stations for given terrain characteristics.

It would be worthwhile to prepare a guide for identifying and assessing stand counts for dominant plant species, and for identifying vegetation types, colonies and plant species based on aerial photographs. This could potentially be extended to more species, or even herbaceous vegetation patch types.

It would be worthwhile to prepare a summary of the various environmental information system elements that use information accessible through aerial remote sensing and field sampling and which are relevant to villages, national parks, inspectorates and other regional authorities or farmers. This would facilitate the creation of complex databases, as well as the use of more optimal strategies involving the gathering of greater amounts of data, while using fewer and more economical flights.

5. Publications related to the topic of the thesis

IF, SCI journal articles

BAKÓ G., TOLNAI M., TAKÁCS Á. (2014): Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing, *Sensors* 2014, 14, 12828-12846.

IF: 2.245

UJ B., NAGY A., SALÁTA D., LABORCZI A., MALATINSZKY Á., BAKÓ G., DANYIK T., TÓTH A., S. FALUSI E., GYURICZA CS., PÓTI P., PENKSZA K. (2015): Wetland habitats of the Kis-Sárrét 1860–2008 (Körös-Maros National Park, Hungary), *Journal of Maps* 24 Feb 2015 p. 11

IF: 1.193

TOLNAI M., NAGY J. GY., BAKÓ G. (2015): Spatiotemporal distribution of Landsat imagery of Europe using cloud cover-weighted metadata *Journal of Maps* 28 Dec 2015. p 7

IF: 1.193

Journal articles registered with SCI, or referenced by forums or organizations listed by SCI

BAKÓ G., KOVÁCS G., MOLNÁR ZS., KIRISICS J., GÓBER E., ANDRÁS A. (2015): The development of red mud flood environmental information system and the methodology for the spatial analysis of the degraded area, *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment - Volume 9. Issue 1. 2015*

Peer-reviewed foreign language articles that are not referenced or registered with SCI

- BAKÓ G., MOLNÁR Z., GÓBER E. (2014): Developments from Hungary: Multispectral Aerial Cameras - GIM International February 2014. p. 21-23
- MOLNÁR ZS., BAKÓ G. (2014): Rapid Aerial Mapping Methods for Water Management - GEO Informatics Vol.17 2014. Jan/Febr. p. 44-45
- BAKÓ G., MOLNÁR ZS., GÓBER E. (2013): Hungarian Hive Stones' Aerial Survey - Professional Surveyor - Special Aerial Mapping Edition 2013/Fall p. 34 - 35

Peer-reviewed articles in Hungarian that are not referenced or registered with SCI

- BAKÓ G. (2016): Lefedettség modellezés távközlési tornyok kihelyezésének, tájban történő elhelyezésének tervezéséhez, légi felmérésből származó téradatak segítségével. Tájökológiai Lapok 14(2): 117-134.
- BAKÓ G., MOLNÁR ZS., GÓBER E. (2014): Városi térinformatikai és döntéstámogató rendszerek raszter fedvényei – A legutóbbi időszak települési ortofotó felméréseinek tapasztalatai Magyarországon – Tájökológiai lapok 12 (2): p. 285–305.
- BAKÓ G., MOLNÁR ZS., TOLNAI M., GÓBER E. (2014): Szuperfelbontású repülő laboratórium, gyors térképészeti mérések – TermészetBúvár 69. évfolyam 2012/2. 42-45.
- BAKÓ G., GULYÁS G. (2013): Légifelvételek költséghatékony osztályozási módszereinek kidolgozása az erdőgazdálkodás és a nemzeti parkok számára – Botanikai Közlemények 100(1–2): 63–76, 2013. 63-76. p
- BAKÓ G. (2013): Vegetációtérképezés nagyfelbontású valószínűs- és multispektrális légifelvételek alapján – Kitaibelia XVIII. évf. 1-2. szám p. 152–160.
- BAKÓ G. (2013): Nagysebességű repülőgépes távérzékelés és hozzá kapcsolódó adatfeldolgozási módszerek In. Lóki J. (2013): Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV. - Térinformatikai konferencia és szakkiallítás kiadványa, Debrecen, 2013 p. 59-66
- BAKÓ G. (2013): Szuperfelbontású ökológiai vizsgálatok – Természetudományi Közlöny 144. évf. 10. füzet 2013/10. 477-478. p

