



CHARLES UNIVERSITY  
Faculty of Science

Přírodovědecká fakulta UK



Ústav Gisat, s.r.o.



TRL Space

Projekt TAČR SS07010417

## Využití technologií DPZ pro dozorovou činnost ČIŽP

### Dokument prokazující dosažení výsledku

Číslo výsledku dle SISTA: SS07010417-V9

Název výsledku: Sada map pro dozorovou činnost ČIŽP zpracovaná na základě případových studií z archivních ortofot a dat PlanetScope – retrospektivní monitoring

Druh výstupu/výsledku: Nmap – Specializovaná mapa s odborným obsahem

Termín dosažení výsledku: 12/2025

Autoři výsledku (jméno/organizace): Lucie Kupková, Mojmír Polák (PřF UK)

#### Cíl/účel vytváření výsledku

Cílem vytvořených map je prezentovat příklady výstupů (případové studie) využitelných pro dozorovou činnost ČIŽP zpracovaných v rámci retrospektivního monitoringu z archivních ortofot a družicových dat PlanetScope a Landsat.

Sada je tvořena těmito mapami:

- 1) Mapa "Retrospektivní monitoring skládky odpadu Benátky nad Jizerou z dat PlanetScope, Landsat a z ortofot"
- 2) Mapa "Poškození (kůrovec, požár) a regenerace lesní vegetace v datech PlanetScope – Mezní louka v Národním parku České Švýcarsko"

## Stručný popis postupu tvorby výsledku (vstupní data, použité metody)

### Mapa 1

Mapa prezentuje syntézu dat o různém prostorovém, spektrálním a časovém rozlišení pro retrospektivní monitoring skládky Benátky nad Jizerou s vymezením dle ZABAGED. Celkový přehled je zobrazen na podkladě ortofota ČÚZK, dále jsou prezentovány všechny dostupné ortofoto snímky od roku 1999 do současnosti pomocí WMS služby ČÚZK. Pro rok 2023 proběhl také měsíční monitoring s využitím dat PlanetScope, který byl ve vegetační sezóně zhuštěn za účelem sledování změn na východním okraji tělesa skládky. Dále je možné vidět srovnání dat PlanetScope a Landsat pro termín 15. 7. (zobrazení snímků v přirozených barvách a vegetační index NDVI). Změny byly hodnoceny na základě vývoje vegetačního pokryvu na území skládky v letech 1999 až 2025 pomocí indexu NDVI. Využita byla multispektrální družicová data programu Landsat, konkrétně snímky z družic Landsat 5 TM a Landsat 8/9 OLI (Collection 2, Level 2 – Surface Reflectance), zpracovaná v prostředí Google Earth Engine. Pro zajištění vzájemné srovnatelnosti byly použity snímky ze stejného vegetačního období (červen–srpen). Data byla nejprve podrobena maskování nekvalitních pixelů na základě bitové informace v pásmu QA\_PIXEL, čímž byly odstraněny pixely ovlivněné oblačností, stíny oblaků, sněhem a chybějícími daty. Pro každý snímek byl vypočten index NDVI, přičemž byla použita odpovídající spektrální pásma červené a blízké infračervené oblasti pro jednotlivé senzory. Z NDVI snímků byly vytvořeny sezónní mediánové kompozity reprezentující stav vegetace v daném roce. Změny vegetačního pokryvu byly kvantifikovány pomocí rozdílového indexu NDVI (NDVI diff), definovaného jako rozdíl sezónních kompozitů NDVI mezi dvěma porovnávanými roky. Kladné hodnoty NDVI diff indikují nárůst vegetační aktivity, zatímco záporné hodnoty poukazují na její úbytek, což umožňuje identifikovat oblasti rekultivace nebo naopak rozšiřování aktivních částí skládky.

### Mapa 2

Podkladem pro tvorbu této mapy byla družicová data PlanetScope, která byla objednána prostřednictvím aplikace PlanetExplorer na portálu Planet.com v rámci uživatelských účtů řešitelů z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. Pro zpracování byla využita multispektrální, georeferencovaná data s 4 spektrálními pásmy pro starší časové horizonty a s 8 spektrálními pásmy pro období od roku 2021. Použitá data odpovídají technickým specifikacím systému PlanetScope a byla stahována v rámci bezplatného datového limitu dostupného pro registrované pracovníky akademických institucí. Při stahování byla data normalizována vzhledem k spektrálním pásmům senzoru Sentinel-2, aby byla zajištěna konzistentní radiometrie napříč časovou řadou.

