Program **Prostředí pro život**

Project TAČR SS07020317

Monitoring rozšíření a managementu invazních a expanzních rostlin s využitím pokročilých metod DPZ

Průběžná zpráva 2025

Autoři zprávy a výstupů

PřF UK

Lucie Kupková, Markéta Potůčková, Lucie Červená, Jakub Lysák, Záboj Hrázský, Alex Šrollerů, Mojmír Polák, Barbora Novotná

Botanický ústav AV ČR

Michaela Vítková, Jan Čuda, Jiří Sádlo, Marie Černá, Eliška Hlaváčová, Kateřina Karabeleš, Klára Kušková, Josef Kutlvašr, Lukáš Kysela, Jan Pergl, Irena Perglová, Ivana Rajznoverová, Zuzana Sixtová, Vojtěch Vítek

Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta, Botanický ústav AV ČR, v. v. i.

leden 2026

CHARLES UNIVERSITY
Faculty of Science

BOTANICKÝ ÚSTAV AV ČR v.v.i.

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

1. Identifikační údaje/základní informace

Program: Prostředí pro život

Název projektu: Monitoring rozšíření a managementu invazních a expanzních rostlin s využitím pokročilých metod DPZ

Číslo projektu: SS07020317

Období řešení projektu: duben 2024 až červen 2026

Účastníci projektu: Univerzita Karlova Přírodovědecká fakulta (hlavní příjemce)
Botanický ústav AV ČR, v. v. i.

Hlavní řešitel: doc. RNDr. Lucie Kupková Ph.D.

Uživatel výsledku: Správa KRNAP

2. Představení projektu – cíle/činnosti

Cílem projektu je navrhnout a automatizovat technologii monitoringu rozšíření a kontroly efektivity různých typů managementu vybraných druhů invazních a expanzních rostlin s využitím pokročilých metod DPZ. Dílčí cíle:

1. Pořídit v různých termínech (v různých vývojových fázích) multispektrální UAV data s velmi vysokým prostorovým rozlišením a zároveň botanická referenční data pro lokality s porosty zájmových druhů v Krkonoších a Orlických horách.

2. Testovat spolehlivost mapování invazních/expanzních rostlin pomocí DPZ pro (a) efektivní monitoring rozšíření a (b) kontrolu úspěšnosti různých managementových zásahů (pastva, kosení, chemické ošetření, mulčování, vyrývání), na základě výsledků navrhnout ověřenou technologii a způsob její implementace včetně automatizovaného nástroje na zpracování dat.

Projekt je zaměřen na testování a hodnocení efektivního monitoringu rozšíření vybraných invazních a expanzních druhů (invazní *Rumex alpinus*, *Telekia speciosa*, *Lupinus polyphyllus* a expanzní *Veratrum album* a *Senecio nemorensis* agg.) a kontroly úspěšnosti různých způsobů managementu založených na využití nejmodernějších metod DPZ, tj. aplikaci metod strojového učení na data vysokého prostorového a časového rozlišení (UAV a letecká ortofota, družicová data, např. PlanetScope) v kombinaci s podpůrnými botanickými daty. Interdisciplinární přístup k řešení je zajištěn spoluprací odborníků v oblasti botaniky, kteří se dlouhodobě věnují invazním rostlinám (Vítková et al., 2023), a v oblasti geoinformatiky, kteří se věnují mapování vegetace z dat DPZ vysokého rozlišení (Kupková et al, 2023).

V rámci známého výskytu uvedených druhů na lokalitách v Krkonoších a Orlických horách, kde jsou jejich šířením ohroženy cenné horské biotopy, je jejich detekce s pomocí DPZ testována v ideálních podmínkách pro daný druh, jako je doba kvetení (*Telekia* a *Lupinus*), nebo plné olistění (*Rumex*), ale i mimo ně, např. zjara při rašení listů. Dále je testován výskyt zájmových druhů společně s dalšími dominantami na téže lokalitě, které jsou v určité fázi vývoje fyziognomicky podobné (např. *Telekia* a *Petasites* nebo *Rumex* a *Adenostyles*). Ve spolupráci s vlastníky pozemků a správami KRNAP a CHKO Orlické hory jsme na sledovaných lokalitách vymezili trvalé plochy, na nichž jsou testovány nejčastější formy managementu používané pro likvidaci sledovaných druhů v horských podmínkách: pastva (ovce, skot, koně), kosení, mulčování, chemické ošetření a vyrývání, příp. jejich kombinace.

V závislosti na potřebách hospodářů a zájmů ochrany přírody jsme upravili dobu zásahu a typ managementu. Jako kontroly jsme na stejné lokalitě vybrali nezasažené luční porosty nebo porosty s co nejmenším výskytem cílového druhu. Na opačném pólu gradientu byly vybrány invadované plochy bez managementu. Zde jsme upřednostnili zájem ochrany přírody a nenechávali část obhospodařovaných lokalit bez zásahu kvůli našemu výzkumu, ale vymezili jsme takové studijní plochy na jiných lokalitách, kde management neprobíhal. Všechny lokality byly v prvním roce řešení projektu monitorovány jak klasickými botanickými metodami pomocí opakovaného vegetačního snímkování, což umožnilo podchytit různé aspekty vegetační sezóny, tak metodami DPZ před zásahem a v odstupu od něj. Aplikace jednotlivých forem managementu i vlastní monitoring pokračoval i v další sezoně (2025). Díky založení trvalých ploch bude ve spolupráci s vlastníky a správami CHÚ probíhat management i po skončení projektu, stejně jako související studium změn v druhovém složení vegetace. Budou tak získány důležité informace o tom, jak se zájmové druhy šíří a jak úspěšně/dlouho přežívají při aplikaci různých typů managementu, což se uplatní jednak v praktické ochraně přírody v plánování a monitoringu úspěšnosti zásahů, i jako podklad pro predikční modely. V Krkonoších jsou pilotně testovány možnosti využití leteckých ortofot a dat družic PlanetScope pro monitoring šťovíku alpského a lupiny mnoholisté s cílem zjistit, jak jsou tyto druhy detekovatelné v datech s různým prostorovým, spektrálním a časovým rozlišením.

Práce na projektu je realizována v rámci následujících aktivit:

A1) Botanické mapování rozšíření invazních/expanzních druhů před/v průběhu/po aplikaci managementových zásahů

A2) Managementové zásahy

A3) Monitoring rozšíření invazních/expanzních druhů a účinnosti managementových zásahů s využitím UAV

A4) Testování využitelnosti leteckých ortofot a družicových dat PlanetScope pro monitoring šťovíku alpského a lupiny mnoholisté

A5) Syntéza, tvorba a testování konečných výstupů projektu, implementace, osvětové a propagační aktivity

Dílčí aktivity A1–A4 jsou vzájemně provázány a vyústí v syntézu (A5), jejímiž hlavními výstupy jsou: „Ověřená technologie monitoringu rozšíření a účinnosti managementu zájmových invazních/expanzních druhů s využitím pokročilého DPZ“, sada specializovaných map s odborným obsahem a sada nástrojů pro automatizované zpracování UAV obrazových dat. Výsledky projektu budou prezentovány např. formou odborných článků, příspěvků na konferencích, na webu projektu a formou workshopu. Výstupy/výsledky projektu budou využitelné v rámci celé ČR též pro kontrolu provedení a účinnosti zásahů v rámci dotačních programů, resp. kontrolu efektivity přidělování dotací.

3. Souhrnný popis řešení projektu

Seznam jednotlivých aktivit A1–A5, které byly v projektu plánovány, a postup jejich plnění shrnuje tabulka 1. Rok 2025 byl zaměřen jednak na další získání dat v terénu. Pořízení UAV dat a botanické mapování proběhlo ve 3 termínech – viz tabulka 2. Hlavním cílem řešení projektu v roce 2025 bylo zdokonalení práce v terénu při pořizování botanických dat pro validaci výsledků a zejména pak testování metod detekce invazních druhů a zlepšování přesnosti detekcí. Pokračovalo sledování managementových opatření (Tabulka 4 a Příloha 2) a předzpracování dat. Postup prací

na jednotlivých aktivitách v roce 2025 je podrobně specifikován v kapitole 4 a výsledky zejména v kapitole 5.

***Tabulka 1**: Seznam aktivit a postup jejich plnění v roce 2025*

Aktivita	Činnosti 2025	Stav
A1a Monitoring rozšíření invazních/expanzních druhů		
A1a	– validace klasifikací v terénu (botanické mapování pomocí GPS)	Dokončeno, podklad pro detekce
A1b Monitoring invazních/expanzních druhů po aplikaci/v průběhu aplikace managementových zásahů		
A1b	– fytocenologické snímkování	Dokončeno, opakování květen/červen 2026. Seznam snímků viz Příloha 1.
A1b	– odečet vybraných vlastností na trvalých plochách před provedením a ve dvou časových intervalech po provedení managementových zásahů	Dokončeno, opakování květen/červen 2026. Seznam viz Příloha 2. Shrnutí viz Příloha 5.
A1b	– mapování výskytu zájmových druhů a kontrolních dominant pomocí GPS na trvalých plochách (3 x ročně jako termíny létání)	Dokončeno, podklad pro detekce
A2 Managementové zásahy		
A2	– výběr/úprava typů managementu na základě výsledků efektivity v předchozí sezoně pro každou lokalitu/druhy na lokalitě a jejich -- načasování (s ohledem na již probíhající management) v Krkonoších i Orlických horách	Dokončeno. Viz Příloha 2.
A2	– transformace dat o historickém hospodaření do matice vysvětlujících proměnných	Dokončeno. Viz Příloha 2.
A2	– domluva pokračování realizace managementů s vlastníky	Dokončeno. Omezené možnosti změny kvůli dotacím atd.
A2	– realizace managementů	Rozpracováno, pokračuje květen/červen 2026.
A2	– průběžné hodnocení efektivity managementů	Dokončeno. Viz Příloha 2.
A3 Monitoring rozšíření invazních/expanzních druhů a účinnosti managementových zásahů s využitím UAV		
A3	– pořízení multispektrálních UAS dat pro zájmové lokality v Krkonoších i Orlických horách (3× za sezónu)	Dokončeno.
A3	– analýza multitemporálních dat s využitím podpůrných botanických dat a tvorba tematických výstupů	Rozpracováno, pokračuje 2026 analýzou dat pořízených po aplikaci managementových opatření.
A3	– hodnocení přesnosti výstupů (celková přesnost, F1-skóre)	Rozpracováno, pokračuje 2026.
A3	– terénní validace výstupů	Rozpracováno, pokračuje 2026
A3	– testování možnosti využít LiDAR pro zpřesnění klasifikací ve vybrané lokalitě v Krkonoších	Dokončeno – vyřešeno pomocí CHM – modelu výšky vegetace získaného z UAV ortofot.
A4 Testování využitelnosti leteckých ortofot a družicových dat PlanetScope pro monitoring šťovíku alpského a lupiny mnoholisté		
A4	– shromáždění/stažení ortofot a multitemporálních dat PlanetScope z roku 2024	Dokončeno.
A4	– analýza časové řady obou typů dat s využitím botanických referenčních dat pořízených v rámci projektu v roce 2024	Dokončeno.
A4	– upscaling s využitím UAV dat pořízených v roce 2024	Pro ortofoto a PlanetScope ukončeno, bude pokračovat pro širší území z dat UAV (VTOL).
A4	– tvorba tematických výstupů	Rozpracováno, bude dokončeno 2026.
A5 Syntéza, tvorba a testování výstupů, implementace		

A5	– průběžná komunikace s uživateli a osvětová činnost, jednání s hospodáři	Proběhlo.
A5	– prezentace výsledků, publikační a propagační aktivity. Konference.	Proběhlo – prezentace, postery, příspěvek v konferenčním sborníku “Monitoring invasive and expansive species in the Krkonoše Mts using UAV multitemporal data and botanical research”. Příspěvek “Nepůvodní druhy odhalují i drony” jako téma Událostí na ČT1 26. 10. 2025. Popularizační článek (odeslán do časopisu Vesmír) Sádlo et al. Řekni, kde ty kytky jsou? Moderní technologie loví invazní druhy.
A5	– tvorba komplexních/syntetických výstupů/výsledků projektu články	Průběžná zpráva 2025. Odborná zpráva 2025. Články – konferenční sborník, Jimp – Buhaly et al. 2025: Global Ecology and Biogeography 34: e70137. Aktualizace databáze TURBOVEG, tvorba databáze funkčních vlastností, příprava databáze mikroklimatických dat do mezinárodní sítě SoilTemp.

***Tabulka 2**: Terénní výjezdy v roce 2025*

Krkonoše **Pořízení UAV dat**	**Botanické mapování, fytocenologické snímkování a kontrola managementu**	**Orlické hory** **Pořízení UAV dat**	**Botanické mapování, fytocenologické snímkování a kontrola managementu**
12.–13. 5. 23.–24. 6. 11.–12. 8.	19.–23.5. 11.–12. 6., 23.–29. 6. 24.–25. 7. 30. 7.–3. 8., 18.–22. 8. 14. 10., 20.–22. 10., 24.–26. 10.	5.–6. 5. 13.–14. 6. — 19.–20. 8.	12.–14. 5. 17.–19. 6. 11. 7. 22.–25. 8. 3. 10., 8.–10. 11., 13.–14. 11.

***Tabulka 3:** Zájmové lokality a jejich stručná charakteristika*

oblast	katastr	lokalita	m²	let25	moz25	L	R	V	S	T
KRNAP	Pec p. S.	Chaloupky	8100	568	568	1	x	x	x	x
KRNAP	Pec p. S.	Nad Výrovkou	11000	568	568	x	.	1	1	x
KRNAP	Pec p. S.	Pec	5900	568	568	1	o	x	x	x
KRNAP	Pec p. S.	Pod Výrovkou	4000	568	568	x	1	1	o	x
KRNAP	Pec p. S.	Studniční b.	5000	56x	56x	x	1	x	x	x
KRNAP	Strážné	Dvorská b.	9800	568	568	x	1	1	1	x
KRNAP	Strážné	Friesovy b.	4500	568	568	x	1	.	o	x
KRNAP	V. Úpa	Výsluní Modřín	9800	568	568	1	x	x	.	x
O. hory	Deštné v O. h.	U Šerlišského mlýna	9500	56x	56x	x	.	1	o	x
O. hory	Jedlová v O. h.	U Matouše	4100	568	568	1	x	x	x	x
O. hory	Nebeská Rybná	Hamer. Za Olb. mlýnem	2300	568	568	x	x	x	x	1
O. hory	Nebeská Rybná	Jůlinčino údolí	2000	568	568	x	o	x	o	1
O. hory	Pěčín u R. n. K.	Hamernice tábor	9600	5x8	5x8	x	x	x	x	1

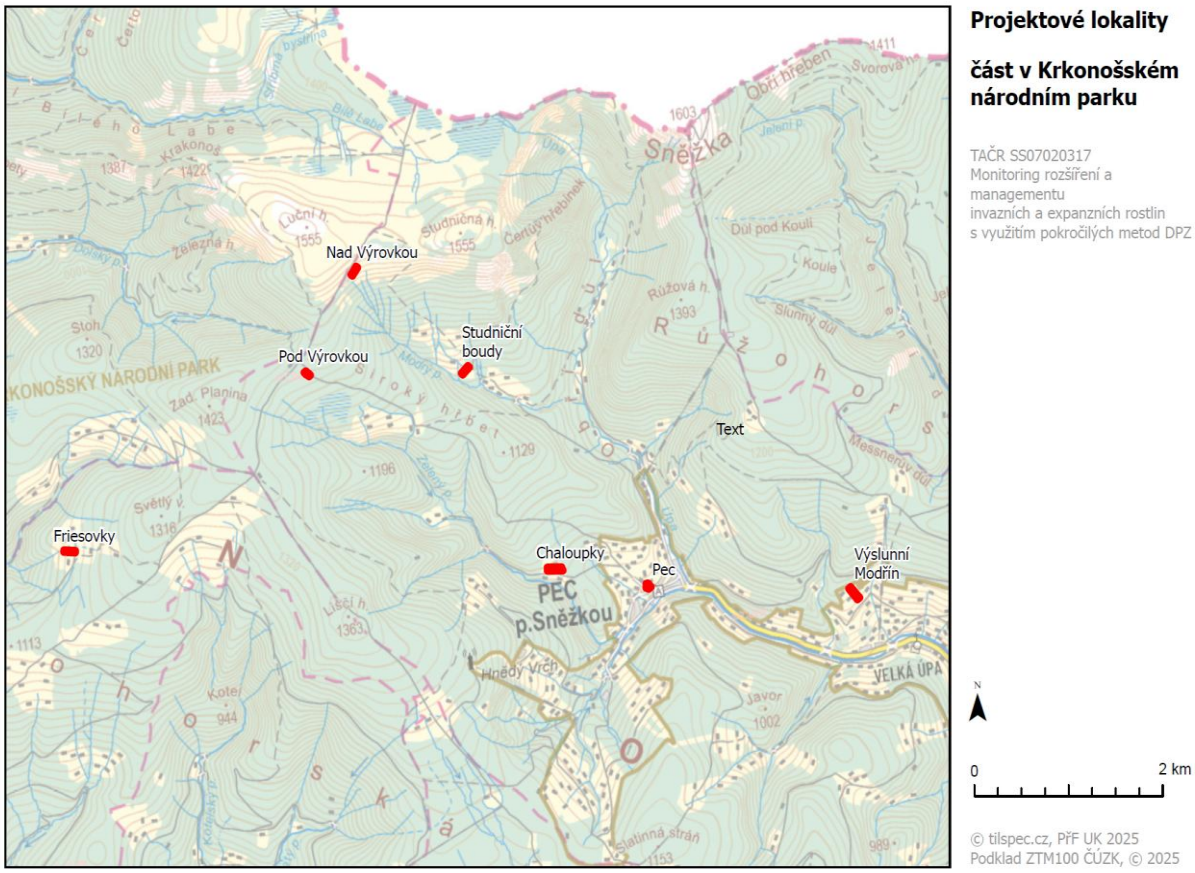
O. hory	Říčky v O. h.	Macháček	4200	568	568	**1**	**x**	**x**	**x**	**x**
O. hory	Říčky v O. h.	U hasičů	4700	568	568	**1**	**x**	**x**	**x**	**1**

