

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Ing. Vlasáková Petra

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



Česká zemědělská
univerzita v Praze

METODY MONITORINGU FAUNY A FLÓRY SE
ZAMĚŘENÍM NA HODNOCENÍ VLIVU STAVEB
NA PŘÍRODU A KRAJINU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Keken, Ph.D.

Bakalant: Ing. Petra Vlasáková

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ing. Petra Vlasáková

Aplikovaná ekologie

Název práce

Metody monitoringu fauny a flóry se zaměřením na hodnocení vlivu staveb na přírodu a krajinu

Název anglicky

Fauna and flora monitoring methods with a focus on the construction and development-impact evaluation

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je rešerše moderních technologií monitoringu bioty ve světě a zhodnocení jejich možné aplikace v rámci hodnocení vlivu stavebních záměrů na přírodu a krajinu v ČR. Získané poznatky budou srovnány se současnou praxí v ČR.

Metodika

Dle Metodických pokynů pro zpracování BP na FŽP se jedná o typ práce "literární rešerše". V rámci bakalářské práce je provedena rešerše vědeckých článků věnujících se nejnovějším metodám monitoringu fauny a flóry ve světě. Dále jsou mapovány metody monitoringu a terénních šetření využívaných při hodnocení vlivů stavebních záměrů na přírodu a krajinu ČR. Na závěr jsou srovnány a diskutovány možnosti aplikace moderních metod do hodnotící praxe ČR.

Doporučený rozsah práce

cca 40 stran textu a přílohy

Klíčová slova

Biologický průzkum, monitoring fauny, monitoring flory, hodnocení vlivu zásahu na přírodu a krajinu, EIA

Doporučené zdroje informací

- Bendik N. F., Morrison T. A., Gluesenkamp A. G., Sanders M. S., O'Donnell L. J., 2013: Computer-Assisted Photo Identification Outperforms Visible Implant Elastomers in an Endangered Salamander, *Eurycea tonkawae*. PLOS ONE 8 (3): e59424.
- Bolger D. T., Morrison T. A., Vance B., Lee D., Farid H., 2012: A computer-assisted system for photographic mark-recapture analysis. *British Ecological Society Volume 3, Issue 5*. P. 813-822.
- Goëau H, Joly A, Bonnet P, Lasseck M, Šulc M, Hang ST. Deep learning for plant identification: how the web can compete with human experts. *Biodivers Inf Sci Stand*. 2018;2:25637.
- Metody studia ekosystémů, Bejček V., Šťastný K. a kol. Praha 2001
- Monitoring a sběr dat – projekty a metodiky, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2020
- Romiti F., Bissattini A. M., Buono V., Cifarelli C., Rocca F. D., Eniang E. A., Akani G. C., Luiselli L., Superti V., Carpaneto G. M., Vignolia L., 2017: Photographic identification method (PIM) using natural body marks: A simple tool to make a long story short. *Zoologischer Anzeiger Volume 266*, P. 136-147.
- Rzanny M., Mäder P., Deggelmann A., Chen M., Wäldchen J., 2019: Flowers, leaves or both? How to obtain suitable images for automated plant identification. *Plant Methods 15*, číslo článku 77.
- Wäldchen J. a Mäder P., 2018: Machine learning for image based species identification. *Methods in Ecology and Evolution Volume 9, Issue 11*, P. 2216-2225.
- Wäldchen J., Rzanny M., Seeland M., Mäder P., 2018: Automated plant species identification—Trends and future directions. *PLOS Computational Biology 14(4)*: e1005993.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Keken, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2023

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Metody monitoringu fauny a flóry se zaměřením na hodnocení vlivu staveb na přírodu a krajinu vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 14. 2. 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Olga Ben', is located in the bottom right corner of the page.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá moderními metodami monitoringu fauny a flóry aplikovanými ve světě a jejich komparací s metodami využívanými v tuzemsku při provádění hodnocení vlivu záměrů na přírodu a krajinu.

Byla provedena rešerše článků dostupných ve vědeckých citačních databázích. Výstupem byly tři oblasti, v rámci kterých jsou inovovány tradiční postupy monitoringu bioty. Jednalo se o automatickou identifikaci zvuku a obrazu pomocí hlubokého učení, eDNA metabarcoding a využití bezpilotních zařízení. Byly zhodnoceny výhody a nevýhody těchto metod a následně byla provedena komparace s monitorovacími metodami aplikovanými při hodnocení vlivu záměrů na přírodu a krajinu v ČR. Metodiky českých terénních šetření byly čerpány z dokumentů dostupných v Informačním systému EIA spravovaným Českou informační agenturou životního prostředí.

Z komparace vyplynulo, že ze zkoumaných metod našel největší uplatnění detektoring netopýrů, který byl doprovázen příslušným programem pro automatickou identifikaci druhu. Dále byla využívána nahrávací zařízení pro akustický monitoring ptáků, obojživelníků a hmyzu. K identifikaci druhů však, dle dostupných informací, docházelo manuálně. Savci byly u některých záměrů a v rámci monitoringu AOPK ČR sledováni pomocí fotopastí. Vzhledem k úspoře času, financí a dalším výhodám moderních metod by mohly být tradiční metody monitoringu nadále doplňovány o některé technologické inovace.

Klíčová slova:

automatická identifikace obrazu, automatická identifikace zvuku, bezpilotní zařízení, eDNA metabarcoding, hodnocení vlivu staveb na životní prostředí, biologický průzkum, terénní šetření

Abstract

The Bachelor thesis studies modern monitoring methods of fauna and flora applied in the world and compare them to methods used in the Czech Republic when evaluating the impact of urbanisation and constructions on nature and the landscape.

Scientific articles available in citation databases were searched. The output of the research was a set of methods that come from three different technological areas. These involved automated image and sound identification using deep learning, eDNA metabarcoding and the use of unmanned aerial vehicles. The advantages and disadvantages of these methods were evaluated and then a comparison was made with the monitoring methods applied as part of the assessment of the impact of projects on nature and the landscape in the Czech Republic. Czech field research methodologies were drawn from documents available in the EIA Information System managed by the Czech Environmental Information Agency.

Bat detecting, which was accompanied by an appropriate program for automatic identification of the species, found the greatest application among the investigated methods. Recording devices for acoustic monitoring of birds, amphibians and insects were also used. However, according to available information, species were identified manually. Mammals were monitored using camera traps in some projects. Due to the saving of time, money and other advantages of modern methods, traditional monitoring methods could continue to be supplemented with some technological innovations.

Keywords:

automated image and sound recognition, unmanned aerial vehicles, eDNA metabarcoding, project impact evaluation, biological research, field research

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Literární rešerše	3
3.1 Moderní metody monitoringu fauny a flory ve světě	3
3.1.1 Automatické rozpoznávání obrazu.....	3
3.1.2 Automatické rozpoznávání zvuku	8
3.1.3 DNA metabarcoding	10
3.1.4 Bezpilotní letadla neboli drony	13
3.2 Výhody a nevýhody metod	18
4. Metodika.....	21
5. Výsledné zhodnocení	26
6. Diskuse.....	28
7. Závěr a přínos práce.....	31
8. Přehled literatury a použitých zdrojů	33
9. Přílohy	43

1. Úvod

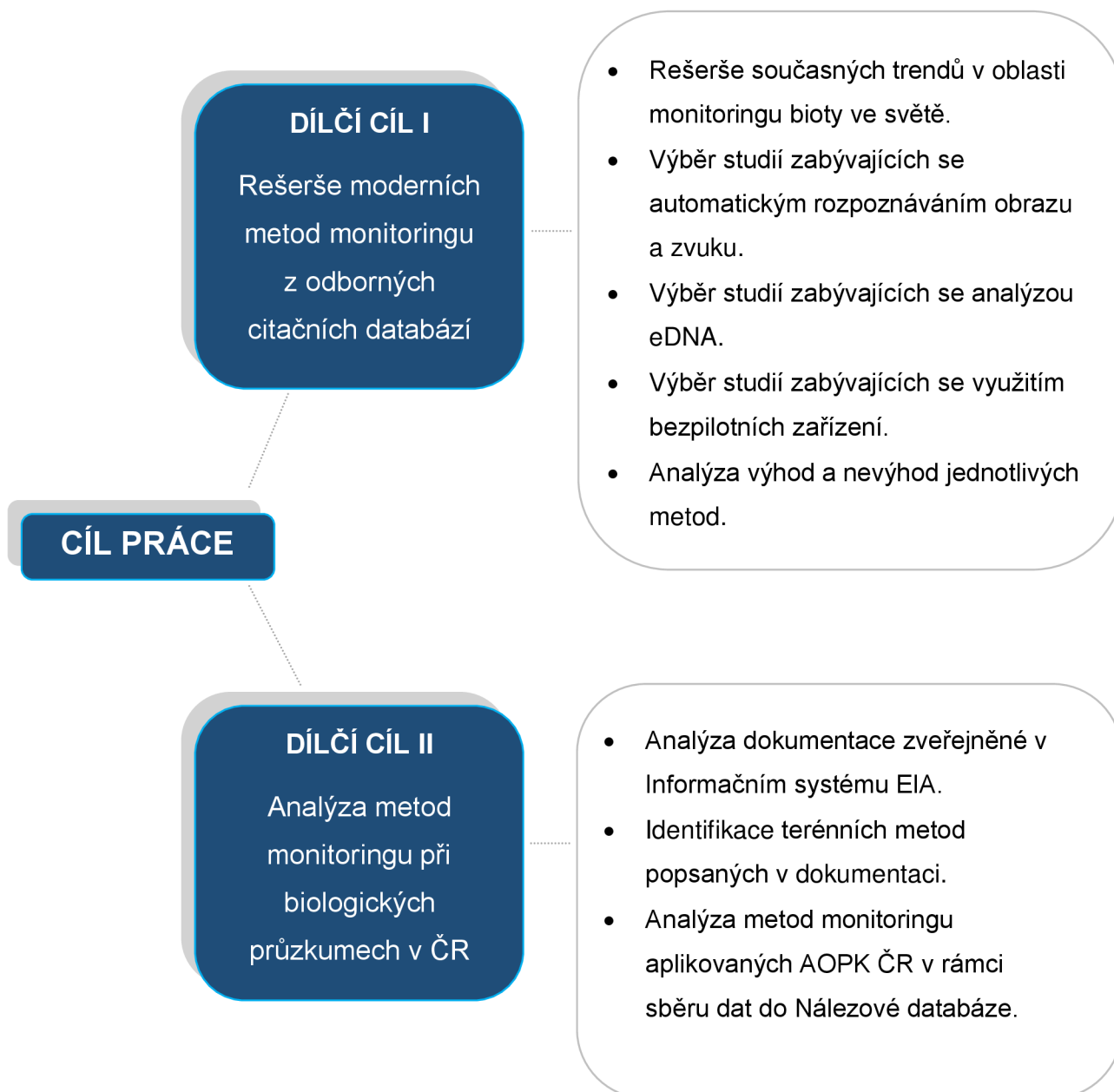
Lidská činnost na počátku třetího tisíciletí ovlivňuje ekosystémy víc než kdy dříve. V průměru je ohroženo 25 % druhů zvířat a rostlin, což znamená, že asi 1 milion druhů čelí vyhynutí. Biodiverzita zahrnuje rozmanitost a početnost druhů, jejich genů a ekosystémů a je základem pro ekosystémové služby, které jsou nezbytné pro lidské zdraví a pohodu (IPBES, 2019).

Společnou snahou na úrovni Evropské unie je územní a druhová ochrana, a to nejen ve zvláště chráněných územích, ale také ve volné krajině. V červnu roku 2022 zveřejněný návrh nařízení Evropského parlamentu a Rady o obnově přírody se zaměřuje na široce vymezené skupiny ekosystémů zemědělské krajiny, měst, lesů, vodních toků či na stanoviště významná pro opylovače (Pešout a Šíma, 2022).

Abychom porozuměli ztrátě biodiverzity a mohli jí zamezit, musíme být schopni ji monitorovat v globálním časoprostorovém měřítku (Compton a kol., 2020). Správná identifikace druhů je základem pro studium biodiverzity, monitoring populací nebo sledování klimatické změny (Sugai a kol., 2019). Stále tak roste důležitost finančně dostupných, dobře aplikovatelných monitorovacích technik. Tradiční metody, jako jsou ruční počítání nebo odchyt do pastí, jsou limitovány svou náročností na zdroje a invazivní povahou (Waldchen a Mäder, 2018). Je potřeba tyto metody doplnit o nové technologie v rámci vědeckého pokroku a věnovat pozornost zásadním stresorům jako je klimatická změna a degradace přírodních stanovišť (Friebert a kol., 2011). Práce v terénu by se díky moderním metodám monitoringu mohla zrychlit, zlevnit a sbíraná data by se mohla stát lépe globálně porovnatelná. Kvalitní monitoring je základem pro navazující rozhodovací procesy (Valentini a kol., 2016).

2. Cíle práce

Cílem práce je zpracování rešerše moderních terénních metod monitoringu bioty aplikovaných ve světě a komparace s metodikami biologických průzkumů aplikovaných při posuzování vlivu záměrů na přírodu a krajinu v ČR.



Obrázek 1: Schéma cíle a dílčích cílů bakalářské práce.

3. Literární rešerše

3.1 Moderní metody monitoringu fauny a flory ve světě

3.1.1 Automatické rozpoznávání obrazu

Díky prudkému rozvoji informačních technologií a dostupnosti chytrých telefonů dochází k nástupu nástrojů umožňujících automatickou identifikaci druhů na základě fotografií. Tyto technologie využívají poznatků strojového, hlubokého učení a počítačového vidění. V případě užití kvalitních a dobře strukturovaných sad digitálních fotografií je možné určit druh bylin s přesností až 97 % (Rzanny a kol., 2019).