- BAKÓ G. (2012): Gyors térképészeti mérések a levegőből – Természettudományi Közlöny 143. évf. 10. sz., 2012. október 470-471 p.
- BAKÓ G. (2012): Légi fotogrammetriai, távérzékelési feladatokra tervezett korszerű digitális mérőkamerák – Távérzékelési technológiák és térinformatika online 2012. június, p. 65-83
- BAKÓ G. (2012): Nagyfelbontású magyar multispektrális légi távérzékelési mérőműszerek a vegetációtérképezésben és növénybetegségek lokalizálásának elősegítéséhez – Kitaibelia XVII. évf., 1. szám Vol. 17, No.1 p. 71
- BAKÓ G. (2012): Az ortofotó és készítési fázisai – Élet és Tudomány LXVII: évfolyam 16. szám, 2012. április, 502-504 p.
- BAKÓ G., Kovács G. (2012): Nagyfelbontású légifelvétel-térképek alkalmazása a vegetációkutatásban Kitaibelia XVII. évf., 1. szám Vol. 17, No.1 p. 8
- BAKÓ G. (2011): A vörösiszap elöntés környezetinformatikai rendszerének elkészítése - Élet és tudomány LXVI. évfolyam, 23. szám, 2011. június, 708-709 p.
- BAKÓ G. (2011): Mérnöki felelősség a tájatalakításban - Mérnökújság XVIII. 12. 2011. december 32-33 p.
- BAKÓ G. (2011): A légi távérzékelés szenzorai - Távérzékelési technológiák és térinformatika online 2011. június p. 1-4
- BAKÓ G. (2010): Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képminőség függvényében - Tájökológiai Lapok 8 (3): 1–00 (2010) p. 507-522
- BAKÓ G., LICSKÓ B. (2010): Új eredmények a nagyfelbontású légifelvételek segítségével történő belvív- és árvízterképezésben - Környezetvédelem Ökológiai, környezettechnológiai és környezetstratégiai szaklap XVIII./ 3. szám 2010. június 2, p. 14-15.
- BAKÓ G. (2010): Igen nagyfelbontású légifelvétel-mozaikok készítése kis- és középformátumú digitális fényképezőgépekkel - Geodézia és kartográfia 2010/6 LXII. évfolyam p. 21 - 29, 49

Conference proceeding

a. International

BAKÓ G.(2012): Photogrammetry and Remote Sensing with the Latest Digital Aerial Cameras - Fotogrammetria és távérzékelés a legújabb digitális mérőkamerákkal - 2012. május 10-13., 13th Conference on Geodesy, Kolozsvár - Cluj p. 1-4

BAKÓ G., EISELT Z., KOVÁCS E., LICSKÓ B., HORVÁTH M., BÁLINT Á. (2008): An Environmental Study By High Resolution Remote Sensing - 2008. november 17. - 14th Workshop On Energy And Environment p. 15.

b. Hungarian

BAKÓ G. (2012): A távérzékelés, a fotogrammetria, a térképészet és a térinformatika együttese, spektrum, szabatoság és adat-hozzáférhetőség - 2012. szeptember 5-7., VI. Magyar Földrajzi Konferencia, Szegedi Tudományegyetem p. 1108-1114.

BAKÓ G. (2012): Modern optikai légi távérzékelési módszerek – Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában In: Lóki J. (Szerk.) (2012): III. - Térinformatikai konferencia és szakkiállítás kiadványa, Debrecen, 2012 - p. 35-41

BAKÓ G. (2012): Fotogrammetria és távérzékelés a legújabb digitális mérőkamerákkal In: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XIII. Földmérő Találkozójának kiadványa 2012. május, p. 25-27

Lecture

BAKÓ G., TOLNAI M. (2015): Pontossági elvárások a vegetációkutatásban és az ökológiai szemléletű felszínborítás térképezésben, GPS25 Műholdas helymeghatározás Magyarországon 1990-2015, Budapest, Földművelésügyi Minisztérium - 2015. október 27.