Vysvětlivky: 568 – letecká data pořízena v květnu, červnu a srpnu; **x** – označuje termín, kdy nebyla pořízena data nebo se nepodařilo z dat sestavit mozaiku; let25 – úspěšné lety; moz25 – úspěšné zpracování mozaiky; L – Lupinus polyphyllus; R – Rumex alpinus; V – Veratrum album; S – Senecio hercynicus; T – Telekia speciosa; 1 – druh se na lokalitě výskytu, dostatek trénovacích polygonů; **o** – druh se vyskytuje na lokalitě pouze okrajově, pro detekci je vhodné soubor tv rozšířit; „.“ – druh se na lokalitě vyskytuje ojediněle, pravděpodobnost úspěšné detekce je velice nízká; druh se na lokalitě nevyskytuje – „x“

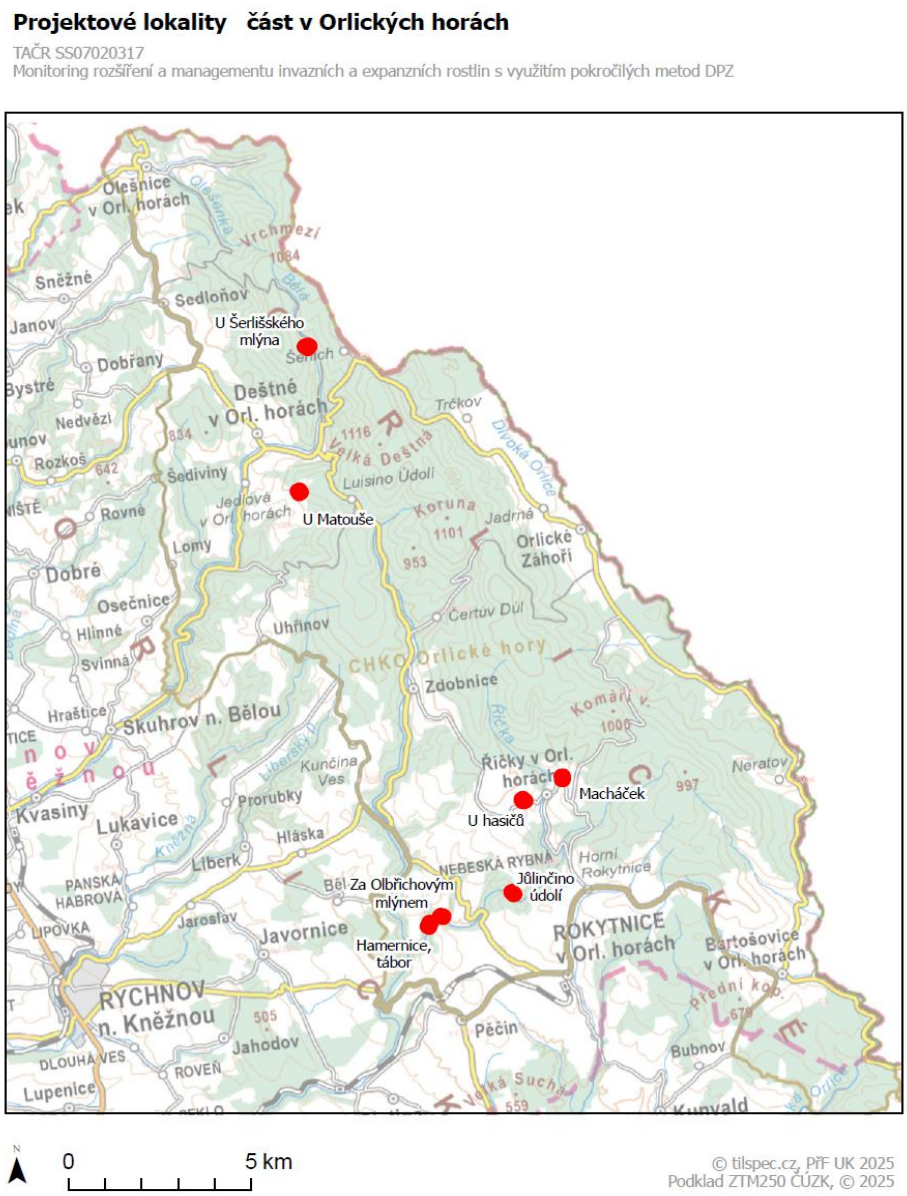
***Tabulka 4**: Sledované druhy v roce 2025*

druhy	A	B	C	D	E
Lupinus polyphyllus	7	7	6	52	pastva, seč, vyrývání, mulč, lado, herbicid
Rumex alpinus	8	3	4	10	pastva, seč, lado
Veratrum album	6	4	4	26	pastva, seč, mulč, lado
Senecio hercynicus	7	2	2	8	pastva, lado
Telekia speciosa	5	4	4	18	seč, mulč, lado

Vysvětlivky: A – počet lokalit s výskytem; B – počet lokalit s rozvinutou invazí/expanzí; C – počet kombinací lokalit a termínů s úspěšně vytvořenou mozaikou určených pro vývoj metod detekce druhu; D – počet fytocenologických snímků; E – výčet kombinací sledovaných managementových zásahů



***Obrázek 1**: Zájmové lokality v KRNAP*



***Obrázek 2**: Zájmové lokality v Orlických horách*

4. Postup práce na jednotlivých aktivitách

A1a Monitoring rozšíření invazních/expanzních druhů

Koordinace: BÚ
Účast: PřF UK (spolupráce v terénu, školení pro práci s GNSS přijímačem a technická pomoc)
Spolupráce: KRNAP, CHKO Orlické hory, zemědělci (vlastníci/nájemci pozemků ve sledovaných lokalitách)

V roce 2025 pokračoval monitoring rozšíření invazních a expanzních druhů v KRNAP a CHKO Orlické hory. Podobně jako v loňském roce jsme se zaměřili na tři invazní druhy (nepůvodní v ČR) – *Lupinus polyphyllus* (lupina mnoholistá), *Telekia speciosa* (kolotočník ozdobný) a *Rumex alpinus* (šťovík alpský) a dva expanzní (v ČR původní, ale šířící se na nová stanoviště) – *Veratrum album* (kýchavice bílá) a *Senecio nemorensis* agg. (starček hajní). Vedle detailního výzkumu jejich vlivu na přirozenou vegetaci v závislosti na způsobu hospodaření na trvalých monitorovacích plochách (aktivita A1b) jsme se v roce 2025 soustředili zejména na prakticky orientované mapování jejich šíření v krajině. Monitoring byl cíleně prováděn v okolí turistických cest, horských bud a dalších antropogenně ovlivněných prvků, a to na gradientu nadmořské výšky v Krkonoších (obr. 3). Součástí této aktivity byla identifikace potenciálních ohnisek šíření, využitelná pro cílená manažerská opatření Správy KRNAP.

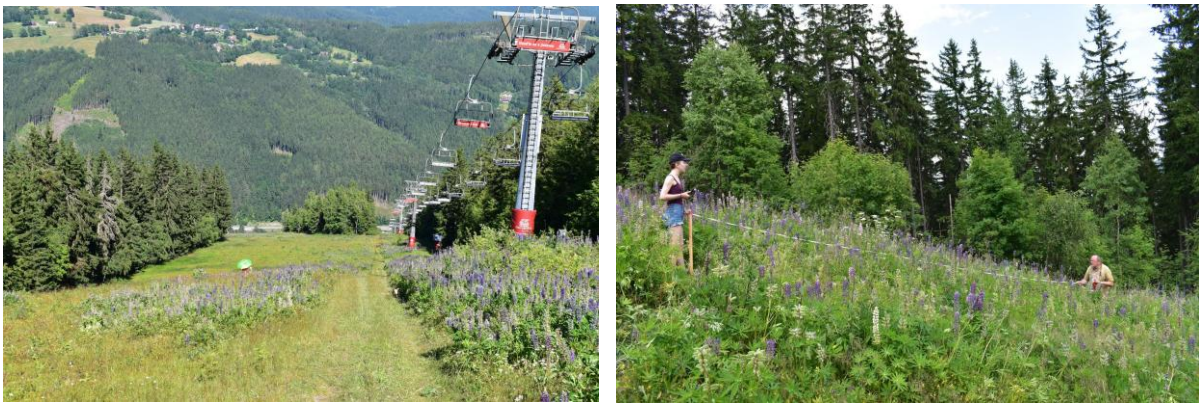
***Obrázek 3**: Šíření nepůvodních druhů Lupinus polyphyllus, Rumex alpinus a Myrrhis odorata podél silnice v Dolních Mísečkách (Krkonoše). Foto M. Vítková.*

Jako příklad dobré praxe v zapojení veřejnosti do regulace invazních druhů a zvýšení povědomí o tomto problému lze uvést osvětovou kampaň Správy KRNAP proti lupině mnoholisté („Natrhej si kytici lupiny, pomůžeš přírodě“). Drobným nedostatkem však bylo, že v době zveřejnění lupina na sledovaných lokalitách již začala vytvářet plody. Orientační experimenty v rámci projektu prokázaly dobrou klíčivost i zelených semen, která na rozdíl od dozrálých nevyžadují stratifikaci. Odstraňování lodyh v této fenologické fázi tak může vést k dalšímu neúmyslnému šíření druhu. Z těchto důvodů je lepší v budoucnu obdobné kampaně směřovat do počátku kvetení, kdy je riziko šíření diaspor minimální a efekt regulačního zásahu maximální. Zároveň je dobré upozornit, že plodící rostliny je lepší již netrhat, protože zásah může vést místo k potlačení k ještě většímu šíření druhu.

Dalším okrasným druhům šířícím se do volné krajiny není věnována taková pozornost. Přitom terénním šetřením jsme zjistili pěstování dalších rizikových druhů, zejména kolotočníku ozdobného, ale také křídlatky sachalinské (*Reynoutria sachalinensis*), která je zařazena na unijní seznam invazních nepůvodních druhů, a její výsadba je tedy v rozporu s platnou legislativou EU. Tyto případy dokládají přetrvávající nedostatek informací mezi vlastníky a provozovateli objektů v chráněných územích. Zjištění projektu potvrzují závěry Sádla et al. (2023) o riziku pěstování nepůvodních druhů v krkonošských zahradách. Na tuto problematiku chceme upozornit v rámci plánovaného workshopu a navázat na principy projektu Pěstuj bezpečně (https://ragopestuj.fzp.czu.cz/cs).

V rámci projektu jsme dokončili mapování nepůvodních druhů podél cest nad hranicí lesa, a to v návaznosti na projekt KRNAP (CZ.05.01.06/01/22_029/0002269), který probíhá v nižších nadmořských výškách ve Východních Krkonoších a zjišťuje výskyt *Lupinus polyphyllus, Rumex alpinus, Telekia speciosa, Reynoutria* sp. *a Impatiens glandulifera.* Rozšíření **šťovíku alpského** ve srovnání s historickými podklady je součástí bakalářské práce L. Kysely (ČZU). Nad hranicí lesa byl šťovík nejvíce rozšířen na výzkumné ploše pod Výrovkou, kde byla rozšířena letová plocha a jeho invaze bude nadále sledována. Významné porosty byly zaznamenány také v okolí Špindlerovky, a to jak podél cest, tak na ruderalizovaných plochách pod boudou. Jako příklad úspěšného managementu lze uvést převod ruderalizovaného porostu šťovíku pod Petrovou boudou na horskou louku (Vítková et al., 2023). V Orlických horách byly zaznamenány menší porosty v blízkosti Masarykovy chaty na Šerlichu.

Lupina mnoholistá (*Lupinus polyphyllus*) se šíří podél cest, přičemž byl zaznamenán nárůst sterilních jedinců i v zastíněných lesních porostech. Druh toleruje silně kyselé půdy a v Krkonoších již proniká i do smilkových trávníků v nižších nadmořských výškách (např. lokalita 9 Chaloupky u Pece pod Sněžkou, plocha 466). V kontextu probíhající klimatické změny představuje lupina zvýšené riziko dalšího šíření do vyšších nadmořských výšek subalpínského a alpínského stupně, což dokládají i pozorování ze zahraničí (např. Nový Zéland). Často uváděným vektorem zavlečení lupiny v Krkonoších je její okrasné pěstování a vysévání v lesích jako potravy pro lesní zvěř. Na základě našich rozhovorů se starousedlíky jsme však identifikovali opomíjený, významný zdroj, a to výsevy lupiny na sjezdovkách v rámci melioračních protierozních směsí při jejich budování a údržbě v 70. a 80. letech 20. století. V současné době vytváří lupina místy i rozsáhlé porosty a postupně se šíří do okolní krajiny. Jedná se např. o skiareály v Peci pod Sněžkou, Herlíkovicích nebo Svatém Petru. Na herlíkovické sjezdovce Rodinná jsme proto v roce 2025 založili osm trvalých ploch (Obr. 4) a sice čtyři v různém stupni invaze lupiny a čtyři kontrolní bez výskytu invazního druhu.



***Obrázek 4**: Šíření lupiny mnoholisté na sjezdovce Rodinná ve skiareálu Herlíkovice a zakládání trvalé plochy v masivně invadovaném porostu. Foto M. Vítková.*

Kolotočník ozdobný (*Telekia speciosa*) se v Krkonoších zatím podél cest šíří pouze ojediněle, nicméně příklad masivní invaze v CHKO Orlické hory (Julinčino údolí) potvrzuje jeho vysoký invazní potenciál a nutnost včasné prevence.

Starček hajní (*Senecio nemorensis* agg.) je typickým lemovým druhem, přirozeně vázaným na živinami bohatší a vlhčí stanoviště (např. devětsilové lemy horských potoků, vysokobylinná subalpínská vegetace nebo lesní okraje). V cestních lemech se proto šíří běžně a díky velkému množství lehkých semen snadno expanduje také na ladem ležící pastviny s narušeným povrchem (Obr. 5).

Expanze **kýchavice bílé (*Veratrum album*)** podél cest nebyla zaznamenána; větší porosty v cestních lemech souvisejí spíše s vyšší úživností stanovišť, podmíněnou aplikací bazického materiálu použitého ke zpevnění komunikací v hřebenových oblastech Krkonoš v 70. letech.

***Obrázek 5:** Expanze kýchavice (vlevo) a starčku (vpravo) pod Dvorskou boudou v závislosti na způsobu hospodaření; vlevo 2022 – pastva ovcí, vpravo 2025 – většina plochy ve vrcholné vegetační sezóně bez managementu. Pastva byla přerušena, protože většinu stáda ovcí usmrtili vlci. Foto M. Vítková.*

Paralelně byly zjišťovány funkční vlastnosti souboru přirozených, expanzních a invazních druhů (výška rostliny, plocha listu, specifická listová plocha, sušina, doba kvetení, produkce semen) pro výpočty funkční diverzity z fytocenologických snímků. V bakalářské práci se Kateřina Karabeleš (ČZU) zabývá

ještě klíčením vybraných druhů v různých nadmořských výškách a testovala různé metody určení listové plochy.

Zkušenosti získané v rámci monitoringu invazních a expanzních druhů v Krkonoších, zejména poznatky o jejich šíření podél silniční sítě, byly využity při interpretaci výsledků, přípravě rukopisu a formulaci diskusní části článku Buhaly et al. (2025) v impaktovaného časopise Global Ecology and Biogeography.

Pořízení botanických referenčních dat

V návaznosti na mapování pomocí bezpilotních prostředků (UAV) bylo na území KRNAP a CHKO Orlické hory třikrát v průběhu vegetační sezóny realizováno terénní mapování výskytu zájmových druhů na letových plochách. Oproti předchozí sezoně se jednalo o jedno mapování méně. Na základě vyhodnocení dat z minulého roku bylo potvrzeno, že pro účely projektu je dostačující mapovat výskyt druhů na začátku vegetační sezóny (převážně sterilní jedinci), v období vrcholu vegetace (kvetení a tvorba plodů) a po provedení managementových zásahů. Zájmové druhy tak byly zdokumentovány v různých fenologických fázích a v rozdílné vitalitě (např. okousané či namrzlé jedince), a to systematicky napříč celou lokalitou.

U každého zaměřeného výskytu rostliny byl zaznamenáván poloměr kruhu, ve kterém byl druh dominantní (pokryvnost druhu byla alespoň 80 %) (viz též aktivita A1b). Stejným způsobem pomocí geolokovaných kružnic byly zaznamenány i oblasti s absencí zájmových druhů. K terénnímu mapování byly využívány tablety Stonex s GNSS anténami zapůjčené týmem z PřF UK, které při použití kalibrace pozemními korekcemi umožňují dosahovat centimetrové přesnosti. Na každé lokalitě byly zaměřeny desítky bodů s cílem rovnoměrně pokrýt plochu kružnicemi, a tak získat záznam přítomnosti i absencí sledovaných druhů.

Přesnost měření nebyla vždy optimální, a to z obdobných důvodů jako v předchozí sezoně. Negativní vliv měla především členitá topografie terénu. Horších výsledků bylo dosahováno zejména v údolních polohách s omezenou viditelností družic GNSS (např. Julinčino údolí v Orlických horách) a na lokalitách s omezenou dostupností internetového připojení nezbytného pro aplikaci pozemních korekcí (např. Dvorská bouda v Krkonoších). Na jedné z lokalit v Julinčině údolí bylo mapování provedeno v offline režimu, s využitím přibližné polohy určené pomocí GPS a následným zakreslením výskytů do ortofota na základě vizuálního porovnání tvaru trsů v terénu a na snímcích.

Takto získaná data sloužila jako referenční podklad pro trénování a v roce 2025 zejména pro validaci klasifikací UAV snímků zájmových lokalit v Krkonoších a Orlických horách s porosty sledovaných invazních a expanzních druhů, stejně jako kontrolních porostů. Současně s terénním mapováním probíhalo ověřování výskytu zájmových druhů detekovaných na základě výsledků klasifikace. Každá lokalita byla systematicky procházena a byly zaznamenávány chybně detekované prezence (detekce jiného než cílového druhu) i absence (nezachycení cílového druhu). Po publikování výstupů projektu budou veškeré zjištěné výskyty předány AOPK ČR k aktualizaci databáze NDOP.

V roce 2026 se už referenční botanická data v souladu s návrhem projektu nebudou pořizovat.