Strojové učení je jednou z forem umělé inteligence, která dokáže řešit úkoly pomocí učení z předchozích příkladů (trénování), aniž je počítač na tyto úkoly explicitně naprogramován (Lacko, 2019). Strojové učení může být s učitelem (supervised learning) a bez učitele (unsupervised learning). V případě učení s učitelem je pro množinu vstupních údajů definován správný výstup. Autor článku Ľuboslav Lacko v internetovém magazínu CIO Business World přirovnává **supervised learning** k vyučování ve škole, kde si žáci na matematických příkladech nebo gramatických cvičeních osvojí osvědčené postupy. Nevýhodou je nízká flexibilita a vysoké náklady. Při **unsupervised learning** neboli učení bez učitele není ke vstupním datům znám výstup a zda existuje nějaké řešení. Tato metoda se aplikuje například v automatizovaných zařízeních, kde je požadavek rychlé reakce na nepředvídatelnou situaci. Velmi často se používá kombinace obou metod, takzvaný **semisupervised learning**. Část vstupních dat je k dispozici i se známým výstupem, ale další data takový výstup známý nemají. Analytické algoritmy se „trénují“ na cvičné množině dat, kde jsou známé výstupy. Například algoritmus na podporu rozhodování, zda žadateli schválit, nebo neschválit bankovní úvěr, je natrénovaný na desítkách či stovkách tisíc reálných záznamů z minulosti, kde je znám i výsledek, zda klient půjčku splatil, nebo nesplatil (Lacko, 2019).

Hluboké učení je koncept strojového učení založený na umělých neurálních sítích. Umělé neurální sítě jsou tvořeny mnoha vrstvami připojených uzlů. V případě rozpoznávání fotografií, videí či zvuků se jedná o konvoluční neurální sítě (**anglicky convolutional neural network, CNN**). V mnoha aplikacích je hluboké učení účinnější než mělké strojové učení (Janiesch a kol., 2021).

Rozpoznávání rostlin pomocí mobilních aplikací

Rozpoznávání rostlin je kromě botaniků a ekologů důležité i pro krajinné architekty, lesníky, farmáře či biology. Zájem nechybí ani ze strany laické veřejnosti, což se odráží v rostoucí poptávce po mobilních aplikacích umožňujících určení rostliny na základě jedné či více fotografií (Rzanny a kol., 2019). V oblasti určování rostlin je potřeba vyřešit problémy, které se týkají především následujících skutečností: existence obrovského množství druhů rostlin na planetě, rozdílná morfologie jedinců v rámci jednoho druhu u některých rostlin, podobnost mezi různými druhy a problematika kvality fotografického materiálu využívaného umělou inteligencí (Wäldchen a kol., 2018). V současnosti se nicméně považuje dobře trénovaný systém za srovnatelný se schopnostmi experta, pokud jde o určování rostlin z fotografií (Goëau, 2018).

Algoritmy hlubokého učení vyžadují velké množství kvalitně strukturovaných obrázků, aby mohly být rostliny správně určeny. Na tomto místě popsána studie (Rzanny a kol., 2019) se zabývala otázkou, co by měl obsahovat obrazový materiál využívaný příslušnými algoritmy. V rámci studie byl stanoven systém pořizování fotografií květnatých rostlin, kdy každá rostlina byla vyfocena z pěti perspektiv (celá rostlina, přední a boční pohled na květ, pohled na list shora a zdola). Dataset obsahoval 101 druhů a pro každý druh bylo pořízeno 100 záběrů. Za pomoci tohoto souboru byla trénována konvoluční neurální síť (dále jen CNN) a následně vyhodnocována přesnost určení druhu v závislosti na perspektivě obsažené na fotografii. Nejlepší výsledky byly dosaženy s kombinací všech perspektiv (97 %) nebo též kombinací předního a bočního pohledu na květ a svrchní strany listu (96 %). Nejnižší úspěšnosti bylo v průměru dosaženo při využití pouze perspektivy celé rostliny (77 %), (Rzanny a kol., 2019). To znamená, že pro správnost určení je důležité nahrát do aplikace více fotografií, tedy více úhlů pohledu na rostlinu, stejně jako je tomu při určování odbornou osobou.

Britská studie z roku 2020 (Jones, 2020) se zabývala přesností a využitelností konkrétních mobilních aplikací. Bylo testováno 9 aplikací nebo webových stránek využitelných na mobilním telefonu či tabletu. V úvodu byla konstatována potřeba umělé inteligence při rozpoznávání druhů z důvodu klesajícího počtu botaniků s dobrými identifikačními schopnostmi. Všechny testované aplikace měly za cíl identifikovat rostlinu prostřednictvím fotografie pořízené smartphonem v terénu a byly zdarma. Za účelem studie byl testován vzorek 38 zástupců britské flóry, vícero orgánů každé květiny, druhy pro člověka lépe i hůře rozpoznatelné. Všechny fotografie byly hodnoceny každou aplikací v rámci 5 pokusů. Cílem bylo porovnat

aplikace v jejich přesnosti rozpoznání druhu, rodu a čeledi a dále v jejich konzistentnosti. Za tímto účelem byla zvolena hodnotící škála. Bylo provedeno několik typů testu, ze kterého vyšla pětice nejspolehlivějších aplikací: Flora Incognita, Plant.id, PlantNet, Seek a Google Lens. Loga těchto aplikací jsou na Obrázku 1. První tři aplikace měly oproti ostatním výhodu zobrazování indexu pravděpodobnosti správného určení druhu a také umožňovaly nahrání vícera fotografií, tedy orgánů, během každého určování (Jones, 2020).



Obrázek 1: Loga mobilních aplikací k rozpoznávání druhů rostlin.

Studie v závěru konstatovala, že technologie automatického rozpoznávání obrázků se stala významným nástrojem pro botaniky a bude se nadále zdokonalovat, nicméně v dané chvíli je stále ještě potřeba, zejména u vzácnějších druhů, potvrzení správnosti identifikace odborníkem. Jones upozornil na tři hlavní výzvy při implementaci umělé inteligence a počítačového vidění. Zaprvé je podstatná kvalita fotografií pořizovaných uživateli v terénu, dále fakt, že některé nenápadné znaky rostlin, díky kterým se druh rozpozná, nejsou na fotce přítomny. A nakonec nepřítomnost některých vzácných druhů v databázích aplikací (Jones, 2020).

Automatické rozpoznávání zvířat z fotopastí

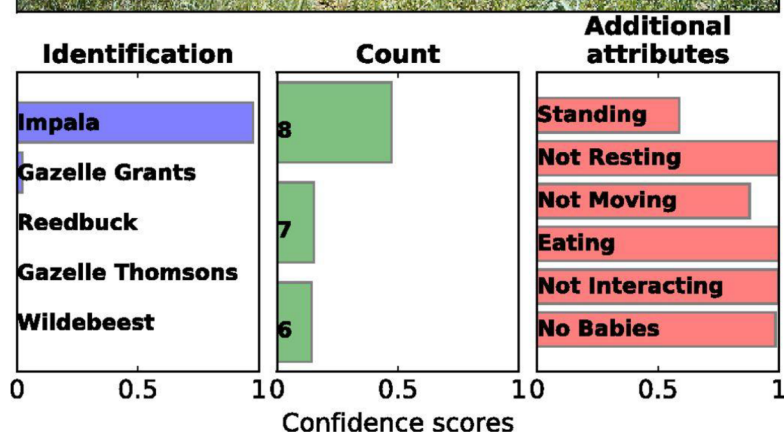
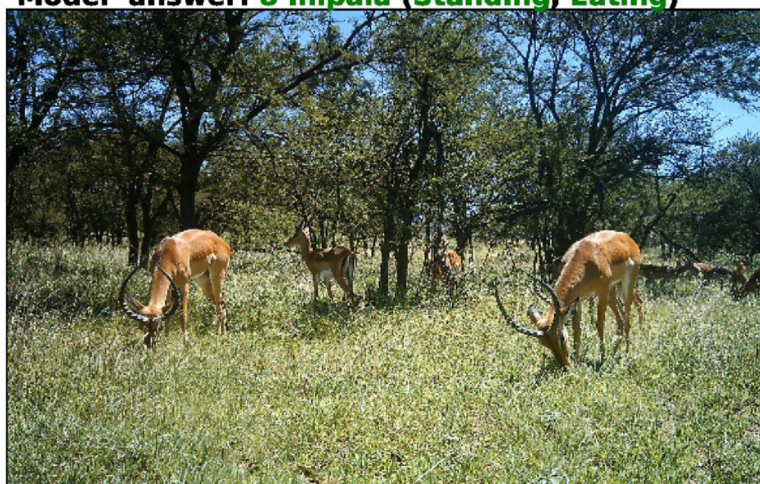
Za účelem lepšího porozumění a ochrany ekosystémů je zapotřebí znalost velkého množství dat o počtu, lokaci a chování druhů v jejich přirozeném prostředí (Norouzzadeh a kol., 2018). Vhodným nástrojem pro takové studium jsou fotopasti. Úskalím metody však do nedávna byla časová a finanční náročnost lidské práce při vyhodnocování milionů obrázků.

Citovaná studie (Norouzzadeh a kol., 2018) měla za cíl testovat, jak dobře dokáže umělá inteligence zautomatizovat získávání informací z fotopastí. Metoda byla aplikována na největší světové databázi divokých zvířat pocházející z projektu Snapshot Serengeti. Projekt Snapshot Serengeti od roku 2011 kontinuálně sledoval 225 kamer v Národním parku Serengeti v Tanzánii. Za účelem studie bylo využito

3,2 milionu obrázků 48 druhů zvířat, které byly adekvátně označeny 68 000 místními pracovníky. K tréninku neurální sítě byly vybrány fotky, kde se vyskytoval jeden druh zvířete. Výsledkem byla sada 1,4 milionu tréninkových obrázků a 105 000 testovacích. V rámci studie se testovalo 9 typů architektur hluboké neurální sítě. Výsledkem studie bylo zjištění, že umělá inteligence ušetřila více než 17 000 hodin (99,3 %) práce dobrovolníků při dosažení 96,6% přesnosti v identifikaci druhu. Hlavním zdrojem časové úspory byla schopnost umělé inteligence vyfiltrovat obrázky, kde se nenalézal žádný objekt. Dále pak automatická identifikace dat, u kterých měla síť vysokou jistotu určení, a konečně poskytnutí seznamu druhů vyskytujících se na obrázku seřazených dle pravděpodobnosti, díky kterému mohli pracovníci snadněji vybrat správné zvíře (Norouzzadeh a kol., 2018). Ukázka výstupu z programu je na Obrázku 2. Software určil, že s největší pravděpodobností je na obrázku 8 impal, které neodpočívají, jedí, neinteragují a nemají mláďata.

Human answer: 8 Impala (Standing, Eating)

Model answer: 8 Impala (Standing, Eating)



Obrázek 2: Hluboké neurální sítě dokážou úspěšně identifikovat, spočítat a popsat zvířata z obrázků fotopastí. První řádek nad obrázkem je lidská odpověď, druhý řádek umělá inteligence. „8 impal (stojí, jedí).“ Grafy pod obrázkem představují predikce umělé inteligence ve vztahu k druhu, počtu a chování zvířat na obrázku. Horizontální barevné sloupce označují jistotu predikce. První sloupec Identifikace (impala, gazela Grantova, bahnivec, gazela Thomsonova, pakůň), druhý sloupec Počet a třetí sloupec Dodatečné atributy (stojí, neodpočívá, nehýbe se, jí, neinteraguje, nemá mláďata), Zdroj: Norouzzadeh a kol., 2018.

Na základě rešerše 104 studií byla metoda detekce pomocí fotopastí označena jako vhodná a efektivní především pro studium biodiverzity. Na druhou stranu autoři upozorňují na její limity v podobě relativně vysokých vstupních nákladů a malé oblasti, kterou je jedna fotopast schopna monitorovat (Wearn a Glover-Kapfer, 2019).

Jiná studie (Meek a kol., 2016) se zabývala reakcemi divoké zvěře na zvuk a světlo produkované fotopastmi a položila si otázku, jaký vliv měly fotopasti na výsledky monitoringu. Předmětem výzkumu bylo chování australských suchozemských predátorů: pes dingo (*Canis familiaris*), kunovec velký (*Dasyurus maculatus*), liška a zdivočelá kočka, v reakci na fotopasti. Autoři zjistili reakci všech čtyř savců v interakci s fotopastí, přičemž není jasné, zda zvířata reagovala na zvuk, světlo či samotnou přítomnost zařízení. Psi dingo si všimli fotopasti, zastavili se a následně obrátili směr pohybu. U mnoha lišek byla zaznamenána reakce, přestože se nedívaly do kamery, což naznačuje detekci zvuku. Divoké kočky byly zaznamenány při sledování fotopasti, pohybovaly ušima ve snaze zaostřit na zvuk a často k fotopasti kráčely. Kunovci mijeli fotopasti větší rychlostí než ostatní tři druhy a vykazovali známky vědomí přítomnosti fotopasti. Příklady reakcí zvířat jsou na Obrázku 3. V noci zvířata pravděpodobně reagovala na osvětlení. Autoři upozorňují na nutnost zahrnutí předpokladu reakce zvířete na fotopast, aby nedocházelo k chybnému odhadu abundance anebo mylnému úsudku o absenci zvířete. Konstatují, že by byla chyba označovat fotopasti za neinvazivní nerušivou metodu monitoringu (Meek a kol., 2016).



Obrázek 3: Příklad reakce čtyř predátorů na infračervené světlo při nočním monitoringu fotopastí. (a) pes dingo sledující fotopast a přibližující se k ní, (b) liška reaguje vylekaně, (c) zdivočelá kočka hledící na fotopast a (d) kunovec hledí na fotopast, přibližuje se. Zdroj: Meek P. a kol., 2016.