V dalším kroku byla provedena analýza časových řad obrazových dat s využitím vegetačních indexů, zaměřená na identifikaci poškození lesní vegetace a její následné regenerace. Pro časové horizonty před požárem (2021), v roce požáru (2022) a 3 roky po požáru (2025) byl vypočten vegetační index (NDVI) a dále byl na základě ortofot záznamů vývoj - v meziročním srovnání je možné sledovat vývoj poškození kůrovcem, stav po požáru a postupné regenerace vegetace po požáru. Kvantitativní analýzy byly tak doplněny vizuální interpretací původních multispektrálních snímků, která umožnila lépe rozlišit vliv jednotlivých disturbancí, zejména gradace kůrovce a požáru, a sledovat jejich prostorový rozsah a časový průběh. Výsledky analýz byly syntetizovány do mapových výstupů zachycujících stav území před disturbancí, bezprostředně po ní a v následném období regenerace vegetace.

V obou mapách byl využit NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), případně jeho změna. NDVI je bezrozměrný spektrální index používaný k hodnocení stavu, vitality a množství zelené

vegetace na základě dálkového průzkumu Země. Využívá rozdílné odrazové vlastnosti vegetace v červené (Red) a blízké infračervené (NIR) části spektra.

#### **Vzorec NDVI:**

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

kde

- **NIR** je odrazivost v blízké infračervené části spektra,
- **Red** je odrazivost v červené části spektra.

#### **Podstata indexu NDVI:**

Zdravá a fotosynteticky aktivní vegetace silně absorbuje záření v červené části spektra (vlivem chlorofylu) a zároveň výrazně odráží záření v blízké infračervené oblasti (díky vnitřní struktuře listů). Naopak stresovaná, poškozená nebo odumřelá vegetace tento kontrast vykazuje v menší míře. NDVI tak kvantifikuje relativní rozdíl mezi těmito dvěma spektrálními pásmy a umožňuje sledovat prostorové i časové změny stavu vegetace.

Hodnoty NDVI se pohybují přibližně v intervalu **-1 až +1**, přičemž vyšší kladné hodnoty obvykle odpovídají husté a zdravé vegetaci, zatímco nízké nebo záporné hodnoty indikují nezarostlé plochy, vodní plochy, holý povrch nebo silně poškozenou vegetaci.

### **Prezentace výsledku (popis, obrázky, grafy apod.)**

#### Mapa 1

Výsledek je prezentován formou tematické mapy s popisky, která je rozdělena do několika mapových polí zobrazujících vývoj skládky odpadu Benátky nad Jizerou v různých časových, prostorových a spektrálních rozlišeních na základě kombinace dat dálkového průzkumu Země. Kompozice mapy je navržena tak, aby umožňovala jak detailní pohled na aktuální stav území, tak retrospektivní hodnocení jeho dlouhodobého vývoje a srovnání různých datových zdrojů.

V horní části mapové kompozice je umístěno referenční ortofoto skládky z roku 2023, které slouží jako detailní a intuitivně čitelný podklad pro prostorovou orientaci a interpretaci dalších mapových polí. Na něj navazuje blok map zobrazujících měsíční monitoring skládky v průběhu roku 2023 z dat PlanetScope, kde jsou jednotlivá mapová pole uspořádána chronologicky podle data pořízení. Tato část kompozice dokumentuje krátkodobé změny na tělese skládky a v jejím okolí v rámci vegetační sezóny, zejména změny povrchu, vegetačního pokryvu a provozních ploch.

Další část kompozice je věnována dlouhodobému retrospektivnímu vývoji skládky, který je zobrazen prostřednictvím časové řady ortofot (obrázek 1) a změn vegetačního indexu NDVI z družicových dat Landsat za období 1999–2023. Jednotlivá mapová pole jsou uspořádána do bloků reprezentujících vybrané časové úseky, což umožňuje sledovat postupné změny rozsahu skládky, jejího okolí a vývoje vegetačního pokryvu v delším časovém horizontu. Zobrazení NDVI poskytuje agregovaný pohled na změny vitality vegetace v okolí skládky v průběhu více než dvou desetiletí.