A1b Monitoring invazních/expanzních druhů po aplikaci/v průběhu aplikace managementových zásahů

Koordinace: BÚ
Účast: PřF UK (spolupráce v terénu, školení pro práci s geodetickou GPS a technická pomoc)
Spolupráce: KRNAP, CHKO Orlické hory, zemědělci (vlastníci/nájemci pozemků ve sledovaných lokalitách)

Na všech 15 lokalitách, kde byly v roce 2024 vytyčeny trvalé plochy, byly v roce 2025 zapsány fytocenologické snímky ve stejném designu, tj. na ploše 25 m^2 a na vnořené ploše 10 m^2 (Příloha 1). Snímkování proběhlo v Orlických horách v květnu, na většině ploch v Krkonoších až v červnu, protože v květnu zde napadl sníh. V průběhu vegetační sezóny byly snímky doplňovány. Plochy 401, 402, 456 a 465 v Říčkách (lokalita 1) byly v květnu zmulčovány, proto bylo snímkování u ploch 456 a 465 posunuto na 3. 10.; u ploch 401 a 402 se bohužel nepodařilo domluvit ponechat čtverce bez zásahu, takže data chybějí. Celou sezónu zde probíhalo opakovaně mulčování.

Po dohodě se Správou KRNAP bylo nově vytyčeno osm trvalých ploch ve Skiareálu Herlíkovice na sjezdovce Rodinná, kde probíhá invaze *Lupinus polyphyllus.* V současné době je sjezdovka obhospodařována mulčováním s frekvencí jednou ročně, v roce 2026 zde bude zahájena pastva koz jako alternativní forma managementu. Na stejné lokalitě Nosková (2025) testovala i seč a použití herbicidu; mechanické metody však nevedly k poklesu abundance invazního druhu a plošná aplikace herbicidu není v daném rozsahu realizovatelná. Pastva, příp. v kombinaci se sečí se tak jeví jako perspektivní forma managementu. Nové monitorovací plochy tak budou sloužit k testování vlivu pastvy koz na abundanci lupiny. Po dohodě s vlastníkem a Správou CHKO Orlické hory byla rozšířena sada trvalých ploch na lokalitě 5 (Jedlová, u Matouše), kde byla v dolní polovině úspěšně potlačena lupina pastvou ovcí a v budoucnu se počítá s rozšířením pastviny i na horní část dosud obhospodařovanou sečí. Spolu s lokalitou 15 (Západní Výsluní, Modřín) v Krkonoších, kde na ploše invadované lupinou probíhá pastva skotu, budou tyto pastviny sledovány i po ukončení projektu jako perspektivní modely managementu lupiny v horských oblastech (Obr. 6). Do budoucna plánujeme rozšíření datového souboru o další lokality a typy hospodářských zvířat, příp. v kombinaci s jinými formami hospodaření. Také na těchto nově vytyčených plochách proběhlo fytocenologické snímkování, takže celkový dataset čítá 114 fytocenologických snímků (Příloha 1). Po publikaci výsledků budou fytocenologické snímky zaslány ke zveřejnění do České národní fytocenologické databáze (ČNFD) a lokalizace druhů do AOPK ČR pro aktualizaci Nálezové databáze ochrany přírody (NDOP).

Nomenklatura taxonů byla sjednocena podle Pladiasu (Chytrý et al. 2021). Poddruhy byly sloučeny do ranku druhů nebo vyšších taxonů. Níže uvádíme taxonomické poznámky:

Agrostis stolonifera agg: převládal *A stolonifera* a vzácně (Orlické hory) se vyskytl *A. gigantea.*
Alchemilla sp.: možnost agregátu Pladias nenabízí. Šlo většinou o statné velkolisté druhy živinově bohatých stanovišť jako *A. acutiloba*, *A. xathochlora*, *A. monticola*.
Festuca pratensis agg.: část rostlin spadala do moderních kulturních hybridů z okruhu *F. arundinacea.*
Poa annua agg.: orientačně byla cytometrií zjištěna celá řada hybridů a jen v části vzorků čistá *P. annua* a *P. supina*.
Rumex acetosa + *R. arifolius*: Pladias možnost agregátu nenabízí. Některé rostliny jsme při určování chápali jako hybrid („*R. acetosa* x *R. arifolius*“ sensu Pladias). Četné nekvetoucí drobné jedince nebylo možné přesněji určit.

Salix sect. *Vetrix* byly identifikovány *S. caprea*, S. aurita a *S. cinerea*; častý byl nález velmi mladých jedinců, které nebylo možné rozlišit.
Viola tricolor agg.: většinou *V. arvensis*, jen jeden nález *V. tricolor*.

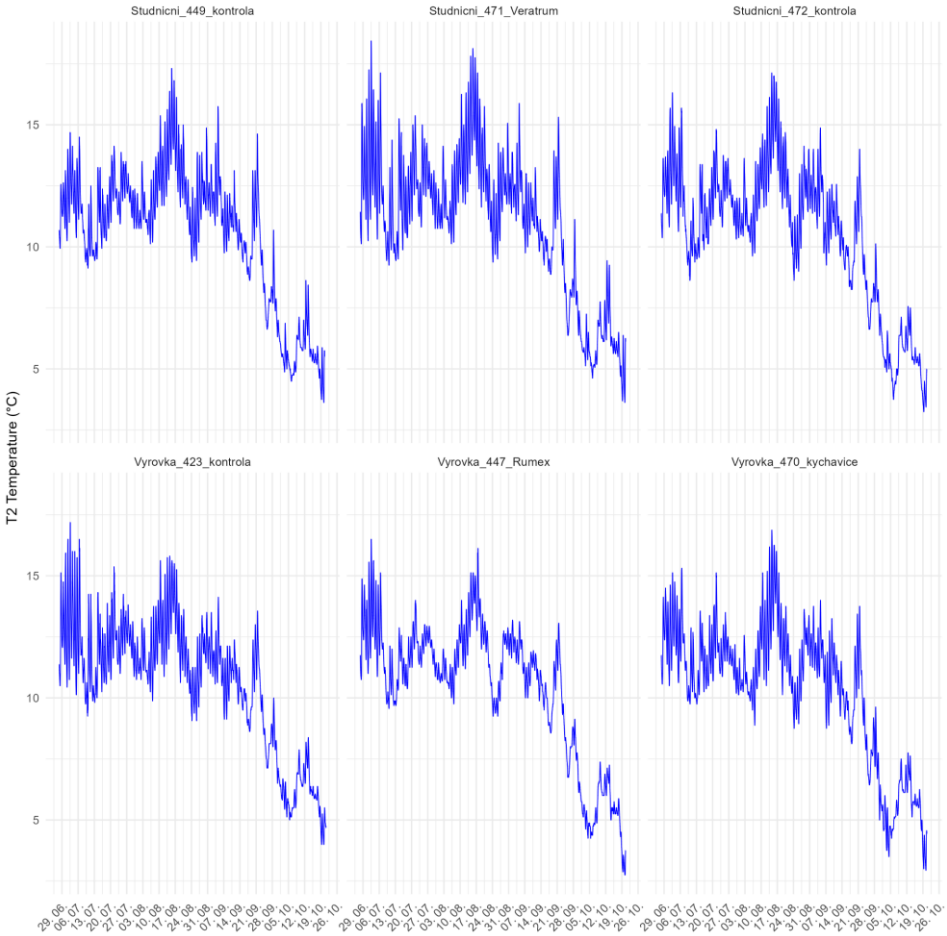
V průběhu vegetační sezóny byl detailně sledován typ zásahu a reakce cílových druhů v několika termínech (květen, červen, srpen a říjen; Příloha 2). Sledovala se vitalita, fenologie, průměrná výška a také index listové plochy (LAI) v invadovaných a kontrolních porostech (na každé trvalé ploše tři měření pod cílovým druhem a tři mimo něj) ve vrcholné vegetační sezóně (červen) a v časovém odstupu po managementu (srpen). K měření byl použit přístroj LAI-2200C Plant Canopy Analyzer od firmy LI-COR.

Pro dlouhodobý monitoring invaze byla rozšířena letová plocha na lokalitě 13 „Pod Výrovkou“ tak, aby postihovala celé území, kde se s různou pokryvností vyskytuje invazní druh *Rumex alpinus.* Zvolená plocha představuje maximum, které je vzhledem k výskytu vysokých stromů v dolní části a členitosti terénu možné snímat dronem. Ve čtyřech kategoriích porostů – (i) louka, (ii) ekoton, (iii) nezapojená kleč a (iv) zapojená kleč byl měřen index listové plochy ke kvantifikaci vertikální struktury invadovaných porostů a zjištění světelných limitů šťovíku. Tato analýza je součástí bakalářské práce L. Kysely (ČZU), který rovněž vytvoří mapu aktuálního rozšíření šťovíku alpského nad hranicí lesa ve Východních Krkonoších.

Větší pozornost byla věnována invaznímu chování druhu *Lupinus polyphyllus*. Podařilo se u něj zajistit i nejširší spektrum typů managementu. Cílem bylo získat orientační, ale metodicky konzistentní údaje o variabilitě jeho reprodukčních schopností v různých prostředích a formách managementu jako podklad pro budoucí širší výzkum a aplikaci do praxe (Příloha 3 a 4). Na každé trvalé ploše bylo u deseti plodných jedinců (pokud byli přítomni) v srpnu měřena výška rostlin, zaznamenán počet lusků a počet semen v lusku. Sběr probíhal jak na neobhospodařovaných plochách, tak na plochách s opakovaným vyplozením po zásahu. V říjnu byla na trvalé ploše v Peci pod Sněžkou sesbírána semena v různých fázích zralosti. Pro odlišení životaschopných semen byly provedeny jednoduché testy klíčivosti při střídavé teplotě den/noc 20/10 °C, bez předchozí stratifikace. Zatímco srpnová semena byla všechna zralá a prakticky neklíčila, říjnový sběr po třech týdnech pokusu ukazuje, že nevyzrálá zelená semena klíčí podstatně rychleji než zralá. Tento jev pravděpodobně souvisí s tím, že semena nestihla vyvinout fyzikální dormanci (Příloha 4). Klíční pokus stále ještě probíhá. Ačkoliv jsou výsledky pouze orientační vzhledem k omezenému počtu lokalit a opakování, poskytují cenné informace pro plánování managementových zásahů. Jako nevhodná, přesto často používaná praxe, se ukazuje mulčování dokvétajících lupin se zelenými semeny, které může podporovat další šíření druhu.

Obrázek 6*: Vliv hospodaření na výskyt lupiny v travních porostech. Na obrázku vlevo v jeho levé části probíhá jednou ročně seč, v pravé části celoročně pastva ovcí. Na obrázku vpravo je pastvina skotu. Foto M. Vítková.*

Na každé lokalitě byla zároveň instalována zkrácená klimatická čidla TMS4 (TOMST), kompletně zakopaná v půdě tak, aby neomezovala provádění managementových zásahů. Pilotní instalace proběhla v červnu na lokalitách Nad Výrovkou (12) a Pod Výrovkou (13), s financováním z jiných projektů. Zaznamenané rozdíly jak mezi lokalitami, tak mezi mikrostanovišti uvnitř jedné lokality (Obr. 7) vedly k rozhodnutí instalovat minimálně jedno čidlo na každou lokalitu, s cílem posoudit vliv lokálních klimatických podmínek na invazi a expanzi cílových druhů. Identická čidla byla v rámci předchozích projektů TA ČR umístěna v různých biotopech a nadmořských výškách Krkonoš, což poskytuje pětiletou řadu měření, využitelnou jako referenční data. Klimatická data budou zaslána do mezinárodní databáze SoilTemp a veřejně zpřístupněna po opublikování výsledků.



***Obrázek 7**: Rozdílný průběh půdních teplot v hloubce 6 cm pod povrchem na lokalitách Nad Výrovkou (12) a Pod Výrovkou (13) na šesti plochách s různými dominantami. Záznam teploty probíhal každých 15 minut.*

Aktivita *A2 Managementové zásahy*

Koordinace: BÚ
Účast: PřF UK
Spolupráce: KRNAP, CHKO Orlické hory, zemědělci (vlastníci/nájemci pozemků ve sledovaných lokalitách)

Veškeré terénní práce byly realizovány v souladu s dohodami se Správou KRNAP, Správou CHKO Orlické hory a vlastníky dotčených pozemků. Při jejich provádění byly plně respektovány požadavky a omezení vyplývající z ochrany dalších předmětů ochrany území (např. tetřívek obecný, chřástal polní), včetně časových omezení vstupu, a rovněž z harmonogramu běžného hospodaření.

Pokusný management lupiny (aplikace herbicidu, mechanické odstraňování vyrýváním) byl v Krkonoších realizován v úzké spolupráci s pracovní skupinou Správy KRNAP vedenou Ing. Zdeňkem Hevákem a Ing. Marcelou Noskovou. Tato skupina prováděla zásahy v 17. 6. a 28. 8. (Příloha 2) v rámci projektu Management sekundárního bezlesí Krkonošského národního parku (CZ.05.01.06/01/22_029/0002269) v návaznosti na termíny botanických prací. V Orlických horách byly tyto pokusné zásahy prováděny řešitelským týmem projektu. Podobně jako v předchozím roce se vyskytly případy nekoordinovaných změn managementu ze strany vlastníků pozemků, zásahy tak nebylo možné provést a vyhodnotit ve stejných termínech jako v KRNAP. Největší problémy nastaly v jižní části lokality 1 Říčky (plochy 401, 402, 456, 465), kde probíhalo od časného jara intenzivní mulčování, a to včetně trvalých výzkumných ploch. I přes dohodu s vlastníkem o ponechání vybraných čtverců bez zásahu do vegetačního snímkování byly plochy 401 a 402 nadále mulčovány. Podobná situace nastala také na lokalitě 7 (Hamernice, tábořiště), která byla strojově posečena už koncem května, tedy po jarním termínu snímkování. Do konce roku zde již trvalé plochy nebyly obhospodařovány, na rozdíl od okolní louky, což umožnilo doplnění druhových soupisů.

***Obrázek 8**: Velká regenerační schopnost druhu Lupinus polyphyllus měsíc po seči na trvalé ploše v Peci pod Sněžkou. Vlevo posečená plocha, vpravo stejná plocha o měsíc později. Foto M. Vítková.*

Regenerace lupiny byla v uplynulém roce výrazně intenzivnější (Obr. 8) než v roce 2024, což lze přičíst vyšším úhrnům srážek v letním období ve srovnání s dlouhodobým suchem v předchozím roce. Podle předběžných výsledků se mechanické vyrývání jeví jako efektivní zejména v počátečních fázích invaze, kdy se v bezprostředním okolí nevyskytují rozsáhlé invadované porosty. Na ploše 458 na kraji invadované lokality o velikosti 25 m² bylo v červnu zaznamenáno 586 semenáčků. Souhrnný přehled realizovaného managementu podle druhu dominanty je uveden v Příloze 5.

Podobně jako v předchozím roce byly i v roce 2025 některé zásahy realizovány se zpožděním z hlediska prevence dalšího šíření invazního druhu. Na vybraných lokalitách proběhla osobní setkání s vlastníky pozemků, během nichž jim byly předávány dosavadní poznatky projektu o dopadech sledovaných druhů a diskutovány možnosti vhodnějšího načasování a frekvence zásahů. Přestože vlastníci o problematiku aktivně projevovali zájem a snaží se management zefektivnit, nadále postrádají prakticky využitelné metodické podklady. Z tohoto důvodu budou pozváni na workshop plánovaný na duben 2026. V lokalitě Friesovy boudy byli vlastníci navíc aktivně zapojeni do realizace mikroklimatických měření, přičemž jim bylo bezplatně poskytnuto potřebné technické vybavení i software.

Aktivita A3 Monitoring rozšíření invazních/expanzních druhů a účinnosti managementových zásahů s využitím UAV

Koordinace: PřF UK
Účast: BÚ (dodavatel referenčních botanických dat)
Spolupráce: KRNAP, CHKO Orlické hory

Pořízení a předzpracování multispektrálních UAS dat

UAV data byla pořízena v termínech uvedených v tabulce 2. Fotodokumentace terénních prací viz obr. 9. V oblasti Krkonoš i Orlických hor byly snímky pořízeny dronem DJI Mavic 3M, vybaveným RGB kamerou s 4/3 CMOS 20 MP obrazovým snímačem a čtyřmi kamerami pro získání multispektrálního snímku: NIR, 860 nm ± 26 nm; RE, 730 nm ± 16 nm; R, 650 nm ± 16 nm; G, 560 nm ± 16 nm.

Snímky byly zpracovány v softwarovém balíku Pix4D. Bylo úspěšně vytvořeno 43 RGB datových sad (15 lokalit, 3 termíny, bez 2 chybějících, viz tabulky 2 a 3), stejný počet multispektrálních (MS) datových sad s prostorovým rozlišením 1 cm a stejný počet digitálních modelů povrchu (DSM). Poloha snímků určená během letu technologií RTK GNSS byla během zpracování zpřesněna pomocí vlícovacích bodů a ověřena pomocí kontrolních bodů s výjimkou plochy Jůlinčino údolí v Orlických horách, kde nebyl k dispozici GSM signál pro příjem online korekcí pro RTK GNSS měření. Průměrná střední chyba z orientace snímků dosahovala na vlícovacích bodech hodnot 0,8–1,7 cm.

Po zpracování ortorektifikované snímky z roku 2025 představují objem více než 50 GB. Celková rozloha snímaného území je 9,45 ha, což v daném rozlišení představuje objem 945 milionů bodů v každém termínu a spektrálním pásmu, a tedy více než 22 miliard uložených hodnot k dalšímu zpracování. Dohromady roky 2024 a 2025 tedy zahrnují více než 50 miliard hodnot.

Trénovací a validační polygony (souhrn viz tabulka 3) získané terénním měřením bodů s centimetrovou přesností a záznamem charakteristik homogenního porostu (poloměr, druh, pokryvnost atd.) zahrnují více než pět tisíc polygonů (n = 5200), které pokrývají necelá 3 promile rozlohy předmětného území v rámci sledovaných ploch, přesněji tedy 2,82 mil. obrazových bodů. Z toho bylo 261 (5 %) polygonů manuálně posunuto na základě srovnání polohy polygonu a umístění cílového druhu na snímku v prostředí GIS. Z výše uvedeného počtu zaměřených bodů je celkem 2762 záznamů na ploše 102 m^2 tedy více než 1 milion obrazových bodů tzv. true absences, tj. míst, kde se žádný ze sledovaných druhů nevyskytoval.