Dalším nástrojem ochrany přírody je soubor metod značkování a opětovného odchytu (anglicky CMR, „Catch Mark Release“), který umožňuje sledovat jednotlivce napříč časem a prostorem. Tyto metody jsou využívány především při určování hustoty populace drobných hlodavců (Bejček a kol., 2001). Obava z narušení kondice jedinců, stejně jako časová i finanční náročnost dosavadních metod (tetování, toe-clipping, passive integrated transponder tagging, elastomery), vede vědce k zavádění neinvazivních způsobů značkování (Bolger a kol., 2012). Mezi tyto patří identifikační metoda pomocí fotografií a příslušného software, kterou lze aplikovat u živočichů se speciálními znaky. Pomocí software a databáze fotografií lze automaticky zjistit, zda daný jedinec již byl odchycen (Romiti a kol., 2017). Zásadním předpokladem je však dostatečně vysoká kvalita fotografie a podmínka, že se značka daného jedince po čas studie nezmění například vlivem růstu, březosti či vývojem melanoforu (Bendik a kol., 2013).

3.1.2 Automatické rozpoznávání zvuku

Moderní pasivní akustické senzory nabývají na důležitosti díky globálnímu trendu směrem k finančně dostupnému automatickému sběru dat a velkým datům (Gibb a kol., 2018). Výhodou je dlouhodobý charakter monitorování, a tudíž lepší možnost zachytit vzácné nebo méně zvukově aktivní druhy (Sugai a kol., 2019). V případě monitoringu v těžko dostupném terénu je přínosem i bezpečnost pro zaměstnance sbírající data (Marchal a kol., 2021). Zvířecí zvuky se šíří mnoha směry, skrz fyzické bariéry a na relativně dlouhé vzdálenosti, díky čemuž jsou skrytě žijící zvířata snáze slyšena nežli viděna (Sugai a kol., 2019). **Pasivní akustický monitoring** (anglicky Passive acoustic monitoring, PAM) využívá rekordéry, ultrazvukové detektory, mikrofony, hydrofony a další autonomní senzory k zachycení zvuků, které jsou vytvářeny zvířaty za účelem komunikace, navigace či hledání kořisti. Zvukové senzory byly tradičně využívány ke studiu kytovců a netopýrů. V posledních letech se však využití rozšířilo také na ptáky, obojživelníky, savce a nejnověji také bezobratlé (Sugai a kol., 2019). Předmětem analýzy dat z akustického monitoringu je zjišťování přítomnosti či nepřítomnosti druhu, velikosti živočicha (Sugai a kol., 2019), početnosti, hustoty, přítomnosti ohrožených druhů, chování a aktivity, charakteru zvuku životního prostředí (tj. celkový zvuk pocházející z krajiny včetně antropogenního vlivu, anglicky soundscape nebo ecoacoustics) nebo monitoring specifického zvuku jedince a snaha o jeho odlišení od ostatních (Gibb a kol., 2018). Důležitými faktory účinnosti technologie jsou měřený druh a typ jeho zvuku, vzdálenost od senzoru, místo měření (voda, souš, les atd.) a čas. Data přijímaná

senzory jsou velkého rozměru, je tedy potřeba řešit rovnováhu mezi kvalitou a množstvím dat vzhledem ke kapacitě daného úložiště (Gibb a kol., 2018).

Přestože se automatické metody rychle zlepšují, stále existují značné rozdíly v přesnosti určení mezi jednotlivými nástroji. Obtížně řešitelná je pro algoritmus fáze detekce, kdy se v přírodě běžně překrývají četné zvuky stejných i různých druhů. Někteří živočichové mají široký repertoár zvuků v rámci jednoho druhu a běžný je navíc antropogenní ruch. V současnosti je většina velkých PAM analýz semi-automatická a zahrnuje ruční kontrolu odborníkem. Budoucnost je v učení bez učitele, které identifikuje zvuk již na základě spektogramu a není potřeba ručně vybírat určující znaky. K tomu, aby byl algoritmus schopen přesně detekovat zvuk je zapotřebí velké množství dat, na základě kterých se trénují konvoluční neurální sítě. Existence komplexních, odborníky potvrzených databází zvuků je v současnosti největší výzvou v rozvoji pasivní automatické identifikace zvuku (Gibb a kol., 2018).

Podle studie (Sugai a kol., 2019), která syntetizovala vědecké publikace od roku 1992 do roku 2018 (460 článků), se jako hlavní metoda, jak získat informace z PAM, využívala manuální analýza (58 %). Plně automatická metoda byla využita v 19 % studií s největším podílem zaměřením na netopýry, protože existují softwarové balíky obsahující vestavěný klasifikační algoritmus a knihovny pro automatické rozpoznávání netopýřích druhů (například Analook a Batsound). Poloautomatické procedury byly aplikovány v 15 % studií se zaměřením převážně na žáby, ptáky a nelétající savce. Akustické indexy byly aplikovány (10,5 %) většinou ve studiích zaměřených na soundscape.

Další studie (Marchal a kol., 2021) srovnávala čtyři typy v současnosti dostupných software: CallSeeker, Kaleidoscope Pro, Raven Pro, Song Scope a konvoluční neurální síť (CNN) trénovanou na nezávislé databázi. Za pomoci těchto algoritmů testovala rozpoznávání dvou velice podobných zvuků drozda newfoundlandského a drozda šedolícího. V rámci studie byla vytvořena databáze 103 záznamů, tedy 142 hodin zpěvu drozda newfoundlandského a 44 záznamů, celkem 3,3 hodiny drozda šedolícího. Zvuky dvou sledovaných druhů byly identifikovány pracovníky pomocí spektogramů a u každého zvuku byl označen začátek a konec. Software CallSeeker, Kaleidoscope Pro a Song Scope prováděly identifikaci ve dvou krocích. Nejprve byl detekován sledovaný segment zvuku a následně byl klasifikován pomocí algoritmu. Raven Pro prováděl pouze první krok. CNN prováděla detekci a klasifikaci pomocí totožného algoritmu, který byl optimalizován během tréninku. Smyslem automatické detekce ptačích druhů bylo především ušetřit čas. Ušetřený čas při použití jednotlivého software závisel na schopnosti a) detekovat zvuk

sledovaného druhu v případě jeho přítomnosti, b) vyhnout se detekování daného druhu, pokud se nevyskytuje, c) správně klasifikovat druh. Z toho důvodu bylo důležité, aby software dokázal procesovat zvuk v pozadí. CNN byla nejefektivnější v rozlišování sledovaného ptačího zvuku od zvuku v pozadí, díky čemuž byla nejúspěšnější v detekci i klasifikaci. Na druhou stranu, značné úsilí bylo potřeba k vytvoření vhodné tréninkové databáze pro CNN. Studie v závěru doporučila využívat pro automatickou identifikaci zvuku software se zabudovanou CNN (Marchal a kol., 2021).

Jiná studie se zabývala rozpoznáváním zvuku žab v přirozeném prostředí na Costa Rice. Využila technologie, které jsou již známé z automatického rozpoznávání řeči. Pro výzkum byla použita databáze zvuků 75 žabích druhů na Costa Rice. Výsledky prokázaly 98% přesnost určení druhu (Alonso a kol., 2017).

3.1.3 DNA metabarcoding

Dalším nadějným nástrojem v oblasti měření biodiverzity je DNA metabarcoding. Díky rozvoji sekvenovacích technologií, komerčních laboratoří a klesajícím nákladům se stala kooperace pracovníků z praxe a vědeckých pracovníků dostupnější. Metabarcoding využívá k hodnocení biodiverzity přístup založený na markerech, kdy se krátké řetězce DNA, které iniciují syntézu DNA specifických oblastí genomu, používají k amplifikaci fragmentů DNA z řady taxonů ve vzorku. Sekvenovaná data jsou procesována několika bioinformatickými kroky a následně je přiřazena taxonomická skupina na základě porovnání s referenční databází. Výsledkem je seznam taxonů detekovaných v daném vzorku. Vzorky k analýze, tzv. environmentální DNA (eDNA), pocházejí buďto přímo z organismů (např. mouchy, pijavice a jiní bezobratlí) nebo z environmentálních vzorků v podobě vody, půdy (Kirse a kol., 2021), sněhu, tkáně, hlenu, moči či výkalů (Compson a kol., 2020). Posloupnost kroků při metodě DNA metabarcoding je: 1) sběr vzorku (eDNA), 2) izolace a extrakce DNA, 3) sekvenování DNA, 4) bioinformatika (čištění a procesování dat) a 5) identifikace taxonu, resp. seznam taxonů seřazený dle pravděpodobnosti shody (Compson a kol., 2020).

Dosavadní studie se úspěšně věnovaly detekci druhů, které měly úzké spojení s vodou (Pawlowski a kol., 2022), především rybám a žábám (Elbrecht, 2019, Hoffmann a kol., 2016). Nejnovější studie však ukázaly, že eDNA lze použít k detekci různorodé skupiny zvířat, včetně savců, ptáků, plazů a členovců (Liu a kol., 2020). Podmínkou je navržení vhodných primerů, které umožní amplifikaci a identifikaci fragmentů DNA cílových organismů, a volba vhodných zdrojů eDNA (Ushio a kol., 2018).

Corinne Watts s kolektivem ve studii publikované v roce 2019 porovnávali konvenční metodu monitoringu bezobratlých a DNA metabarcoding v izolovaném lesním ekosystému na Novém Zélandu. Pro obě metody byl k dispozici stejný rozpočet, aby bylo možné metody porovnat také nákladově. Vzorky bezobratlých byly sebrány konvenčními metodami (Malaiseho a zemní pasti) a následně byla využita metoda metabarcodingu k analýze dvou typů vzorku: 1) DNA extrahována z hromadného vzorku získaného z pastí a 2) DNA extrahována ze vzorku půdy sebraném na stejné lokalitě. Výsledky studie ukázaly, že konvenční metody monitoringu byly náročné z hlediska třídění a identifikace a vyžadovaly značnou expertizu. Náklady na DNA metabarcoding byly naproti tomu především na molekulární laboratorní procedury a bioinformatické zpracování. Odebírání vzorků půdy bylo méně náročné než sbírání exemplářů pomocí zemních a malaiseho pastí. DNA metabarcoding ze vzorku půdy umožnil rychlou determinaci největšího množství organismů s přesností do rodu a druhu. Půdní DNA zahrnovalo i organismy žijící v půdě, na rozdíl od zemních a malaiseho pastí, které zachytily jen nadzemní živočichy. Byly však zjištěny určité nepřesnosti v identifikaci, což představovalo nevýhodu metody DNA metabarcodingu. Chybná identifikace nebo neschopnost přesného určení do rodu či druhu pramenila z neadekvátního zastoupení bezobratlých v referenčních sekvenovacích databázích nebo z nevhodně zvoleného PCR primeru. Rozvoj těchto databází představuje dle autorů zásadní výzvu pro metodu DNA metabarcodingu. Další nevýhodou metody je neschopnost stanovení abundance jednotlivých druhů (Watts a kol., 2019).

Studie z roku 2017 zkoumala na Barro Colorado Island v Panamě možnost průzkumu místních savců pomocí metabarcodingu DNA *Calliphoridae*, česky bzučivkovitých (Rodgers a kol., 2017). Bzučivkovití se živí mrtvými zvířaty a výkaly, čímž konzumují jejich DNA a jsou proto ideálními živočichy pro analýzu. V rámci studie byla porovnána metoda DNA metabarcodingu s výsledky tradičního transektového monitoringu a dlouhodobých dat z fotopastí. Sledována byla ostrovní komunita savců. Pomocí metabarcodingu bylo zjištěno více druhů než pomocí transektu a fotopastí za stejnou dobu. Šlo o druhy noční a příliš malé na detekci fotopastmi. DNA metabarcoding nicméně nedokázal zjistit 3 velmi běžné druhy (*Agouti paca*, *Nasua narica* a *Mazama americana*). Autoři nabídli tři možná vysvětlení pro tento nedostatek. První byla absence referenční sekvence v databázi, dalším vysvětlením byla volba chybného primeru nebo fakt, že bzučivkovití ve svém jídelníčku vynechávali výkaly těchto 3 běžných druhů. Studie v závěru konstatovala, že DNA metabarcoding byl efektivní nástroj pro rychlý monitoring druhů, nicméně

nevýhodou byla neschopnost detekovat tři běžné druhy. Nástroj se prokázal jako nevhodný pro zjišťování abundance druhů. Proto autoři doporučili DNA metabarcoding jako doplňkovou metodu k běžným postupům (Rodgers a kol., 2017).

Další studie (Yonezawa a kol., 2020) ukázala schopnost metody DNA metabarcoding odhalit ohrožený druh *Chimarrogale platycephala* (japonský rejsek vodní), který je běžnými metodami těžko detekovatelný. Vizuální pozorování a fotopasti byly kvůli jeho malé velikosti, nočnímu chování a nízké hustotě populace hůře použitelné. Analýza eDNA byla naproti tomu neinvazivní, vysoce citlivá a nákladově efektivní. Vzorky byly odebírány z tekoucí vody a eDNA *Chimarrogale platycephala* byla detekována na 2 z 16 studovaných míst. Na základě dat z eDNA byla potvrzena přítomnost rejsků na obou lokalitách pomocí fotopastí. Studie úspěšně objevila dříve neznámé prostředí ohroženého savce pomocí metabarcodingu eDNA a fotopastí (Yonezawa a kol., 2020).

