

Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-16-0431**Identifikácia a monitoring biotopov Natura 2000 dynamickou segmentáciou satelitných obrazov**Zodpovedný riešiteľ **RNDr. Jozef Šibík, PhD.**Príjemca **Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV - Botanický ústav SAV****Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený**Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV, Botanický ústav
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta**Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení**

N/A

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

N/A

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

MIKULA, Karol - ŠIBÍKOVÁ, Mária - AMBROZ, Martin - KOLLÁR, Michal - OŽVAT, Aneta A. - URBÁN, Jozef - JAROLÍMEK, Ivan - ŠIBÍK, Jozef**. A Software Tool for Identification, Monitoring and Evaluation of Habitats by Remote Sensing Techniques. In Remote Sensing, 2021, vol. 13, no. 17, art. no. 3381. (2020: 4.848 - IF, Q1 - JCR, 1.285 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 2072-4292.

MIKULA, Karol** - URBÁN, Jozef - KOLLÁR, Michal - AMBROZ, Martin - JAROLÍMEK, Ivan - ŠIBÍK, Jozef - ŠIBÍKOVÁ, Mária. Semi-automatic segmentation of NATURA 2000 habitats in Sentinel-2 satellite images by evolving open curves. In Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S, 2021, vol. 14, no. 3, p. 1033-1046. (2020: 2.425 - IF, Q1 - JCR, 0.481 - SJR, Q2 - SJR, karentované - CCC). (2021 - Current Contents). ISSN 1937-1632.

MIKULA, Karol** - URBÁN, Jozef - KOLLÁR, Michal - AMBROZ, Martin - JAROLÍMEK, Ivan - ŠIBÍK, Jozef - ŠIBÍKOVÁ, Mária. An automated segmentation of NATURA 2000 habitats from Sentinel-2 optical data. In Discrete and Continuous Dynamical Systems - Series S, 2021, vol. 14, no. 3, p. 1017-1032. (2020: 2.425 - IF, Q1 - JCR, 0.481 - SJR, Q2 - SJR, karentované - CCC). (2021 - Current Contents). ISSN 1937-1632. Dostupné na: <https://doi.org/10.3934/dcdss.2020348>

SABATINI, Francesco Maria* - LENOIR, Jonathan* - HATTAB, Tarek - ARNST, Elise - CHYTRÝ, Milan - DENGLER, Jürgen - RUFFRAY, Patrice de - HENNEKENS, Stephan M. - JANDT, Ute - JANSEN, Florian - JIMÉNEZ-ALFARO, Borja - KATTGE, Jens - LEVESLEY, Aurora - PILLAR, Valério - PURSCHKE, Oliver - SANDEL, Brody - SULTANA, Fahmida -