BAKÓ G., MOLNÁR ZS. (2015): Elérhető térképészeti pontosság az űr-, repülőgépes-, illetve mikro UAV fotogrammetria területén - 2015. január 29., Bányamérés a levegőből – a fotogrammetria Legújabb fejezete, Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet

BAKÓ G., TOLNAI M. (2013): Development and methodology of ecological decision support systems for sustainable improvements and landscape-based environmental protection (Ökológiai szemléletű döntéstámogató rendszerek módszertani kidolgozása a fenntartható fejlesztések, a táj alapú környezetvédelem számára) - 2013. november 21. 09., VIII. Kárpát-medencei – I. Fenntartható fejlődés a Kárpát-medencében nemzetközi konferencia, Budapest

BAKÓ G., TOLNAI M. (2013): Környezetinformatikai és természetvédelmi bejelentő rendszer a széleskörű tájékoztatás és a lakosság terület-alapú természetvédelmi meginterjúvolásának elősegítésére - 2013. október 09., A Zöld Mozgalmi Koordinációs Tanács ülése, Budapest, Alapvető Jogok Biztosi Hivatala

BAKÓ G. (2013): Távérzékelés az ökoszisztéma szolgáltatások és a környezetterhelés értékelésében - 2013. április 4., HUNAGI konferencia, Budapest

BAKÓ G. (2013): Távérzékelési adatok elkészítése és értékelése szennyezett területek tervezési és döntéstámogató rendszereihez - 2013. március 21-22., Kármentesítés aktuális kérdései konferencia, Budapest

BAKÓ G. (2013): Távérzékeléses adatgyűjtés komplex környezetinformatikai rendszerekhez. Eszközök, rendszerek és a levezetett adatok megbízhatósága - 2013. február 25-26., Gyepgazdálkodás és természetvédelem (Grassland management and nature conservation) nemzetközi konferencia, Budapest

BAKÓ G., EISELT Z. (2011): Környezetinformatikai rendszer - 2011. április 27., Budapest 2011 évi környezetvédelmi távérzékelési programok, - Interspect házi konferencia a Greenpeace székházában

BAKÓ G., EISELT Z. (2010): Felszínborítás- és vegetációtérképezés nagyfelbontású légifelvétel-térképek segítségével - 0,5 – 10 cm terepi felbontású légifelvétel-mozaikok kiértékelési lehetőségei - 2010. október 15. Fény, Térkép, Fény – Tér – Kép Távérzékelés, képfeldolgozás, fotogrammetria, térinformatika konferencia, Székesfehérvár

BAKÓ G., FELDHOFFER ZS. (2010): Extreme large resolution imaging - its advantages and new opportunities - 2010. szeptember 23. HUNSPACE-HUNAGI Space Workshop September 23-26, 2010, Visegrád

BAKÓ G. (2009): Kis- és középformátumú digitális fényképezőgépek a légifelvételzésben - 2009. november 12. Fény, Térkép, Fény – Tér – Kép Távérzékelés, képfeldolgozás, fotogrammetria, térinformatika konferencia, Dobogókő

Poster publication

BAKÓ G. (2013): Távérzékeléses adatgyűjtés komplex környezetinformatikai rendszerekhez. Eszközök, rendszerek és a levezetett adatok megbízhatósága - Gyepgazdálkodás és természetvédelem (Grassland management and nature conservation) Budapest - 2013. február 25-26.

BAKÓ G. (2013): Combination and application of remote sensing, photogrammetry, cartography - Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen - 2013. május 23-24.

BAKÓ G. (2012): Hungarian high-resolution multispectral aerial remote sensing instruments at vegetation mapping and localization of plant diseases - Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében IX. 2012. február 24-26. Gödöllő

BAKÓ G. (2012): A távérzékelés, a fotogrammetria, a térképészet és a térinformatika együttesének alkalmazása és csoportunk hazai eredményeinek bemutatása - Combination and application of remote sensing, photogrammetry, cartography and GIS, Presentation of Interspect's results - VI. Magyar Földrajzi Konferencia - 2012. szeptember 5-7., Szegedi Tudományegyetem

BAKÓ G., MOLNÁR ZS., EISELT Z. (2010): A Fővárosi Állat- és Növénykert a világ legnagyobb terepi felbontású légifelvétel térképén - HUNSPACE-HUNAGI Space Workshop September 23-26, 2010, Visegrád