Využití DNA metabarcodingu v oblasti vodního monitoringu popsala hojně citovaná studie z roku 2015, která srovnávala úspěšnost identifikace ryb a obojživelníků pomocí DNA metabarcodingu a tradičních metod. Nejprve byly vyvinuty speciální primery. Dále byla vytvořena referenční databáze zkušenými odborníky na ryby a žáby, kteří odebrali DNA 53 druhům žab a 86 druhům ryb. DNA byly následně upraveny a sekvenovány za pomoci technologie Sanger. Poté byla provedena komparativní studie na 62 lokalitách odpovídajících široké škále ekosystémů (potoky, řeky, jezera, kanály, louže, rybníky). Vzorky byly, až na výjimky, sebrány v tentýž den pro analýzu DNA i tradiční monitoring, který zahrnoval přímé pozorování a lov sítkou u obojživelníků a elektrolov či sítě u ryb. Vzorky vody pro analýzu eDNA byly filtrovány přes membránu pro získání maximální koncentrace. Za účelem dosažení vysoké míry porovnatelnosti obou metod byla do analýzy zahrnuta historická data tradičního monitoringu. Výsledkem studie byla schopnost metabarcodingu identifikovat větší množství druhů ryb i obojživelníků na naprosté většině lokalit. Monitoring pomocí eDNA byl efektivnější, například sběr vzorků pro detekci identického množství druhů trval 4 hodiny, oproti 3 dnům potřebných pro tradiční monitoring. DNA metabarcoding byl navíc neinvazivní a vykazoval minimální riziko přenosu invazivních druhů či patogenů. Metodu bylo možné využít v hůře přístupném terénu nebo v nízké induktivních vodách, kde nebylo možné aplikovat elektrolov. V neposlední řadě byla výhodou možnost určení druhu bez taxonomické expertízy. Autoři studie potvrdili, že jimi vytvořené primery byly univerzální pro všechny druhy ryb a obojživelníků na světě, díky čemuž byly globálně využitelné a

standardizovatelné. V článku bylo dále upozorněno na důležitost volby správného markeru, nutnost jeho validace před aplikací, použití spolehlivých bioinformatických a laboratorních nástrojů a kvalitní referenční databáze. Nevýhodou metody byla nemožnost stanovení velikosti nebo pohlaví cílového organismu a neschopnost odhadu abundance. V závěru bylo konstatováno, že DNA metabarcoding byl vhodným nástrojem pro studium biodiverzity a že mohl být považován za komplementární s tradičními metodami. V případě, že bylo cílem získání seznamu organismů žijících v daném ekosystému, včetně vzácných a skrytých, byla eDNA nejefektivnějším nástrojem. Pokud byla potřeba i další data (pohlaví, stádium vývoje atd.), měly být souběžně využity i tradiční metody (Valentini a kol., 2015).

Za velice nadějný byl ve světové vědecké komunitě označován pár primerů MiFish, který byl od roku 2015 využíván k amplifikaci fragmentů DNA ryb. Článek z roku 2020 revidoval 283 dosavadních studií aplikujících MiFish. Na základě této analýzy označil technologii jako efektivní nástroj pro ochranu ekosystémů a monitoring rybí biodiverzity. MiFish bylo úspěšně využito při monitoringu mořských ekosystémů, své využití však našlo i ve sladkých vodách, například v Japonsku, Spojených státech, Kanadě, Austrálii, Číně, Jižní Americe i ve Spojeném království. Výzkumy existovaly z tekoucích i stojatých vod, za využití vzorků vody i sedimentu. Autoři poukázali na důležitost strategie při sbírání vzorků, jednak správný výběr lokalit a také způsob uchování vzorků pro přepravu do laboratoře. Odhad abundance pomocí DNA metabarcodingu zůstal nevyřešen. Metoda byla vhodná pro hodnocení biodiverzity či přítomnost invazivních druhů (Miya a kol., 2020).

3.1.4 Bezpilotní letadla neboli drony

Následující kapitola je věnována bezpilotním letadlům, anglicky unmanned aircraft systems (UAS) či unmanned aerial vehicles (UAV). Článek autorů Chabot a Bird shrnul dosavadní poznání k roku 2015 ohledně aplikace bezpilotních letounů v divoké přírodě. Bezpilotní systémy byly vnímány jako bezpečné, pohodlné a nerušivé prostředky pro získávání kvalitního obrazového materiálu o zvířatech, zejména v těžko přístupných oblastech nebo u nebezpečných druhů. Z toho důvodu se velká část studií věnovala mořským savcům, například kytovcům, sirénám, kapustňákům, tuleňům, kosatkám či dugongům. Mořský monitoring pomocí UAS byl však limitován regulacemi, které povolují jen takovou vzdálenost, aby byl letoun viditelný ze břehu. Ze suchozemských savců byli dle článku doposud pomocí UAS monitorováni například medvědi baribalové, bizoni nebo mláďata srn, která byla ohrožena zemědělskou technikou. Dále africká megafauna, například sloni,

žirafy a nosorožci, jejichž monitoring měl napomoci ochraně proti pytláctví (Chabot a Bird, 2015).

V kategorii ptáků byla pozornost věnována vodním ptákům z důvodu těžko přístupných stanovišť a agresivnímu chování některých ptačích populací. Malé nenápadné bezpilotní systémy byly využívány pro monitoring hnízdících kolonií racků, tučňáků a rybáků. UAS napomáhaly sledování hnízd, která byla umístěna na stromech, útesech a skalách. Součástí výzkumu UAS bylo i sledování reakce zvířat na různá bezpilotní zařízení za účelem omezení negativního vlivu (Chabot a Bird, 2015).

Bezpilotní studie byly členěny na dvě kategorie. První typ tzv. „overflight“, který má před programovanou trasu ve výšce několika set metrů, a většinou se jedná o zařízení s „pevnými křídly“. Cílem těchto přeletů je většinou zjištění abundance nebo distribuce zvířat v dané oblasti a zahrnuje sběr stovek až tisíců obrázků. Druhá kategorie se nazývá „close-up“ pro zařízení s rotačními křídly, která jsou řízena manuálně pilotem stojícím na zemi. Létají na kratší vzdálenosti i menší výšky a mají za úkol bližší pohled na hnízdo, zvíře či menší skupinu zvířat. Tato zařízení se dokážou pohybovat pomalu a setrvat na jednom místě. V kombinaci s drony jsou využívány různé typy senzorů včetně termálních infračervených zařízení pro detekování zvířat ve vegetaci a noční monitoring nebo zařízení přijímající radiový signál z označovaných zvířat (Chabot a Bird, 2015). Drony našly uplatnění také při sbírání vzorků v hlubokém moři nebo jiných těžko přístupných oblastech, ukázka vodního dronu je na Obrázku 4 (Hoffmann a kol., 2016).



Obrázek 4: Vodní dron jako prostředek pro sbírání vzorku pro analýzu DNA. Zdroj: Hoffmann a kol., 2016. Autoři fotografie: Alice Valentini a Tony Dejean.

Článek publikovaný v roce 2021 (Seier a kol., 2021), se zaměřil na negativní vlivy UAS. Studie analyzovala 65 článků, ve kterých byly využity bezpilotní systémy pro monitoring biodiverzity v chráněných oblastech. 75 % článků (50) se vůbec nezabývalo otázkou negativních vlivů UAS na ekosystém. Z 15 článků, které se disturbancemi zabývaly, pouze 3 upozornily na evidentní rušení zvěře. Jako prevence negativních vlivů na zvířata mělo být pečlivé plánování monitoringu, včetně výšky letu či typu zařízení. Autoři studie konstatovali, že negativním vlivům bezpilotních systémů je věnováno málo pozornosti (Seier a kol., 2021).

Další citovaná studie (Suk-Ju a kol., 2019) využila fotografií pořízených bezpilotním zařízením a umělou inteligenci k detekci ptáků. Jako důvod zavádění bezpilotních zařízení uvedla fakt, že letecké nehody byly nejčastější příčinou smrti terénních biologů, a dále vysoké finanční náklady. Pro detekci druhů z leteckých snímků autoři označili jako nejefektivnější využití algoritmů hlubokého učení. V rámci studie byla vytvořena databáze leteckých fotografií divokých ptáků a také ptačích maket v různých typech prostředí včetně jezer, pláží, nádrží a farem v Jižní Koreji. Následně bylo aplikováno pět různých metod detekce pomocí hlubokého učení a porovnána jejich úspěšnost. Metoda detekce ptáků se sestávala ze 4 kroků. Nejprve byly pořízeny letecké snímky divokých i umělých ptáků pomocí komerčního bezpilotního zařízení (K-mapper, SISTECH Inc., Seoul, Korea). Následovalo značení, úprava fotografií a tréninková a testovací fáze hlubokého učení. Velikost jednoho ptáka na leteckém snímku byla stanovena přibližně na 40 × 40 pixelů.

Fotografie byly pořízeny barevnou kamerou (NX-500, Samsung Corp., Republic of Korea) s rozlišením 6480 × 4320 pixelů v letové výšce 100 m. Letecké snímky obvykle obsahovaly kachnu skvrnozobou (*Anas poecilorhyncha*), čírku karolinskou (*Anas crecca*), volavku bílou (*Ardea alba*) a volavku popelavou (*Ardea cinerea*). Zvětšené fotografie divokých ptáků jsou na Obrázku 5.



Obrázek 5: Zvětšené fotografie divokých ptáků pořízených ve výšce 100 m. Zdroj: Suk-Ju a kol., 2019.

Aby byla tréninková databáze robustní, byly navíc pořízeny letecké fotografie ptačích maket (viz Obrázek 6) na 15 různých místech, jako jsou farmy, parky nebo nádrže.



Obrázek 6: 4 různé druhy maket kachen využitých pro focení. Zdroj: Suk-Ju a kol., 2019.

Studie ukázala dobré výsledky modelů hlubokého učení s výslednou přesností 85,01 % až 95,44 %, což znamenalo, že UAV letecké snímky spolu s procesy hlubokého učení byly vhodnými nástroji pro detekci ptáků. K nepřesnostem v identifikaci docházelo například při záměně ptačího stínu za ptáka, záměně osoby se slaměným kloboukem za ptáka nebo v případě, že pták nebyl vůbec detekován. Cestou ke zvýšení přesnosti detekce může být větší rozlišení leteckých snímků. Metoda využitá v této studii byla účinnější pro detekci spíše než pro počítání jednotlivců (Suk-Ju a kol., 2019).

Monitoring savců žijících v úkrytu lesa a křovinné vegetace je příležitostí pro nové technologie. Australská studie (Witt a kol., 2020) se zaměřila na detekci koaly, ohroženého nočního lesního druhu, který se velmi těžko detekuje běžnými

metodami. Pravděpodobnost detekce koaly je závislá na početnosti v dané lokalitě, vegetační hustotě, přístupnosti terénu, preferenci stromu koalou, zkušenostech odborníka a dostupných zdrojích. Mezi běžně používané metody patří detekce výkalů a jiných pobytových stop, akustický monitoring, denní i noční transektový průzkum a v poslední době drony s termokamerou (anglicky Remotely Piloted Aircraft System Thermal Paging, RPAS), které jsou finančně výhodné pro monitoring druhů žijících na stromech, jako jsou koaly či opice. Studie porovnála metodu RPAS s transektovou metodou pro vizuální detekci koal během nočních hodin. Metoda RPAS se prokázala jako časově efektivnější (RPAS detekovala 1 koalu za 2,18 h, transektová metoda 1 koalu za 6,75 h) a dosáhla vyšší míry pravděpodobnosti detekce (RPAS $83.3 \pm 11.39 \%$, transekt $38.9 \pm 20.03\%$). Bezpilotní technologie s termokamerou byla proto doporučena jako cenný nástroj pro místní management ochrany přírody (Witt a kol., 2020).

Jiná studie (Karp, 2020) se zaměřila na mláďata zajíce polního (*Lepus europaeus*), která jsou taktéž těžko detekovatelná běžnými metodami. Dle studie doposavad nejmenšími savci, kteří byli systematicky studováni pomocí termovize, byli kolouši, dospělí zajíci, dospělí králíci a ježci. Některé výsledky však uváděly nízkou míru detekce. Psi s výcvikem na detekci divoké zvěře dle autorů představují alternativní metodu pro vyhledávání skrytých živočichů a jejich stop. V rámci výzkumu byly popsány výhody a nevýhody termografie (pomocí dronu a ruční) a cvičených psů k detekci mláďat zajíce polního.

Ruční termokamera byla ovládána osobou stojící na korbě pick-upu. Pěší vyhledávání bylo využito jen pro stanoviště s potenciálním výskytem mladého zajíce. Termovize umožňovala identifikaci pouze u druhů, kde bylo možné velikost, tvar nebo chování odlišit od ostatních druhů. U většiny detekovaných objektů bylo potřeba přiblížení a osvětlení zvířete, aby nebylo zaměněno například za odpočívajícího ptáka nebo hroudou zeminy. Pro letecký průzkum byly využity dva drony. Byl vymezen transekt a sledována obrazovka s termálními obrazy. Posledním nástrojem byl psí samec, který dal znamení v případě detekce zajíce.

Bylo zjištěno, že pro oblasti s žádným nebo nízkým vegetačním pokryvem je vhodná ruční termokamera, termální dron lze použít až do středního vegetačního pokryvu (výška vegetace do 46 cm). Termometrii je potřeba praktikovat v noci nebo přes den, když je zataženo, dron navíc nelze použít v dešti nebo při silném větru. Pro úspěšnou detekci pomocí termovize je nutný dostatečný tepelný kontrast mezi cílem a pozadím. Tepelný kontrast se zvyšuje, když neživé předměty (pozadí) mají ve srovnání s cílovým zvířetem nízké teploty, díky čemuž je termální zobrazování

nejúčinnější v chladném prostředí. Naproti tomu přímé sluneční světlo brání detekci cílových zvířat, protože neživé předměty se zahřívají, což má za následek falešně pozitivní detekce. Dále vysoká vlhkost vzduchu, hustá mlha nebo silný déšť snižují pravděpodobnost detekce termovizí. Metoda detekce pomocí speciálně vycvičeného psa se nejlépe uplatní v hustém těžko prostupném terénu a není omezena počasím či denní dobou. Kombinace všech tří metod se dle autorů ukázala jako vhodný přístup pro sběr vyvážených dat o takto malém živočichovi (Karp, 2020).