AAVIK, Tsipe - AČIĆ, Svetlana - ACOSTA, Alicia - AGRILLO, Emiliano - ALVAREZ, Miguel - APOSTOLOVA, Iva - KHAN, Mohammed A. S. Arfin - ARROYO, Luzmila - ATTORRE, Fabio - AUBIN, Isabelle - BANERJEE, Arindam - BAUTERS, Marijn - BERGERON, Yves - BERGMEIER, Erwin - BIURRUN, Idoia - BJORKMAN, Anne D. - BONARI, Gianmaria - BONDAREVA, Viktoria - BRUNET, Jörg - ČARNI, Andraž - CASELLA, Laura - CAYUELA, Luis - ČERNÝ, Tomáš - CHEPINOGA, Victor - CSIKY, János - ČUŠTEREVSKA, Renata - BIE, Els de - GASPER, André Luis de - SANCTIS, Michele De - DIMOPOULOS, Panayotis - DOLEZAL, Jiri - DZIUBA, Tetiana - EL-SHEIKH, Mousa - ENQUIST, Brian - EWALD, Jörg - FAZAYELI, Farideh - FIELD, Richard - FINCKH, Manfred - GACHET, Sophie - GALÁN-DE-MERA, Antonio - GARBOLINO, Emmanuel - GHOLIZADEH, Hamid - GIORGIS, Melisa - GOLUB, Valentin - ALSOS, Greve I. - GRYTNES, John-Arvid - GUERIN, Greg R. - GUTIÉRREZ, A. - HAIDER, Sylvia - HATIM, Mohamed Z. - HÉRAULT, Bruno - MENDOZA, Guillermo Hinojos - HÖLZEL, Norbert - HOMEIER, Jürgen - HUBAU, Wannes - INDREICA, Adrian - JANSSEN, John A. M. - JEDRZEJEK, Birgit - JENTSCH, Anke - JÜRGENS, Norbert - KAČKI, Zygmunt - KAPFER, Jutta - KARGER, Dirk Nikolaus - KAVGACI, Ali - KEARSLEY, Elizabeth - KESSLER, Michael - KHANINA, Larisa - KILLEEN, Timothy - KOROLYUK, Andrey - KREFT, Holger - KÜHL, Hjalmar S. - KUZEMKO, Anna - LANDUCCI, Flavia - LENGUEL, Attila - LENS, Frederic - LINGNER, Débora Vanessa - LIU, Hongyan - LYSENKO, Tatiana - MAHECHA, Miguel D. - MARCENÒ, Corrado - MARTYNENKO, Vassiliy - MOESLUND, Jesper Erenskjold - MENDOZA, Abel Monteagudo - MUCINA, Ladislav - MÜLLER, Jonas V. - MUNZINGER, Jérôme - NAQINEZHAD, Alireza - NOROOZI, Jalil - NOWAK, Arkadiusz - ONYSHCHENKO, Viktor - OVERBECK, Gerhard E. - PÄRTEL, Meelis - PAUCHARD, Anibal - PEET, Robert K. - PEÑUELAS, Josep - PÉREZ-HAASE, Aaron - PETERKA, Tomáš - PETŘÍK, Petr - PEYRE, Gwendolyn - PHILLIPS, Oliver L. - PROKHOROV, Vadim - RAŠOMAVIČIUS, Valerijus - REVERMANN, Rasmus - RIVAS-TORRES, Gonzalo - RODWELL, John S. - RUPRECHT, Eszter - RŪSINĀ, Solvita - SAMIMI, Cyrus - SCHMIDT, Marco - SCHRODT, Franziska - SHAN, Hanhuai - SHIROKIKH, Pavel - ŠIBÍK, Jozef - ŠILC, Urban - SKLENÁŘ, Petr - ŠKVORC, Željko - SPARROW, Ben - SPERANDII, Marta G. - STANČIĆ, Zvezdana - SVENNING, Jens-Christian - TANG, Zhiyao - TANG, Cindy Q. - TSIRIPIDIS, Ioannis - VANSELOW, Kim André - MARTÍNEZ, Rodolfo Vásquez - VASSILEV, Kiril - VÉLEZ-MARTIN, Eduardo - VENANZONI, Roberto - VIBRANS, Alexander Christian - VIOLE, Cyrille - VIRTANEN, Risto - WEHRDEN, Henrik von - WAGNER, Viktoria - WALKER, Donald A. - WALLER, Donald M. - WANG, Hua-Feng - WESCHE, Karsten - WHITFIELD, Timothy - WILLNER, Wolfgang - WISER, Susan - WOHLGEMUTH, Thomas - YAMALOV, Sergei - ZOBEL, M. - BRUELHEIDE, Helge.

sPlotOpen – An environmentally balanced, open-access, global dataset of vegetation plots. In *Global Ecology and Biogeography*, 2021, vol. 30, no. 9, p. 1740–1764. (2020: 7.148 - IF, Q1 - JCR, 3.164 - SJR, Q1 - SJR, karentované - CCC). (2021 - Current Contents). ISSN 1466- 822X. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/geb.13346>

VEČEŘA, Martin** - AXMANOVÁ, Irena - PADULLÉS, Josep Cubino - LOSOSOVÁ, Zdeňka - DIVŠEK, Jan - KNOLLOVÁ, Ilona - AČIĆ, Svetlana - BIURRUN, Idoia - BOCH, Steffen - BONARI, Gianmaria - CAMPOS, Juan Antonio - ČARNI, Andraž - CARRANZA, Maria Laura - CASELLA, Laura - CHIARUCCI, Alessandro - ČUŠTEREVSKA, Renata - DELBOSC, Pauline - DENGLER, Jürgen - FERNÁNDEZ-GONZÁLES, Federico - GÉGOUT, J.-C. - JANDT, Ute - JANSEN, Florian - JAŠKOVÁ, Anni - JIMÉNEZ-ALFARO, Borja - KUZEMKO, Anna - LEBEDEVA, Mariya - LENOIR, Jonathan - LYSENKO, Tatiana - MOESLUND, Jesper Erenskjold - PIELECH, Remigiusz - RUPRECHT, Eszter - ŠIBÍK, Jozef - ŠILC, Urban - ŠKVORC, Željko - SWACHA, Grzegorz - TATARENKO, Irina - VASSILEV, Kiril - WOHLGEMUTH, Thomas - YAMALOV, Sergei - CHYTRÝ, Milan. Mapping species richness of plant families in European vegetation. In *Journal of Vegetation Science*, 2021, vol. 32, no. 3, art. no. e13035. (2020: 2.685 - IF, Q1 - JCR, 1.100 - SJR, Q1 - SJR, karentované - CCC). (2021 - Current Contents). ISSN 1100-9233. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/jvs.13035>

MIKULA, KAROL - KOLLÁR, MICHAL - OŽVAT, ANETA A. - AMBROZ, MARTIN - ČAHOJOVÁ, LUCIA - JAROLÍMEK, IVAN - ŠIBÍK, JOZEF - ŠIBÍKOVÁ, MÁRIA. Natural Numerical Networks for Natura 2000 habitats exploration by satellite data. In *Applied Mathematical Modelling* 2021, vol., no., p. submitted. (published online arXiv:2108.04327 at <https://arxiv.org/abs/2108.04327>).

