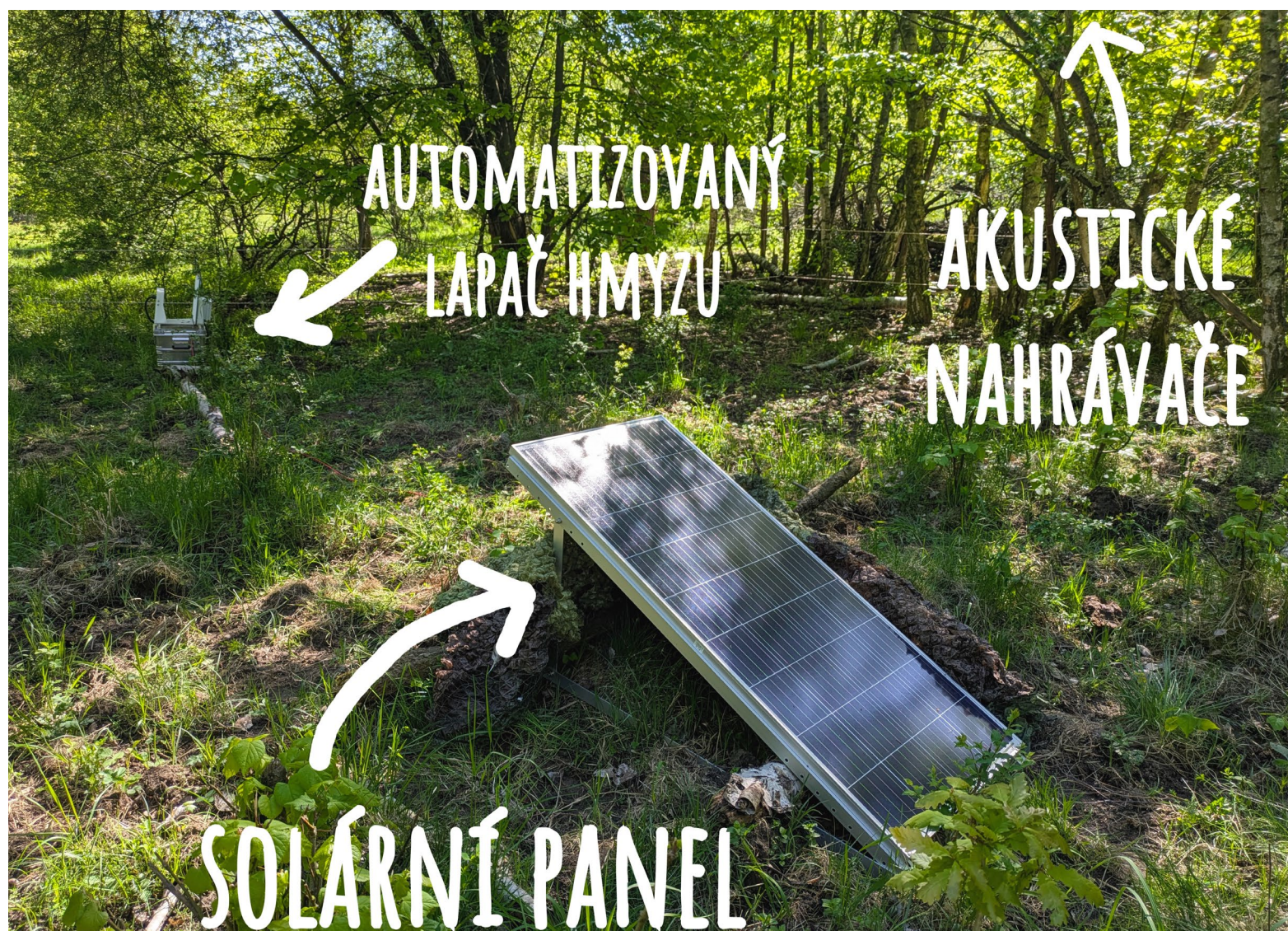


Nové metody monitoringu biodiverzity na AOPK ČR

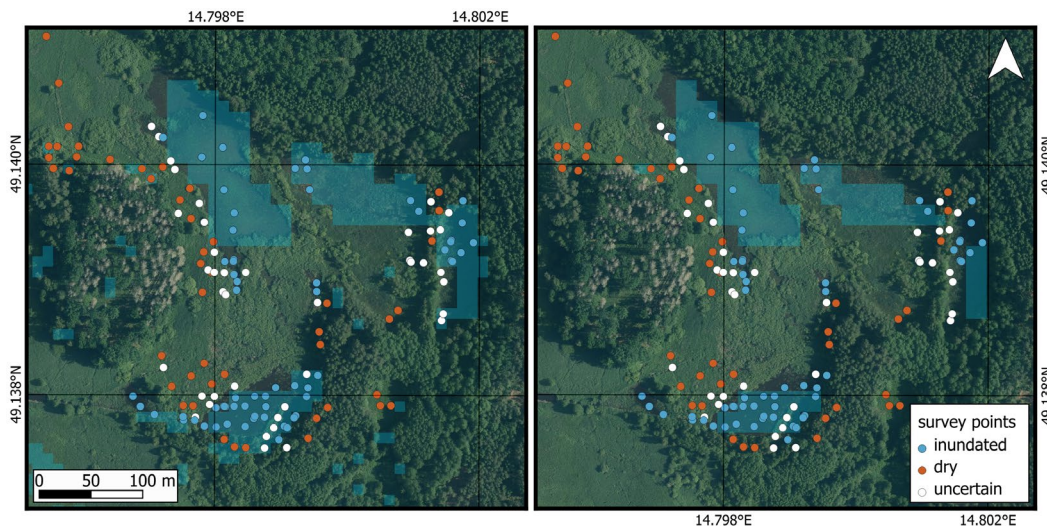
Jonáš Gaigr a kol.

Dlouhé časové řady spolehlivých dat jako výsledky systematického monitoringu jsou pro efektivní ochranu přírody naprosto klíčové. Programy sledování stavu biodiverzity napříč Evropou zůstávají roztržité

a jsou metodicky nejednotné, s řadou taxonomických i časoprostorových mezer, což ztěžuje jejich praktické využití. Častým faktem je také pozdní aplikace inovativních přístupů v praxi.



Obr. 1: Schéma zapojení automatické stanice monitoringu biodiverzity. Zatímco AMI systém sledující noční hmyz je díky solárnímu panelu energeticky nezávislý a nevyžaduje časté návštěvy, baterie v akustických nahrávačích je třeba jednou měsíčně vyměnit. Autor Jonáš Gaigr



Obr. 2: Habitat Pilot: Ukázka výsledků modelů zaplavení (modré plochy) ve studijní oblasti PP Kramářka.
Autor Vít Ježek

Právě překlenutí těchto nedostatků si kladou za cíl pilotní projekty (tzv. piloty) evropského partnerství Biodiversa+. Nejedná se o klasický akademický výzkum, ale o praktické testování moderních technologií, protokolů a modelů spolupráce napříč státy. Tyto iniciativy, pokrývající vše od sledování invazních nepůvodních druhů přes půdní biologii až po stanice s automatickými senzory, jsou příspěvkem k vytvoření harmonizované a propojené celoevropské sítě pro monitoring biodiverzity. AOPK ČR se do většiny pilotů aktivně zapojila.