K hodnocení biodiverzity a monitoring biotopů se používají také satelitní data. Slovenská studie z roku 2021 prezentovala software NaturaSat, který využíval multispektrální data Sentinel 2, poskytovaná zdarma Evropskou vesmírnou agenturou, k průzkumu habitatů. Software umožňoval určit hranice biotopů se srovnatelnou přesností jako pomocí terénního průzkumu. Mapování krajinného pokryvu je důležitým nástrojem při plánování rozmanité lidské činnosti a ochrany životního prostředí. Dálkový průzkum habitatů spolu s terénní fytoecologií může pomoci identifikovat důležité ekologické lokality a sledovat je v čase. Software NaturaSat poskytoval přístup k datům ze satelitu Sentinel 2 a umožňoval jejich propojení s daty z leteckých snímků, UAV a různými vegetačními databázemi. NaturaSat zahrnoval algoritmy hlubokého učení, které dokážou klasifikovat jakýkoliv habitat či rostlinné společenstvo. K dispozici byl buď automatický, nebo semi-automatický nástroj pro segmentaci vybraných habitatů. Vegetace byla klasifikována podle systému Natura 2000. Přesnost segmentace habitatů pomocí NaturaSat byla porovnána s terénním zaměřením GPS souřadnic botaniky doplněným o data z Google Earth. Schopnost software provést automatickou segmentaci byla ověřena také v čase – porovnáním travních porostů v Malých Karpatech v letech 2015 a 2019. Výhodou NaturaPro byla dostupnost satelitních dat a jejich aktualizace každých 5 dní, časová a finanční efektivita při mapování biotopů. Nevýhodou byla neschopnost software zachytit na základě dat Sentinel 2 biotopy menší než 100 – 200 m², v případě využití leteckých snímků bylo však možné dosáhnout vyšší přesnosti. Software NaturaSat byl ve fázi testování, k dispozici pro nekomerční použití akademickým uživatelům a ochráncům přírody po celém světě (Mikula a kol., 2021).

3.2 Výhody a nevýhody metod

V Tabulce 1 byly shrnuty hlavní výhody a nevýhody výše popsaných metod a byly identifikovány skupiny organismů, pro které jsou metody vhodné.

Společnou vlastností moderních metod monitoringu byla finanční a časová efektivita (Norouzzadeh a kol., 2018; Suk-Ju a kol., 2019), což může představovat výhodu

v době, kdy prudce klesá počet druhů na planetě a je potřeba jim porozumět, dokud zde jsou. Dalším přínosem byla možnost monitoringu biodiverzity bez hluboké taxonomické expertízy, díky čemuž mohl být průzkum při některých projektech prováděn i jinými odborníky, než jsou zoologové či botanici (Gibb a kol., 2018; Jones, 2020; Rzanny a kol., 2019). Metody také umožnily odhalení druhů, které žily skrytě, vyskytovaly se na nedostupných místech anebo bylo velmi náročné je identifikovat (Marchal a kol., 2021; Sugai a kol., 2019). V případě DNA metabarcodingu (Yonezawa a kol., 2020) nebo nahrazování značkovacích metod automatickou identifikací fotografií (Bolger a kol., 2012) byla velkou devizou jejich neinvazivní povaha.

Nevýhodu naproti tomu představovala technická, případně legislativní úskalí, která je nutné do budoucna vyřešit (Chabot a Bird, 2015), dále neexistence standardizovaných postupů a problémy s implementací nových technologií v oblastech, kde jsou odborníci zvyklí na tradiční metody (Compson a kol., 2020). Zejména DNA metabarcoding není vhodný pro stanovení abundance (Yonezawa a kol., 2020). V případě fotopastí nebo dronů je potřeba věnovat pozornost jejich možnému rušivému efektu (Meek a kol., 2016; Seier a kol., 2021). Všechny uvedené metody je však možné s úspěchem použít jako doplněk těch tradičních.

	Automatické rozpoznávání obrazu		Automatické rozpoznávání zvuku	DNA metabarcoding	UAS, satelitní data
	Mobilní aplikace	Fotopast			
Cílový organismus	Rostliny	Střední a velcí obratlovci	Kytovci, netopýři, ptáci, obojživelníci, savci, hmyz	Obojživelníci, ryby, savci, plazi, ptáci, drobné půdní i vodní organismy	Rostliny, biotopy, mořští savci, suchozemští savci, ptáci
Výhody	Finanční dostupnost	Sběr velkého množství dat	Sběr velkého množství dat	Rychlý monitoring velkého množství druhů	Bezpečnost
	Nižší nároky na taxonomickou expertizu	Časová a finanční úspora	Časová a finanční úspora	Odhalení skrytě žijících či ohrožených druhů	Časová a finanční úspora
		Monitoring v těžko přístupném terénu	Monitoring v těžko přístupném terénu	Snadnější sběr vzorků	Monitoring v těžko přístupných oblastech
			Možnost zachytit vzácné nebo méně zvukově aktivní druhy	Není nutná taxonomická expertiza	
			Neinvazivní	Neinvazivní	
Nevýhody	Nekompletnost referenčních obrazových databází	Nelze monitorovat malé, plaché nebo skrytě žijící druhy	Nekompletnost referenčních zvukových databází	Nekompletnost referenčních databází	Legislativní restrikce
	Nemožnost určení většiny endemických druhů	Zvuk a světlo z fotopasti může působit rušivě a ovlivňovat výsledky monitoringu		Nepřesnost určení druhu, falešná pozitivita	Délka letu
	Nemožnost rozlišení mikroskopických znaků rostliny	Riziko odcizení		Nelze stanovit abundanci	Rušení zvěře (neplatí pro satelitní data)
				Nedostupnost vhodných primerů	Rozlišení obrazu

Tabulka 1: Výhody a nevýhod moderních metod monitoringu

4. Metodika

Pro zjištění současných světových trendů v monitoringu byla provedena rešerše vědeckých článků z odborných citačních databází, zejména Web of Science. Byly vybírány co nejnovější a pokud možno hojně citované studie. K vyhledávání byla využita následující klíčová slova:

- *mammal monitoring,*
- *vertebrata monitoring,*
- *invertebrata monitoring,*
- *amphibian monitoring,*
- *insect monitoring,*
- *bird monitoring,*
- *biodiversity monitoring,*
- *camera-trap monitoring,*
- *passive acoustic monitoring,*
- *biotope monitoring,*
- *DNA metabarcoding,*
- *eDNA,*
- *bioacoustical identification,*
- *remotely piloted aircraft system,*
- *unmanned aerial vehicle,*
- *remote sensing,*
- *urbanization,*
- *deep learning,*
- *machine learning,*
- *automated image recognition.*

Na základě rešerše byly vybrány a popsány tři technologické oblasti: automatické rozpoznávání zvuku a obrazu pomocí umělé inteligence a hlubokého učení, environmentální genomické nástroje, konkrétně eDNA metabarcoding, a využití bezpilotních zařízení včetně satelitních dat. V závěru kapitoly bylo provedeno shrnutí výhod a nevýhod zjištěných monitorovacích metod.

Následně byla provedena analýza terénních metod monitoringu fauny a flóry aplikovaných při zjišťování vlivu záměrů na životní prostředí v ČR. Jednotlivé záměry byly vyhledávány v Informačním systému EIA (dále jen IS EIA) vedeným Českou informační agenturou životního prostředí. Níže je uvedeno, které záměry

byly pro účel rešerše vybrány. Záměry byly filtrovány dle pole zařazení, které udává řádek a kategorii v Příloze č. 1 k zákonu č. 100/2001 Sb. Z každé vybrané kategorie bylo analyzováno alespoň 20 % záměrů zařazených od 1. 11. 2017. Analýza probíhala v měsících říjnu až prosinci 2022, níže uvedené údaje jsou tedy aktuální k tomuto datu.

- Řádek 47 - Dálnice I. a II. třídy. Kategorie I.
 - 6 záměrů z 22.
- Řádek 48 - Silnice nebo místní komunikace o čtyřech a více jízdnicích pruzích, včetně rozšíření nebo rekonstrukce stávajících silnic nebo místních komunikací o dvou nebo méně jízdnicích pruzích na silnice nebo místní komunikace o čtyřech a více jízdnicích pruzích, o souvislé délce od stanoveného limitu. Kategorie I i II.
 - 4 záměry z 18.
- Řádek 7 - Větrné elektrárny s výškou stožáru od stanoveného limitu. Kategorie II.
 - 4 záměry z 8.
- Řádek 114 - Sjezdové tratě, lyžařské vleky, lanovky a související zařízení. Kategorie II.
 - 6 záměrů z 30.
- Řádek 79 - Stanovení dobývacího prostoru a v něm navržená povrchová těžba nerostných surovin na ploše od stanoveného limitu (a) nebo s kapacitou navržené povrchové těžby od stanoveného limitu (b). Povrchová těžba nerostných surovin na ploše od stanoveného limitu (a) nebo s kapacitou od stanoveného limitu (b). Těžba rašeliny od stanoveného limitu (c). Kategorie II.
 - 18 záměrů z 97.

Byly preferovány záměry, které byly plně posuzovány dle zákona č. 100/2001 Sb. a u kterých byla zveřejněna Dokumentace. Pokud Dokumentace nebyla zveřejněna, bylo pracováno s informacemi z Oznámení. Analýza byla zaměřena na metody terénních šetření uskutečněných autorizovanými osobami v rámci hodnocení vlivu záměrů na životní prostředí. Z veškeré dokumentace k záměrům byla analyzována biologická hodnocení, hodnocení vlivu zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny podle § 67 zák. č. 114/1992 Sb., Naturová hodnocení a migrační studie.

Terénní metody byly rozděleny do těchto kategorií:

- Botanický průzkum,

- Entomologický průzkum,
- Mamologický průzkum,
- Ornitologický průzkum,
- Herpetologický průzkum,
- Hydrobiologický a ichtyologický průzkum a
- Chiropterologický průzkum.

V Tabulce 2 je seznam analyzovaných záměrů z IS EIA.

Číslo řádku	Název záměru
47	D8 0805 Lovosice - Řehlovice, část stavby A – trasa dálnice a F – tunel Radejčín
	D6 Ústecký kraj (km 62,594 - 74,7)
	Dálnice D3, stavba 0312 Kaplice-nádraží - Nažidla - Dolní Dvořiště, st. Hranice
	SOKP 518 Ruzyně - Suchdol
	Dálnice D3, stavba 0311, Třebonín - Kaplice-nádraží
	D6 Střední Čechy
48	Silnice I/42 Brno VMO v úseku tunel Vinohrady - D1
	I/46 Olomouc – východní tangenta (2022)
	Silnice II/490: Zlín, propojení I/49 - R49, 2. Úsek
	I/61 Propojení D6 a D7, I. Etapa
7	3 VTE Skřipová
	Větrné elektrárny Potštát - Lipná III
	VTE Třebom a VTE Sudice
	VTE Vrbice II
114	Kabinová lanovka, Dolní Morava
	Sáňkařská cesta Černá hora, úprava sjezdovky Černohorská
	Rozšíření sjezdových tratí Ještěd podle změny ÚP č. 66
	Špindlerův Mlýn – propojení areálů
	Harrachov – akumulční vodní nádrž, cvičný svah a úprava sjezdové tratě
	Lyžařský areál Horní Planá – Houbový vrch
79	Plán otvírky, přípravy a dobývání výhradního ložiska Žumberk od roku 2023 do

	vytěžení vymezené části – rozšíření DP Vížky
	Stanovení dobývacího prostoru Dřínov a pokračování těžby štěrkopísku na výhradním ložisku Hostín 2
	Dotěžení zásob v dobývacím prostoru Vrbatův Kostelec v lomu Zárubka a rekultivace ploch dotčených těžbou
	Pokračování těžby v lokalitě Bílčice
	Návrh na stanovení dobývacího prostoru Razová – Zadní vrch
	Pokračování těžby ložiska Mladovice v rámci stanoveného dobývacího prostoru Mladovice a modernizace provozu
	Stanovení dobývacího prostoru Chlumčany II a hornická činnost na výhradním ložisku kaolinu Chlumčany – Dobřany
	Povrchová těžba štěrkopísku v Sendražicích
	Hornická činnost na ložisku Krásný Dvůr - Podbořany (B3 111200) v DP Podbořany (60206)
	Zahloubení a těžba v lokalitě Ouštice
	Změna (rozšíření) dobývacího prostoru Zadní Kopanina a pokračování hornické činnosti v rozšířeném dobývacím
	Zahloubení a rozšíření kamenolomu Mirošov
	Rekultivace a terénní úpravy pískovny v katastru obce Křídlovky
	Rozšíření dobývacího prostoru Vižina a pokračování hornické činnosti v rozšířeném dobývacím prostoru
	Stanovení DP Velký Osek II a následné provádění hornické činnosti
	Stanovení DP Mohelnice II na výhradním ložisku staurolitu - abraziv Mohelnice 4 a následné provádění hornické činnosti na tomto ložisku (červen 2021)
	Změna: Plán otvírky, přípravy a dobývání pro část výhradního ložiska stavebního kamene Rácov v dobývacím prostoru Rácov ev.č. 7 0583 - zahloubení lomu
	Dobývání nevýhradního ložiska štěrkopísku Napajedla – Jih II

Tabulka 2: Seznam analyzovaných záměrů z IS EIA.