UHLÍŘOVÁ, JANA - ŠIBÍK, JOZEF. Variability and syntaxonomy of relict calcareous pine and larch woodlands in the Western Carpathians (Slovakia). In *Biologia*, 2022, vol. 77,

accepted, in press.

FRANKLIN, Scott B. - OLEJNICZAK, P. - SAMULAK, E. - ŠIBÍKOVÁ, Mária - BACIGÁL, Tomáš - NECHAJ, Juraj - ŠIBÍK, Jozef. Clonal plants in disturbed mountain forests: Heterogeneity enhances ramet integration. In *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2020, vol. 44, art. no. 125533. (2019: 2.540 - IF, Q2 - JCR, 1.200 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 1433-8319.

MIKULOVÁ, Katarína - JAROLÍMEK, Ivan - ŠIBÍK, Jozef - BACIGÁL, Tomáš - ŠIBÍKOVÁ, Mária**. Long-Term Changes of Softwood Floodplain Forest - Did the Disappearance of Wet Vegetation Accelerate the Invasion Process? In *Forests*, 2020, vol. 11, no. 11, art. no. 1218. (2019: 2.221 - IF, Q1 - JCR, 0.652 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 1999-4907.

MIKULOVÁ, Katarína - JAROLÍMEK, Ivan - BACIGÁL, Tomáš - HEGEDUŠOVÁ, Katarína - MÁJEKOVÁ, Jana - MEDVECKÁ, Jana - SLABEJOVÁ, Denisa - ŠIBÍK, Jozef - ŠKODOVÁ, Iveta - ZALIBEROVÁ, Mária & ŠIBÍKOVÁ, Mária. The Effect of Non-Native Black Pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold) Plantations on Environmental Conditions and Undergrowth Diversity (<https://www.mdpi.com/1999-4907/10/7/548>)

SVITKOVÁ, Ivana - SVITOK, Marek - PETRÍK, Anton - BERNÁTOVÁ, Dana - SENKO, Dušan - ŠIBÍK, Jozef. The fate of endangered rock sedge (*Carex rupestris*) in the Western Carpathians - the future perspective of an arctic-alpine species under climate change. In *Diversity*, 2019, vol. 11, no. 9, p. 172. <https://doi.org/10.3390/d11090172>

ŠIBÍKOVÁ, Mária - JAROLÍMEK, Ivan - HEGEDUŠOVÁ, Katarína - MÁJEKOVÁ, Jana - MIKULOVÁ, Katarína - SLABEJOVÁ, Denisa - ŠKODOVÁ, Iveta - ZALIBEROVÁ, Mária & MEDVECKÁ, Jana. Effect of planting alien *Robinia pseudoacacia* trees on homogenization of Central European forest vegetation

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971932604X>)

ŠIBÍK, JOZEF. Vybrané rastlinné spoločenstvá Babej hory nad hornou hranicou lesa. In *Acta Carpatica Occidentalis*, 2018, vol. 9, no. 1, p. 27-32.

VALACHOVIČ, MILAN - KLIMENT, JÁN - HEGEDUŠOVÁ VANTAROVÁ, KATARÍNA - BERNÁTOVÁ, DANA - HRIVNÁK, RICHARD - JAROLÍMEK, IVAN - KANKA, ROBERT - KOLLÁR, JOZEF - MÁLIŠ, FRANTIŠEK - ROLEČEK, JAN - SLEZÁK, MICHAL - ŠIBÍK, JOZEF - ŠIBÍKOVÁ, MÁRIA - UHLÍŘOVÁ, JANA - UJHÁZY, KAROL - UJHÁZYOVÁ, MARIANA - ŽARNOVIČAN, HUBERT (2021) Rastlinné spoločenstvá Slovenska. 6.

Vegetácia lesov a krovín, Veda, Bratislava. V tlači

ŠIBÍKOVÁ, Mária - KOLLÁR, Michal - MIKULA, Karol - HORÁK, Otakar. Ako matematika chráni životné prostredie. Slovenskí vedci vyvinuli softvér na mapovanie chránených biotopov : rozhovor. In *Denník N*, 25. júla 2020, roč. 6. ISSN 1339-844X. Dostupné na internete: <https://dennikn.sk/1976070/ako-matematika-chrani-zivotne-prostredie-slovenski-vedci-vyvinuli-softver-na-mapovanie-chranenych-biotopov/>

ŠIBÍKOVÁ, Mária - KOLLÁR, Michal - MIKULA, Karol - HORÁK, Otakar. Softvérom mapujú chránené biotopy : rozhovor. In *Denník N*, 28. júla 2020, roč. 6, s. 11. ISSN 1339-844X.