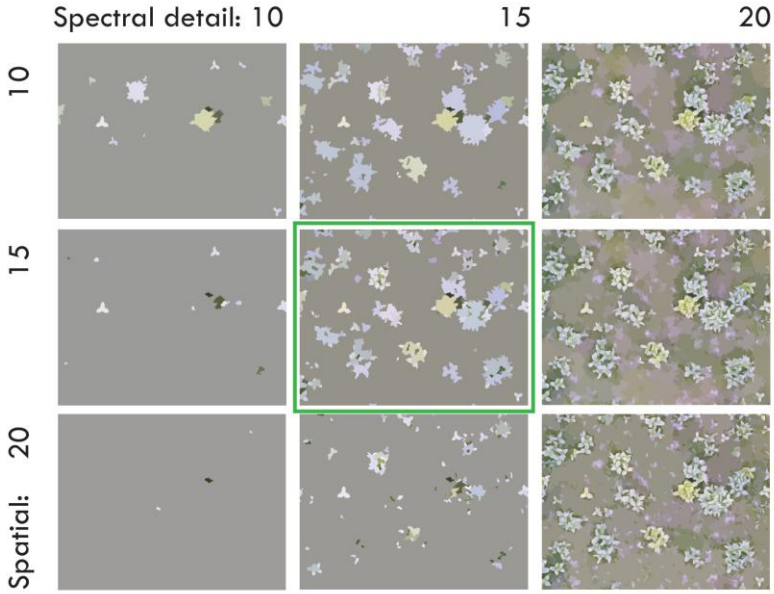
Obr. 9: *Pořizování UAV dat v Krkonoších. Foto L. Kupková.*

Detekce sledovaných druhů v ortorektifikovaných multispektrálních UAS datech a hodnocení přesnosti výstupů včetně terénní validace

V roce 2025 pokračovala detekce sledovaných invazních/expanzních druhů na vybraných lokalitách Krkonoš a Orlických hor. Po zkušenostech z roku 2024 a novém testování v roce 2025 byla detekce prováděna v RGB ortofotech, která mají menší datový objem než multispektrální snímky (s pásmy R, G, NIR a RedEdge), přičemž dosažené přesnosti jsou prakticky srovnatelné a postup analýzy méně náročný (viz popis srovnání v kapitole "Multispektrální data" níže v textu této kapitoly). Rozvíjen byl postup využívající metody hlubokého učení (DL – deep learning) a jejich implementace v softwaru ArcGIS Pro. Upuštěno bylo od metod automatizovaného hlubokého učení (AutoDL), které byly vhodné pro prvotní seznámení s problematikou v daném softwaru, ale nemožnost jejich další optimalizace vedla k zaměření se na „klasické" metody DL.

Trénovací data byla generována přímo ze snímku, ve většině případů s využitím postupu založeného na segmentaci obrazu nebo manuální vektorizaci. Jejich tvorba probíhala systematicky, pro každou plochu bylo definováno nejméně 6 čtvercových polygonů o velikosti 512 x 512 pixelů, které měly pokrýt gradient výskytu cílového druhu i absence, aby model byl schopen lépe generalizovat.
V daných čtvercích byla provedena segmentace obrazu (algoritmus Mean Shift – Comanicu a Meer, 2002), do segmentů byly spojeny pixely s podobnými spektrálními a prostorovými charakteristikami (Obr. 10). Následně byl rastr převeden do vektorové podoby a byla provedena manuální editace – odstranění polygonů bez cílového druhu. Tento postup se pro některé druhy (např. *Veratrum album*), kde pozadí snímku splynulo v několik větších segmentů, ukázal jako velmi efektivní pro generování většího množství trénovacích dat oproti vektorizaci. Výsledné polygony cílového druhu byly

exportovány s využitím nástroje „*Export Training Data for Deep Learning*“, přičemž byla využita možnost rozšíření (augmentace) trénovacích dat jejich rotací.



Obr. 10: *Segmentace obrazu MeanShift a vliv volitelných parametrů spektrálního a prostorového detailu na výsledek.*

Vytvořená sada trénovacích dat byla kromě rotace podrobena i pokročilejší augmentaci. S nastavenou hodnotou pravděpodobnosti byly v základu aplikovány, jak metody zvýraznění obrazu (radiometrické): brightness, contrast, tak geometrické transformace: crop, dihedral affine, zoom. Dále byly testovány jednotlivé parametry z knihovny fastai (dihedral_affine, flip_lr, rotate, crop, rand_zoom, brightness a contrast).

Samotné trénování modelu probíhalo buď za pomocí nástroje „*Train Deep Learning Model*“ v grafickém uživatelském rozhraní, který umožňuje pokročilejší nastavení (hyper)parametrů a možnost zásahu do samotného procesu, nebo s využitím skriptování a ArcGIS API pro Python. Využity byly především funkce integrované v modulu arcgis.learn, založené na knihovnách PyTorch, TensorFlow, Fast.ai, atd.

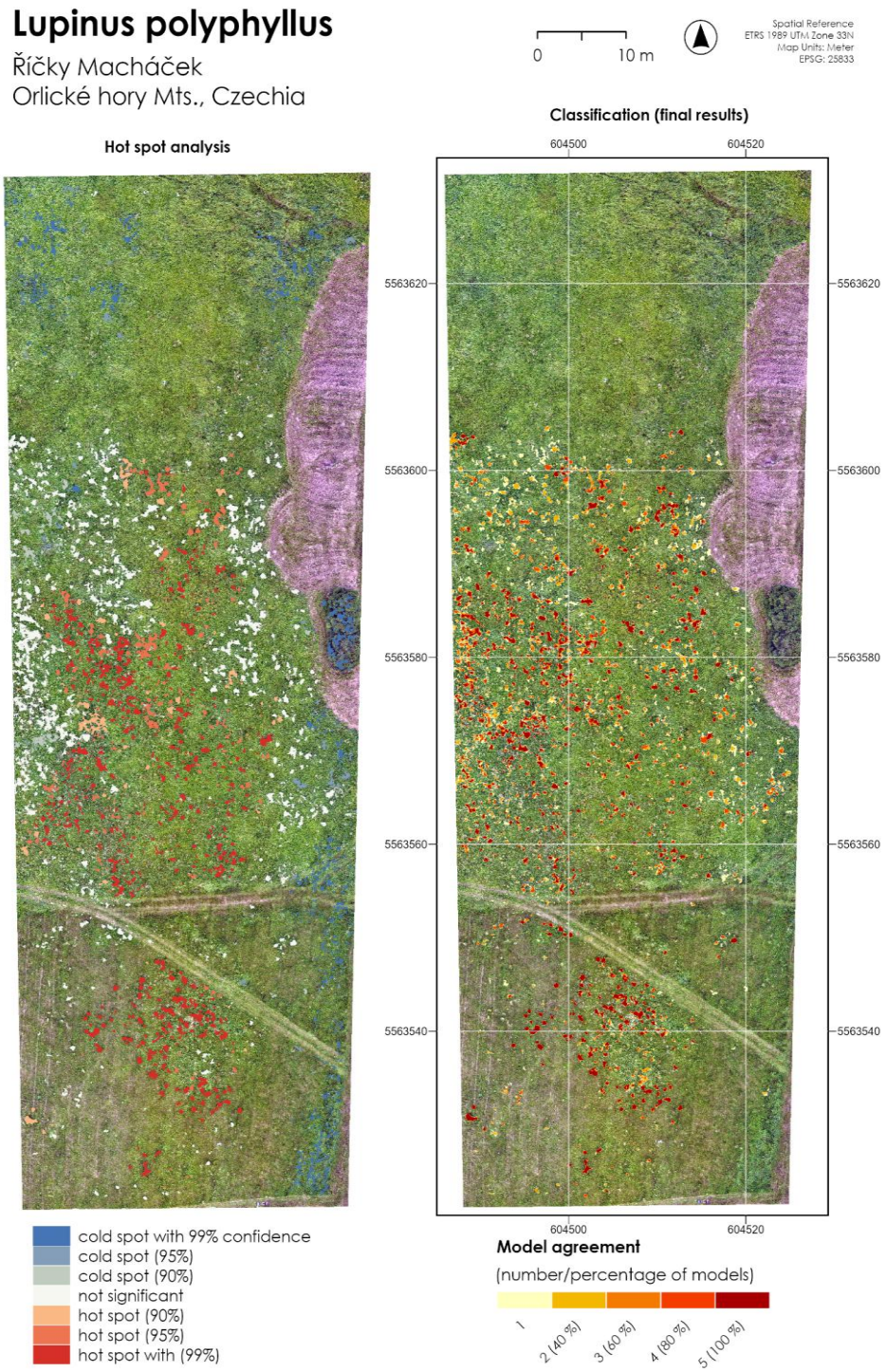
Při volbě přednastavené sítě pro extrakci příznaků (backbone, páteřní síť) bylo pracováno s defaultním nastavením, tedy ve většině případů se jednalo o ResNet34. Důležitým krokem bylo provést tzv. „model.unfreeze“, čímž bylo možno kromě „head“ modelu upravovat i váhy (a bias) páteřní sítě. Využity byly především dva modely: UNet (Ronneberger et al. 2015) jako jednoduchý a efektivní základ, který se osvědčil během předchozího testování a DeepLabV3, který pracuje s „Atrous Convolution“ a “Atrous Spatial Pyramid Pooling” (ASPP) (pro extrakci příznaků na více úrovních). Dalším volitelným parametrem byla rychlost učení. Zde byla pro každý model a sadu trénovacích dat hledána optimální hodnota. Rychlost učení byla následně rozdělena na pomalejší pro první vrstvu modelu, která byla znovu inicializována, a vyšší rychlost pro zbývající části modelu. Počet epoch se pohyboval od 50 nahoru. Aby nedocházelo k přetrénování, pracovalo se s možností tzv. „early stopping“, tedy pokud během 5 epoch nedošlo k výraznějšímu snížení sledované metriky (trénovací/validační ztráta), pak byl proces ukončen předčasně. Zároveň byly stanoveny kontrolní body, tedy kromě poslední verze modelu byly ukládány i meziprodukty.

Pro hodnocení kvality výstupu byla vstupní data (dlaždice vygenerované nástrojem „Export Training Data for DL“) rozdělena na trénovací a testovací v poměru 70:30. Zhodnocení probíhalo i vizuálně pro identifikaci problematických míst. A na některých plochách došlo i k validaci na základě terénních botanických dat.

***Lupinus polyphyllus* v Orlických horách – experimentální postup pro dosažení přesnější detekce**

Pro sledovaný druh *Lupinus polyphyllus* v Orlických horách se metody zmíněné výše ukázaly jako nedostačující, dosažena byla nižší přesnost detekcí (< 70 %). Pro návrh experimentálního postupu byla zvolena lokalita Říčky Macháček a termín 08/25, kdy byly snímky pořízeny za optimálních světelných a povětrnostních podmínek, a větší jedinci nebo skupiny byly v ortofotu okem poměrně dobře identifikovatelné, což je vhodný předpoklad pro úspěšnost detekce.

Namísto jednoho modelu byl natrénován ensemble na různých vstupních datech. Jedna sada trénovacích dat neobsahovala absence, výsledný model tak měl vysokou zpracovatelskou, ale nízkou uživatelskou přesnost. Další sada modelů byla natrénována na základní a rozšířené sadě trénovacích dat s absencemi, což zapříčinilo nízkou zpracovatelskou, ale vysokou uživatelskou přesnost. Pracováno bylo s modely U-Net a DeepLabV3 a defaultními přednastavenými sítěmi pro extrakci příznaků. Nad vrstvami detekcí byla vypočtena míra shody jednotlivých modelů a následně provedena hot spot analýza (Getis-Ord Gi*, ESRI 2026, Obr. 11). Výsledné hodnoty indikují, zda polygony s vysokou/nízkou mírou shody detekce jsou prostorově korelované, v kontextu sousedících polygonů. Pro statisticky signifikantní pozitivní z-skóre platí, že čím vyšší z-skóre, tím více dochází ke shlukování vysokých hodnot míry shody detekce (hot spots). Pro statisticky signifikantní záporné z-skóre, čím nižší z-skóre, tím více dochází ke shlukování nízkých hodnot míry shody detekce (cold spots) – tyto cold spots odpovídají právě místům, kde došlo k chybné detekci modelem s nízkou uživatelskou přesností (trénování bez absencí). Polygony s nízkou shodou míry detekce byly následně eliminovány, čímž bylo dosaženo vysoké uživatelské i zpracovatelské přesnosti. Postup je založen na předpokladu, že lupina je prostorově korelovaná.



Obrázek 11: *Hot spot analýza (vlevo) a výsledná vrstva detekce (vpravo) po eliminaci polygonů s nízkou shodou míry detekce – Říčky Macháček (08/25).*

Multispektrální snímky (G/R/RE/NIR)

Na lokalitě Šerlišský mlýn (termín 06/25) bylo pro sledovaný druh *Veratrum album* provedeno porovnání detekcí nad RGB a multispektrální (pásma G/R/RE/NIR) ortomozaikou. Pro multispektrální snímky bylo dosaženo vyšší celkové přesnosti o 2 % (Tab. 5). Validace proběhla na základě stejné sady botanických dat z terénu. Po vizuální stránce bylo rozdíly mezi oběma vrstvami detekcí minimální.

Tabulka 5: *Porovnání detekce nad RGB a multispektrální ortomozaikou (terénní validace). Šerlišský mlýn, červen 2025.*

		Veratrum album			**absence**		
	celková přesnost	F1-skóre	zpracovatelská přesnost	uživatelská přesnost	F1-skóre	zpracovatelská přesnost	uživatelská přesnost
RGB	90	93	88	94	82	98	73
MS (G/R/RE/NIR)	92	94	90	96	85	99	77

Přednastavené sítě pro extrakci příznaků jako např. ResNet nebo VGG bývají předtrénované na RGB snímcích, v tomto případě konkrétně na datasetu ImageNet-1k. Pro multispektrální data s jinými pásmy je při inicializaci modelu potřeba stanovit, jaké váhy budou nová pásma přebírat. Inicializace může být buď náhodná, tedy pásmům v první vrstvě modelu přiřadíme náhodné váhy, nebo je možno přebrat váhy z jiného, např. R (red) pásma. Oba přístupy výrazně zvyšují požadavky na množství trénovacích dat, jelikož model pro daná pásma nemá předtrénované váhy pro extrakci příznaků a začíná, především v prvním případě, od nuly.

Většina menších komerčních dronů s integrovanou kamerou je osazena klasickými RGB senzory. Pro pořízení multispektrálních snímků s jinými pásmy je zapotřebí specializovaných systémů s vyšší pořizovací cenou (výrobce DJI má ve své nabídce řadu dronů Enterprise do které spadají použité DJI Mavic 3M, DJI Phantom 4 M). Samotné zpracování multispektrálních dat v softwaru Pix4DMapper má vyšší nároky na čas i výpočetní kapacitu.

S ohledem na výše zmíněné a minimální nárůst přesnosti detekce oproti RGB, se nepředpokládá využití multispektrálních snímků (pásma G/R/RE/NIR) pro detekci *Veratrum album.* Pro další sledované druhy nebyl zatím přínos informace obsažené v pásmech RE + NIR stanoven.

Detekce sledovaných druhů – stav před managementem

Pro výstup Nmap (Specializovaná mapa s odborným obsahem) s názvem „Mapa aktuálního rozšíření sledovaných invazních/expanzních druhů v zájmových lokalitách Krkonoš a Orlických hor získaná z dat UAV“ byly provedeny detekce na každé ploše před managementem. V Krkonoších se jednalo o termíny květen a červen 2024 s výjimkou lokality Pec, která se na začátku sezonu v roce 2024 nelétala, takže byla využita data z května 2025. V Orlických horách se jednalo o kombinaci termínů z května a června 2024 a 2025. Na začátku sezóny 2024 byl ke snímaní v Orlických horách využíván ještě starší dron DJI Phantom 4 Multispectral. Nižší rozlišení snímků z daného senzoru se ukázalo v některých případech jako limitující. Pro lokalitu Jedlová Matouš a Šerlišský mlýn proběhla detekce nad daty z obou let, je zde tedy možné porovnání sezónnosti. Dosažené přesnosti jsou uvedeny ve shrnující Tabulce 6.

Použité metody vycházely z metod výše zmíněných a lišily se v závislosti na druhu/ploše. Důležitým faktorem byla přenositelnost modelu z jedné lokality na jinou, jež se ukázala jako částečně proveditelná. Vzhledem ke stálému omezenému množství trénovacích dat se jako vhodný postup ukázalo model prvotně natrénovat na všech trénovacích datech pro daný druh ve stejné nebo podobné fenologické fázi a následně ho dotrénovat pouze nad daty ze zájmové lokality.

V některých případech stále byly detekovány i jiné, pro model neznámé, objekty (stromy, kameny) jako cílový druh. Na výsledných vrstvách detekcí v Orlických horách byly proto provedeny post klasifikační úpravy. Nad multispektrální ortomozaikou byl vypočítán vegetační index NDVI a z digitálního modelu povrchu byl odvozen model výšky porostu (CHM). Místa, kde nebyla splněna podmínka: NDVI > 0,5 a CHM < 2 m, byla odmaskována. Zároveň byla stanovena minimální mapovací jednotka (9 cm^2 = 3×3 pixely). V Krkonoších nebyla většina takových míst detekována, neboť byla zahrnuta do trénovacích čtverců jako absence.