Cílem těchto pilotů je transformovat výsledky vědeckého výzkumu přímo do každodenní praxe agentur, které sledují stav biodiverzity. Nejedná se o izolované akademické projekty, ale o ad hoc dodání funkčních postupů, přičemž pokročilé zpracování dat je často outsourcováno specializovaným třetím stranám.

Správa monitoringu

Pilot realizovaný v roce 2023 měl za cíl zmapovat způsob správy a řízení (governance) národních a regionálních systémů monitoringu biodiverzity a posoudit jejich připravenost na efektivní mezinárodní spolupráci. Součástí hodnocení bylo také porovnání přístupů ke správě dat, jejich interoperabilitě a využívání společných datových standardů.

Každá zapojená země připravila národní nebo regionální zprávu popisující současný stav organizace monitoringu biodiverzity. Tyto zprávy hodnotily: institucionální uspořádání

monitoringu, silné a slabé stránky stávajících systémů, způsob správy a sdílení dat, využívání datových a metadatových standardů a potřeby dalšího rozvoje.

Jedním z hlavních témat byla schopnost jednotlivých systémů vzájemně sdílet data. Pilot hodnotil využívání mezinárodně uznávaných standardů, například Darwin Core (DwC) pro popis biologických dat a Ecological Metadata Language (EML) pro správu metadat. Přestože většina zemí tyto standardy alespoň částečně využívá, jejich implementace není jednotná. Rozdíly přetrvávají zejména ve způsobu ukládání dat, jejich zpřístupňování i propojení jednotlivých databází.