Obrázek 1: Dlouhodobý retrospektivní monitoring skládky z časové řady ortofot

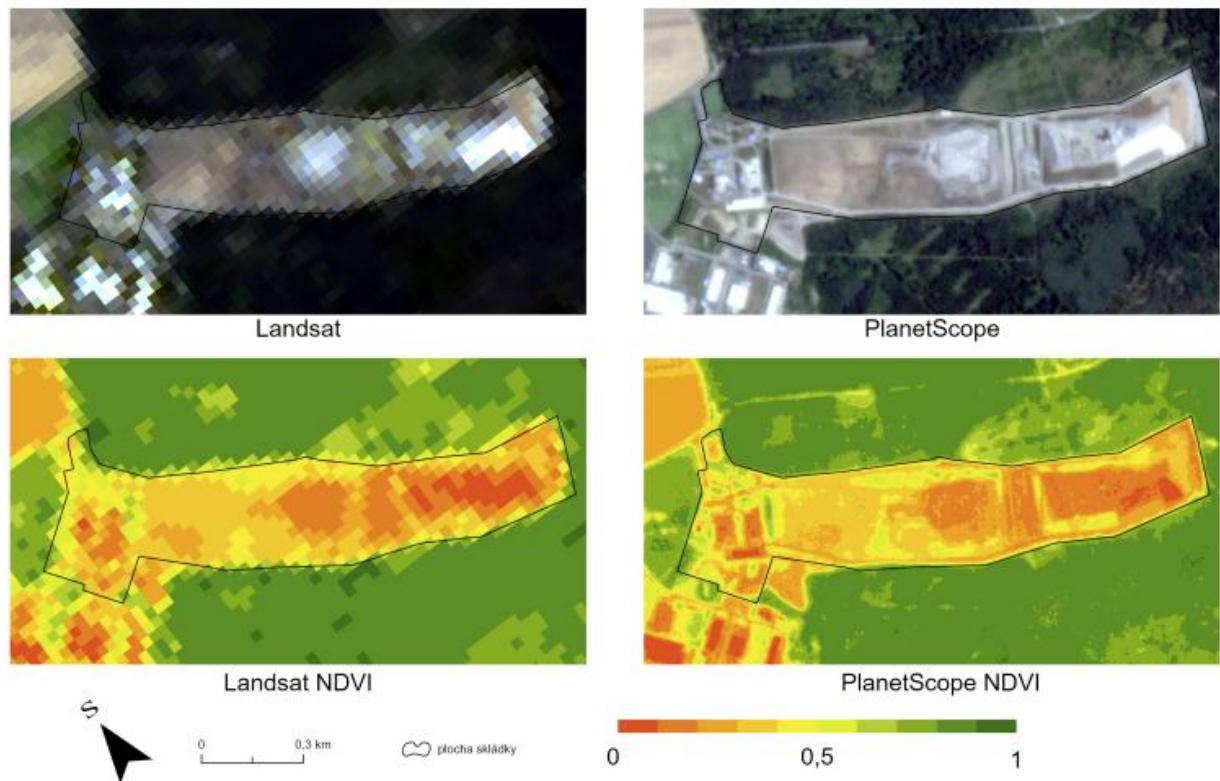
## Vývoj skládky na ortofotech v letech 1999–2023



Ve spodní části mapy jsou dále uvedeny detailní výřezy změn během vegetačního období 2023 z dat PlanetScope, které demonstrují možnosti velmi podrobného časového sledování změn v řádu týdnů. Součástí kompozice je také přímé srovnání dat Landsat a PlanetScope pro shodné datum (obrázek 2), a to jak ve formě původních obrazových dat, tak pomocí map vegetačního indexu NDVI. Toto srovnání názorně ilustruje rozdíly v prostorovém rozlišení a informačním obsahu jednotlivých datových zdrojů.

Obrázek 2: Srovnání dat PlanetScope a Landsat – snímek a NDVI v červenci 2023

## Porovnání Landsat a PlanetScope 15. 7. 2023



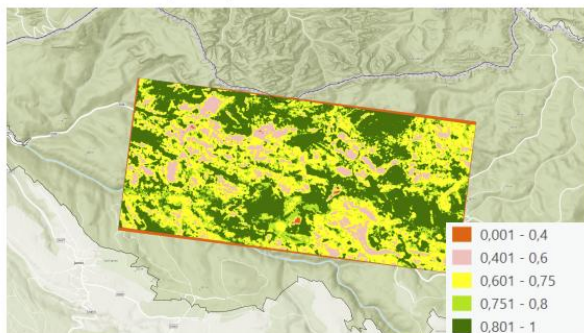
Mapa 2

Výsledek je prezentován formou tematické mapy s popisky, která je rozdělena do několika vzájemně provázaných mapových polí zobrazujících vývoj stavu lesní vegetace v čase s využitím dat dálkového průzkumu Země. Celá kompozice je navržena jako přehledná vícedílná mapa umožňující srovnání různých časových horizontů, typů dat a způsobů zobrazení vegetačního stavu.