Scientific books, book chapters, book editing

Hungarian-language book

LICSKÓ B., BAKÓ G. (2010): Víz és környezetgazdálkodási célú területfedéses légifelvételek készítési lehetőségei digitális fényképezőgépekkel és a légifelvételek értelmezésével készülő felszínborítás-térképek számítógépen történő előállítás. (2005-2010) VITUKI saját finanszírozású (belső) K+F témajelentés

BAKÓ G., EISELT Z. (2006): Halásztelek környezeti állapotának vizsgálata 2007 – 2009 p. 1 - 170 {An environmental study of Halásztelek}, Szent István Egyetem, Gödöllő. Megbízó: Halásztelek Település Önkormányzata

BAKÓ G., TOLNAI M., LACZKÓ M. (2014): Interpretáció gyorsan és egyszerűen - Raszteres adatokra épülő térinformatikai elemzések hidrológus, természetvédő, biológus és botanikus hallgatók számára - Egyetemi jegyzet Gödöllő: Szent István Egyetem. 65 p. (fényképezte és szerkesztette: Bakó G.)

BAKÓ G. (2014): Légi fényképezés a gazdálkodásban és a közszolgáltatásban Aerial Photogrammetry in Economy and Public Services - E-Government Tanulmányok XL. - tankönyv Budapest: Corvinus Egyetem. 126 p.

Hungarian language book chapter

BAKÓ G. (2015): Az özönnövények feltérképezése a beavatkozás megtervezéséhez és precíziós kivitelezéséhez In: CSISZÁR Á., KORDA M. (szerk.) (2015): Rosalia kézikönyvek 3 Budapest: Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság. p. 17-25.

BAKÓ G. (2014): Bevezetés, távérzékelési és térinformatikai alapismeretek, Global Mapper fejezetek p. 1-19, 31-36, 62-65. In: BAKÓ G., TOLNAI M.,

LACZKÓ M. (2014): Interpretáció gyorsan és egyszerűen - Raszteres adatokra épülő térinformatikai elemzések hidrológus, természetvédő, biológus és botanikus hallgatók számára - Egyetemi jegyzet Gödöllő: Szent István Egyetem

BAKÓ G. (2014): Geoinformációs rendszerek és a távérzékelés szerepe a döntés előkészítésben In: JENEY L. - HIDEG É. - TÓZSA I. (szerk.) (2014):

Jövőföldrajz. A hazai gazdasági fejlődés területi és települési aspektusai a jelenben és a jövőben. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz és Jövőkutató Tanszék - Belügyminisztérium Önkormányzati Államtitkárság közös kiadványa. p. 87 - 98.

Book Editing

BAKÓ G., TOLNAI M., LACZKÓ M. (2014): Interpretáció gyorsan és egyszerűen - Raszteres adatokra épülő térinformatikai elemzések hidrológus, természetvédő, biológus és botanikus hallgatók számára - Egyetemi jegyzet Gödöllő: Szent István Egyetem. 65 p. (fényképezte és szerkesztette: Bakó G.)

Citation

a. Hungarian

BAKÓ G., TOLNAI M., TAKÁCS Á. (2014): Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing, *Sensors* 2014, 14, 12828-12846. In: SZIGETI V., KÖRÖSI Á., HARNOS A., NAGY J. GY., KIS J. (2016): Measuring floral resource availability for insect pollinators in temperate grasslands - A review, *Ecological Entomology* 41(3)

b. International

BAKÓ G., TOLNAI M., TAKÁCS Á. (2014): Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing, *Sensors* 2014, 14, 12828-12846. In: DULAVA S., BEAN T. W., RICHMOND O. M. W. (2015): Environmental Reviews and Case Studies: Applications of Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Waterbird Surveys *Environmental Practice* 17(3):201-210 · September 2015 (DOI: 10.1017/S1466046615000186)

BAKÓ G., TOLNAI M., TAKÁCS Á. (2014): Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing, *Sensors* 2014, 14, 12828-12846. In: CHABOT C. és FRANCIS M. C. (2016): Computer-automated bird detection and counts in high-resolution aerial images: A review, *Journal of Field Ornithology* 87(4):343–359

BAKÓ G., TOLNAI M., TAKÁCS Á. (2014): Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing, *Sensors* 2014, 14, 12828-12846. In: KRIENITZ L., KRIENITZ D., DADHEECH P. K., VERSFELD D. W. (2016): Food algae for Lesser Flamingos: a stocktaking, *Hydrobiologia* 775(1)