Uplatnenie výsledkov projektu

Novovytvorený softvér implementujúci výsledky vyvíjaných metód umožňuje presne lokalizovať a klasifikovať (nielen) biotopy Natura 2000 a spojiť monitorovať ich dynamiku s možnosťou okamžitej detekcie náhlych zmien. Na Slovensku sa do sústavy Natura 2000 radí 642 území európskeho významu a biotopy európskeho významu sa vyskytujú aj mimo nich. Nie je v možnostiach štátu, aby sa všetky biotopy zaznačili na mape a pravidelne kontrolovali, pretože práca v teréne je fyzicky náročná a zdĺhavá a často je ťažké presne určiť hranice biotopu. Softvér NaturaSat môže pomalé a chybové mapovanie biotopov v teréne nahradiť presnou a rýchlou prácou algoritmov. Podporuje použitie multispektrálnych údajov Sentinel-2 s rôznymi databázami vegetácie v prostredí užívateľsky prispôbenom, napríklad pre vedcov v oblasti vegetácie, terénnych odborníkov a pracovníkov ochrany prírody.

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

Vedci z Botanického ústavu Centra biológie rastlín a biodiverzity SAV, ktorí sa dlhodobo venujú výskumu vegetácie, a matematici zo Stavebnej fakulty STU, ktorí majú dlhoročné skúsenosti so spracovaním obrazu, spojili poznatky z matematiky, počítačového modelovania, botaniky a dáta z družice Sentinel-2 Európskej vesmírnej agentúry, aby

vytvorili metódy implementované do softvéru nazvaného NaturaSat na mapovanie biotopov Natura 2000. Publikovaná kľúčová štúdia predstavuje uvedenie softvéru NaturaSat, využívajúceho výsledky riešenia projektu, popisuje jeho nové výkonné nástroje, akými sú implementované poloautomatické a automatické segmentačné metódy a prirodzené numerické siete, spolu s overenými príkladmi porovnávajúcimi terénne prieskumy a výstupy softvéru. Softvér je dostatočne robustný na to, aby výskumníci a zainteresované strany v teréne mohli presne vymedziť hranice cieľových jednotiek, dokonca aj na úrovni biotopov, ako aj automaticky identifikovať nové údaje o ich výskyte. Algoritmus hlbokého učenia, vyvinutý na klasifikáciu biotopov v rámci softvéru NaturaSat, možno použiť aj pri rôznych iných výskumných úlohách alebo v postupoch ochrany prírody, ako je identifikácia ekosystémových služieb a ochrannárskej hodnoty. Presné mapy biotopov získané v rámci projektu môžu zlepšiť mnohé ďalšie štúdie vegetačnej a krajinnej ekológie pri ktorých je nevyhnutné spracovanie obrazu alebo je ťažké monitorovať vzdialené a ťažko prístupné lokality.

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

Scientists from the Institute of Botany of the Plant Science and Biodiversity Center SAS, together with mathematicians from the Faculty of Civil Engineering STU, have combined knowledge from many years of experiences in satellite image processing, computer modeling, and long term vegetation research, to develop the NaturaSat software for habitat exploring. The newly developed software makes it possible to accurately locate and classify Natura 2000 habitats and combine their dynamics with the possibility of immediate detection of sudden changes. In Slovakia, 642 areas of European importance are included in the Natura 2000 network, and habitats of European importance also occur outside them. It is impossible for field researchers to monitor all habitats and check them regularly, as fieldwork is physically demanding and time-consuming. It is often difficult to detect habitat boundaries in hard accessible terrain. NaturaSat software can replace field habitat mapping with accurate and fast algorithm work. It supports the use of Sentinel-2 multispectral data together with various vegetation databases in a customized environment, such as vegetation scientists, field experts, and conservationists. The published study introduces NaturaSat software, powerful new tools such as semi-automatic and automatic segmentation methods, and natural numerical networks, along with validated examples comparing software results and field surveys outputs. The software is robust enough for researchers, decision makers and stakeholders to identify target unit boundaries, even at habitat level, as well as to identify new habitat occurrence automatically. The deep-learning algorithm developed for the classification of habitats within NaturaSat software can also be used for other various research tasks or nature conservation practices, such as the identification of ecosystem services and conservation value. Accurate habitat maps obtained from the project can improve many other studies of phytosociology and landscape ecology.