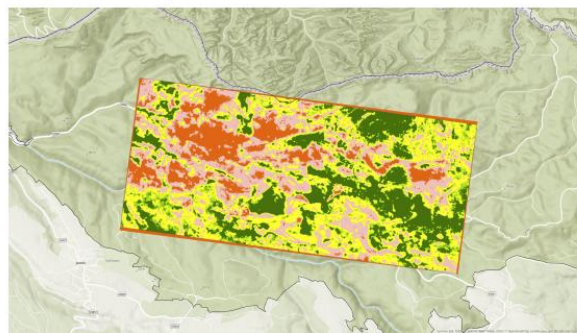
Horní část kompozice obsahuje lokalizační mapu zájmového území Mezní louky v Národním parku České Švýcarsko, která slouží k prostorovému zasazení analyzované oblasti do širšího geografického kontextu. Na ni navazují mapová pole zobrazující hodnoty vegetačního indexu NDVI pro vybrané časové horizonty, konkrétně období před požárem, období bezprostředně po požáru a stav území 3 roky po požáru (obrázek 3). Tato mapová pole jsou zobrazená ve sjednocené barevné škále, která umožňuje přímé vizuální porovnání změn vitality vegetace v čase, a jsou doplněna legendou NDVI a popisky jednotlivých období.

Obrázek 3: NDVI před požárem a těsně po požáru

NDVI 2021 – před požárem



NDVI 2022 – požár



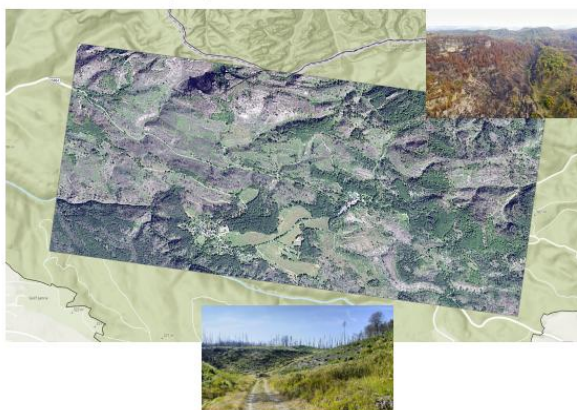
Střední a dolní část mapové kompozice tvoří časová řada obrazových dat dokumentující dlouhodobý vývoj území, zahrnující postupné poškození lesní vegetace způsobené gradací kůrovce, náhlou změnu spojenou s požárem a následnou regeneraci vegetace v dalších letech (ukázka viz obrázek 4). Jednotlivá mapová pole jsou zobrazena ve stejném prostorovém výřezu a uspořádána podél časové osy, která zdůrazňuje chronologickou návaznost jednotlivých zobrazení. Tato část je doplněna ilustračními terénními fotografiemi a grafickými prvky, které podporují interpretaci mapových výstupů a propojují družicová data s reálným stavem krajiny.

Obrázek 4: Vizualizace území v datech PlanetScope těsně po požáru a regenerace vegetace 1 rok po požáru

2022 – těsně po požáru



2023 – 1 rok po požáru



## Vyhodnocení výsledku (základní zjištění, přínos, případně využití)

### Mapa 1

Mapová kompozice demonstruje retrospektivní možnosti monitoringu skládek na základě dat rozdílného spektrálního, prostorového a časového rozlišení a zobrazují různé přístupy k monitoringu. Ortofoto dosahuje nejlepšího prostorového rozlišení (až desítek cm), avšak perioda snímání je v současnosti dva roky. První dostupné archivní ortofoto bylo k dispozici jako WMS ČÚZK

z roku 1999; dřívější termíny lze získat jako samostatné letecké měřické snímky, což vyžaduje náročnější zpracování. Data PlanetScope mají prostorové rozlišení přibližně 3 m a denní periodu snímání. V případě použití dat Landsat je možné provést retrospektivní monitoring až do 80. let 20. století (mise Landsat 5 byla vypuštěna v roce 1984), avšak limitujícím faktorem je výrazně horší prostorové rozlišení 30 m.