6. Publications outside the scope of the dissertation topic

Journal articles registered with SCI, or referenced by forums or organizations listed by SCI

BAKÓ G., GÓBER E. (2014): Georeferencing archive spy satellite images of Hungary, *Coordinates* April 2014 p. 50-52

BAKÓ G., FÜLÖP GY., SZABÓ B. (2014): Detection of woody increment with analysis of landsat images in order to detect the invasive tree species - *Kartografické listy / Cartographic letters*, 2014, 22 (2), p. 63-71

FÜLÖP GY., BAKÓ G., SZABÓ B. (2015): Detecting invasive woody increment in agricultural areas with Earth Observation technology - *Journal of Agricultural Informatics* 2015 Vol. 6, No. 1:40-49

Peer-reviewed foreign language articles that are not referenced or registered with SCI

BAKÓ G., FÜLÖP GY. (2015): Fás szárú növekmény detektálása landsat felvételek elemzésével az invazív fafajok kiszűrésének érdekében - *Tájökológiai Lapok* 13 (1): p. 149-162.

SZUVANDZSIEV P., BAKÓ G., HELYES L., PÉK Z. (2014): Spektroszkópiás vizsgálatok alkalmazási lehetőségei a málna, a szamóca és a paradicsom minőségi paramétereinek meghatározására– *Kertgazdaság (Horticulture)* 2014/március 46 (1) p. 17-23.

BAKÓ G. (2014): Európa új földmegfigyelő műholdjai – *Élet és Tudomány* LXIX. évfolyam 2014/5. szám 2014. január 31. 132. p

BAKÓ G. (2014): A földmegfigyelő műholdak jövőképe – *Élet és Tudomány* LXIX. évfolyam 2014/8. szám 2014. február 21. 134-235. p

BAKÓ G. (2014): Belvízfelmérés és archív légifelvételek - *Természettudományi közlöny* 145/10, 2014. október 474-475 p.

BAKÓ G. (2014): A radar távérzékelésről közérthetően - *RADAR berendezések a világűrben* – *Élet és Tudomány* LXIX. évfolyam 2014/47. szám 2014. november 21. 1478-1480. p

BAKÓ G. (2013): Légi fotogrammetria Magyarországon 1922 - 1930 között – *Távérzékelési Technológiák és Térinformatika* - 2013 / 1. p. 42 - 46.

BAKÓ G. (2013): A korszerű földmegfigyelő műholdak felbontása – *Élet és Tudomány* 2013. február 15. 2013/7 211-213 p.

BAKÓ G. (2013): Növényi invázió a Balatonnál – Élet és Tudomány LXVIII. évfolyam 2013/35. szám 2013. augusztus 30. 1104-1106. p

GÓBER E., BAKÓ G. (2012): A festmény mint kordokumentum - A táj változása egy XIX. századi mű alapján – Élet és Tudomány LXVII. évfolyam, 45. sz., 2012. november 9. 1424-1426 p.

BAKÓ G. (2012): A légi fotogrammetria kezdetei Magyarországon 1916 – 1925 – Távérzékelési technológiák és térinformatika online 2012. november p. 47-55

BÁLINTNÉ KRISTÓF K., BAKÓ G. (2012): Jelenthet-e radioaktív terhelést a vörösiszap? – Természettudományi Közlöny 143. évf. 3. füzet, 2012. március 134-135 p.

BAKÓ G. (2011): Archív légifelvételek digitalizálása - Távérzékelési technológiák és térinformatika online 2011. június, p. 65-83

BAKÓ G. (2011): Távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai fogalomtár - Távérzékelési technológiák és térinformatika online 2011. június, p. 93-111

Conference proceeding

a. International

BAKÓ G., FÜLÖP GY., BOGLÁRKA SZ. (2014): Detection of Invasive Woody Increment With the Analysis of Landsat Images - 2014. június 5-6., Forum of Young Geoinformaticians 2014, Technical University, Zvolen (Zólyom, Szlovákia) (Bakó G., Fülöp GY., Szabó B.)

b. Hungarian

BAKÓ G. (2012): A légi régészet története és legmodernebb módszerei - 2012. június 21-22-23., IX. Tájértörténeti Konferencia, Balatoni Múzeum, Keszthely p. 1-13.