Autorizovaní hodnotitelé využívají, jako doplněk poznatků z vlastního terénního šetření, informace z Nálezové databáze spravované Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR (dále jen NDOP). NDOP představuje soubor dat o nálezech druhů

živočichů, rostlin či hub ve volné přírodě. Data v NDOP mají různý původ, nicméně samotná AOPK ČR je jedním z hlavních přispěvatelů a kontroluje kvalitu vkládaných dat. Analýza dokumentace z IS EIA byla proto doplněna o analýzu Metodiky Mapování, Metodiky Inventarizace druhů a Metodiky monitoringu velkých šelem AOPK ČR, které jsou dostupné na webu agentury v podrobné formě a jejichž výstupy jsou důležitou součástí NDOP.

Na základě veškerých zjištěných dat byla provedena komparace moderních terénních metod monitoringu aplikovaných ve světě a metodik nalezených v dokumentaci z IS EIA a na stránkách AOPK ČR.

5. Výsledné zhodnocení

Byla provedena rešerše moderních terénních metod monitoringu bioty ve světě (viz Tabulku 1) a dále analýza metod terénního monitoringu fauny a flóry aplikovaných při hodnocení vlivu záměrů na životní prostředí v ČR (viz Tabulku 3 a pro více podrobností Tabulku 4 v papírové příloze této práce). Výsledným zhodnocením je komparace těchto metod.

Z moderních metod byla ve vybraných hodnoceních hojně aplikována detekce ultrazvukového signálu u netopýrů. Bat detektor se používal v kombinaci s příslušným software, který dokázal automaticky rozpoznat druh (např. software SonoChiro od švédské společnosti Pettersson Elektronik AB či Kaleidoscope od Wildlife Acoustics, USA) anebo v kombinaci s poloautomatickým laboratorním zpracováním pomocí počítačového programu BatSound rovněž od firmy Pettersson (např. HBH Projekt spol. s r.o., 2022; HBH Projekt spol. s r.o., 2019; HuTur s r.o., 2016; Kočvara R., 2018; Volf O., 2017).

Akustické metody byly často aplikovány u ptáků a obojživelníků. Z popisu metodiky terénních šetření však nebylo jasné, zda se jednalo o akustický monitoring za pomoci nějaké technologie anebo jen přímý poslech odbornou osobou. Pouze v případě záměru Větrné elektrárny Potštát - Lipná III bylo specifikováno, že „*ptáci byli sledováni vizuálně a akusticky kombinací liniového (Pettersson M500-384) a stacionárního průzkumu v prostoru VTE a jejich okolí plošně min. do 1,5 km od VTE*“ (Kočvara R., 2021). AOPK ČR využívá k akustickému monitoringu ptáků, obojživelníků a hmyzu diktafony OLYMPUS řady DM a programovou sadu AMSrv k převodu nahrávek na spektogramy. Spektogramy jsou následně vyhodnocovány manuálně.

Metoda instalace fotopastí s manuálním vyhodnocením dat byla využita za účelem monitoringu velkých šelem u záměru Propojení areálů ve Špindlerově mlýně či pro monitoring savců u záměru Rozšíření sjezdových tratí Ještěd podle změny ÚP č. 66. Fotopasti jsou doporučeny pro monitoring velkých šelem a savců také Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. O případném software vyhodnocujícím data z fotopastí automaticky však v metodice nebyla zmínka.

AOPK ČR doporučuje pro monitoring kočky divoké fotopasti a chlupové pasti s atraktantem. Vzorky chlupů jsou následně prohlédnuty pod mikroskopem a podstupují analýzu DNA. Stejně tak má být analyzována DNA kadáverů kočky divoké. Jiný případ aplikace metody analýzy DNA nebyl v rámci analýzy nalezen.

	Rostliny	Ptáci	Savci	Obojživelníci a plazi
Metody z IS EIA	Pochůzky se zaměřením na výskyt chráněných taxonů nebo druhů uváděných v Červeném seznamu, fytoocenologické snímkování, mapování biotopů	Přímé pozorování, identifikace dle akustického projevu, pozorování znaků svědčících o hnízdění v dotčeném území (sběr potravy, krmení mláďat, nález hnízd, pelichání apod.), instalace hnízdních budek (sovy)	Přímé pozorování, transektové pochůzky, fotopasti, diktafon s manuálním vyhodnocením, sledování pobytových znaků (stopy, trus, optické, akustické a pachové označování teritoria, pozemní a podzemní příbytky, stopy po konzumaci potravy, vývržky, okus vegetace, vyšlapané stezky, hustota vyústění nor hlodavců v poli), nález uhynulého jedince, odchyt, instalace hnízdních budek (plch)	Vizuální vyhledávání, prohledávání úkrytů, sledování akustických projevů dospělců, vyhledávání a determinace snůšek, pulců i dospělců ve vodních biotopech a jejich okolí, sledování kadaverů na silnicích
Metody AOPK	Fytoocenologické snímkování, liniový transekt	Procházení, pozorování z automobilu či ze člunu, metoda mapovací, liniová, bodová, hladinového sčítání, hledání a sčítání hnízd, sčítání na shromaždištích, sledování tokajících párů, odposlech a hlasová provokace, vábnička, akustický monitoring pomocí digitálních záznamníků	Živolovné a padací pasti, přímé pozorování, nález uhynulého jedince, pobytové stopy, fotopasti, chlupové pasti s atraktantem, analýza DNA z chlupů a kadáverů	Prohledávání potenciálních stanovišť a úkrytů, umělá instalace úkrytů, kadavery na cestách, identifikace druhů na základě akustických projevů nebo nalezených snůšek, vizuální pozorování, lovení sítkou, využití odchytových bariér, živolovné pasti
	Bezobratlí	Netopýři	Hydrobiologický průzkum	Ichtyologický průzkum
Metody z IS EIA	Vizuální vyhledávání na povrchu a v úkrytech, individuální sběr (pomocí exhaustoru), smýkání, oklep, poslech stridulace samců, odchycení do entomologické sítky, prosevy detritu, vyšlapávání vlhkých míst, polévání břehů vodou, zemní pasti, oknová past, nárazové pasti, světelné lapače, pokládání potravních návnad	Metoda detekce ultrazvukových signálů (bat detektor), identifikační software, vyhledávání zimovišť	Vizuální vyhledávání na povrchu a v úkrytech, vyhledávání zbytků těl okolí toku a v trusu predátorů (raci), prolovování sítkou, obracení kamenů, odchyt živočichů na vodní hladině	Lov elektrickým agregátem
Metody AOPK	Pozorování, zemní pasti, prosev, smyk, poslech stridulace samců, sklepávání, sběr pod kůrou stromů, nárazové pasti, světelné lapače, individuální sběr, odchyt do entomologické sítky, nález vajíček na hostitelských rostlinách	Sčítání na zimovištích, průzkum letních kolonií, odchyt do nárazových sítí, detekce ultrazvukových signálů	Prolovování cedníkem nebo vodní sítkou, odchyt entomologickou sítkou s násadou, individuální sběr larev ze dna, procházení korytem toku, sběr exuvií, živolovné pasti	Kontinuální lov, lov příbřežních pásů, lov bodovou metodou, lov z lodi, kontrola loviště a zbytkových tůň po výlovu rybníka, lov elektrickým agregátem

Tabulka 3: Monitorovací metody z IS EIA a AOPK ČR.

6. Diskuse

Na vzestupu jsou mnohé technologie založené na umělé inteligenci (Wäldchen a Mäder, 2018) či analýze DNA (Compson a kol., 2020) a bezpilotní zařízení umožňující efektivnější monitoring fauny a flóry (Suk-Ju a kol., 2019, Mikula a kol., 2021).

Na základě analýzy dat z Informačního systému EIA bylo zjištěno, že některé z moderních metod monitoringu jsou již aplikovány v rámci terénních šetření v ČR. Vzhledem k úspoře času, financí a dalším výhodám demonstrováným v citovaných studiích by tradiční metody mohly být doplněny i o další technologické inovace uvedené v rešeršní části této práce.

Automatická identifikace obrazu a zvuku

V případě užití kvalitních a dobře strukturovaných sad digitálních fotografií je možné určovat druhy bylin s přesností přes 97 % (Rzanny a kol., 2019). Dobře trénovaný systém se považuje za srovnatelný se schopnostmi experta, pokud jde o určování rostlin z fotografií (Goëau, 2018). V případě fotografií z fotopastí v rámci projektu Snapshot Serengeti byly druhy určovány hlubokými neurálními sítěmi s přesností přes 93,8 % (Norouzzadeh a kol., 2018). Výhodou metody monitoringu pomocí fotopastí je dlouhodobý charakter monitorování, a tudíž lepší možnost zachytit vzácné nebo méně zvukově aktivní druhy (Sugai a kol., 2019). V případě monitoringu v těžko dostupném terénu je přínosem i bezpečnost pro zaměstnance sbírající data (Marchal a kol., 2021).

Aplikace umělé inteligence při určování druhů rostlin i živočichů má však mnohá úskalí. Je to především existence obrovského množství druhů rostlin na planetě, rozdílná morfologie jedinců v rámci jednoho druhu či podobnost mezi různými druhy (Wäldchen a kol., 2018). Některé nenápadné znaky rostlin, díky kterým je druh možné rozpoznat, nejsou na fotce přítomny (Jones, 2020). Algoritmy hlubokého učení vyžadují velké množství kvalitně strukturovaných obrázků, aby mohly být rostliny a živočichové správně určeny (Rzanny a kol., 2019, Wäldchen a Mäder, 2018). Totéž platí u automatické identifikace zvuku, kde chybí komplexní, odborníky potvrzené databáze zvuků (Gibb a kol., 2018). Výzvou dále zůstává identifikace druhu v případě, že se jich na obrázku či v rámci zvukové stopy vyskytuje větší množství (Norouzzadeh a kol., 2018). Autoři Meek a kolektiv kromě toho upozorňují, že kvůli zvuku a světlu, které zařízení emituje, by byla chyba označovat fotopasti za neinvazivní nerušivou metodu monitoringu (Meek a kol., 2016). Limity aplikace

metody automatického rozpoznávání obrazu či zvuku spočívaly též v relativně vysokých vstupních nákladech (Wearn a Glover-Kapfer, 2019).

Dle analýzy metodik terénních průzkumů jsou rostliny určovány odborníky na základě klíčů (např. Klíč ke květeně ČR, Kaplan et. al 2019) a taxonomické expertízy. Automatické rozpoznávání rostlin na základě fotografie se nevyužívá. Monitoring pomocí fotografií se však používá u velkých savců, a to prostřednictvím fotopastí. Jakým způsobem jsou data z fotopastí vyhodnocována, nebylo uvedeno, nicméně lze předpokládat, že pokud by byl využit software pro automatickou identifikaci druhů, byla by tato informace zmíněna, stejně jako například u bat detektoringu.

V oblasti automatické identifikace zvuku se ve světě umělá inteligence nejvíce využívá k monitoringu netopýrů, protože existují vhodné softwarové balíky a knihovny pro automatické rozpoznávání netopýřích druhů (Sugai a kol., 2019). Tento software je dle analýzy dokumentace z IS EIA s úspěchem využíván i v tuzemsku. Bat detektor se používal v kombinaci s příslušným software, který dokázal automaticky rozpoznat druh (např. software SonoChiro od švédské společnosti Pettersson Elektronik AB či Kaleidoscope od Wildlife Acoustics, USA) anebo v kombinaci s poloautomatickým laboratorním zpracováním pomocí počítačového programu BatSound rovněž od firmy Pettersson.

Důvodem, proč se umělá inteligence při rozpoznávání fotografického a zvukového (u jiných druhů než netopýrů) materiálu nepoužívá, může být velikost vstupních nákladů při nákupu technologií nebo nedostupnost vhodného software pro spolehlivé rozpoznávání tuzemské fauny a flóry. Nabízí se také úvaha, že v ČR disponujeme dostatečným množstvím taxonomů, kteří jsou schopni zajistit veškeré tuzemské biologické průzkumy.

eDNA metabarcoding

Při aplikaci genomických metod hraje zásadní roli finanční náročnost bioinformatických technologií, což potvrzují i citované studie (Valentini a kol., 2015), (Watts a kol., 2019). Konvenční metody monitoringu jsou naproti tomu náročné z hlediska třídění a identifikace exemplářů a vyžadují značnou expertízu (Watts a kol., 2019).

Odebírání vzorků půdy bylo u eDNA méně náročné než shromažďování exemplářů pomocí konvenčních pastí (Valentini a kol., 2015, Watts a kol., 2019). DNA metabarcoding ze vzorku půdy umožnil rychlou determinaci organismů s přesností do rodu a druhu (Watts a kol., 2019). Za další výhodu označili autoři neinvazivní

povahu metody a odhalení vzácných či velice drobných a těžko identifikovatelných druhů (Valentini a kol., 2015, Yonezawa a kol., 2020).

Byly však zjištěny určité nepřesnosti v identifikaci, což představovalo nevýhodu metody DNA metabarcodingu. Chybná identifikace nebo neschopnost přesného určení do rodu či druhu pramenila z neadekvátního zastoupení druhů v referenčních sekvenovacích databázích nebo z nevhodně zvoleného PCR primeru. Rozvoj těchto databází představoval dle autorů zásadní výzvu pro metodu DNA metabarcodingu. Další nevýhodou byla neschopnost stanovení abundance jednotlivých druhů (Rodgers a kol., 2017, Valentini a kol., 2015 a Watts a kol., 2019). Autoři studií doporučili DNA metabarcoding jako doplňkovou metodu k běžným postupům (Rodgers a kol., 2017, Valentini a kol., 2015).