## Mapa 2

Mapa demonstruje vývoj stavu vegetace - jasně ukazuje kombinovaný efekt více typů disturbancí a dále rychlý postup regenerace po požáru. Zatímco kůrovcové poškození se projevuje postupným a prostorově diferencovaným poklesem vitality porostů, požár představuje náhlou a plošně výraznou změnu charakteru vegetačního pokryvu. Tyto změny jsou patrné jak ve vizuální podobě multispektrálních snímků, tak zejména v hodnotách vegetačních indexů, především NDVI, které umožňují kvantifikovat míru poškození vegetace a sledovat její regeneraci v čase. Mapy tak poskytují přehledný obraz dynamiky území v horizontu několika let, který nelze získat z jednorázových terénních šetření.

Pro dozorovou činnost České inspekce životního prostředí představují tyto mapy důležitý analytický nástroj v oblasti ochrany vegetace. Umožňují zpětně i průběžně identifikovat rozsah a intenzitu poškození vegetačního pokryvu, sledovat rychlost a charakter jeho obnovy a vyhodnocovat, zda dochází k přirozené regeneraci, nebo k dalším degradačním procesům. Metody dálkového průzkumu Země zde umožňují objektivní, prostorově souvislé a časově konzistentní hodnocení stavu vegetace na rozsáhlých a obtížně přístupných územích, což je zvláště významné v chráněných oblastech s omezenou možností terénního zásahu. Mapové výstupy tak mohou sloužit jako podklad pro cílené kontroly, prioritizaci dozorových aktivit a dlouhodobé sledování dopadů mimořádných událostí na stav přírodních ekosystémů.

## Doložení výsledku Nmap Mapa 1

**Název specializované mapy:** *Retrospektivní monitoring skládky odpadu Benátky nad Jizerou z dat PlanetScope, Landsat a ortofot*

### **Popis novosti mapy:**

Novost mapy spočívá v porovnání různých dat využitelných pro retrospektivní monitoring konkrétní lokality, včetně možnosti sledovat změny a charakteristiky zobrazených dat.

Novost mapy spočívá především v **cílené kombinaci více datových zdrojů dálkového průzkumu Země s výrazně odlišným prostorovým, časovým i spektrálním rozlišením**, které jsou integrovány do jednotného analytického a interpretačního rámce. Mapa propojuje dlouhodobé časové řady družicových dat Landsat (cca 30 m, období od konce 90. let), velmi podrobná a časově hustá data PlanetScope (cca 3 m, měsíční až týdenní frekvence) a vysoce detailní letecká ortofota. Tato kombinace umožňuje současně sledovat jak dlouhodobý historický vývoj sledovaného území, tak krátkodobé a detailní změny probíhající v rámci jednotlivých vegetačních sezón, což není možné při využití jediného datového zdroje.

Metodická inovace spočívá v systematickém využití vegetačních indexů (zejména NDVI) v dlouhodobém časovém kontextu pro identifikaci změn povrchu a vegetačního pokryvu v okolí skládky, doplněném o detailní vizuální interpretaci dat PlanetScope s vysokým prostorovým a časovým rozlišením. Tím je dosaženo schopnosti rozlišit pozvolné, dlouhodobé změny (např. postupné rozšiřování či rekultivaci skládky) od náhlých a krátkodobých disturbancí povrchu. Přímé srovnání výstupů z Landsat a PlanetScope pro shodné datum navíc názorně demonstruje rozdíly v informačním obsahu dat s různým rozlišením a jejich dopad na interpretaci změn.

Výsledná mapa tak představuje nový typ komplexního retrospektivního monitorovacího výstupu, který překračuje běžné jednorázové mapování nebo izolované analýzy jednotlivých datových sad. Přínosem je zejména metodicky podložený přístup umožňující zpětnou dokumentaci vývoje antropogenních útvarů na základě archivních dat DPZ, a to v měřítku a časové hloubce využitelné pro kontrolní a dozorové účely. Novost řešení spočívá v praktické demonstraci toho, jak lze kombinací více senzorů a analytických přístupů vytvořit ucelený, reprodukovatelný a přenosný postup monitoringu změn povrchu v dlouhodobém i krátkodobém horizontu.