Lecture

BAKÓ G., FÜLÖP GY., SZABÓ B. (2014): Detection of Invasive Woody Increment With the Analysis of Landsat Images - Forum of Young

Geoinformaticians 2014, Technical University, Zvolen (Zólyom, Szlovákia) - 2014. június 5-6.

BAKÓ G., SZABÓ J., TÓTH I. (2015): Az Aerial Cartographic and Remote Sensing Association tevékenységének és céljainak rövid ismertetése - Fénykép, Térkép, Fény - Tér – Kép - Távérzékelés, Képfeldolgozás, Fotogrammetria, Térinformatika 2015, Gyöngyös, 2015. október 29.

BAKÓ G. (2015): A mezőgazdaság és a természetvédelem konfliktusainak csökkentése térinformatika segítségével - 2015. január 22. Hajdúszoboszló és 2015. február 5. Hévíz , Axiál Mezőgazdasági Workshop p. 1

BAKÓ G. (2012): A távérzékelési, fotogrammetriai és térinformatikai, valamint agrokémiai alapokon nyugvó multispektrális térképezés a mezőgazdaság és a talajkutatás szolgálatában - 2012. november 21., Új utak a földtudományban, 2012, Budapest - Magyar Geofizikusok Egyesülete - Magyar Földtani és Geofizikai Intézet - Magyar Bányászati és Földtani Hivatal: A termőtalaj mint veszélyeztetett erőforrás. Földtani folyamatok, területhasználat.

Poster publications

BAKÓ G., KARSAI N. (2015): A mikro UAV technológiához tartozó navigáció megbízhatósági trendjei - UAV fejlesztés Magyarországon, GPS25 Műholdas helymeghatározás Magyarországon 1990-2015, Budapest, Földművelésügyi Minisztérium - 2015. október 27.

BAKÓ G., BÁLINTNÉ KRISTÓF K., HORVÁTH M., VARGA B. (2012): Somlósárhelyi vörösiszap minta aktivitás-koncentrációjának ellenőrzése - XXXVII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam 2012. április 24-26., Hajdúszoboszló

GÓBER E., BAKÓ G. (2012): A magyar táj változásának elemzése 19. századi festmények alapján - IX. Tájérténeti Konferencia - A táj változásai a Kárpát-medencében 2012. június 21-22-23., Balatoni Múzeum, Keszthely

Scientific books, book chapters, book editing

Hungarian-language books

BAKÓ G. (2015): UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben - elemző tanulmány, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest p. 1-80.

BAKÓ G. (2010): Halásztelek - Helytörténet, földtan, élővilág, táj-felszín alapú változások Halásztelek: Halásztelek Város Önkormányzata. 183 p.

BAKÓ G. (2012): Természet- és tájportrék Halásztelek: Interspect Kft. 36 p. (írta és fényképezte: Bakó G., Zsoldos Cs., szerkesztette: Góber E.)

Magyar nyelvű könyvfejezet írása

BAKÓ G., KONCZ P., UZONYI Á., CSATHÓ A., GÓBER E., TÓTH ZS., BESNYŐI V. (2012): A Duna menti tölgyesek restaurációjának lehetőségei Gödöllő: Szent István Egyetem. p. 1-48, 94-95.

Hungarian language book chapter

BAKÓ G. (szerk.), KONCZ P., UZONYI Á., CSATHÓ A., GÓBER E., TÓTH ZS., BESNYŐI V. (2012): A Duna menti tölgyesek restaurációjának lehetőségei Gödöllő: Szent István Egyetem. 1-106 p.

DVD: BAKÓ G., VINCZE J., GYÖRGY Á., MEGYES T. (2006): Halásztelek helytörténeti album, Halásztelek: Halásztelek Önkormányzata

Education

Thesis consultant

AMBRUS A. (2011): Nagyfelbontású digitális légifelvételek elemzése - A 2010. októberi vörösiszap-elöntés térképi fedvénye és az elöntés statisztikai adatai ELTE, Térképész, geoinformatikus, university consultant: MÉSZÁROS J. independent consultant: BAKÓ G.

BLEICHER A. (2011): A tőköli repülőter felszínborítottsági vizsgálata nagy felbontású légifelvételekkel ELTE, Térképész, university consultant: MÉSZÁROS J., independent consultant: BAKÓ G.