V Krkonoších se též nacházely tři plochy, na kterých se vyskytuje více sledovaných druhů zároveň, ve dvou případech se jedná o kombinaci šťovíku, starčku a kýchavice a v jednom pouze kýchavice a starčku. Pro detekce v těchto plochách byly testovány dva přístupy: Jednak trénování modelu pro všechny druhy dohromady (velmi dobré výsledky pro plochu Pod Výrovkou pro šťovík F1 = 92 % a kýchavici F1 = 76 %, ovšem starček měl F1 pouze 52 % a vizuálně byl určen nedostatečně), tak trénování modelů pro jednotlivé druhy samostatně (kde mohly být využity i modely předtrénované na jiných plochách nebo termínech). Nakonec bylo pro mapy pro všechny plochy využito trénování po jednotlivých druzích, které umožňovalo využít více trénovacích dat, resp. předtrénované modely z jiných ploch či termínů. Pro každou plochu pak bylo určeno pořadí vrstev, pokud by se stalo, že se detekce více druhů budou v některých místech překrývat. V případě lokality Dvorská došlo k odmaskování ploch s detekovaným šťovíkem, kde byl průnik s kýchavicí z důvodu záměn. V případě lokality Nad Výrovkou došlo k odmaskování špatných detekcí kýchavice na kleči pomocí pravidla CHM < 0,25 m, ale stále se vyskytují její náhodné detekce v místech, kde jsou reálně porosty borůvek.

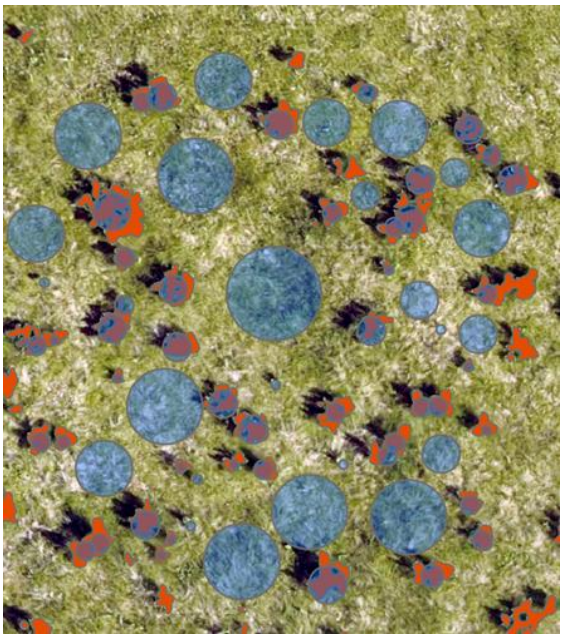
Tabulka 6: *Přesnost (%) dosažená pro jednotlivé druhy/lokality – stav před zásahem. Plocha Hasiči je rozdělena na dvě části dle managementu, horní polovina je ponechána ladem, zatímco na dolní polovině probíhá seč. Pro každou část se jevil jiný vhodný termín k detekci*

oblast	lokalita	termín	druh	F1 druh	F1 abs
Krkonoše	Dvorská bouda	2024/06	šťovík	70	82
			kýchavice	75	97
			starček	60	98
	Friesovy boudy	2024/05	šťovík	85	95
	Chaloupky	2024/05	lupina	85	99
	Modřín	2024/06	lupina	86	99
	Nad Výrovkou	2024/06	kýchavice	82	96
			starček	52	99
	Pec pod Sněžkou	2025/05	lupina	76	98
	Pod Výrovkou	2024/06	šťovík	92	96
			kýchavice	69	98
			starček	68	99
	Studniční boudy	2024/06	kýchavice	66	99
Orlické hory	Hamernice - Mlýn	2025/05	kolotočník	-	-
	Hamernice - Tábor	2024/06	kolotočník	87	98
	Jedlová – Matouš	2025/05	lupina	82	96
	Julinčino údolí	2025/06	kolotočník	91	91
	Říčky - Hasiči	2025/05 (1/2)* 2025/06 (2/2)*	lupina	82	98
	Říčky - Macháček	2025/08	lupina	85	98
	Šerlišský mlýn	2025/06	kýchavice	84	98

Terénní validace

Validace detekcí nad referenčními botanickými daty proběhla dvěma způsoby. Prvotně se jednalo o přímou validaci v terénu na vybraných testovacích územích (Jůlinčino údolí a Šerlišský mlýn v Orlických horách; v Krkonoších proběhla validace na lokalitě Modřín) a vybraných termínech. Cílem bylo především získat zpětnou vazbu, kde je model úspěšný a kde je potřeba provést jeho optimalizaci. Tato metoda je do značné míry unikátní a inovativní. Přímo v terénu ihned po nalétnutí daného území dronem bylo zpracováno ortofoto, nasbírána trénovací data z ortofota na monitoru terénního notebooku a poté zpracována detekce. K tomu bylo zapotřebí mít v terénu vysoce výkonný notebook s kvalitní grafickou kartou. Výsledná vrstva detekce byla ihned po zpracování v terénu předána botanikům (aby bylo jisté, že se stav a rozmístění invazních druhů nezmění dříve, než bude v terénu detekce kontrolována). Botanikové s využitím terénních tabletů v dodané vrstvě detekcí (na základě terénního šetření) vyznačili chybně identifikované polygony invazivního/expanzivního druhu a doplnili naopak chybějící místa výskytu. Následující poznatky byly využity především k úpravě trénovacích/vstupních dat a parametrů modelu.

Druhým způsobem validace bylo využití terénních dat nasbíraných v nově vytvořených čtvercích (5,12×5,12 m), v květnovém termínu byly zaznamenány všechny výskyty cílového druhu za pomocí bodu s určeným poloměrem, od června dále i kruhy absencí). Terénní data byla sbírána GNSS přijímačem s vysokou mírou přesnosti určení polohy (centimetrová), vzhledem k nestabilním podmínkám (nedostupnost mobilního signálu pro RTK korekce, zastínění GNSS signálu v údolí) bylo ale nejdříve nutné přistoupit ke kontrole a čištění nasbíraných dat. Bodová vrstva byla převedena na polygonovou (kruhové objekty), odstraněny byly takové polygony, jejichž zaznamenaná polohová přesnost GNSS měření přesahovala 0.1 m a zároveň je nebylo možné na základě ortofota verifikovat. Upraveny byly případně se překrývající polygony a na základě podkladového ortofota došlo k manuálnímu posunu či zmenšení poloměru nadhodnocených kruhů. Příklad je znázorněn na Obr. 12.



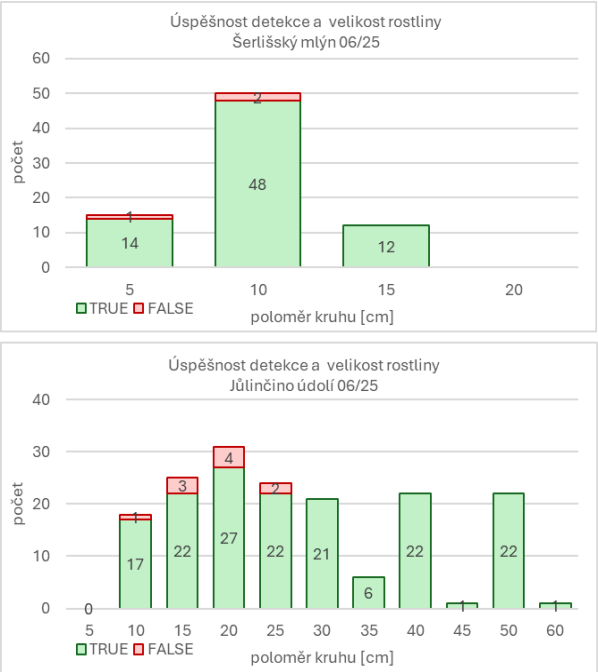
Obrázek 12: *Validační čtverec z lokality Šerlišský mlýn – vrstva detekcí (červené polygony) překryta vyčištěnou vrstvou z terénního mapování (modré kružnice).*

Referenční botanická data nasbíraná v nových čtvercích se nepřekrývala se čtverci, které byly použity pro trénovaní modelu, a tak výsledná validace byla nezávislá. Pro každý kruh cílového druhu/absence bylo zjištěno, zda došlo k průniku s vrstvou detekcí (a v případě, že ano, pak bylo stanoven i procentuální průnik). Na základě toho mohly být vypočteny klasické metriky přesnosti (uživatelská, zpracovatelská a celkový přesnost, F1-skóre). Výsledky terénní validace detekcí pro testovací území jsou uvedeny v Tab. 7.

Tabulka 7: *Porovnání výsledku terénní validace s validací dle protokolu ArcGIS (rozdělení vstupních dat v poměru 70:30 na trénovací a testovací).*

	celková přesnost	F1-skóre	zpracovatelská přesnost	uživatelská přesnost	F1-skóre	zpracovatelská přesnost	uživatelská přesnost
Šerlišský mlýn červen 2025		*Veratrum album*			absence		
terénní	90	93	88	94	82	98	73
ArcGIS	92	84	83	85	98	98	98
Jůlinčino údolí červen 2025		*Telekia speciosa*			absence		
terénní	95	97	94	98	90	99	83
ArcGIS	93	91	90	93	91	94	90
Modřín květen 2025		*Lupinus polyphyllus*			absence		
terénní	91	90	83	98	91	98	85
ArcGIS	91	84	78	91	98	99	98

Celková přesnost detekce na základě terénní validace dosáhla pro testovaná území v Orlických horách a Krkonoších více než 90 %. U nedetekovaného cílového druhu se vždy jednalo o rostliny s menším poloměrem, které mohou být na hraně rozlišovací schopnosti ortofota (Obr. 13). Zároveň celková přesnost odpovídala do 2 % přesnosti zjištěné na základě dělení vstupních dat na trénovací a testovací v poměru 70:30. Z toho vyplývá, že vstupní data generovaná přímo ze snímků s využitím segmentace obrazu a následné manuální editace, jsou kvalitativně srovnatelná s těmi získanými na základě botanického mapování.



Obrázek 13: *Úspěšnost detekce dle velikosti cílového druhu vykazuje problémy především u menších rostlin.*

Pořízení multispektrálních dat UAV pro účely upscalingu a detekce invazních a expanzních druhů v širším území v Krkonoších

V tomto úkolu do určité míry navazujeme na naše předchozí projekty v Krkonoších, kdy bylo v rámci nejcennějšího území v Krkonoších – širšího území východní části krkonošské tundry (viz Obr. 14) sledováno rozšiřování invazních druhů travin (*Calamagrostis villosa*, *Molinia caerulea*, *Deschampsia cespitosa*) na úkor *Nardus stricta*. V roce 2021 jsme pořídili multispektrální UAV data pomocí speciálního dronu VTOL (dron s vertikálním startem a přistáním) a kamery MicaSense Altum (spektrální pásma R, G, B, NIR, RedEdge) pro širší území východní tundry s prostorovým rozlišením 6 cm a byla nasbírána vegetační botanická data. V tomto území se vyskytují i invazní druhy, zejména šťovík alpský kolem horských bud a cest. Výhodou využití VTOL dronů je možnost pokrýt nasnímanými daty rozsáhlé území v relativně krátkém čase, a tedy možnost jejich operačního využití pro detekci invazních druhů v mnohem rozsáhlejším území, než jsou naše testovací plochy.

Obrázek 14*: Vymezení širšího zájmového území pro detekci invazních/expanzních druhů ve východní tundře*

V roce 2025 (11. srpna) jsme v rámci tohoto projektu navázali na předchozí výzkumy a pořídili pro stejné území multispektrální data (stejné prostorové a spektrální rozlišení) s využitím VTOL dronu WingtraOne s kamerou MicaSense Altum-PT (po její adaptaci na tento dron pomocí speciálního nástavce) – viz Obr. 15. Zároveň byla v roce 2025 v rámci jiného projektu opět pořízena pro toto území rozsáhlá sada botanických referenčních dat pro účely trénování a validace klasifikací. Z nasnímaných dat byla zpracována ortomozaika. V roce 2026 budou data vyhodnocena – jednak budou klasifikovány/detekovány invazní/expanzní druhy v tomto širším území v multispektrálních datech pořízených v roce 2025 a dále budou vyhodnoceny změny v jejich šíření v období 2021-2025. Hlavním cílem je ověřit, s jakou přesností je možné detekovat/klasifikovat více invazních a expanzních druhů v širším území v UAV multispektrálních datech s menším prostorovým rozlišením, kdy je k dispozici omezenější množství trénovacích a validačních dat. Výsledky jsou důležité pro Správu KRNAP (a potenciálně pro správy dalších území) z hlediska operačního nasazení vyvíjených metod v rozsáhlejších územích, než jaká pokrývají naše testovací plochy.

Obrázek 15*: Snímek týmu z pořizování dat pro širší území dronem WingtraOne. Foto Jakub Lysák.*

Využití LiDAR pro zpřesnění klasifikací ve vybrané lokalitě v Krkonoších

Využití LiDAR dat bylo na základě zkušeností z jiných projektů a testů provedených v rámci tohoto projektu nahrazeno jednodušší a efektivní metodou, která vede k tomu, že není nutné pořizovat speciální další sadu dat. Metoda vychází z pořízených RGB UAV snímků.

Zpracování pořízených UAV snímků v sobě zahrnuje generování 3D bodového mračna, které v zájmových lokalitách představuje povrch vegetace (DSM_{veg}). Pokud se snímkování provede po odtátí sněhové pokrývky před nástupem vegetační sezóny (DSM_{ref}), lze rozdíl CHM = DSM_{veg} – DSM_{ref} odpovídající výšce vegetace využít jako další příznak pro detekci zájmových druhů. Na ploše Jedlová-

Matouš v Orlických horách např. bylo testováno a využito prahování DSM jako fungující způsob detekce pro „trsovitou vyšší vegetaci“ pro termín 05/25.

Prostupnost LiDARového paprsku travní vegetací je omezeno (Šrollerů, Potůčková 2025). Pro zjištění výšky porostu by tak musel být uplatněn stejný postup jako v případě běžného snímkování, tj. pořídit jeden sken před začátkem vegetační sezóny a následně pak během ní. Jako přidaná hodnota vůči optickému snímkování by byla informace o vertikální struktuře porostu, jejíž přínos se pro klasifikaci travních společenstev v Krkonoších ukázal jako minimální (Šrollerů, Potůčková 2025). Zásadní veličinou zůstává výška porostu.

Z uvedených, v předchozích projektech získaných zkušeností vyplývá, že z hlediska praxe LiDAR pro mapování nízké husté vegetace nemá oproti 3D bodovému mračnu odvozenému ze snímků zásadní přínos. Důležité je pořízení snímků v době, než vegetace vyrazí, tj. získat DSM_{ref}, k němuž se bude výška porostu v následujících termínech vztahovat, a zajištění prostorového ztotožnění všech časových horizontů s dostatečnou přesností (v řádu prvních jednotek cm).

Tvorba map aktuálního rozšíření sledovaných invazních/expanzních druhů v zájmových lokalitách Krkonoš a Orlických hor v roce 2024 a 2025 získaná analýzou dat z UAV) a specializované veřejné databáze multispektrálních snímků pořízených pro zájmové lokality Krkonoš a Orlických hor z UAV v letech 2024 a 2025

Z výsledků klasifikací a ortofot byly s využitím software ArcGIS Pro vytvořeny specializované mapy, pro každou lokalitu jedna. Každá mapa zachycuje plochu jako celek (podklad ortofoto, nad ním výsledky detekce a vyznačený detailní výřez), dále detailní výřez odpovídající rozlišení ortofota, kde v jednom mapovém poli je pouze ortofoto, ve druhém je z téhož území ortofoto s výsledkem detekce (pro vizuální hodnocení výsledků). Mapa je doplněna stručnou charakteristikou plochy, použitými metodami detekce pro jednotlivé invazních/expanzních druhy a jejich úspěšností, ilustrativním obrázkem v ploše se vyskytujících invazních/expanzních druhů a dalšími náležitostmi kartografického díla (měřítko, tiráž, název). Mapy byly vyexportovány ve formátu PDF a představují názorný a snadno uchopitelný zdroj informací o stavu invazí před zásahem na jednotlivých zájmových plochách.

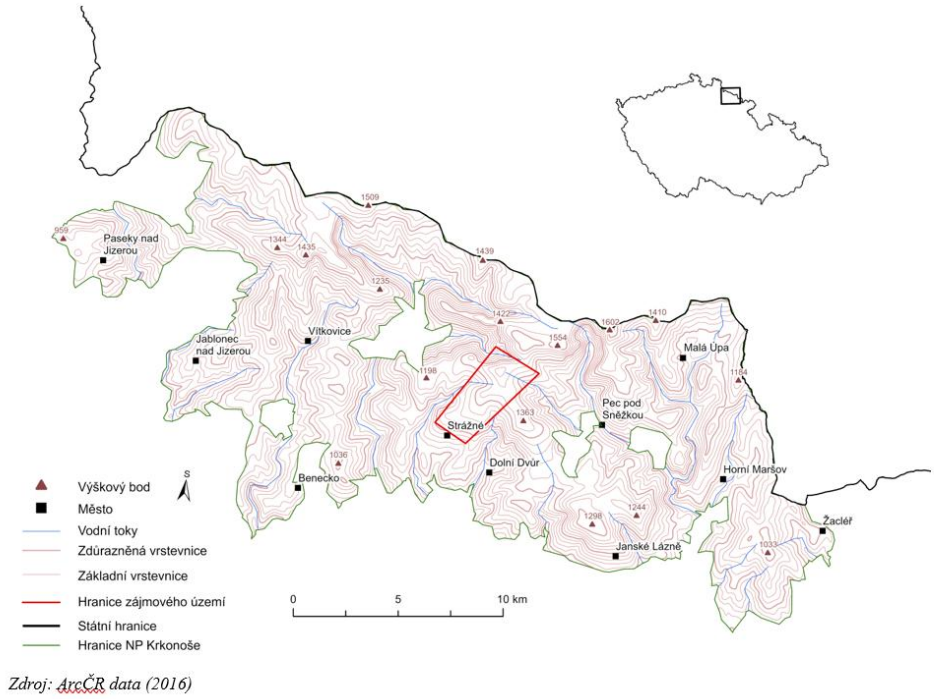
Výsledná ortofota byla zpracována do podoby veřejně dostupné mapové služby (tile layer) na ArcGIS Online. Seznam odkazů na všech 98 služeb (pro každý termín jedna) pro jednotlivá ortofota je uveden v dokumentu prokazujícícm dosažení výsledku (DPDV), který je na webu projektu (https://www.eo4plantinvasions.cz/outputs/). S daty lze volně pracovat např. v software ArcGIS Pro. Na vyžádání jsou k dispozici také původní ortofota. S ohledem na celkovou velikost (přes 18 GB) budou zájemcům ortofota poslána přes službu typu úschovna.