**Rozsah mapy:** území skládky Benátky nad Jizerou v časovém horizontu mezi lety 1999 - 2023

#### **Využití mapy a přínosy pro uživatele:**

Mapa představuje odborný podklad pro monitoring, kontrolu a dokumentaci změn uzavřených legálních, ale i nelegálních skládek a dalších antropogenních útvarů, jako jsou např. stavební plochy a zařízení, kde dochází k postupným nebo náhlým změnám a disturbancím povrchu. Kombinace ortofot, dlouhodobých časových řad družicových dat Landsat a detailních, časově hustých snímků PlanetScope umožňuje uživateli sledovat jak dlouhodobý vývoj území, tak krátkodobé změny v řádu měsíců až týdnů. Mapový výstup poskytuje přehled o prostorovém rozšíření, dynamice a intenzitě změn povrchu a vegetačního pokryvu, umožňuje zpětnou dokumentaci vývoje sledovaného objektu a podporuje objektivní vyhodnocení souladu skutečného stavu s deklarovaným využitím území. Pro dozorové a kontrolní orgány představuje mapa efektivní nástroj pro identifikaci podezřelých změn, cílení terénních kontrol a archivaci důkazního materiálu založeného na nezávislých datech dálkového průzkumu Země.

**Výsledek je volně dostupný zde:** <https://www.eo4inspection.cz/outputs/>

#### **Doložení výsledku Nmap Mapa 2**

**Název specializované mapy:** *Poškození (kůrovec, požár) a regenerace lesní vegetace v datech PlanetScope – Mezní louka v Národním parku České Švýcarsko*

#### **Popis novosti mapy:**

Novost prezentované mapy spočívá v systematickém využití velmi podrobných družicových dat PlanetScope pro dlouhodobé sledování poškození a následné regenerace lesní vegetace, a to v

kombinaci s analýzou časových řad vegetačních indexů a vizuální interpretací multispektrálních snímků. Mapa propojuje vysoké časové rozlišení s vysokým prostorovým rozlišením s dlouhodobým časovým kontextem, což umožňuje detailně zachytit jak postupné poškození porostů způsobené gradací kůrovce, tak náhlou a plošně výraznou disturbancí v podobě požáru a následný proces regenerace vegetace.

Metodická inovace spočívá v kombinaci kvantitativního hodnocení pomocí vegetačního indexu NDVI a kvalitativní vizuální interpretace časové řady obrazových dat, které jsou prezentovány ve společné mapové kompozici. Tento přístup umožňuje srovnání různých fází vývoje vegetačního pokryvu ve stejném prostorovém výřezu a v jednotném kartografickém zpracování.

Výsledná mapa představuje nový typ demonstračního a analytického výstupu, který názorně ukazuje potenciál dat DPZ s vysokým rozlišením (prostorovým a časovým) pro potřeby ochrany přírody a environmentálního monitoringu. Zvolený přístup umožňuje objektivní dokumentaci dopadů disturbancí a podporuje rozhodování v oblasti dozorové a monitorovací činnosti ochrany přírody.

**Rozsah mapy:** území oblasti Mezní louka v národním parku České Švýcarsko v letech 2017–2025

**Využití mapy a přínosy pro uživatele:**

Mapa poskytuje ucelený přehled o prostorovém a časovém vývoji poškození a následné regenerace lesní vegetace na lokalitě Mezní louky v Národním parku České Švýcarsko v souvislosti s gradací kůrovce a požárem. Pro uživatele, zejména orgány ochrany přírody a dozorové instituce, představuje názorný nástroj pro prezentaci dynamiky změn vegetačního pokryvu v delším časovém horizontu, včetně rozlišení postupných disturbancí a náhlých událostí. Kombinace map vegetačních indexů, časových řad obrazových dat a ilustračních terénních fotografií umožňuje rychlou orientaci ve vývoji území, podporuje interpretaci rozsahu a intenzity poškození a poskytuje objektivní podklad pro vyhodnocení stavu ekosystémů i účinnosti jejich přirozené obnovy. Mapa tak slouží jako podpůrný analytický a komunikační nástroj pro plánování dozorových aktivit, prioritizaci kontrol a dlouhodobý monitoring dopadů disturbancí na lesní vegetaci.

**Výsledek je volně dostupný zde:** <https://www.eo4inspection.cz/outputs-2025/>