V rámci terénních šetření v ČR nebyla nalezena informace o využití analýzy DNA za účelem monitoringu fauny a flóry. Pouze v rámci Metodiky monitoringu velkých šelem AOPK ČR (Černá B., Hanzal V., Jelínková J., Kluchová A., Krajča T., Strnad M., Tomášek V., 2020) je stanovena analýza DNA z chlupů a kadáverů kočky divoké. eDNA metabarcoding by mohl být uplatněn v případě záměrů, na jejichž lokalitě je důvod předpokládat existenci vzácných či skrytě žijících druhů. Nebo při monitoringu velice citlivých druhů. Ve vodním prostředí, kde jsou ichtyologické průzkumy často prováděny pomocí elektrolovu, by mohl DNA metabarcoding představovat vhodnou neinvazivní alternativu. Překážkou však může být finanční náročnost laboratorních technologií a nerozvinutá spolupráce mezi terénními pracovníky a biologickými laboratoři. Finanční efektivitu investice by bylo nutné detailně zhodnotit.

Bezpilotní zařízení

Bezpilotní systémy byly vnímány jako bezpečné, pohodlné a nerušivé prostředky pro získávání obrazového materiálu zejména o vodních ptácích či středních a velkých savcích (Chabot a Bird, 2015). V rámci analýzy terénních šetření v ČR nebyl nalezen případ využití bezpilotního zařízení. Ačkoliv například za účelem detekce zvířat skrytých v husté vegetaci by mohly drony v kombinaci s termovizní nalézt uplatnění. Dále je v tuzemsku možné využít bezpilotní systémy pro monitoring vodních ptáků na větších vodních plochách. Na Slovensku bylo využito satelitních dat k průzkumu tamních habitatů. Dálkový průzkum habitatů spolu s terénní fytoecologií umožnil identifikovat důležité ekologické lokality a sledovat je v čase. Software na základě dat Sentinel 2 však zachytil pouze biotopy větší než 100 – 200 m² (Mikula a kol., 2021).

7. Závěr a přínos práce

V bakalářské práci byla pozornost zaměřena na moderní metody monitoringu fauny a flóry ve světě a bylo zjišťováno, zda jsou tyto metody používány i v tuzemské praxi. Z komparace vyplývá, že ze zkoumaných metod našel největší uplatnění detektoring netopýrů, který byl doprovázen příslušným programem pro automatickou identifikaci druhu. Dále byla Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR využívána nahrávací zařízení pro akustický monitoring ptáků, obojživelníků a hmyzu. K identifikaci druhů však, dle dostupných informací, docházelo manuálně. Savci byly u některých záměrů a v rámci monitoringu AOPK ČR sledování pomocí fotopastí. Informace o způsobu vyhodnocování výsledných dat nebyly k dispozici. Analýza DNA je využívána AOPK ČR pro monitoring kočky divoké.

V rámci biologických průzkumů existuje v ČR zavedená praxe, která by mohla být obohacena o nové metody. Zejména při vyhodnocování obrazového materiálu z fotopastí a zvukových záznamů z nahrávacích zařízení by mohl vhodný software, schopný automaticky identifikovat druh, ušetřit značné množství času. V případě monitoringu vzácných či skrytě žijících druhů se nabízí jako výhodné řešení analýza příslušné eDNA (z vody či půdy). Vzorek z nepřístupného terénu může být teoreticky odebrán pomocí bezpilotního zařízení.

Každá z metod uvedená v literární rešerši této práce vykazuje určitá úskalí, která mohou v tuzemsku bránit jejich aplikaci. Zároveň není důvod, aby nové metody nahradily ty stávající, osvědčené. Spíše představují doplňující zdroj informací v případech, které byly v této práci již nastíněny, a ukazují směr, kterým by se mohl monitoring dále posouvat.

Potenciál na poli biomonitoringu, který v této práci zatím nebyl zmíněn, může představovat zapojení občanů do pozorování přírody pomocí digitalizovaných nálezových databází. iNaturalist je příkladem projektu občanské vědy a sociální sítě pro přírodovědce, dobrovolníky a biology založené na sdílení pozorování po celém světě. Pozorování je možné vkládat prostřednictvím webového formuláře nebo mobilní aplikace. Uživatelé nahrávají fotografie jako důkaz svých nálezů, nepovinně je možné přidat i zvukový záznam. Kromě pozorování, která jsou identifikována komunitou, obsahuje iNaturalist nástroj pro automatizovanou identifikaci druhů, poprvé zpřístupněný v roce 2017. Obrázky lze identifikovat pomocí modelu počítačového vidění, který byl natrénován na velké databázi pozorování iNaturalist. Model je trénován jednou nebo dvakrát ročně (Wikipedia, 2023). V ČR máme díky AOPK ČR Nálezovou databázi a aplikaci BioLog, prostřednictvím které je možné kýmkoliv fotit, lokalizovat a zaznamenávat data do celorepublikové Nálezové

databáze. Dle článku v časopise Ochrana přírody z ledna 2023 (Vild a kol., 2023) uvažuje kolektiv autorů Ondřej Vild, Ondřej Veselý a Karel Chobot, na základě testování modelu hluboké konvoluční sítě Plant.id od brněnské firmy FlowerChecker, o začlenění automatického rozpoznávání rostlin do aplikace BioLog. Tím by mohl být uživatel upozorněn na možnou špatnou identifikaci druhu ještě před vložením záznamu, v důsledku čehož by se celá databáze stala spolehlivější.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Články z citačních databází

- Alonso J. B., Cabrera J., Shyamnani R., Travieso C. M., Bolaños F., García A., Villegas A., Wainwright M, 2017: Automatic anuran identification using noise removal and audio activity detection. *Expert Systems with Applications*, Volume 72, P. 83-92.
- Bejček V., Fialová Š., Linhart J., Miko L., Pivnička K., Růžička J., Šťastný K., Vojar J., 2001, *Metody studia ekosystémů*. Česká zemědělská univerzita v Praze, lesnická fakulta, Praha.
- Bendik N. F., Morrison T. A., Gluesenkamp A. G., Sanders M. S., O'Donnell L. J., 2013: Computer-Assisted Photo Identification Outperforms Visible Implant Elastomers in an Endangered Salamander, *Eurycea tonkawae*. *PLOS ONE* 8 (3): e59424.
- Bolger D. T., Morrison T. A., Vance B., Lee D., Farid H., 2012: A computer-assisted system for photographic mark–recapture analysis. *British Ecological Society* Volume 3, Issue 5. P. 813-822.
- Compson Z. G., McClenaghan B., Singer Gregory A. C., Fahner N. A., Hajibabaei M., 2020: Metabarcoding From Microbes to Mammals: Comprehensive Bioassessment on a Global Scale. *Frontiers in Ecology and Evolution* Volume 8.
- Elbrecht, V a Steinke, D., 2019: Scaling up DNA metabarcoding for freshwater macrozoobenthos monitoring. *Freshw Biol.* 64. P. 380– 387.
- Friberg, N., Bonada, N., Bradley, D. C., Dunbar, M. J., Edwards, F. K., Grey, J., 2011: Biomonitoring of human impacts in freshwater ecosystems: the good, the bad and the ugly. *Advances in Ecological Research*, Academic Press, Volume 44. P. 1-68.
- Gibb R., Browning E., Glover-Kapfer P., Jones K. E., 2018: Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution* Volume 10, Issue 2. P. 169-185.
- Goëau H, Joly A, Bonnet P, Lasseck M, Šulc M, Hang ST, 2018: Deep learning for plant identification: how the web can compete with human experts. *Biodivers Inf Sci Stand* Volume 2.
- Hoffmann C., Schubert G., Calvignac-Spencer S., 2016: Aquatic biodiversity assessment for the lazy. *Molecular Ecology*, Volume 25, Issue 4. P. 846-848.

- Chabot D. a Bird D. M., 2015: Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in? *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, Volume 3(4). P. 137-155.
- Janiesch Ch., Zschech P. a Heinrich K., 2021: Machine learning and deep learning. *Electron Markets* 31. P. 685–695.
- Jones H. G., 2020: What plant is that? Tests of automated image recognition apps for plant identification on plants from the British flora. *AoB PLANTS*, Volume 12, Issue 6, plaa052.
- Karp D., 2020: Detecting small and cryptic animals by combining thermography and a wildlife detection dog. *Sci Rep* 10, 5220.
- Kirse A., Bourlat S. J., Langen K., Fonseca V. G., 2021: Unearthing the Potential of Soil eDNA Metabarcoding - Towards Best Practice Advice for Invertebrate Biodiversity Assessment. *Frontiers in Ecology and Evolution*, Volume 9.
- Liu, M., Clarke, L.J., Baker, S.C., Jordan, G.J., Burrige, C.P., 2020: A practical guide to DNA metabarcoding for entomological ecologists. *Ecol Entomol*, Volume 45, Issue 3. P. 373-385.
- Marchal J., Fabianek F., Aubry Y., 2021: Software performance for the automated identification of bird vocalisations: the case of two closely related species. *Bioacoustics - The International Journal of Animal Sound and its Recording*, Volume 31, Issue 4. P. 397-413.
- Meek P., Ballard G., Fleming P. a Falzon G., 2016: Are we getting the full picture? Animal responses to camera traps and implications for predator studies. *Ecol Evol*, 6. P. 3216-3225.
- Mikula K., Šibíková M., Ambroz M., Kollár M., Ožvat A.A., Urbán J., Jarolímek I., Šibík J., 2021: NaturaSat - A Software Tool for Identification, Monitoring and Evaluation of Habitats by Remote Sensing Techniques. *Remote Sens.*, 13. P. 3381.
- Miya M., Gotoh R.O. a Sado T., 2020: MiFish metabarcoding: a high-throughput approach for simultaneous detection of multiple fish species from environmental DNA and other samples. *Fish Sci* 86. P. 939–970.
- Norouzzadeh M. S., Nguyen A., Kosmala M., Swanson A., Palmer M. S., Packer C., Clune J., 2018: Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, 25 (2018), E5716–E5725.

- Pawlowski J., Bruce K., Panksep K., Aguirre F. I., Amalfitano S., Apothéloz-Perret-Gentil L., Baussant T., Bouchez A., Carugati L., Cermakova K., Cordier T., Corinaldesi C., F.O. Costa, R. Danovaro, A. Dell'Anno, S. Duarte, U. Eisendle, B.J.D. Ferrari, F. Frontalini, L. Frühe, A. Haegerbaeumer, V. Kisand, A. Krolicka, A. Lanzén, F. Leese, F. Lejzerowicz, E. Lyautey, I. Maček, M. Sagova-Marečková, J.K. Pearman, X. Pochon, T. Stoeck, R. Vivien, A. Weigand, S. Fazi, 2022: Environmental DNA metabarcoding for benthic monitoring: A review of sediment sampling and DNA extraction methods. *Science of The Total Environment* Volume 818, 151783, ISSN 0048-9697.
- Pešout J. a Šíma J., 2022: Co znamená nařízení Evropské unie na obnovu přírody pro Českou republiku. *Ochrana přírody* 77. S. 2 – 7.
- Rodgers T.W., Xu C.C.Y., Giacalone J., Kapheim K. M., Saltonstall K., Vargas M., Yu D. W., Somervuo P., McMillan W. O., Jansen P. A., 2017: Carrion fly-derived DNA metabarcoding is an effective tool for mammal surveys: Evidence from a known tropical mammal community. *Mol Ecol Resour.*, Volume 17. P. 133 -145.
- Romiti F., Bissattini A. M., Buono V., Cifarelli C., Rocca F. D., Eniang E. A., Akani G. C., Luiselli L., Superti V., Carpaneto G. M., Vignolia L., 2017: Photographic identification method (PIM) using natural body marks: A simple tool to make a long story short. *Zoologischer Anzeiger* Volume 266, P. 136-147.
- Rzanny M., Mäder P., Deggelmann A., Chen M., Wäldchen J., 2019: Flowers, leaves or both? How to obtain suitable images for automated plant identification. *Plant Methods* 15, číslo článku 77.
- Seier G., Hödl C., Abermann J., Schöttl S., Maringer A., Hofstadler D. N., Pröbstl-Haider U., Lieb G. K., 2021: Unmanned aircraft systems for protected areas: Gadgets or necessity? *Journal for Nature Conservation*, Volume 64.
- Sugai L. S. M., Silva T. S. F., Ribeiro J. W., Jr, Llusia D., 2019: Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. *BioScience*, Volume 69, Issue 1, P. 15–25.
- Suk-Ju H., Yunhyeok H., Sang-Yeon K., Ah-Yeong L., Ghiseok K., 2019: Application of Deep-Learning Methods to Bird Detection Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery. *Sensors*, Volume 19, Issue 7.

- Ushio M., Murata K., Sado T., Nishiumi I., Takeshita M., Iwasaki W., Miy M., 2018: Demonstration of the potential of environmental DNA as a tool for the detection of avian species. *Sci Rep* 8. P. 4493.
- Valentini A., Taberlet P., Miaud C., Civade R., Herder J., Thomsen P.F., Bellemain E., Besnard A., Coissac E., Boyer F., Gaboriaud C., Jean P., Poulet N., Roset N., Copp G.H., Geniez P., Pont D., Argillier C., Baudoin J.-M. Peroux, T. Crivelli, A.J. Olivier, A. Acqueberge, M. Le Brun, M. Møller, P.R. Willerslev, E. a Dejean, T., 2016: Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. *Mol Ecol*, 25. P. 929-942.
- Vild O., Veselý O., Chobot K., 2023: Co může databázím přinést automatické rozpoznávání rostlin? *Ochrana přírody* 78. S. 28-29.
- Wäldchen J. a Mäder P., 2018: Machine learning for image based species identification. *Methods in Ecology and Evolution* Volume 9, Issue 11, P. 2216-2225.
- Wäldchen J., Rzanny M., Seeland M., Mäder P., 2018: Automated plant species identification - Trends and future directions. *PLOS Computational Biology* 14(4): e1005993.
- Watts, C., Dopheide, A., Holdaway, R., Davis, C., Wood, J., Thornburrow, D., a Dickie, I. A., 2019: DNA metabarcoding as a tool for invertebrate community monitoring: a case study comparison with conventional techniques. *Austral Entomology*, Volume 58. P. 675– 686.
- Wearn O. R. a Glover-Kapfer P., 2019: Snap happy: camera traps are an effective sampling tool when compared with alternative method. *Royal Society Open Science*, Volume 6, Issue 3.
- Weinstein, B. G., 2017: A computer vision for animal ecology. *Journal of Animal Ecology* Volume 87, Issue 3, P. 533– 545.
- Witt R. R., Beranek C. T., Howell L. G., Ryan S. A., Clulow J., Jordan N. R., Denholm B., Roff A., 2020: Real-time drone derived thermal imagery outperforms traditional survey methods for an arboreal forest mammal. *PLOS ONE* 15(11): e0242204.
- Yonezawa, S., Ushio, M., Yamanaka, H., Masaki M., Atsushi T., Yuji I., 2020: Environmental DNA metabarcoding reveals the presence of a small, quick-moving, nocturnal water shrew in a forest stream. *Conserv Genet* 21. P. 1079–1084.