Výsledný produkt je využitelný pro detekci invazních/expanzních druhů rostlin na uvedených lokalitách nejen pro účely řešeného projektu, ale i jako testovací data dostupná dalším výzkumníkům řešícím obdobnou problematiku, zejména výskyt invazních/expanzních druhů.

Aktivita A4 Testování využitelnosti leteckých ortofot a družicových dat PlanetScope pro monitoring šťovíku alpského a lupiny mnoholisté

Koordinace: PřF UK
Účast: BÚ (referenční botanická data pro rok 2024)

Aktivita A4 probíhala i v roce 2025 v Krkonoších v území se zvýšeným výskytem šťovíku alpského, které zároveň zahrnovalo všechny plochy s výskytem šťovíku, pro něž jsme pořizovali UAV data (zájmové území viz Obr. 16) a byla částečně řešena v rámci bakalářské práce Barbory Novotné (Novotná, 2025). Data shromážděná v roce 2024 byla analyzována metodami hlubokého učení a též byla využita klasifikace Random forest (pro data PlanetScope). Pro detekce z leteckých ortofot (prostorové rozlišení 5 cm) a PlanetScope (prostorové rozlišení 3 m) byly využity modely předtrénované na datech z UAV, ale následně i modely specifické nepřenesené. Byly také testovány možnosti upscalingu – výstupy detekce (pro plochy s výskytem šťovíku) získané detekcí z dat UAV byly v rámci upscalingu využity pro trénování ortofota a dat PlanetScope.



Obrázek 16*: Mapa zájmového území pro testování ortofot a dat PlanetScope.*

Postup a výsledky detekce šťovíku alpského v ortofotech

Data a jejich předzpracování

Správou Krkonošského národního parku byly poskytnuty jednotlivé ortofoto dlaždice z 24. června 2022 s prostorovým rozlišením 5 cm/pixel a třemi spektrálními pásmy (R, G, B). Na základě kladu mapových listů byly vybrány požadované dlaždice, pokrývající zájmovou lokalitu. Pro vytvoření

mozaiky byla v softwaru ArcGIS Pro použita funkce Mosaic to New Raster a následně pomocí funkce Define Projection byla mozaika převedena do S-JTSK souřadnicového systému.

Přenos a příprava trénovacích dat pro ortofoto

První pokusy o detekci šťovíku alpského v ortofotu vycházely z aplikace již existujících modelů natrénovaných na datech z UAV, konkrétně modelu z lokality Friesovy Boudy a z lokality Pod Výrovkou. Tyto modely však při přímé aplikaci na ortofoto vykazovaly nízkou přesnost, což vedlo k nutnosti vytvořit nové modely specificky určené pro ortofoto. Jako základ trénovacích dat byly využity polygony šťovíku alpského automaticky detekované nad UAV daty oběma modely. Z důvodu rozdílného prostorového rozlišení dat UAV (1 cm/pixel) a ortofot (5 cm/pixel) a malého množství trénovacích dat ze dvou lokalit, nebyly ale detekce s využitím těchto trénovacích dat úspěšné. Bylo tedy nutné vytvořit trénovací data nad samotným ortofotem. Byla využita segmentace obrazu, která umožnila selektivní výběr trénovacích vzorků odpovídajících polygonům detekovaného (v rámci segmentace) šťovíku. Sběr trénovacích dat probíhal napříč všemi sledovanými lokalitami, kde byl výskyt invazního druhu ověřen, což přispělo k lepší generalizaci modelu.

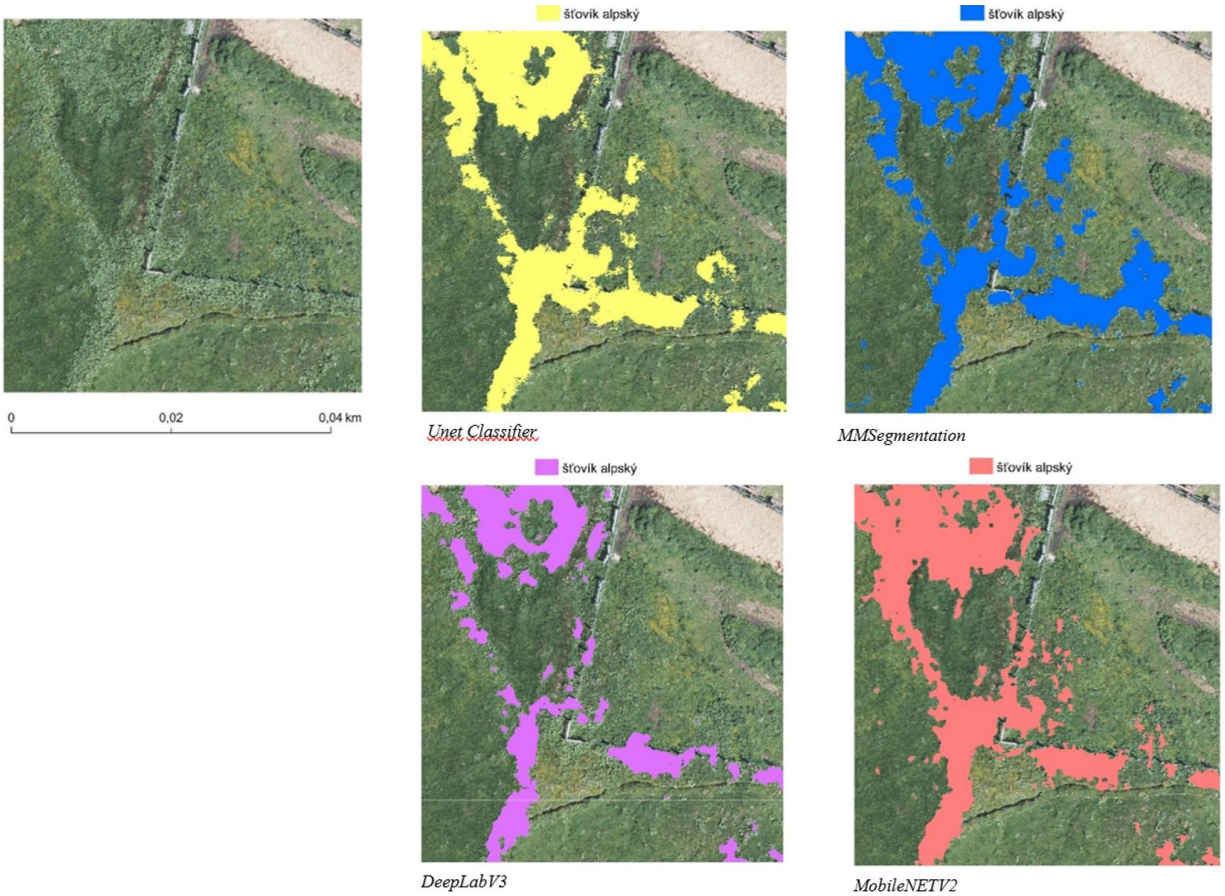
Použité modely

V rámci testování byly porovnávány různé architektury pixelové klasifikace, zejména modely Unet Classifier, DeepLabV3, MobileNetV2 a framework MMSegmentation. Tyto modely se lišily především strukturou sítě, způsobem segmentace a výpočetní náročností. Všechny modely pracovaly s klasifikovanými dlaždicemi a byly testovány za shodných podmínek, což umožnilo objektivní porovnání jejich výkonu a výběr nejvhodnějšího řešení. Přesnost detekce šťovíku alpského byla hodnocena pomocí terénních bodů s ověřeným výskytem druhu.

Výsledky detekce

Nejlepších výsledků detekce (60,5 %) bylo dosaženo pomocí modelu založeného na architektuře **MMSegmentation**. Modely **Unet Classifier** a **DeepLabV3** dosahovaly shodné validační přesnosti 48,4 %, zatímco model **MobileNETV2** vykázal vyšší úspěšnost na úrovni 56,6 % (srovnání výsledků viz Obr. 17). U všech modelů se v různé míře vyskytovaly chyby v podobě falešně pozitivních detekcí. Nejčastěji se jednalo o chybné označení kamenných povrchů budov, a především okolní vegetace. Z hlediska vizuální interpretace výsledků vykazoval nejlepší chování model **Unet Classifier**, který jako jediný výrazně omezil výskyt falešně pozitivních detekcí. I přes nižší celkovou přesnost tak tento model poskytoval spolehlivější výsledky z pohledu praktického využití.

Závěr: Úspěšnost detekce nebyla zcela uspokojivá. Byly prověřeny různé postupy tvorby trénovacích dat a porovnány různé metody detekce. K dosažení vyšší přesnosti by v budoucnu mohlo přispět lepší prostorové rozlišení ortofota, případně lepší spektrální rozlišení.

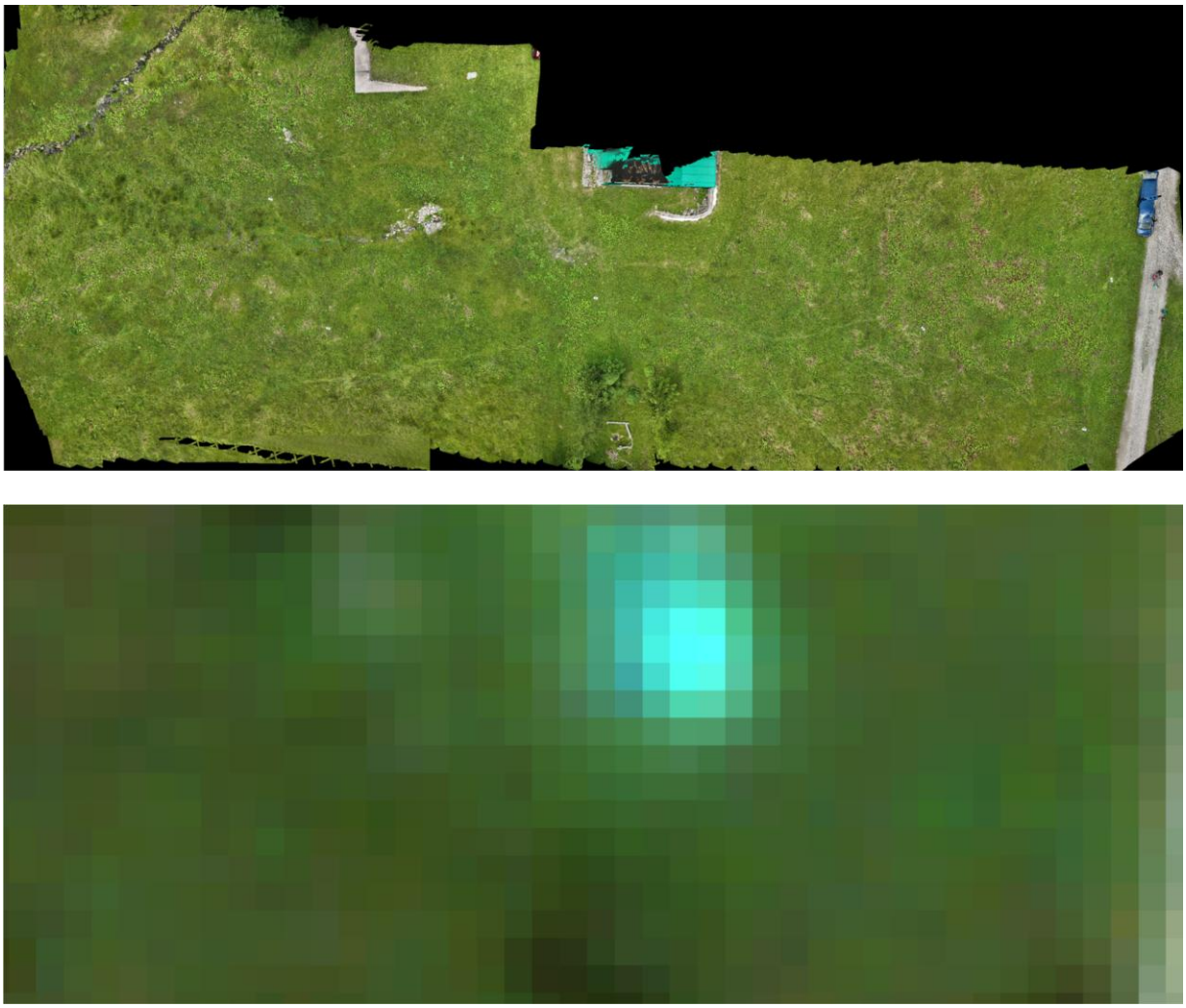


***Obrázek 17**: Výsledky detekce šťovíku alpského s využitím různých metod detekce*

Postup a výsledky detekce šťovíku alpského v datech PlanetScope

K detekci byl využit snímek pořízený 14. května 2024 (časově odpovídal pořízení dat z UAV a botanickému mapování). Detekce šťovíku alpského v datech PlanetScope probíhala stejným způsobem jako detekce z ortofot. Nejprve byla testována přenositelnost modelů, které byly využity pro detekci z dat UAV, poté byly testovány modely natrénované přímo na daty PlanetScope. Nebylo ale dosaženo uspokojivých výsledků ani v jednom případě. Dále byla testována klasifikace s využitím algoritmu Random Forest. Ani ten nepřinesl dobré výsledky.

Závěr: Pro poměrně malé plochy invazních rostlin v Krkonoších se data PlanetScope data ukázala jako nedostatečná vzhledem k prostorovému rozlišení (Obr. 18). Největší plochy hustých porostů zabírají jednotky pixelů, a navíc tyto pixely není možné ani s jistotou v PlanetScope datech určit vzhledem k drobným odchylkám v georeferenci a ortorektifikaci. Výsledky klasifikací tak nelze snadno zlepšit přidáním výsledných detekcí na zájmových lokalitách pro trénování na celém území KRNAP.
Na základě těchto výsledků nemůžeme doporučit využití dat PlanetScope pro spolehlivou detekci šťovíku alpského a s velkou pravděpodobností ani dalších sledovaných invazních druhů.



***Obrázek 18**: Friesovy boudy s výskytem šťovíku – nahoře RGB ortofoto z dronu vs. dole PlanetScope data ve stejném měřítku (srpen 2024).*

Aktivita A5 Syntéza, tvorba a testování konečných výstupů projektu, implementace, osvětové a propagační aktivity

Koordinace: PřF UK
Účast: BÚ

V roce 2025 pokračovala práce na dílčích výstupech jednotlivých aktivit (viz Tab. 8), které vedou k výsledné syntéze. Dále byly tvořeny některé konečné výstupy (kapitola 6) a probíhaly osvětové a propagační aktivity (jejich shrnutí viz Tab. 9).

Tabulka 8: *Dílčí výstupy jednotlivých aktivit v roce 2025*

Aktivita	Výstupy dílčích aktivit 2025	Řešitel	Postup zpracování a způsob uložení
A1a	– aktualizace databáze výskytů pro zájmové druhy a kontrolní dominanty	BÚ	Dokončeno, podklad pro detekce. Výskyt zájmových druhů podél cest a kolem bud – archiv BÚ, pokračuje květen/červen 2026.
A1a	– aktualizace NDOP při nálezu nových druhů		Rozpracováno, pokračuje 2026. Archiv BÚ. Bude předáno po dokončení terénních prací.
A1b	– rozšíření databáze fytocenologických snímků o další rok sledování	BÚ	Dokončeno, Příloha 1.
A1b	– rozšíření databáze výskytů zájmových druhů a kontrolních dominant (GPS) o další rok sledování	BÚ	Dokončeno. Podklad pro detekce.
A1b	– doplnění databáze sledovaných vlastností u zájmových druhů	BÚ	Rozpracováno, pokračuje 2026. Přílohy 2–4 a archiv BÚ. Probíhá test klíčivosti semen lupiny.
A1b	– aktualizace NDOP při nálezu nových druhů	BÚ	Rozpracováno, pokračuje 2026. Archiv BÚ. Bude předáno po dokončení terénních prací.
A1b	– vyhodnocení změn ve složení vegetace po 1. roce managementových zásahů		Rozpracováno.
A1b	– vyhodnocení schopnosti přežívání a vitality zájmových druhů po 1. roce managementu		Dokončeno; Příloha 2.
A2	– digitální managementový záznam pro každou zájmovou lokalitu – typy aplikovaných managementů, termíny, popis efektivity v průběhu sezóny (bude zveřejněn na webu projektu a v průběžné zprávě)	BÚ	Dokončeno, Příloha 2
A3	– soubor datových vrstev obrazových optických dat pro snímané lokality ve 3 termínech	PřF	Dokončeno.
A3	– tematické výstupy klasifikací invazních/expanzních druhů a dalších přítomných dominantních druhů/společenstev	PřF	Dokončeno pro termíny před managementem. Dle plánu bude v roce 2026 probíhat pro plochy po aplikaci managementu.
A3	– výsledky hodnocení přesnosti a terénní validace pro: a) monitoring rozšíření invazních/expanzních druhů b) kontrolu úspěšnosti managementových zásahů, c) data pořízená v nepříznivých/limitních podmínkách (fenologické, terénní apod.)	PřF	Rozpracováno pro bod a), dle plánu bude pokračovat v roce 2026 pro body b) a c).
A3	– výsledky testování dat LiDAR		Nahrazeno vhodnější metodou – využití CHM – modelu výšky vegetace získaného z UAV ortofot.
A4	– tematické výstupy klasifikace rozšíření šťovíku alpského a lupiny mnoholisté v zájmových lokalitách v roce 2024 (budou zveřejněny na webu projektu a v průběžné výzkumné zprávě)	PřF	Dokončeno. Výsledky jsou zveřejněny v průběžné zprávě.

A4	– vyhodnocení přesnosti klasifikací s ohledem na různé prostorové, časové a spektrální rozlišení vstupních dat	PřF	Probíhá, bude dokončeno v roce 2026.
A4	– vyhodnocení upscalingu a porovnání přesnosti historického mapování, hodnocení změn a současného mapování vzhledem k využitým botanickým podkladům i datům DPZ		Probíhá, bude dokončeno v roce 2026.
A5	– specializovaná mapa aktuálního rozšíření sledovaných invazních/expanzních druhů v zájmových lokalitách Krkonoš a Orlických hor v roce 2024 a 2025 získaná analýzou dat z UAV (soubor map)	PřF, BÚ	Dokončeno – vytvořeno 15 specializovaných map.
A5	– specializovaná veřejná databáze (S) multispektrálních snímků pořízených pro zájmové lokality Krkonoš a Orlických hor z UAV v letech 2024 a 2025	PřF, BÚ	Dokončeno.
A5	– popularizační článek	PřF, BÚ	Sádlo J., Čuda J., Červená L., Vítková M., Kupková L., Hrázský Z., Pyšek P.: Řekni, kde ty kytky jsou: Moderní technologie loví invazní druhy. Odesláno do časopisu Vesmír.
A5	– příspěvek v konferenčním sborníku	PřF, BÚ	Příspěvek byl publikován.
A5	– průběžná zpráva	PřF, BÚ	Zpráva byla zpracována.