Srovnání deseti evropských zemí ukázalo značnou rozmanitost organizačních modelů monitoringu i přístupů ke správě dat. Přibližně polovina zapojených států disponuje národními koordinačními centry nebo obdobnými institucemi, které propojují jednotlivé monitorovací programy.

Na základě výsledků pilot doporučuje vytvářet obdobná koordinační centra ve všech evropských zemích. Ta by měla usnadnit sdílení dat, koordinaci monitorovacích aktivit i napojení na připravované Evropské koordinační centrum pro pozorování biodiverzity (European Biodiversity Observation Coordination Centre – EBOCC). Zkušenosti získané během pilotního projektu budou využity při budování společného evropského rámce monitoringu biodiverzity, který je jedním z hlavních cílů iniciativy Biodiversa+.

Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) se v ochraně přírody prosazuje čím dál častěji. Definuje se jako metoda, která umožňuje získávat informace o povrchu Země bez fyzického kontaktu s ním, například prostřednictvím družic na oběžné dráze či dronů. Družicová data z misí, jako je Copernicus, jsou dnes často dostupná úplně zdarma a drony jsou pro organizace finančně stále dostupnější. Otevírá se tak nová možnost, jak podpořit stávající metody monitoringu, a to levně a opakovatelně.

Na tento potenciál zareagoval nedávno ukončený Habitat pilot (Wiman a kol. 2025). Ten byl zaměřen na testování metod DPZ ke sledování mokřadních a travních společenstev napříč Evropou. Ve spolupráci 11 partnerských organizací z různých zemí EU bylo v případě mokřadů mapováno zaplavení a analyzovány jeho trendy v časových řadách (Obr. 2). U travních ekosystémů byla pozornost věnována primárně validaci dílčích produktů z partnerského projektu EU Grassland Watch či testování metod automatické segmentace území. Cílem projektu bylo sestavení souboru doporučení pro využití těchto metod napříč Evropou. Podle našich závěrů nelze při harmonizovaném monitoringu spoléhat na jednu univerzální metodu: budoucí systém by měl být modulární, kombinovat různé DPZ přístupy a in situ data a být postupně ověřován napříč státy i typy stanovišť. Konkrétní doporučení zahrnují zejména společné validační protokoly, centrální datovou infrastrukturu a předem promyšlené napojení výstupů na reporting podle směrnice o stanovištích a nařízení o obnově přírody.

Volným pokračováním je nově zahájený SenseForest pilot, jehož posláním je otestovat, jak mohou metody DPZ podpořit monitoring lesních stanovišť. V rámci chystaných aktivit je cíleno na identifikaci metod vhodných pro harmonizované sledování klíčových indikátorů stavu, jako jsou přítomnost mrtvého dřeva, vertikální struktura či prostorová heterogenita, prověření jejich přenositelnosti napříč evropskými státy a definování podmínek nutných pro jejich zavedení do praxe, včetně určení limitů současných technologií.

Senzory a automatizace

Nepůvodní a invazní druhy patří mezi nejvýznamnější příčiny úbytku biodiverzity na světě. Jejich včasné odhalení a monitoring představují

jednu z klíčových podmínek úspěšné ochrany přírody. Právě na tuto problematiku se zaměřil IAS (Invasive Alien Species) pilot, jehož cílem bylo ověřit možnosti využití moderních technologií a umělé inteligence při monitoringu invazních druhů rostlin a nočního hmyzu.

Projekt testoval dva inovativní přístupy. Prvním z nich je systém CamAlien, kamerové zařízení umístěné na vozidle, které během jízdy automaticky pořizuje snímky okolní vegetace. Technologie umožňuje kontinuální fotografování i při rychlostech dosahujících až 130 km/h, což otevírá nové možnosti pro efektivní mapování invazních rostlin podél silniční sítě. V průběhu vegetačních sezon od roku 2023 bylo v České republice pořízeno přibližně deset hodin souvislého záznamu za rok, který nyní slouží k dalšímu vývoji metod automatické identifikace druhů.

Druhým testovaným nástrojem byly automatické pasti na noční hmyz (systém AMI). Na rozdíl od často používaných světelných lapačů nedochází při jejich využití k usmrcování sledovaných jedinců. Pasti pořizují fotografie hmyzu přilákaného zařízením LepiLED viditelným světlem a ultrafialovým zářením a získaná data jsou následně interpretována pomocí modelů založených na metodách hlubokého učení (Svenning a kol. 2026). Tyto modely jsou schopny automaticky rozpoznávat jednotlivé druhy, včetně potenciálně invazních zástupců nočního hmyzu.