GULYÁS G. (2011): Vegetáció térképezés és mikroklíma elemzés nagy felbontású légifelvételek segítségével, Veszprémi Egyetem, Erdész, konzulens: BAKÓ G.

KOVÁCS G. (2011): Külső tájékozás nélküli légifotók alkalmazási lehetőségei, ELTE, Térképész, university consultant: TÍMÁR G. independent consultant: BAKÓ G.

HARSÁNYI M. (2012): Devecser településszerkezeti elemzése a vörösiszap-katasztrófát követően, ELTE, Térképész, university consultant: MÉSZÁROS J. independent consultant: BAKÓ G.

TOLNAI G. (2012): Városi vasúti területek térképezése és vizsgálata idősoros légifelvételek alapján ELTE, Térképész - Geoinformatikus, university consultant: MÉSZÁROS J., independent consultant: BAKÓ G.

BURGUNDI B. (2013): Eltérő pontosságú geoinformatikai adatbázisok pontosságának összehasonlító vizsgálata vegetációtérképezés szempontjából Debreceni Egyetem, Geográfus, Geoinformatikus university consultant: SZABÓ G. independent consultant: BAKÓ G.

LÁSZLÓ G. (2013): Klasszikus vízkémiai paraméterek módszertani vizsgálata légi felméréssel felszíni vizekben, SZIE, Környezetmérnök, university consultant: HORVÁTH M., independent consultant: BAKÓ G.

RIESZ L. (2013): A Duna Almásfüzitő és Budapest közötti szakaszának árvíz-veszélyeztetettség modellezése, SZIE, Környezetmérnök, university consultant: CSINTALAN ZS., independent consultant: BAKÓ G.

SZABÓ P. (2013): A lágymányosi egyetemi tömb és környékének felszínborítási változásainak távérzékelési, fotogrammetriai módszerekkel pontosított, idősoros térképekkel való bemutatása, ELTE, Térképész - Geoinformatikus, university consultant: MÉSZÁROS J., independent consultant: BAKÓ G.

SZALMOVÁ K. (2013): A Bős-Nagymarosi Vízlépcsőrendszer hatására bekövetkezett területhasználati változások elemzése egy szigetközi település példáján, SZIE, Természetvédelmi mérnök, university consultant: Grónás V. P., independent consultant: BAKÓ G.

SZIGETI CS. (2013): Csepel-Királymajor XX. századi területhasználatának idősoros bemutatása archív térképek és légi felvételek alapján, ELTE, Térképész - Geoinformatikus, university consultant: MÉSZÁROS J., independent consultant: BAKÓ G.

DANCS CS. (2014): A vörös iszap katasztrófa közvetlen hatásterületének felületi analízise idősoros térképi rendszerben vizsgálva, ELTE, Környezettudomány Msc, university consultant: MARI L., independent consultant: BAKÓ G.

DIÓS N. (2014): A Mátra vegyi szennyezésekre való érzékenységeinek térbeli modellezése SZIE Környezetmérnök university consultant: CZIKKELY M., independent consultant: BAKÓ G.

HUBER N. (2014): Invazív növényfajok elterjedésének vizsgálata nagy felbontású légifelvétel alapján, SZIE, Természetvédelmi mérnök, university consultant: MOLNÁR D., independent consultant: BAKÓ G.

KÖVÁRI D. (2014): Települési ortofotó-mozaik osztályozása Budapest XXI. kerületi példán keresztül ELTE, Térképész, university consultant: MÉSZÁROS J., independent consultant: BAKÓ G.

MEGYERI B. (2014): Az egykori Duna menti tölgyesek potenciális termőhelyének felszínborítás és területhasználat vizsgálata, térképrendszer felállítása a visszatelepítési stratégia megtervezéséhez, ELTE, Térképész, university consultant: MARI L., independent consultant: BAKÓ G.

VARGA CS. (2014): Dunai árvízmodellek pontosságának vizsgálata nagyfelbontású légifelvételek alapján, ELTE, Térképész, university consultant: MÉSZÁROS J., independent consultant: BAKÓ G.

KATONA L. (2016): Drégelyvár természetvédelmi célú megőrzése, SZIE, Természetvédelmi mérnök, university consultant: CENTERI Cs., independent consultant: BAKÓ G.