Za účelem implementace probíhala zejména komunikace s uživateli výsledků a vlastníky pozemků / hospodáři – viz podrobné informace v kapitole A1 a A2.

Propagace projektu je zajištěna prostřednictvím webu – www.eo4plantinvasions.cz, který byl v roce 2025 aktualizován – zejména byly přidány výstupy projektu za rok 2025. Výstupy projektu byly prezentovány na domácích a zahraničních konferencích viz tabulka 9, byl připraven a odeslán popularizační článek (viz informace v kapitole 6) a téma projektu bylo prezentováno v televizním vystoupení.

Televizní vystoupení bylo vysíláno v sekci Naše téma, příspěvek „Nepůvodní druhy odhalují i drony“ v Událostech na ČT1 26. 10. 2025. Dostupné https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/225411000101026/.

V rámci nedělního vysílání pořadu Události na ČT1 byla v sekci Naše téma představena problematika invazních živočichů a rostlin. Invazním rostlinám se věnoval Jiří Sádlo z Botanického ústavu AV ČR, člen řešitelského týmu projektu, zatímco problematiku invazní lupiny v Krkonoších přiblížili Stanislav Březina a Marcela Nosková ze Správy KRNAP. Metody využívané při řešení tohoto projektu, zejména využití dronů pro mapování invazních druhů v členitém horském terénu Krkonoš, následně objasnily hlavní řešitelka projektu Lucie Kupková a Lucie Červená z Přírodovědecké fakulty UK.

Tabulka 9: Propagace projektu na konferencích (na všech konferencích byla přednesena prezentace nebo prezentován poster)

Název konference	**Místo a datum**	**Název prezentace/posteru a odkaz, pokud je výstup online**	**Prezentující organizace / osoba**
EARSeL Symposium	Praha, ČR 26.–29. 5. 2025	Mapping expansive *Veratrum album* from UAV imagery: neural network training for deep learning novices with no intention of scripting, using a consumer-grade laptop (poster)	PřF UK, Alex Šrollerů, Markéta Potůčková a kol.
ISPRS Geospatial Week	Dubai, SAE 6.–11. 4. 2025	Poster: Monitoring invasive and expansive species in the Krkonoše Mts using UAV multitemporal data and botanical research článek v konferenčním sborníku na WoS: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-G-2025/821/2025/isprs-archives-XLVIII-G-2025-821-2025.pdf	PřF UK, Lucie Kupková a kol.
IGU Thematic Conference 2025	Cairo, Egypt 12.–19. 4. 2025	Landscape Transformation in Czechia Over the Last 30 Years: Diversity of Changes at Two Spatial Levels (prezentace)	PřF UK, Lucie Kupková a kol.
COSPAR	Nicosia, Kypr 3.–7. 11. 2025	Prezentace: Combining UAS and PlanetScope data for large scale vegetation monitoring: A case study in the Krkonoše mountains	PřF UK, Lucie Kupková a kol.
Workshop Eurosite*	Umeå, Švédsko 29. 9.–2. 10. 2025	Prezentace: Monitoring Lupinus polyphyllus and other expansive plants in the Krkonoše NP using UAS imagery.	PřF UK, Záboj Hrázský a kol.
EMAPI	Lincoln, Nový Zéland 2. –5. 9. 2025	Hotspots and drivers of alien plant species upward spread to the arctic-alpine tundra in the Krkonoše National Park (Central Europe) – flash talk + poster Kniha abstraktů https://confer.eventsair.com/emapi2025/programme-overview	BÚ, Michaela Vítková a kol.
EMAPI	Lincoln, Nový Zéland 2. –5. 9. 2025	Monitoring the spread of invasive and native plant species by advanced airborne methods: implications for management; poster Kniha abstraktů https://confer.eventsair.com/emapi2025/programme-overview	BÚ, Jan Čuda a kol.

* Eurosite Workshop je výroční setkání zástupců správ chráněných území, akademické obce a dodavatelů služeb v rámci Evropy na poli sledování indikátorů stavu chráněných území, zejména ale nejen jejich živých součástí. Téma setkání pro rok 2025 bylo využití dálkového průzkumu při monitoringu a účastníci ocenili relativně vysokou výslednou přesnost metod využitých při detekci konkrétních invazních druhů a zajímali se o dílčí body sdíleného workflow, např. jak byla zajištěna koregistrace snímků mezi termíny a ocenili přístup s využitím pozemních kontrolních bodů zaměřených geodetickou přesností, což byla z jejich pohledu nadstandardní kvalita zpracování vstupních dat. Příspěvek PřF byl zvanou přednáškou a veškeré náklady na účast (dopravu, ubytování i stravu) uhradili organizátoři.

5. Výsledky/výstupy projektu

A) Plánované výsledky/výstupy v roce 2025

I. Závazné výsledky

SS07020317–V2
Nmap (Specializovaná mapa s odborným obsahem) – Mapy aktuálního rozšíření sledovaných invazních/expanzních druhů v zájmových lokalitách Krkonoš a Orlických hor získaná z dat UAV
Termín dosažení: 12/2025

Celkem bylo vytvořeno 15 specializovaných map, každá mapa zachycuje plochu jako celek (podklad ortofoto, nad ním výsledky detekce a vyznačený detailní výřez), dále detailní výřez odpovídající rozlišení ortofota, kde v jednom mapovém poli je pouze ortofoto, ve druhém je z téhož území ortofoto s výsledkem detekce (pro vizuální hodnocení výsledků). Mapa je doplněna stručnou charakteristikou plochy, použitými metodami detekce pro jednotlivé invazní/expanzní druhy a jejich úspěšností, ilustrativním obrázkem v ploše se vyskytujících invazních/expanzních druhů a dalšími náležitostmi kartografického díla (měřítko, tiráž, název). Více informací viz DPDV.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/outputs-2025/

SS07020317–V5
S (Specializovaná veřejná databáze) – Databáze multispektrálních snímků pořízených z UAV pro zájmové lokality Krkonoš a Orlických hor v letech 2024 a 2025
Termín dosažení: 12/2025

Výsledná ortofota pro jednotlivé termíny a lokality byla zpracována do podoby veřejně dostupné databáze, technicky realizované pomocí veřejně dostupné mapové služby (tile layer) na ArcGIS Online. Databáze obsahuje celkem 98 ortofot / služeb (pro každý termín jedna). S daty lze volně pracovat např. v software ArcGIS Pro. Na vyžádání jsou k dispozici také původní ortofota.
S ohledem na celkovou velikost (přes 18 GB) budou zájemcům ortofota poslána přes službu typu úschovna.

Výsledek je volně dostupný zde:

https://www.eo4plantinvasions.cz/wp-content/uploads/2026/01/V5.pdf

II. Další výsledky

SS07020317–15
O (ostatní) – Průběžná zpráva 2025
Termín dosažení: 12/2025

Zpráva shrnuje postup, výsledky řešení a výstupy projektu v roce 2025, bude předána hlavním uživatelům výsledků a dalším případným zájemcům pro zpětnou vazbu a publikována na webu projektu.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/outputs-2025/

SS07020317–16
O (ostatní) – Příspěvek v konferenčním sborníku
Termín dosažení: 12/2025

V rámci konference ISPRS Geospatial Week 2025 "Photogrammetry & Remote Sensing for a Better Tomorrow…", 6–11 April 2025, Dubai, UAE byl v konferenčním sborníku (indexovaném na Web of Science) publikován příspěvek, který přibližuje průběžné výsledky projektu (výsledky zároveň byly na konferenci prezentovány formou posteru)

KUPKOVÁ, Lucie, ČERVENÁ, Lucie, LYSÁK, Jakub, HRÁZSKÝ, Záboj, POTŮČKOVÁ, Markéta, ŠROLLERŮ, Alex, NOVOTNÁ, Barbora, VÍTKOVÁ, Michaela, PERGL, Jan, ČUDA, Jan, KOLOMBOVÁ, Natálie, KUŠKOVÁ, Klára, KUTLVAŠR, Josef, PERGLOVÁ, Irena, SÁDLO, Jiří, VÍTEK, Vojtěch a PYŠEK, Petr. *Monitoring invasive and expansive species in the Krkonoše Mts using UAV multitemporal data and botanical research.* In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLVIII-G-2025, ISPRS Geospatial Week 2025 "Photogrammetry & Remote Sensing for a Better Tomorrow…", 6.–11. April 2025, Dubai, UAE, s. 821–829. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-821-2025, 2025.

Výsledek je volně dostupný zde: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-G-2025/821/2025/isprs-archives-XLVIII-G-2025-821-2025.pdf

O (ostatní) – Popularizační článek

Termín dosažení: článek byl odeslán do časopisu Vesmír, je přijat k publikaci, publikace se předpokládá v březnu 2026 (kdy bude výsledek dosažen a vykázán v SISTa)

Tým pod vedením Jiřího Sádla připravil popularizační článek: Sádlo J., Čuda J., Červená L., Vítková M., Kupková L., Hrázský Z., Pyšek P.: *Řekni, kde ty kytky jsou: Moderní technologie loví invazní druhy.* Článek byl zaslán do časopisu Vesmír a bude pravděpodobně publikován v březnovém čísle.

Popularizační článek představuje široké veřejnosti podstatu řešeného projektu a poukazuje na limity klasického pozemního mapování invazních a expanzních druhů i na přínosy využití moderních technologií. Popisuje využití multispektrálních dronových snímků a metod hlubokého strojového učení, které se opírají o detailní terénní mapování jednotlivých jedinců a porostů pomocí vysoce přesné GPS v terénu. Článek zároveň ukazuje, že tento přístup umožňuje cílenější a efektivnější management invazí a přispívá k lepšímu porozumění jejich prostorové dynamiky v horské krajině.

B) Výsledky/výstupy nad rámec plánovaných v roce 2025

Nad rámec plánovaných výsledků byly zpracovány tyto výstupy:

SS07020317-11
Jimp – článek s impakt faktorem
Termín dosažení: 12/2025

Buhaly M., Alexander J., Pauchard A., Rew L., Seipel T., Arevalo J., Aschero V., Averett J., Barros A., Cavieres L., Clark V., Daehler C., Dar P., Fuentes-Lillo E., Gwate O., Jentsch A., **Kutlvašr J.**, Larson C., Lembrechts J., McDougall K., Núñez M., Rashid I., Ratier Backes A., Reshi Z., Schweiger A., Van Meerbeek K., Visser V., **Vítková M.**, Vorstenbosch T., Wolff P., Zong S., Haider S. (2025). **Global Homogenisation of Plant Communities Along Mountain Roads by Non-Native Species Despite Mixed Effects at Smaller Scales.** Global Ecology and Biogeography, 34(10), e70137.

Horské ekosystémy čelí narůstající invazi nepůvodních rostlin, což ohrožuje jejich biodiverzitu. Cílem studie bylo ověřit, zda nepůvodní rostlinné druhy přispívají k biotické homogenizaci podél silnic v horských oblastech a jak se tento proces mění s výškovými gradienty a napříč prostorovými měřítky. Analýza 18 horských regionů ukázala, že nepůvodní druhy snižují beta-diverzitu a homogenizují společenstva, zejména v nižších nadmořských výškách Nového světa. Naproti tomu ve Starém světě dominovala lokální diferenciace. Globálně vede invaze nepůvodních druhů ke zvýšení podobnosti rostlinných společenstev napříč výškovými gradienty.

Jedním ze zapojených horských území byl Krkonošský národní park. V tomto území byla vstupní data sbírána podle jednotné a mezinárodně používané metodiky (Haider et al. 2022), na jejímž vývoji a aplikaci se členové řešitelského týmu aktivně podíleli. Zkušenosti získané v rámci monitoringu invazních a expanzních druhů v Krkonoších, zejména poznatky o jejich šíření podél silniční sítě, byly využity při interpretaci výsledků, přípravě rukopisu a formulaci diskusní části. Tyto poznatky přímo vycházejí z aktivit řešeného projektu zaměřeného na monitoring, hodnocení rizik a návrh manažerských opatření k omezení šíření invazních a expanzních druhů v Krkonošském národním parku.

Výsledek je volně dostupný zde:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/geb.70137

SS07020317-12
O (ostatní) – Flash talk a poster na konferenci
Termín dosažení: 12/2025

Problematiku invazních a expanzních druhů v členitém horském terénu Krkonoš představila Michaela Vítková (BÚ AV ČR) na 17. mezinárodní konferenci EMAPi (Ecology and Management of Alien Plant Invasions), konané ve dnech 2.–5. září 2025 na University of Lincoln (Nový Zéland), formou krátké ústní prezentace (flask talk) a posteru. Příspěvek “Hotspots and drivers of alien plant species upward spread to the Arctic-alpine tundra in the Krkonoše/Karkonosze National Parks” byl v rámci poster session diskutován se zahraničními specialisty na biologické invaze z různých kontinentů (např. A. Pauchard, D. M. Richardson, P. Hulme, J. Virtue, M. Lavery, C. Morrison). Diskuse se zaměřila na metodické otázky mapování invazních druhů v horských ekosystémech, přenositelnost použitých

postupů do dalších horských oblastí a na vliv antropogenní zátěže, zejména turistiky, budování infrastruktury a okrasného pěstování v podhůří.

V rámci konference bylo doporučeno a po jejím skončení realizováno terénní šetření zaměřené na invazi a management lupiny v nejvíce zasaženém regionu Canterbury a v NP Aoraki/Mount Cook. Získané poznatky o jejím šíření podél vodních toků, omezené účinnosti likvidace a riziku postupu do vyšších nadmořských výšek představují významný praktický výstup projektu a důležitý podklad pro preventivní management invazí v českých horských oblastech.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/wp-content/uploads/2026/01/V12_EMAPI_Vitkova-et-al.flash-talk.pdf

SS07020317-13
O (ostatní) – Poster na konferenci
Termín dosažení: 12/2025

Na 17. mezinárodní konferenci EMAPi na Novém Zélandu (viz výše) Jan Čuda (BÚ AV ČR) prezentoval průběžné výstupy projektu formou posteru s názvem "Monitoring the spread of invasive and native plant species by advanced airborne methods: implications for management". Prezentace umožnila odbornou konzultaci dosavadních výstupů projektu s mezinárodními experty z úřední, akademické i aplikační sféry. Diskuse se zaměřila zejména na metodiku dronového mapování invazních druhů, vysokou prostorovou přesnost a možnost detekce jednotlivých rostlin a porostů. Pozornost byla věnována také praktickému využití těchto dat v rámci stávajícího legislativního rámce ochrany přírody v Evropě. Zajímavé informace k managementu *Lupinus polyphyllus* na Novém Zélandu poskytl Phil Hulme.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/wp-content/uploads/2026/01/V13_EMAPI_Cuda-et-al._poster.pdf

SS07020317–14
O (ostatní) – Poster: Mapping expansive Veratrum album from UAV imagery: neural network training for deep learning novices with no intention of scripting, using a consumer-grade laptop
Termín dosažení: 12/2025

Poster byl prezentován na EARSeL Sympoziu, Praha, 26.-29.5.2025. Je zaměřen na mapování *Veratrum album* pomocí velmi detailních RGB snímků z UAV a nástrojů hlubokého učení dostupných v komerčním GIS softwaru ArcGIS Pro. Cílem bylo ověřit, zda je možné dosáhnout vysoké úspěšnosti detekce i bez programování a s využitím běžného notebooku. Trénovací data byla vytvořena přímo z ortomozaiky s rozlišením 1 cm pomocí semiautomatického workflow (segmentace obrazu, vektorizace, ruční korekce) a modely byly trénovány pomocí nástroje AutoDL. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s architekturou U-Net (ResNet34), s F1 skóre 0,90 a úspěšností detekce 89 % při validaci pomocí terénních botanických dat. Výsledky ukazují, že současné automatizované nástroje umožňují efektivní využití hlubokého učení v dálkovém průzkumu Země i uživatelům bez hlubších znalostí AI, a to na běžném hardwaru.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/wp-content/uploads/2026/01/V14_EARSEL_2025_Srolleru_et_al_poster_lowQ.pdf

SS07020317-V17
O (ostatní) – Prezentace na konferenci: Landscape Transformation in Czechia Over the Last 30 Years: Diversity of Changes at Two Spatial Levels
Termín dosažení: 12/2025

Prezentace s názvem Landscape Transformation in Czechia Over the Last 30 Years: Diversity of Changes at Two Spatial Levels (autoři Lucie Kupková, Zdeněk Boudný) byla přednesena na IGU Thematic Conference 2025, Cairo, Egypt 12.-19. 4. 2025. Prezentace shrnuje výzkum zaměřený na proměny krajiny v Česku po roce 1989 včetně tématu šíření invazních a expanzních druhů. Je prezentov cíli bylo vyvinout automatizovanou metodu pro detekci a monitoring invazí s využitím detailních multispektrálních dat z UAV, terénních botanických dat a pokročilých metod dálkového průzkumu Země a strojového učení. Prezentace ukazuje, že postkomunistická transformace krajiny, včetně opouštění půdy a vzniku „nové divočiny“, vytvořila příznivé podmínky pro šíření invazních druhů, a zdůrazňuje potřebu systematického monitoringu jako nástroje pro snížení ekologických i ekonomických dopadů invazí.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/wp-content/uploads/2026/01/DPDV17_Landscape-transformation-in-Czechia_DefD-1.pdf

SS07020317-V18
O (ostatní) – Prezentace na konferenci: Combining UAS and PlanetScope data for large scale vegetation monitoring: A case study in the Krkonoše mountains
Termín dosažení: 12/2025

Prezentace s názvem Combining UAS and PlanetScope data for large scale vegetation monitoring: A case study in the Krkonoše mountains (autoři Lucie Kupková a Adam Kulich) byla přednesena na sympoziu COSPAR, Nicosia, Kypr, 3.-7.11. 2025. Zaměřuje se na využití kombinace dat z UAV a satelitů PlanetScope pro monitoring vegetace v Krkonoších, se zvláštním důrazem na mapování a detekci invazních druhů v cenných horských ekosystémech. S využitím UAV multispektrálních dat byly vyvinuty a testovány metody strojového a hlubokého učení, které umožňují přesnou detekci invazních porostů (u lupiny celková přesnost 91 % při použití U-Net s ResNet-34). Satelitní data PlanetScope byla též testována, ale nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Prezentace zdůrazňuje potenciál kombinovaného přístupu pro včasnou identifikaci invazních druhů a efektivní podporu jejich managementu v chráněných horských oblastech.