Významnou výhodou projektu je jeho mezinárodní rozměr a zapojení výzkumníků i praktiků z ochrannářských agentur. Na zpracování dat spolupracují přední evropské univerzity a technologické organizace, například Aarhuská univerzita, platforma PI@ntNet nebo britské centrum pro ekologii a hydrologii (UKCEH). Díky tomu mohou být rozsáhlé datové soubory analyzovány pomocí pokročilých algoritmů umělé inteligence bez nutnosti budování národních lokálních kapacit. Pilot tak ukazuje, že moderní technologie mohou významně posílit možnosti včasné detekce invazních druhů a přispět k efektivnější ochraně biodiverzity nejen v České republice, ale i v celoevropském měřítku (Hoye a kol. 2025).

Systém automatizovaného monitoringu hmyzu využíval i pilot označovaný zkratkou ABMS (z anglického „Automated biodiversity monitoring stations“). Tyto stanice kombinují AMI systémy s akustickými nahrávací sledujícími výskyt ptáků a letounů (Obr. 1). Během let 2024 a 2025 tato mezinárodní síť nasadila přibližně 200 senzorů



Obr. 3: Malé tůňe jsou ve střední Evropě důležitým biotopem řady akvatických a semiakvatických skupin organismů, proto se na ně zaměřuje pilot BiodivPond. Zároveň na mnoha místech představují efektivní přírodu blízké řešení problémů způsobených změnami klimatu i vodního režimu. Na fotce tůňe s výskytem čolka velkého (*Triturus cristatus*) a kuňky žltobřiché (*Bombina variegata*) v EVL Stříbro – vojenské cvičiště. Foto Jonáš Gaigr

na 70 lokalitách ve 12 státech EU. Projekt vyprodukoval přes 200 000 časosběrných fotografií hmyzu a miliony snímků z fotopastí za více než 8 000 odchyťových nocí. Akustické nahrávky zaznamenaly celkem 5,43 roku nahrávek ptáků (přes 47 500 hodin) a 1,58 roku nahrávek ultrazvuků netopýrů (přes 13 800 hodin). Surová data centralizovaně zpracovávala Aarhuská univerzita pomocí open-source AI modelů BirdNet a BatDetect2, které vygenerovaly přes milion záznamů. Klíčovou složkou byla expertní validace vybraného vzorku detekcí (8 690 u ptáků a 3 048 u netopýrů) pro kalibraci spolehlivosti AI. Podrobnosti shrnuje zpráva ABMS Pilot report (Alison a kol. 2025).

Molekulární metody

Klasické monitorovací metody, založené na přímém pozorování nebo odchytu organismů, bývají často časově i finančně náročné a vyžadují špičkovou taxonomickou expertizu. Významný posun v tomto ohledu představují moderní molekulární přístupy, zejména metabarcoding environmentální DNA (eDNA) a organismální DNA. Tato technologie umožňuje ze vzorku

prostředí či ze hromadného sběru bezobratlých extrahovat DNA a pomocí masivního paralelního sekvenování (NGS) současně identifikovat celá společenstva přítomných organismů na základě porovnání s referenčními databázemi.

V rámci iniciativy Biodiversa+ již v předchozím období proběhly dva piloty využívající eDNA (bez účasti AOPK ČR). EURockFish se zaměřil na monitoring společenstev ryb skalnatých pobřeží evropských moří, kde eDNA představuje šetnou alternativu k destruktivním metodám odlovu. Soil Pilot cílí na skrytou biodiverzitu půdních organismů, kde molekulární metody umožňují plošné mapování půdních hub, bakterií a makrofauny, jež jsou tradičními metodami obtížně postižitelné.

AOPK ČR působí v rámci iniciativy Biodiversa+ jako hlavní koordinátor pilotního projektu BiodivPond, jehož cílem je integrovat sledování biodiverzity malých tůň o rozloze od 1 m² do 1 ha do harmonizované celoevropské monitorovací sítě. Tento projekt reaguje na skutečnost, že malé tůňe jsou v unijních i národních strategiích často opomíjeny, ačkoli hostí vysoký podíl sladkovodní biodiverzity. Hlavním metodickým přínosem



Obr. 4: Malaiseho past je pasivní stanový lapač sloužící k efektivnímu odchytu létajícího hmyzu (především dvoukřídlých a blanokřídlých). Hmyz naráží do středové přepážky, letí vzhůru a padá do sběrné lahve s konzervačním médiem.
Foto Jonáš Gaigr