Internetové zdroje

- AOPK ČR, 2022: Metodiky Inventarizace (online) [cit. 2023.17.02.], dostupné z <https://portal.nature.cz/publik_syst/ctihtmlpage.php?what=6230&X=X>.
- AOPK ČR, 2022: Metodiky Mapování (online) [cit. 2023.17.02.], dostupné z <https://portal.nature.cz/publik_syst/ctihtmlpage.php?what=6230&X=X>.
- Černá B., Hanzal V., Jelínková J., Kluchová A., Krajča T., Strnad M., Tomášek V., 2020: Metodika monitoringu velkých šelem (online) [cit. 2023.19.02.], dostupné z <
https://portal.nature.cz/publik_syst/files/vselmy_mon_met_2020.pdf>.
- Chytrý M., Kučera T., Kočí M., Grulich V., Lustyk P., 2010: Katalog Biotopů České republiky, Druhé vydání (online) [cit. 2022.04.12], dostupné z <https://portal.nature.cz/publik_syst/files/katalog-biotopu-cr-2-vydani.pdf>.
- IPBES, 2019: Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (online) [cit. 2022.02.11.], dostupné z <
<https://zenodo.org/record/6417333#.Y-vo9XbMKUk>>.
- Lacko L., 2019: Strojové učení: S učitelem i bez něj (online) [cit. 2022.23.09], dostupné z <<https://www.cio.cz/clanky/strojove-uceni-s-ucitelem-i-bez-nej/>>.
- Petterson, ©2016: SonoChiro (online) [cit. 2023.04.02.], dostupné z <
<https://batsound.com/product/sonochiro/>>.
- Wikipedia, ©2023: iNaturalist (online) [cit. 2023.04.02.], dostupné z <<https://en.wikipedia.org/wiki/iNaturalist>>.
- Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí)

Dokumentace z IS EIA

- HBH Projekt spol. s r.o., 2019: D8 0805 Lovosice – Řehlovice, část stavby A - trasa dálnice a F – tunel Radejčín. Hodnocení vlivu na přírodu a krajinu podle §67 zákona 114/1992 Sb. Dostupné z: <https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP487?lang=cs>.
- Bartonička T., 2017: Propojení areálů Špindlerův Mlýn. Vliv rozšíření lyžařských areálů Medvědin a Hromovka na populace letounů (Chiroptera) Posouzení vlivu kácení dřevin na lokální populace netopýrů Závěrečná zpráva z projektu. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_HKK906?lang=cs>.

- Bauer P., 2016: Akumulační nádrž, cvičný svah a úprava sjezdové tratě. Biologický průzkum. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_LBK657?lang=cs>.
- Bušek O., 2017: VTE Vrbice II. Biologické hodnocení lokality podle § 67 zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších úprav. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_KVK533?lang=cs>.
- EKOEX JIHLAVA, 2020: Dotěžení zásob v dobývacím prostoru Vrbatův Kostelec v lomu Zárubka a rekultivace ploch dotčených těžbou. BIOLOGICKÝ PRŮZKUM. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_PAK917?lang=cs>.
- EKOEX JIHLAVA, 2020: Změna: Plán otvirky, přípravy a dobývání pro část výhradního ložiska stavebního kamene Rácov v dobývacím prostoru Rácov ev.č. 7 0583 - zahloubení lomu. BIOLOGICKÝ PRŮZKUM. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_VYS1041?lang=cs>.
- EKOEX JIHLAVA, 2022: Sáňkařská cesta Černá hora, úprava sjezdovky Černohorská. BIOLOGICKÝ PRŮZKUM. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_HKK1060?lang=cs>.
- Ekogroup Czech s.r.o., 2018: Hodnocení vlivu navrženého významného zásahu: „Zahloubení a těžba v lokalitě Ouštica“ dle §67 zák. č. 114/1992 Sb., v platném znění. Dostupné z:
<https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2167?lang=cs>.
- Ekogroup Czech s.r.o., 2019: Hodnocení vlivu navrženého významného zásahu: „Dobývání nevýhradního ložiska štěrkopísků Napajedla - Jih II“ dle §67 zák. č. 114/1992 Sb., v platném znění. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_ZLK906?lang=cs>.
- Ekogroup Czech s.r.o., 2019: Odborné posouzení k vlivu záměru „Špindlerův mlýn – propojení areálů“ na biotop rýsa ostrovida v EVL Krkonoše. Dostupné z: <https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_HKK906?lang=cs>.
- Ekogroup Czech s.r.o., 2021: Hodnocení vlivu navrženého významného zásahu: „Pokračování těžby v lokalitě Bílčice“ dle §67 zák. č. 114/1992 Sb., v platném znění. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MSK2266?lang=cs>.
- Ekologické poradenství, 2019: Povrchová těžba štěrkopísku v Sendražicích. Hodnocení vlivu závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny dle §

- 67 odst. 1 zákona 114/1992 Sb. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_HKK949?lang=cs>.
- Ekologické poradenství, 2020: Povrchová těžba šterkopísku v Sendražicích. Základní průzkum bezobratlých pro záměr. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_HKK949?lang=cs>.
 - Farkač J., 2018: SOKP 518 RUZYNĚ – SUCHDOL. Přírodovědný průzkum a hodnocení vlivu závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny, zpracované podle § 67 zákona č. 114/1992 Sb., v pl. znění, v rozsahu vyhlášky č. 142/2018 Sb. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP486?lang=cs>.
 - GEKON spol. s r.o., 2019: Stanovení dobývacího prostoru CHLUMČANY II a hornická činnost na výhradním ložisku kaolinu Chlumčany – Dobřany. Hodnocení vlivu závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OV3086?lang=cs>.
 - Geo Vision, 2017: D3 0311 Třebonín – Kaplice nádraží. Aktualizace biologických průzkumů. Dostupné z:
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP480?lang=cs>.
 - Háková A., 2022: Návrh na stanovení dobývacího prostoru Razová – Zadní vrch. Hodnocení vlivu závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny dle § 67 zákona č. 114/1992 Sb. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MSK2269?lang=cs>.
 - HBH Projekt spol. s r.o., 2022: I/46 Olomouc – východní tangenta. Hodnocení vlivů závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny ve smyslu §67 zákona 114/1992 Sb. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OLK912?lang=cs>.
 - HuTur o.s., 2018: Průzkum vybraných skupin živočichů v rámci záměru “Rozšíření sjezdových tratí Ještěd podle změny ÚP č. 66”. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_LBK665?lang=cs>.
 - HuTur o.s., 2019: Ověřovací ornitologický průzkum na vybraných lokalitách v oblasti Ještědu v rámci záměru “Areál Ještěd - Lanovka Skalka”. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_LBK665?lang=cs>.
 - HuTur s r.o., 2016: Propojení areálů Špindlerův Mlýn. Průzkum vybraných skupin hmyzu v rámci záměru. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_HKK906?lang=cs>.
 - Kočvara R., 2017: D6 Střední Čechy. AKTUALIZOVANÉ BIOLOGICKÉ HODNOCENÍ ÚZEMÍ ZÁMĚRU SE ZAMĚŘENÍM NA MIGRACI

- ŽIVOČICHŮ. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OV1213?lang=cs>.
- Kočvara R., 2018: SILNICE I/42 BRNO VMO V ÚSEKU TUNEL VINOHRADY – D1. BIOLOGICKÝ PRŮZKUM A HODNOCENÍ ÚZEMÍ ZÁMĚRU. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_JHM1423?lang=cs>.
 - Kočvara R., 2019: PRŮZKUM BIOTY TLOSKOVSKÉHO POTOKA. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2167?lang=cs>.
 - Kočvara R., 2020: I/61 Kladno, obchvat. Hodnocení vlivu zamýšleného závažného zásahu. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2195?lang=cs>.
 - Kočvara R., 2020: VTE TŘEBOM A VTE SUDICE. BIOLOGICKÉ POSOUZENÍ ZÁMĚRU Z POHLEDU MOŽNÝCH VLIVŮ NA PTÁKY A NETOPÝRY. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP501?lang=cs>.
 - Kočvara R., 2021: SILNICE II/490: ZLÍN, PROPOJENÍ I/49 - R49, 2. ÚSEK. Hodnocení vlivu zamýšleného závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_ZLK912?lang=cs>.
 - Kočvara R., 2021: VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY POTŠTÁT – LIPNÁ III. BIOLOGICKÉ POSOUZENÍ ZÁMĚRU Z POHLEDU MOŽNÝCH VLIVŮ NA PTÁKY A NETOPÝRY. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OLK907?lang=cs>.
 - Kočvara R., Kulík P.: 2021: Pískovna Křídlovky – rozšíření těžby a rekultivace. Biologické posouzení lokality Pískovna Křídlovky pro účely těžby písku. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_JHM1633?lang=cs>.
 - Lagner Zimová K., 2021: Větrný park Skřipová. Hodnocení vlivu zásahu na přírodu a krajinu podle § 67 Zák. 114/1992. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_KVK556?lang=cs>.
 - Langer Zimová K., 2020: Hornická činnost na ložisku Krásný Dvůr – Podbořany (B3 111200) v DP Podbořany (60206). Přírodovědný průzkum. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_ULK1080?lang=cs>.
 - Losík J. a Háková A., 2021: PLÁN OTVÍRKY, PŘÍPRAVY A DOBÝVÁNÍ VÝHRADNÍHO LOŽISKA ŽUMBERK OD ROKU 2023 DO VYTĚŽENÍ

VYMEZENÉ ČÁSTI – ROZŠÍŘENÍ DP VÍŽKY. Biologické posouzení.

Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_PAK913?lang=cs>.

- Losík J., 2022: Kabinová lanovka - Dolní Morava. Hodnocení vlivu závažného zásahu na zájmy ochrany přírody a krajiny dle § 67 zákona č. 114/1992 Sb. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_PAK943?lang=cs>.
- Melichar V., 2019: D3 0312 Kaplice, nádraží – Nažidla – Dolní Dvořiště, státní hranice. Hodnocení („biologické“) podle § 67 zákona č. 114/1992 Sb. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP481?lang=cs>.
- R. O. S. Fénix, 2021: STANOVENÍ DOBÝVACÍHO PROSTORU DŘÍNOV A POKRAČOVÁNÍ TĚŽBY ŠTĚRKOPÍSKU NA VÝHRADNÍM LOŽISKU HOSTÍN 2. Biologický průzkum. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2458?lang=cs>.
- SEEB engineering s.r.o., 2019: Změna (rozšíření) dobývacího prostoru Zadní Kopanina a pokračování hornické činnosti v rozšířeném dobývacím prostoru. Hodnocení vlivu zamýšleného zásahu na chráněné zájmy ve smyslu § 67 zákona č. 114\1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny v platném znění. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_PHA1076?lang=cs>.
- Véle A., 2016: ZMĚNA (ROZŠÍŘENÍ) DOBÝVACÍHO PROSTORU ZADNÍ KOPANINA A POKRAČOVÁNÍ HORNICKÉ ČINNOSTI V ROZŠÍŘENÉM DOBÝVACÍM PROSTORU. Biologické posouzení záměru. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_PHA1076?lang=cs>.
- Véle A., 2019: Mladovice. Biologické posouzení záměru. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2272?lang=cs>.
- Véle A., 2020: STANOVENÍ DP MOHLENICE II NA VÝHRADNÍM LOŽISKU STAUROLITU – ABRAZIV MOHELNICE 4 A NÁSLEDNÉ PROVÁDĚNÍ HORNICKÉ ČINNOSTI NA TOMTO LOŽISKU. Biologické posouzení záměru – aktualizace. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OLK892?lang=cs>.
- Véle A., 2020: STANOVENÍ DP VELKÝ OSEK II A NÁSLEDNÉ PROVÁDĚNÍ HORNICKÉ ČINNOSTI. Biologické posouzení záměru. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2433?lang=cs>.
- Véle A., 2021: VIŽINA – ROZŠÍŘENÍ DOBÝVACÍHO PROSTORU. Biologický průzkum. Dostupné z: < https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_STC2442?lang=cs>.

- Véle A., 2021: Zahloubení a rozšíření kamenolomu Mirošov. Biologické posouzení záměru. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_VYS1148?lang=cs>.
- Volf O., 2017: D6 Ústecký kraj (km 62,594 - 74,7). Vyhodnocení vlivu záměru na flóru, faunu a ekosystémy. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_OV4180?lang=cs>.
- Volfová E., 2018: LYŽAŘSKÝ AREÁL HOUBOVÝ VRCH HORNÍ PLANÁ. Biologické hodnocení záměru. Dostupné z: <
https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_JHC887?lang=cs>.

9. Přílohy

- Tabulka 4: Metody monitoringu fauny a flóry – podrobný přehled dle analýzy záměrů z IS EIA.