Výsledek je volně dostupný zde: https://www.eo4plantinvasions.cz/wp-content/uploads/2026/01/DPDV18_cospar_presentation-2-1.pdf

6. Implementační plány a otevřený přístup k datům

Implementační plány dosažených výsledků jsou vyplněny v SISTa.

Veškeré výstupy a datové sady jsou volně dostupné na webu projektu: https://www.eo4plantinvasions.cz/outputs-2025/, případně na vyžádání.

Do ISTA byl jako příloha této Zprávy vložen Plán správy dat a soubor s informacemi o otevřeném přístupu k výsledkům a datům.

7. Naplňování cílů programu Prostředí pro život v roce 2025

V roce 2025 řešení projektu významně přispělo k naplňování hlavního cíle Programu Prostředí pro život, tj. k rozšiřování znalostní základny v oblasti životního prostředí a k hledání nových řešení podporujících ochranu biodiverzity a udržitelné využívání krajiny. Realizované aktivity byly zaměřeny na systematické získávání nových poznatků o šíření invazních a expanzních druhů rostlin v chráněných horských oblastech a o jejich reakci na různé typy managementových zásahů. Výsledky roku 2025 přinášejí detailnější porozumění procesům ovlivňujícím dynamiku invazí a poskytují odborné podklady pro zkvalitnění ochrany přírody a krajiny a minimalizaci negativních dopadů lidské činnosti na životní prostředí.

Zásadní část aktivit realizovaných v roce 2025 směřovala k rozvoji, testování a ověřování moderních metod a postupů sledování stavu ekosystémů s využitím pokročilých technologií dálkového průzkumu Země. Projekt rozšířil znalosti o možnostech a limitech využití UAV dat velmi vysokého prostorového rozlišení v kombinaci s metodami strojového a hlubokého učení pro časnou detekci a monitoring invazních a expanzních druhů. Systematické testování metod, práce s rozsáhlými trénovacími a validačními daty a jejich terénní ověřování umožnily postupně zpřesňovat navrhované postupy a identifikovat podmínky, za nichž lze očekávat jejich spolehlivé využití. Tyto aktivity vytvářejí metodický základ pro návrh a budoucí ověření ucelené technologie monitoringu.

Výsledky dosažené v roce 2025 zároveň naplňují cíle druhého podprogramu zaměřeného na vývoj nových postupů, environmentálních technologií a ekoinovací s vysokým potenciálem pro uplatnění v praxi. Projekt v této fázi směřuje k vytvoření technologie, která bude založena na kombinaci UAV monitoringu, pokročilých analytických metod a terénních botanických dat a která umožní efektivnější plánování a vyhodnocování managementových zásahů. Postupně získávané poznatky potvrzují, že včasná detekce a průběžný monitoring invazních druhů mohou vést k cílenějším zásahům, snížení dlouhodobých nákladů na jejich regulaci a ke zvýšení účinnosti ochranných opatření. Tím projekt průběžně přispívá k naplňování koncepčních dokumentů ochrany přírody a krajiny na národní i evropské úrovni a k realizaci prioritního cíle 3.2 – Rozvoj moderních metod a postupů sledování a vyhodnocování stavu ekosystémů.

8. Závěr

Projekt byl v roce 2025 řešen v souladu s platnou smlouvou, nastaly pouze drobné změny v úvazcích a nebyly zcela dočerpány finanční prostředky – nedočerpané prostředky budou účelně využity pro další řešení projektu v roce 2026. Výsledky/výstupy plánované na rok 2025 byly dosaženy v termínu.

V roce 2025 došlo k významnému posunu v naplňování hlavního cíle projektu, kterým je návrh a ověření technologie monitoringu rozšíření invazních a expanzních rostlin a hodnocení účinnosti různých typů managementu s využitím pokročilých metod dálkového průzkumu Země (DPZ). Realizované aktivity potvrdily vysoký aplikační potenciál navrhovaného přístupu, ale zároveň poukázaly na jeho metodickou i datovou náročnost a na limity přenositelnosti modelů v heterogenních podmínkách horské krajiny.

V průběhu vegetační sezóny 2025 pokračovalo na trvalých plochách detailní botanické mapování výskytu sledovaných invazních a expanzních druhů v KRNAP a CHKO Orlické hory. Oproti předchozímu roku bylo mapování optimalizováno na tři klíčové termíny (začátek sezóny, vrchol vegetace, období po managementu), které se ukázaly jako dostatečné pro zachycení fenologických rozdílů i změn vitality porostů. Referenční data byla pořizována s centimetrovou přesností pomocí GNSS a zahrnovala jak výskyty cílových druhů, tak plochy jejich absence. Získaná data sloužila k nezávislé validaci detekcí z UAV dat a budou po publikaci výsledků využita k aktualizaci Nálezové databáze ochrany přírody (NDOP). Nad rámec tohoto mapování probíhalo doplňkové terénní šetření podél cestní sítě a v okolí horských bud, zaměřené na identifikaci cest zavlékání a potenciálních ohnisek šíření využitelných pro cílená manažerská opatření.

Pomocí opakovaného fytocenologického snímkování pokračovalo sledování vlivu různých typů managementu (pastva, seč, mulčování, vyrývání, chemické ošetření) na vegetaci a vitalitu cílových druhů. Managementové zásahy probíhaly v roce 2025 v Krkonoších i Orlických horách v návaznosti na botanická šetření. Jejich vyhodnocení však bylo místy komplikováno nekoordinovanými zásahy vlastníků pozemků a nevhodným načasováním. Byly založeny nové trvalé plochy zaměřené na vliv pastvy ovcí a koz na lupinu mnoholistou, která se ukazuje jako perspektivní alternativa k opakovaným mechanickým nebiotickým zásahům. Zatímco vegetační sezóna roku 2024 byla poznamenána suchem, srážkově bohatý rok 2025 odhalil vysoký regenerační potenciál lupiny po zásazích, včetně schopnosti opakovaně vyplodit a klíčit i z nezralých semen, jak naznačily orientační experimenty. Tyto poznatky potvrzují zásadní význam správného načasování managementu a ukazují, že pozdní seč či mulčování mohou přispívat k dalšímu šíření druhu. Součástí aktivit byla rovněž cílená komunikace s vlastníky a uživateli pozemků zaměřená na přenos dosavadních poznatků projektu. Přetrvávající potřeba prakticky využitelných doporučení povede k zapojení vlastníků do plánovaného workshopu.

Zásadním přínosem roku 2025 bylo propojení detailního botanického terénního výzkumu s pokročilými metodami strojového a hlubokého učení aplikovanými na UAV data s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Projekt generoval mimořádně rozsáhlý datový soubor – výsledkem je 15 specializovaných map a 98 tematických vrstev uložených v databázi, které představují nejen přímý výstup projektu, ale i dlouhodobě využitelný podklad pro ochranu přírody a navazující výzkum.

Významná část prací byla náročná především z hlediska přípravy trénovacích a validačních dat, jejich kontroly, čištění a opakovaného testování různých modelových přístupů. Významným zjištěním je, že trénovací data lze do značné míry z kvalitních snímků v ideálních termínech pro detekci (jimiž se ukázal být v převážné většině začátek vegetační sezóny, kdy invazní druhy už jsou rozvinuté a dominují nad ostatní vegetací) pořizovat přímo na obrazovce kvalitního monitoru. Testování a ladění metod detekce probíhalo iterativně s cílem dosáhnout co nejvyšší přesnosti a robustnosti výsledků. Přestože je tento proces velmi pracný, lze očekávat, vložené úsilí se vrací v podobě dobré přesnosti detekce a do určité míry úspěšné přenositelnosti modelů mezi lokalitami a sezónami. Toto bude jistě náročnější zaručit v případě detekce invazních druhů po provedení managementových zásahů, což je důležitým úkolem pro rok 2026.

V dalším období projektu budeme také testovat fungování a přenositelnost modelů pro snímky pořízené za zhoršených podmínek (právě po managementových zásazích, ale i při horším osvětlení či vyšší heterogenitě porostu). Lze očekávat pokles přesnosti, ale zároveň větší praktickou relevanci výsledků. Tyto výstupy umožní lépe stanovit, kdy a jak často má smysl detekci provádět, a jak výsledky konfrontovat s typem a načasováním managementu (např. mizení či opětovné rozšiřování porostů).

Za mimořádně přínosný výsledek práce na projektu v roce 2025 lze považovat unikátní způsob validace, kdy byly výsledky detekcí ověřovány přímo v terénu krátce po pořízení UAV dat. Tento přístup umožnil okamžitou zpětnou vazbu mezi botaniky a DPZ specialisty a vedl ke zkvalitnění trénovacích dat i modelů.

Projekt rovněž přinesl řadu praktických poznatků důležitých pro budoucí implementaci metod v praxi ochrany přírody. Bylo potvrzeno, že je možné využití menších komerčních dronů, které jsou vybaveny pouze RGB senzory a není nutno pořizovat multispektrálních data pomocí nákladnějších dronů.
S ohledem na minimální nárůst přesnosti detekce multispektrálních dat oproti RGB a menší metodické náročnosti a námaze při detekci z RGB oproti multispektrálním datům se v současné fázi předpokládá spíše využití dronů s RGB kamerou. Ty ale nemusí mít dostatečné prostorové pokrytí, proto je důležité v další fázi testovat i data z dronů typu VTOL, které jsou schopny v krátkém čase nasnímat data pro rozsáhlá území.

Dále bylo ověřeno, že družicová data PlanetScope ani letecká ortofota nejsou v současnosti optimální pro detailní detekci sledovaných druhů v horském prostředí. Přesto je žádoucí využití ortofot nadále testovat, zejména ve spojení s UAV daty z platformy VTOL, s cílem posoudit jejich využitelnost pro upscaling výsledků do širšího území.

Z metodického hlediska představuje významný posun experimentální přístup k detekci druhu *Lupinus polyphyllus* v Orlických horách, kde byl testován ensemble více modelů kombinovaný s prostorovou hot-spot analýzou. Tento postup umožnil dosáhnout vyšší uživatelské i zpracovatelské přesnosti a ukázal potenciál pokročilých analytických přístupů, včetně využití nástrojů založených na principech umělé inteligence, pro řešení obtížně detekovatelných druhů.

Významným výstupem projektu v roce 2025 je také rozsáhlá prezentační činnost (7 vystoupení na konferencích) spojená s publikační aktivitou (článek s impakt faktorem, článek v konferenčním sborníku na WoS) a televizním vystoupením.

9. Seznam literatury

Novotná, Barbora, (2025). Detekce šťovíku alpského (Rumex alpinus) v Krkonoších z obrazových dat DPZ o různém prostorovém rozlišení s využitím hlubokého učení. Brno. Bakalářská práce. Depon in. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta.

Šrollerů, Alex & Potůčková, Markéta. Evaluating the applicability of high-density UAV LiDAR data for monitoring tundra grassland vegetation. International Journal of Remote Sensing, 46(1), 2025, s. 42–76. DOI: 10.1080/01431161.2024.2383381.

Buhaly, M., Alexander, J., Pauchard, A., Rew, L., Seipel, T., Arevalo, J., Aschero, V., Averett, J., Barros, A., Cavieres, L., Clark, V., Daehler, C., Dar, P., Fuentes-Lillo, E., Gwate, O., Jentsch, A., Kutlvašr, J., Larson, C., Lembrechts, J., McDougall, K., Núñez, M., Rashid, I., Ratier Backes, A., Reshi, Z., Schweiger, A., Van Meerbeek, K., Visser, V., Vítková, M., Vorstenbosch, T., Wolff, P., Zong, S., Haider, S. (2025). Global Homogenisation of Plant Communities Along Mountain Roads by Non-Native Species Despite Mixed Effects at Smaller Scales. Global Ecology and Biogeography, 34(10), e70137. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/geb.70137

Chytrý, M., Danihelka, J., Kaplan, Z., Wild, J., Holubová, D., Novotný, P., Řezníčková, M., Rohn, M., Dřevojan, P., Grulich, V., Klimešová, J., Lepš, J., Lososová, Z., Pergl, J., Sádlo, J., Šmarda, P., Štěpánková, P., Tichý, L., Axmanová, I., Bartušková, A., Blažek, P., Chrtek, J. Jr., Fischer, F. M., Guo, W.-Y., Herben, T., Janovský, Z., Konečná, M., Kühn, I., Moravcová, L., Petřík, P., Pierce, S., Prach, K., Prokešová, H., Štech, M., Těšitel, J., Těšitelová, T., Večeřa, M., Zelený, D. & Pyšek, P. (2021) Pladias Database of the Czech Flora and Vegetation. Preslia, 93, 1–87. https://doi.org/10.23855/preslia.2021.001.

Comanicu, D., Meer, P. (2002). Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 5

ESRI (2026). How Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi) works – ArcGIS Pro | Tool Reference (Spatial Statistics)* [online]. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., [cit. 2026-01-27]. Dostupné z: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm

Haider, S., Lembrechts, J. J., McDougall, K., Pauchard, A., Alexander, J. M., Barros, A., Cavieres, L. A., Rashid, I., Rew, L. J., Aleksanyan, A., Arévalo, J. R., Aschero, V., Chisholm, C., Clark, V. R., Clavel, J., Daehler, C., Dar, P. A., Dietz, H., Dimarco, R. D., Edwards, P., Essl, F., Fuentes-Lillo, E., Guisan, A., Gwate, O., Hargreaves, A. L., Jakobs, G., Jiménez, A., Kardol, P., Kueffer, C., Larson, C., Lenoir, J., Lenzner, B., Padrón Mederos, M. A., Mihoc, M., Milbau, A., Morgan, J. W., Müllerová, J., Naylor, B. J., Nijs, I., Nuñez, M. A., Otto, R., Preuk, N., Ratier Backes, A., Reshi, Z. A., Rumpf, S. B., Sandoya, V., Schroder, M., Speziale, K. L., Urbach, D., Valencia, G., Vandvik, V., Vitková, M., Vorstenbosch, T., Walker, T. W. N., Walsh, N., Wright, G., Zong, S., Seipel, T. (2022). Think globally, measure locally: The MIREN standardized protocol for monitoring plant species distributions along elevation gradients. Ecology and Evolution, 12(2), e8590. https://doi.org/10.1111/oik.08783

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In Medical image computing and computer-assisted intervention – MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18 (pp. 234–241). Springer International Publishing.

Vítková, M., Brůna, J., Sádlo, J., Perglová, I., Fleischhans, R., Pergl, J. (2023). Invazní a expanzní druhy rostlin v horské krajině-využití predikčních modelů pro nastavení ideálního přístupu k managementu. Opera Corcontica, 60, 5-38.

10. Přílohy

Příloha 1. Fytocenologické snímky na trvalých plochách v letech 2024 a 2025

Příloha vložena do ISTa jako samostatný soubor.

Příloha 2. Předběžný digitální managementový záznam na trvalých plochách (bude dokončen v červnu 2026 po ukončení terénních prací)

Příloha vložena do ISTa jako samostatný soubor.

Příloha 3. Produkce semen *Lupinus polyphyllus* v závislosti na managementu (sběr v srpnu 2025, 10 jedinců z každé lokality)

Lokalita	Nadmořská výška	Oblast	Drony	Průměrný počet semen na jedince	Průměrný počet semen na lusk	Management
1 - Říčky, u hasičů	690	Orlické hory	ano	307	6	bez managementu
3 - Říčky, u Macháčka	675	Orlické hory	ano	0	0	mulč v červnu, kvete
5 - Jedlová, u Matouše	700	Orlické hory	ano	0	0	čerstvě 2. seč, sterilní
9 - Chaloupky	900	Krkonoše	ano	0	0	seč v červnu, kvete
10 - Pec p. Sněžkou	800	Krkonoše	ano	117	5	seč v červnu, plodí
15 - Západní Výsluní, Modřín	830	Krkonoše	ano	173	6	seč v červnu, plodí
16 - Herlíkovice, sjezdovka	830	Krkonoše	ne	289	6	bez managementu

Příloha 4. Klíčivost semen *Lupinus polyphyllus* různého stupně zralosti sebraných na konci vegetační sezóny (orientační test)

sběr 21. 10. 2025 v Peci pod Sněžkou (lokalita 10), zahájení klíčení 2. 1. 2026 - stále probíhá management - seč na konci června, od té doby bez zásahu

Zralá semena	výška (mm)	počet lusků	celkový počet semen	klíčení
rostlina 1	810	67	284	5x20
	počet semen	5.1.	8.1.	12.1.
1/1	20	0	0	0
1/2	20	0	0	0
1/3	20	0	0	0
1/4	20	0	0	0
1/5	20	0	0	1

Nezralá, zelená semena	výška (mm)	počet lusků	celkový počet semen	klíčení
rostlina 3	830	32	180	5x20
	počet semen	5.1.	8.1.	12.1.
3/1	20	0	6	3+2†
3/2	20	6	6	0
3/3	20	4	5	4+2†
3/4	20	6	4	1+1†
3/5	20	13	4	1

Příloha 5. Srovnání sumárního managementu na trvalých plochách podle dominantního druhu v roce 2024 a 2025

2024/2025	**bez managementu**	**seč**	**pastva**	**mulč**	**vyrývání**	**herbicid**	**celkem**
Lupinus polyphyllus	5/2	6/8	3/3	3/5	5/5	2/1	**24**
Telekia speciosa	8/3	3/2	0	0/6	0	0	**11**
Rumex alpinus	3/2	2/3	0	0	0	0	**5**
Veratrum album	4/6	4/4	4/2	1/1	0	0	**13**
***Senecio nemorensis* ag**	2/4	0	2/0	0	0	0	**4**