Obr. 5: Velkokapacitní mrazák na terénní stanici na švédském ostrově Öland. Obrovské množství entomologických sběrů, jejichž tradiční, časově extrémně náročná morfologická identifikace je dnes zásadně usnadněna metodou DNA metabarcodingu.
Foto Jonáš Gaigr

je porovnání výsledků moderních technologií a klasických přístupů. Předmětem analýz bude nejen složení společenstev, ale i časová a ekonomická efektivita pro potřeby ochranné praxe. Sledování probíhá ve dvou fázích, které kombinují neinvazivní nástroje se standardními průzkumy. V první fázi partneři letos intenzivně monitorují 60 tůní napříč Evropou a Izraelem. Odebrané vzorky budou analyzovány pomocí eDNA metabarcodingu pro detekci ryb, obojživelníků a vodních bezobratlých. Vodní data doplňuje pasivní akustický monitoring pomocí nahrávačů, které po celou vegetační sezonu zaznamenávají aktivitu letounů a žab. Nahrávky vyhodnotí automatické bioakustické modely. Paralelně prováděné klasické průzkumy, jako je prolovení litorálu sítkou a odchyt do deštníkových pastí, slouží jako referenční standard pro validaci úspěšnosti molekulární detekce. Zvláštní pozornost je věnována testování eDNA pro semikvantitativní odhad populační hustoty velkých čolků rodu *Triturus*, kteří představují důležitý deštníkový druh evropské ochrany přírody. Všechna druhová data jsou doplňována měřením lokálních parametrů prostředí.

V roce 2027 se monitoring rozšíří na dalších 500 tůní, kde sběr vzorků vody pro eDNA zajistí proškolené nevládní organizace a dobrovolníci podle zjednodušeného protokolu. Klíčovým

výstupem projektu BiodivPond je vytvoření ucelené technické a metodické infrastruktury. Výsledná komplexní hodnotící zpráva přinese srovnání nákladovosti i limitů eDNA a bioakustických metod a doporučení pro jejich rutinní nasazení v ochraně přírody. Pro programy zapojení veřejnosti vznikne praktická metodická příručka. Pilot zajistí otevřenou datovou infrastrukturu v podobě veřejných digitálních úložišť pro genomická a akustická data včetně metadat. Všechny výsledky budou dostupné v národních i mezinárodních databázích včetně publikace v celosvětové síti GBIF (tématu bude věnován samostatný článek).

Dalším pilotním projektem v rámci Biodiversa+ je MetaBug, který reaguje na celoevropský pokles diverzity a biomasy hmyzu. Jeho hlavním cílem je překonat roztříštěnost metodik a vytvořit jednotný, standardizovaný systém pro sledování hmyzích společenstev pomocí Malaiseho pastí (**Obr. 4**) a následné analýzy metodou DNA metabarcodingu. MetaBug přinese ucelenou řadu praktických nástrojů: standardizovaný design Malaiseho pasti, metodické materiály pro terénní postupy, dokumentované laboratorní a bioinformatické protokoly, publikovaný ucelený soubor dat a závěrečnou zprávu s doporučeními pro harmonizovaný monitoring hmyzu v Evropě. Tyto výstupy společně pomohou

rozšířit monitoring hmyzu i mimo dosud dobře prostudované skupiny a podpoří komplexnější reporting o stavu biologické rozmanitosti i efektivnější implementaci legislativních opatření na ochranu přírody. Zájemce o hlubší vzhled do problematiky genomiky v ochraně hmyzu odkazujeme na článek Klečkové a kol. (2024).

Důležitý je rozvoj datové infrastruktury

Dosavadní výsledky pilotů přinášejí významné podněty i konkrétní doporučení pro efektivní přenos moderních metod do praxe AOPK ČR. S nasazením těchto technologií však ruku v ruce rostou zároveň i nároky na datová úložiště a výpočetní kapacity, které musí pojmout obrovské objemy dat. Pokračování těchto aktivit a rozvoj datové infrastruktury jsou klíčové pro podrobnou znalost skutečného stavu biodiverzity od lokální po globální úroveň. ■

Kolektiv autorů: Jonáš Gaigr, Vít Ježek, Dan Leština, Zdeněk Račanský, Martin Vojík, Karel Chobot

Seznam literatury najdete na www.casopis.ochranaprirody.cz